

# ОБРАБОТКА СПЛОШНЫХ И СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

№ 2 (43) ноябрь 2015 г.

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

ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 1970 ГОДА

## Редакционный совет

### Председатель редсовета:

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

### Члены редсовета:

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

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

*Салганик В.М.* – проф., д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

*Тулупов О.Н.* – проф., д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ».

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

### Главный редактор:

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

### Зам. главного редактора:

*Полякова М.А.* – доц., канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ»; Магнитогорск, Россия.

*Пивоварова К.Г.* – доц., канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ», Магнитогорск, Россия.

### Технический редактор: Джерыкина Л.В.

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

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38)

16+, в соответствии с Федеральным Законом №436-ФЗ от 29.12.10.

### Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38

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

E-mail: [m.polyakova-64@mail.ru](mailto:m.polyakova-64@mail.ru); [m.chukin@mail.ru](mailto:m.chukin@mail.ru)

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

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38

Выход в свет 15.11.15. Заказ 789. Тираж 500 экз.

Цена свободная

# PROCESSING OF SOLID AND LAMINATE MATERIALS

---

No 2 (43) November 2015

---

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

---

PUBLISHED SINCE OCTOBER, 1970

## Editorial Board Memberscommittee

### Chairman:

**Rudskoy A.I.** - corresponding member of Russian Academy of Science, D.Sc., Prof., rector of the Saint-Petersburg state polytechnical university.

### Honorary Board Members:

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

**Calliari I.** - associate Prof., Engineering School, University Padua, Italy.

**Salganik V.M.** - D.Sc., Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Tulupov O.N.** – D.Sc., Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University

**Gun I.G.** - D.Sc., Prof., director general of CJSC «Belmag», chief of SEC «Technologies and constructions of autoparts», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

### Editor-in-chief:

**Chukin M.V.** – D.Sc., Prof., First Vice-Rector-Vice-Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

### Deputy chief editor:

**Polyakova M.A.** – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Pivovarova K.G.** – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Technical Editor: Dgeryjkina L.V.**

© Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2015

Founder - Nosov Magnitogorsk State Technical University  
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk, 455000, Chelyabinsk Region)  
16+, in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10.

### 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](mailto:m.polyakova-64@mail.ru); [m.chukin@mail.ru](mailto:m.chukin@mail.ru)

Printed by the NMSTU printing section, 38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.  
Publication date 15.11.15. Order 789. Circulation 500.  
Open price.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лежнев С.Н., Волокитина И.Е., Курапов Г.Г., Кнапиньски М.Я.</b> Исследование влияния криогенного охлаждения при равноканальном угловом прессовании на эволюцию микроструктуры меди.....	5
<b>Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Алексеев Д.Ю.</b> Совершенствование технологии контролируемой прокатки низколегированных сталей.....	9
<b>Барышников М.П., Голубчик Э.М., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Кузнецова А.С., Гитман М.Б.</b> Исследование свойств высокопрочных инварных сплавов нового поколения.....	13
<b>Зайдес С.А.</b> Состояние технологии поверхностного пластического деформирования в России.....	18
<b>Железков О.С., Малаканов С.А., Ширяев О.П.</b> Изменение сопротивления деформации холоднодеформированной стали марки 12Х18Н10Т при термообработке.....	22
<b>Шубин И.Г., Шубина Н.И.</b> К вопросу формирования качества сортового проката на основе моделирования температурного режима в потоке проволочного стана.....	24
<b>Валько Д.В.</b> Разработка и применение учебного программного обеспечения в условиях новых стандартов профессионального образования по специальности «Обработка металлов давлением».....	30
<b>Харитонов В.А., Усанов М.Ю.</b> Реализация деформации кручения в производстве проволоки с ультрамелкозернистой структурой.....	38
<b>Харитонов В.А., Петров И.М.</b> Направления развития отечественного производства бунтовой арматурной стали.....	44
<b>Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В., Бачева А.В.</b> Влияние режимов механической обработки стали 09Г2С на формирование остаточных напряжений.....	48
<b>Пивоварова К.Г.</b> Формирование шероховатости поверхности металла при калибровании в монолитной волоке.....	53
<b>Бахматов Ю.Ф.</b> Влияние технологических параметров на эффективность процесса бесфильтрного волочения.....	57
<b>Пышминцев И.Ю.</b> РосНИТИ – 55 лет. К новым рубежам.....	59
Рефераты.....	69
Reports.....	73
Сведения об авторах.....	76
The information about the authors.....	78

## CONTENTS

<b><i>Lezhnev S.N.; Volokitina I.E., Kurapov G.G.; Knapinski M.Ya.</i></b> Study of the cryogenic cooling effect on the copper microstructural evolution during equal channel angular extrusion.....	5
<b><i>Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushchina M.S. Alekseev D.Iu.</i></b> Improving of the technology controlled rolling alloy steels.....	9
<b><i>Barishnikov M.P., Golubchik E.M., Koptseva N.V., Efimova Ju.Ju., Kuznetsova A.S., Gitman M.B.</i></b> Study on properties of high-strength invar alloys new generation.....	13
<b><i>Zaydes S.A.</i></b> State of surface plastic deformation technology in Russia.....	18
<b><i>Zhelezkov O.S., Malakanov S.A., Shiryev O.P.</i></b> <b><i>Shubin I.G., Shubina N.I.</i></b> About the long products quality formation based on the temperature condition modeling in the flow section mill.....	22 24
<b><i>Valko D.V.</i></b> The Development and Using of Educational Software in the Context of the New Standards of Professional Education in the Specialty "Metal Forming".....	30
<b><i>Kharitonov V.A., Usanov M.Yu.</i></b> Implementation of torsional strain in wire production with ultrafine-grained structure.....	38
<b><i>Kharitonov V.A., Petrov I.M.</i></b> <b><i>Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Y.V., Bacheva A.V.</i></b> Influence of mechanical treatment of steel 09G2S on the formation residual stresses.....	44 48
<b><i>Pivovarova K.G.</i></b> Metal surface roughness formation at sizing in monolith die.....	53
<b><i>Bakhmatov Yu.F.</i></b> Influence of technological parameters on the dieless wire drawing process effectiveness.....	57
<b><i>Pyshmintsev I.Yu.</i></b> RosNITI – 55 years. To new advances.....	59
Рефераты.....	69
Reports.....	73
Сведения об авторах.....	76
The information about the authors.....	78

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ НА ЭВОЛЮЦИЮ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕДИ

Лежнев С.Н.<sup>1</sup>, Волокитина И.Е.<sup>2</sup>, Курапов Г.Г.<sup>2</sup>, Кнапиньски М.Я.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Карагандинский государственный индустриальный университет, Казахстан;*

<sup>2</sup>*Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Казахстан;*

<sup>3</sup>*Ченстоховский политехнический университет, Польша.*

### Введение

Одной из актуальных задач металлургии и машиностроения является повышение физико-механических свойств изделий и полуфабрикатов. Решение таких задач лежит в области создания высокоэффективных технологий с применением современных и передовых методов обработки [1].

В последние годы были проведены многочисленные исследования, направленные на увеличение прочностных характеристик металлов и сплавов путем получения наноразмерных кристаллитов с помощью интенсивной пластической деформации (ИПД). Как известно, сочетание прочности и пластичности является необходимым условием для разработки качественной перспективной металлопродукции. В этой связи достижение очень высокой прочности и пластичности в металлах и сплавах, подвергнутых ИПД, открывает пути создания принципиально новых материалов. Большинство работ по получению таких материалов проведено с использованием метода равноканального углового прессования (РКУП). Метод РКУП не позволяет достичь экстремальных степеней деформации, как, например, при кручении под квазигидростатическим давлением, но его несомненным преимуществом является возможность получения объемных заготовок. Это преимущество позволяет изучать не только структуру, сформированную при ИПД, но и механические свойства материалов при растяжении и сжатии.

Несмотря на все свои преимущества, процесс РКУП до сих пор не реализован в промышленных масштабах и его исследование носит сугубо лабораторный характер. Также данный метод достаточно сложен технологически и до настоящего времени имеет очень ограниченное применение в прикладных технологических задачах. Поэтому поиски путей получения высокопрочных металлических материалов с применением относительно простых технологий является актуальной задачей данной работы.

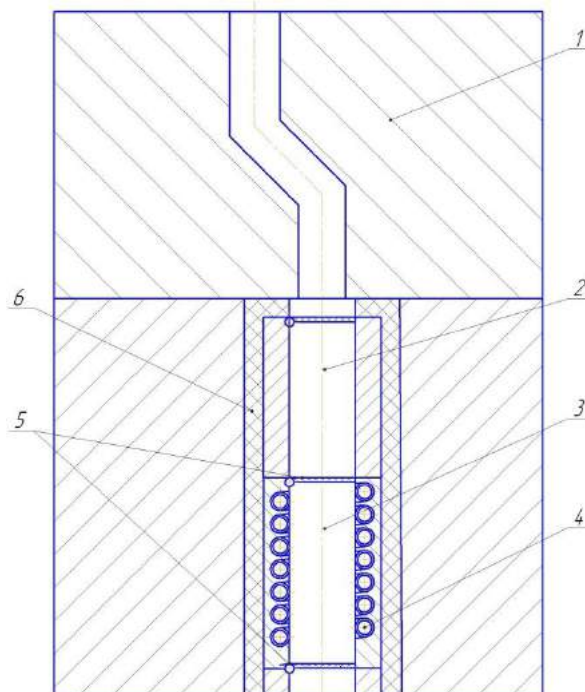
Использование новых способов физико-механического упрочнения и пластической деформации позволит в промышленности экономить дорогостоящие материалы за счет замены их менее дорогими, но имеющими субультрамелкозернистую структуру и повышенный уровень механических и эксплуатационных свойств и уменьшить энерго- и трудозатраты.

Таким образом, актуальность темы работы связана с более глубоким пониманием теоретических представлений и практических аспектов методов ИПД со структурообразованием и с возможностью значительного расширения области применения промышленных технически чистых металлов и сплавов за счет создания передовых технологических процессов получения субультрамелкозернистых полуфабрикатов и изделий с качественно новым уровнем физико-механических свойств.

### Материал и методика исследования

Материалом исследования является техническая медь марки М1. Образцы квадратного сечения 15×15×70 мм подвергали РКУП в обычной ступенчатой матрице [2] с углом стыка каналов 125° и в ступенчатой матрице с таким же углом стыка каналов, но с промежуточной

и закалочной камерой, оснащенной системой для циркуляции азота, располагающихся после выходного канала матрицы (**рис. 1**). В обоих случаях РКУП осуществлялось по маршруту **Вс** с кантовкой заготовки на  $90^\circ$  вокруг продольной оси [3]. Трение между инструментом и заготовкой снижалось применением пальмового масла в качестве лубриканта.



**Рис. 1. Равноканальная ступенчатая матрица новой конструкции:**  
**1 – матрица, имеющая три канала одинакового поперечного сечения, два из которых (входной и выходной) параллельны друг другу, а средний канал расположен под углом к входному и выходному каналам;**  
**2 – промежуточная камера; 3 – закалочная камера; 4 – система циркуляции азота;**  
**5 - запорные элементы, 6 – термоизоляционный материал**

Деформирование проводилось при комнатной температуре, так как при повышении температуры РКУП возможно развитие процесса деформационно-стимулированного роста зерен во время деформирования.

На первой стадии экспериментов изучали влияние криогенного охлаждения при циклическом деформировании заготовок в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы (РСМ), как уже отмечалось выше, снабженной промежуточной и закалочной камерой с системой для циркуляции азота. Прессование в предлагаемой конструкции РСМ осуществляется следующим образом. Заготовка задается в приемный канал матрицы, которая при помощи пуансона проталкивается последовательно в наклонный промежуточный, а затем в выходной канал. После того, как пуансон полностью продавит заготовку в приемном канале, в матрицу задается следующая заготовка, которая передним концом выталкивает предыдущую заготовку из матрицы в промежуточную камеру, которая снабжена двумя запорными элементами, что позволяет реализовать процесс двухзонной загрузки. После чего заготовка попадает в закалочную камеру, где происходит интенсивное охлаждение заготовки и непосредственно закалка. Извлечение заготовки осуществляется при открывании нижней запорной крышки.

Вторую партию медных заготовок деформировали в обычной РСМ при температуре  $25^\circ\text{C}$ . В обоих случаях количество проходов через каналы РСМ составляло 4.

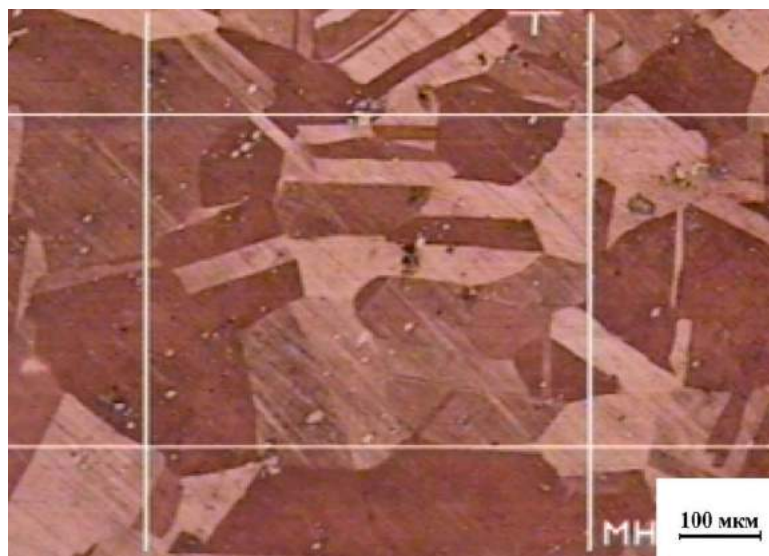
Подготовка шлифов для металлографических исследований осуществлялась по стандартной методике. Обработанные образцы были изучены, используя оптический микроскоп

Leica, снабженный микротвердомером. Все образцы были исследованы в средней плоскости образца, чтобы избежать влияния периферийных областей. Получаемые образцы рассматривались в двух сечениях: поперечном и продольном.

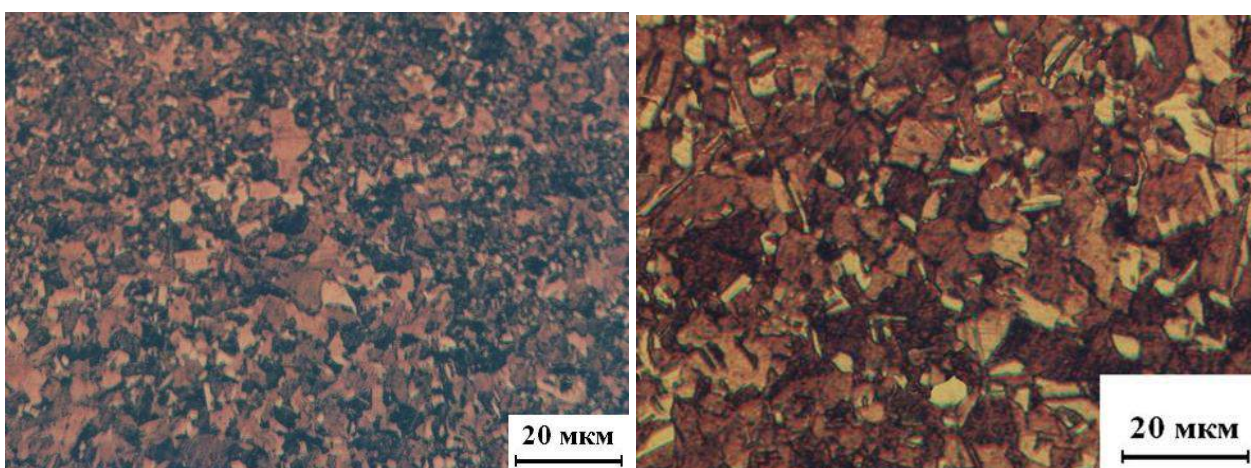
### Результаты исследований

На **рис. 2** показаны оптические фотографии микроструктуры исходной меди, как видно из фотографии, структура деформированной меди имеет большое количество двойников. В исходном состоянии средний размер зерна меди составлял 120 мкм; микротвердость - 580 МПа.

Для оценки эффективности РКУП и воздействия криогенного охлаждения необходимо сравнить микроструктуру медных сплавов до и после деформирования. Фотографии микроструктуры, полученные при изучении сплава М1 после 4-х циклов прессования при различных условиях охлаждения представлены на **рис. 3**.

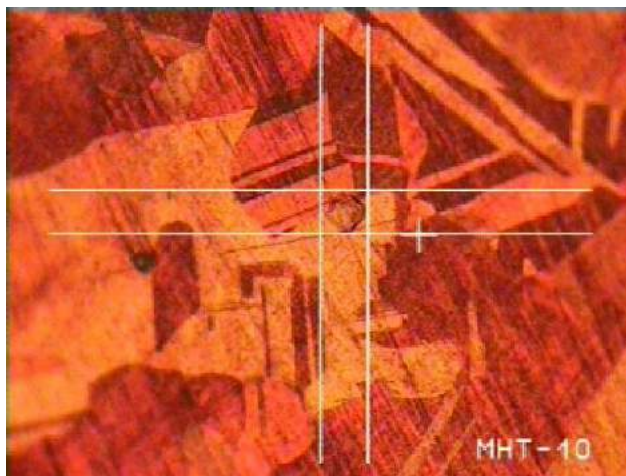


**Рис. 2.** Оптическая фотография исходной микроструктуры меди



*a* *б*  
**Рис. 3.** Оптические фотографии микроструктуры меди  
после 4 циклов РКУП в ступенчатой матрице:  
*a* – охлаждение азотом; *б* – без охлаждения азотом

На оптическом микроскопе Leica, оборудованном микротвердомером, были произведены испытания на определение микротвердости (**рис. 4**). Результаты определения микротвердости и диаметра зерна медного сплава М1 до и после РКУП представлены в **таблице**.



**Рис. 4. Определение микротвердости меди**

**Результаты определения микротвердости по Виккерсу и диаметра зерна для сплавов М1 до и после 4-х циклов РКУП**

Вид обработки	Микротвердость, МПа	Средний диаметр зерна, мкм
Исходная	580	120
РКУП	1010	15
РКУП+азот	1050	6

**Обсуждение полученных результатов**

Металлографический анализ меди после РКУП в ступенчатой матрице показал, что на начальной стадии прессования исходные зерна ориентируются под углом к оси образца, но при этом субструктура исходных зерен плохо вытравливается. В результате проведения РКУП в ступенчатой матрице в обоих случаях происходит заметное уменьшение размеров зерен после каждого цикла деформирования и уже после четвертого цикла деформирования структура медного сплава представляла собой частично ячеистую, частично полигонизованную структуру.

Результаты исследования эволюции микроструктуры медного сплава М1 в ходе РКУП в ступенчатой матрице при различных условиях охлаждения и микротвердости по Виккерсу показали, что:

- в исходном состоянии медный сплав имел микротвердость, равную 580 МПа и средний диаметр зерна 120 мкм;
- при деформировании медного сплава в известной конструкции РСМ для прессования микротвердость после 4 циклов РКУП составила 1010 МПа, а средний диаметр зерна - 35 мкм;
- при деформировании медного сплава в предлагаемой конструкции РСМ для прессования, обеспечивающем криогенное охлаждение заготовки, микротвердость после 4 циклов РКУП составила 1150 МПа, а средний диаметр зерна - 6 мкм.

Из этих данных мы видим, что микроструктура меди после прессования в предлагаемой конструкции РСМ, обеспечивающей криогенное охлаждение заготовки, получается более



мелкозернистой, а также обеспечиваются более высокие значения микротвердости медного сплава.

## Вывод

В целом, проведенные исследования показали, что основной процесс измельчения структуры, вне зависимости от механизма пластичности, происходит в момент протекания пластического течения металла, а в дальнейшем происходит закрепление образовавшейся структуры. Сам факт уменьшения конечного зерна в случае попадания образца после обработки в условия быстрого охлаждения (закалка жидким азотом) свидетельствует о том, что процесс пластичности осуществляется через физико-химическое превращение металла с перекристаллизацией.

## Список литературы

1. Рааб Г.И. Развитие научных основ технологии интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.05: защищена 19.11.2009 / Рааб Георгий Иосифович. Уфа, 2009. 36 с.
2. Устройство для обработки металлов давлением: пат. 2181314 Рос. Федерация / Г.И. Рааб, Г.В. Кулясов, В.А. Полозовский, Р.З. Валиев. 2002.
3. Нано- и микрокристаллические материалы, полученные методами интенсивного пластического деформирования: учеб.-метод. материалы по программе повышения квалификации / В.Н. Чувильдеев, О.Э. Пирожникова, М.Ю. Грязнов и др. Нижний Новгород. 2006.

УДК 621:771.23–022.532:621.785

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ\*

**Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А.,  
Гущина М.С., Алексеев Д.Ю.**

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

Контролируемая прокатка представляет собой высокотемпературную обработку низколегированных сталей и предполагает определенное сочетание основных параметров деформации: температуры нагрева и конца прокатки, суммарной степени деформации, скорости охлаждения и т.д.

Одной из главных ее целей является получение в готовом прокате мелкозернистой структуры, обеспечивающей одновременное сочетание прочностных и пластических свойств.

В процессе контролируемой прокатки можно выделить несколько стадий, но наиболее продолжительной из них, особенно при прокатке небольших партий листов, является такой процесс, как межфазное охлаждение, поскольку падение температуры раската на спокойном воздухе варьируется в пределах 0,1-2 °С/с. Соответственно, на его остывание до температуры начала чистовой стадии прокатки приходится достаточно большой промежуток вре-

---

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

мени от 2 до 25 мин. В промышленных условиях это обстоятельство существенно снижает общий темп прокатки и соответственно, производительность прокатного стана в целом.

Целью работы является оценка возможности снижения времени, затрачиваемого на процесс межфазного охлаждения. Исследования проводились при помощи физического моделирования на базе научно-производственного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ», а также ЦКП НИИ «Наносталей».

В составе оборудования ООО «Термодеформ-МГТУ», представленного на **рис. 1**, имеются две плавильные печи вместимостью по 30 и 60 кг, камерные печи для нагрева заготовок под прокатку, гидравлический пресс для моделирования черновой стадии прокатки усилием 250 т, реверсивный стан 500 «ДУО», а также установка ускоренного контролируемого охлаждения (УКО).



**Рис. 1. Состав оборудования научно-производственного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ»**

Была произведена выплавка опытной партии слитков трубной стали. Слитки резали на две части, а последующую термомеханическую обработку проводили следующим образом: одну часть охлаждали водой, а другую - на воздухе. Тем самым исключалось влияние колебаний химического состава на результаты эксперимента.

Обжатие слитков осуществляли по режимам контролируемой прокатки с применением гидравлического пресса, приведенным в **табл. 1**. Предварительно слитки высотой 300 мм были нагреты до температуры  $1210 \pm 10$  °С, температура начала первой фазы составляла  $1150 \pm 60$  °С, а конца –  $1030 \pm 60$  °С. Слитки осаживались до 167 мм и дальнейшее межфазное охлаждение до температуры  $830 \pm 20$  °С проводили двумя путями: на воздухе и с использованием моделирующей установки УКО, комбинированной с прессом, представленной на **рис. 2**. Далее слитки обжимали до толщины 25,8 мм, температура конца второй стадии прокатки составляла  $820 \pm 15$  °С. Полученные раскаты подвергались ускоренному охлаждению в установке УКО до температуры  $585 \pm 15$  °С.

По результатам лабораторных исследований была определена возможность снижения времени, затрачиваемого на межфазное охлаждение со 180 до 13 с.

В дальнейшем был осуществлен раскрой полученных раскатов для проведения испытаний на ударный изгиб, ударную вязкость и ударный изгиб падающим грузом для определения количества (доли) вязкой составляющей. Результаты испытаний представлены в **табл. 2**.

Таблица 1

## Режимы деформации, межфазного охлаждения (МО) и УКО

Способ МО	Воздушное					Водяное				
	11	21	31	41	51	12	22	32	42	52
<b>№ слитка</b>										
<b>Высота, мм:</b>										
начальная	300					300				
после 1 фазы	167					167				
конечная	25,8					25,8				
<b>Температура, °С:</b>										
нагрева	1210±10					1210±10				
начала 1 фазы	1150±60					1150±60				
конца 1 фазы	1030±60					1030±60				
начала 2 фазы	830±20					830±20				
<b>Длительность МО, сек</b>	180	180	185	180	190	12	11	12	14	14
	<b>183</b>					<b>12,6</b>				
<b>Температура конца МО, °С</b>	840	835	840	820	815	850	820	825	835	840
	<b>830</b>					<b>834</b>				
<b>Длительность ускоренного контролируемого охлаждения, сек</b>	4	4	5	7	7	4	5	6	7	7
	<b>5,4</b>					<b>5,8</b>				
<b>Температура конца ускоренного контролируемого охлаждения, °С</b>	595	600	580	590	585	600	580	585	575	590
	<b>590</b>					<b>586</b>				



Рис. 2. Установка УКО, комбинированная с прессом

Таблица 2

## Средние значения испытаний образцов

Способ МО	Воздушное	Водяное
Доля вязкой составляющей в изломе при ИПГ (при -20 °С), %	100	100
Норма по API 5L/ISO3183	90%	
KCV <sup>-20</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	224,3	203,7
Норма по API 5L/ISO3183	>127,0	
KCU <sup>-60</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	207,2	212,2
Норма по API 5L/ISO3183	>78,0	

Промышленные испытания проводились на стане 5000 ОАО «ММК». С этой целью была произведена выплавка стали в объеме трех плавков с последующим получением слябов размерами 300x2600x4020 мм. После чего осуществляли перекаат слябов на раскаты с геометрическими размерами 25,8x4484x26722 мм. Прокатка производилась партиями по четыре раската. Промежуточное ускоренное охлаждение осуществлялось посредством дифференцированного включения секций установки ламинарного охлаждения по режимам, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

## Параметры межстадийного охлаждения в установке УКО

№ партии	Время межфазного охлаждения, сек	Производительность, т/час
Исходная производительность		145
1	1202	163,8
2	1144	166,5
3	101	165,9
4	989	173,2

В результате применения предложенной технологии было уменьшено время, затрачиваемое на охлаждение раската с 20 до 16,5 минут с соответствующим увеличением производительности на 10 т/час.

## Вывод

В результате проведенных исследований улучшена технология контролируемой прокатки, в частности, получены режимы межфазного охлаждения низколегированных сталей, позволяющие уменьшить время, требуемое для охлаждения раската. Фактическая длительность межфазного охлаждения по результатам лабораторных исследований уменьшилась в 14,5 раза, а по результатам промышленного опробования снижение времени составило 20 %. При этом показатели качества трубной стали удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним по показателям доли вязкой составляющей (100 %) и ударной вязкости (KCV<sup>-20</sup> 224,3 и 203,7 Дж/см<sup>2</sup>, KCU<sup>-60</sup> 207,2 и 212,2 Дж/см<sup>2</sup> при охлаждении на воздухе и в воде, соответственно).

## Список литературы

1. Разработка принципиальной технологической схемы производства наноструктурированного высокопрочного листового проката / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, М.С. Гущина, Г.А. Бережная, А.С. Кузнецова, П.А. Стеканов, Д.Ю. Алексеев // *Естественные и технические науки*. 2014. № 9-10. С. 328-334.
2. Анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, Г.А. Бережная, М.С. Гущина, А.С. Кузнецова, Д.Ю. Алексеев // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2014. № 2 (41). С. 19-28.
3. Основные виды и области применения стратегического высокопрочного листового проката / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, С.В. Денисов, А.С. Кузнецова, Г.А. Бережная, М.С. Гущина // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. № 4 (48). С. 41-44.
4. Эфрон Л.И., Морозов Ю.Д., Голи-Оглу Е.А. Исследование влияния температурно-деформационных режимов контролируемой прокатки на микроструктуру и механические свойства микролегированных сталей для газонефтепроводных труб большого диаметра // *Металлург*. 2011. № 1. С. 69-74.
5. Современные пути получения горячекатаного листа с особым сочетанием физико-механических свойств / В.М. Салганик, С.В. Денисов, П.П. Полецков, П.А. Стеканов, Г.А. Бережная, Д.Ю. Алексеев // *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 20. С. 169-173.
6. Салганик В.М., Полецков П.П., Артамонова М.О. и др., Научно-производственный комплекс «Термодеформ» для создания новых технологий // *Сталь*. 2014. №.4. С. 104-107.

УДК 669.018.58.017

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ\*

**Барышников М.П.<sup>1</sup>, Голубчик Э.М.<sup>1</sup>, Копцева Н.В.<sup>1</sup>,  
Ефимова Ю.Ю.<sup>1</sup>, Кузнецова А.С.<sup>1</sup>, Гитман М.Б.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>ФГБОУ «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», Россия

На сегодняшний день в качестве основы многофункциональных сплавов инварного класса выступают Fe-Ni композиции традиционных составов. Для повышения их прочностных свойств в научно-технической литературе предложено несколько направлений. Одно из них, активно развивающееся, заключается в упрочнении железо-никелевых и железо-никель-кобальтовых сплавов за счет введения различных легирующих и микролегирующих элементов, а также углерода [1-3].

В ФГБОУ ВПО «МГТУ» совместно со специалистами ПАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь) были разработаны высокопрочные инварные композиции, такие как 32НК,

---

\* 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» (задание № 11.1525.2014К от 18.07.2014).

32Н4К, 32Н5К, 34НУФ, 33Н3К и т.д. В рамках настоящего исследования была поставлена задача разработать два базовых типа многофункциональных сплавов: сплавы с минимальным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) и высокопрочные многофункциональные инварные сплавы ( $\sigma_b \geq 800-1000$  МПа). Сплавы первого типа должны иметь минимальное тепловое расширение ТКЛР  $\leq 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  в широком диапазоне температур ( $-70 - +100$  °С), повышенную твердость (выше, чем у 36Н), улучшенную обрабатываемость резанием и низкую температуру начала мартенситного превращения (ниже  $-80$  °С). ТКЛР сплавов второго типа должен быть близок к тепловому расширению керамики, кремния, пьезокерамики и тугоплавких стекол или, другими словами, находиться в диапазоне  $(2,5-7,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . При применении этих сплавов в ответственных изделиях повышенной точности, работающих в условиях, отличных от климатических, требуется сочетание комплекса свойств, а именно, основных: заданного ТКЛР, высокой прочности; дополнительных - коррозионной стойкости в условиях повышенной влажности и морского тумана, высокой добротности при механических колебаниях в диапазоне температур от  $-80$  до  $+150$  °С.

Базовая промышленная технология изготовления заготовок из указанных сплавов предусматривает следующие основные технологические стадии:

- металлургический передел, включающий подготовку шихтовых материалов, выплавку в вакуумной индукционной печи слитка и его последующую кристаллизацию;
- первичную термомодеформационную обработку кристаллизованного слитка;
- термомодеформационное наноструктурирование передельной заготовки;
- финишную обработку изделия, включающую, в том числе, комплексную термообработку (закалка, отпуск, стабилизирующий отжиг).

Учитывая, что значительную долю в технологии изготовления конечного изделия из многофункционального сплава занимают операции термообработки, был проведен комплекс исследований по изучению влияния различных режимов термической обработки на характер формирования физико-механических свойств и структуры многофункциональных сплавов из данных композиций.

Исследования проводились на сплавах со следующим химическим составом: Fe-(32-34) % Ni-(2-4) % Co-(0,1-0,2) % C. Данный состав был принят в качестве базового оптимального состава для многофункциональных сплавов с низким ТКЛР. В качестве базовых для разработки высокопрочных многофункциональных сплавов нового поколения были предложены химические композиции на основе системы Fe-Ni-C-V (Co; Mo).

Для исследования путем вакуумной индукционной плавки, последующей ковкой и сортовой прокаткой были изготовлены опытные образцы высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса на основе Fe-Ni с дополнительным легированием, химический состав которых представлен в **таблице**.

#### **Химический состав исследуемых высокопрочных многофункциональных сплавов на основе системы Fe-Ni-C**

Маркировка сплава	Массовая доля элементов, %					
	Fe	Ni	Co	V	C	Mo
30НК	ост.	30,5	5,0	-	0,6	-
32НФК	ост.	32,1	4,5	1,2	0,5	-
32НМ	ост.	33,2	-	-	0,60	3,40
34НФМ	ост.	34,7	-	1,0	0,40	2,30
32НФ	ост.	32,5	-	1,5	0,76	-

Термическая обработка образцов для получения заданного значения ТКЛР, механических свойств и стабилизации размеров заключалась в закалке от температуры  $1200$  и  $1250$  °С (с выдержкой в течение  $15$  мин), охлаждением в воде и в масле для максимального насыщения твердого раствора углеродом и карбидообразующими элементами и последующем

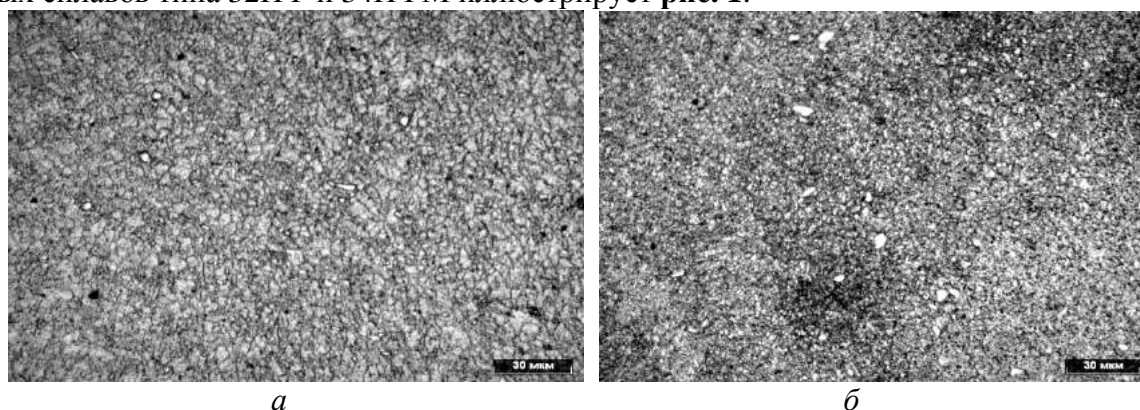
нагреве закаленных образцов до различных температур в диапазоне от 300 до 800 °С с выдержкой в течение 1 часа и охлаждением на воздухе.

Для металлографического анализа из образцов по стандартной методике были изготовлены микрошлифы с использованием запрессовки образцов в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Buechler.

Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергалась травлению в 4 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом. Для выявления качественных и количественных структурных особенностей поверхность микрошлифов была исследована на оптическом микроскопе Meiji Techno при увеличениях от 50 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO. Микроструктура при увеличениях более 1000 крат исследовалась методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) во вторичных и упруго отраженных электронах с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) проводился с использованием приставки к сканирующему микроскопу INCA Energy [4-7].

Физическое моделирование процессов термической обработки высокопрочных инварных композиций осуществлялось на исследовательском комплексе Gleeble 3500 на образцах диаметром 10 мм и длиной 80 мм в соответствии с разработанной методикой. Нагрев производился прямым пропусканием тока со скоростью до 10000 °С/с.

Характерную микроструктуру исследуемых сплавов в исходном состоянии на примере инварных сплавов типа 32НФ и 34НФМ иллюстрирует **рис. 1**.



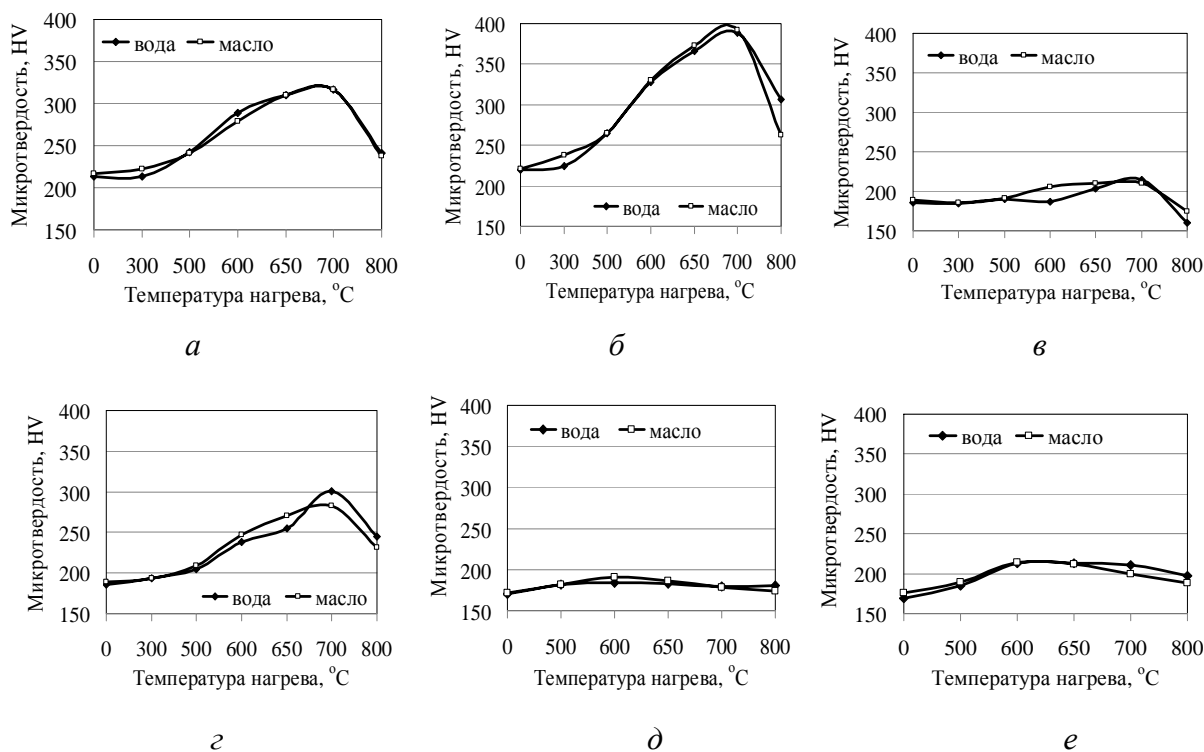
**Рис. 1. Микроструктура сплавов 32НФ (а) и 34НФМ (б) в исходном состоянии до термической обработки**

На **рис. 2** представлено изменение микротвердости при отжиге исследуемых инварных сплавов в зависимости от условий закалки.

Установлено, что механическая прочность закаленных сплавов практически не изменяется при повышении температуры закалки. При нагреве закаленных сплавов наблюдалось выделение дисперсных частиц карбидной фазы, размер которых составляет от 60 до 200 нм, причем частицы такого размера сохранялись и вплоть до температуры 800 °С. Наиболее активное выделение таких частиц отмечалось при нагреве в интервале температур 650-700 °С: 650 °С – в кобальтсодержащем сплаве 32НФК и 700 °С – в сплавах 34НФ и 32НФМ, не содержащих кобальта.

Процесс выделения дисперсной карбидной фазы сопровождается возрастанием твердости и прочности до температур 650-700 °С.

При дальнейшем повышении температуры нагрева до 800 °С во всех случаях происходило снижение твердости на 40-70 НВ, что связано, очевидно, с процессом коагуляции упрочняющих частиц.

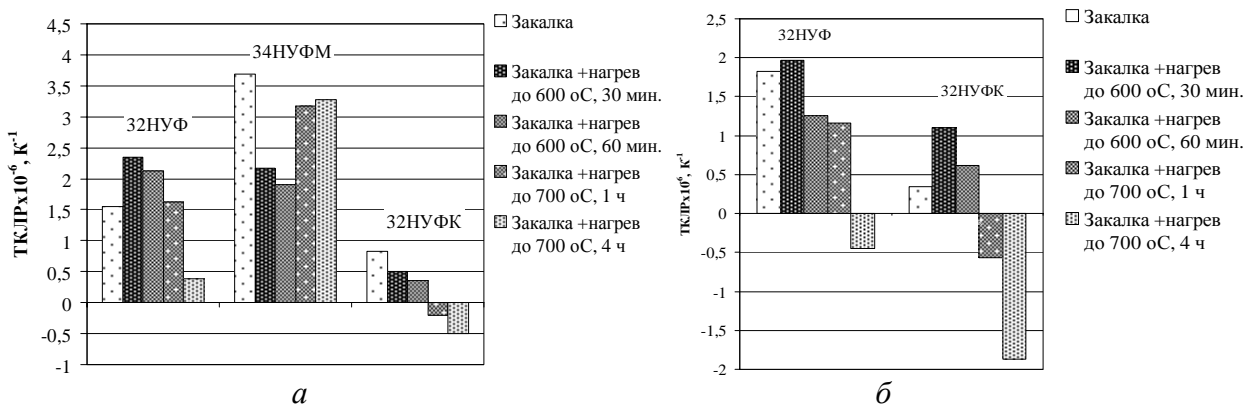


**Рис. 2. Изменение микротвердости при отжиге сплавов: 32НФ (а, б), 34НФМ (в, г), 32НФК (д, е), закаленных от 1200 °С (а, в, д) и 1250 °С (б, г, е)**

Твердость после отжига сплавов 32НФ и 34НФМ, закаленных от более высокой температуры - 1250 °С, оказалась примерно на 80 HV, а прочность – примерно на 300-400 МПа больше, по сравнению со свойствами сплавов, закаленных от более низкой температуры - 1200 °С.

Следует отметить, что при нагреве в диапазоне от 300 до 800 °С, в отличие от сплавов системы Fe-Ni-C, в исследованных сплавах систем Fe-Ni-C-V, Fe-Ni-C-V-Mo, Fe-Ni-C-Co-V процессы выделения графита не регистрируются, несмотря на достаточно большое содержание углерода (~ 0,4-0,8 %).

Влияние термической обработки на ТКЛР исследованных сплавов, полученных при разных режимах термической обработки при испытании опытных плавок, иллюстрирует рис. 3.



**Рис. 3. Влияние термической обработки на ТКЛР исследованных сплавов: а – закалка от 1200 °С; б – закалка от 1250 °С**



В сплаве 32НФК, закаленном от температуры 1200 °С, при всех исследованных режимах термической обработки при увеличении температуры нагрева или времени выдержки при отжиге происходит снижение ТКЛР, что свидетельствует об интенсивном выделении карбидов ванадия. При повышении температуры закалки до 1250 °С твердый раствор, благодаря более полному растворению карбидной фазы, в большей степени насыщается углеродом, в результате чего при последующем нагреве до температуры 600 °С уход атомов углерода из твердого раствора оказывает более существенное влияние на уменьшение удельного объема, что приводит к увеличению ТКЛР. При увеличении времени выдержки и повышении температуры нагрева происходит интенсивное уменьшение ТКЛР в результате продолжения выделения дисперсных карбидов ванадия.

Определено, что в процессе отжига при 600 °С сплава 34НФМ, закаленного от 1200 °С, происходит снижение ТКЛР, очевидно, в результате образования карбидов ванадия. При повышении температуры отжига до 700 °С и увеличении времени выдержки наблюдается увеличение ТКЛР, что объясняется преобладанием объемных изменений, связанных с уходом углерода началом ухода атомов молибдена из твердого раствора при этих условиях. Было установлено, что при исследованных режимах термообработки сплавы 32НФ и 34НФМ показали низкое значение ТКЛР ( $< 3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).

### Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что на сплавах системы Fe-Ni-C и с добавками карбидообразующих элементов (V, Mo) могут быть получены весьма высокие значения механических свойств:  $\sigma_{0,2} \leq 1000 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_B \leq 1200 \text{ МПа}$  при сохранении низких значений ТКЛР ( $< 2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). По уровню прочностных свойств эти сплавы в 2-4 раза превосходят многофункциональные сплавы инварного класса (типа 36Н), выпускаемые промышленностью в настоящее время. Получение таких многофункциональных сплавов и изделий из них в условиях крупного металлургического предприятия открывает широкие перспективы по развитию на качественно новом уровне наукоемких отраслей промышленности, включая высокотехнологичные производства.

### Список литературы

1. S.V. Grachev, M.A. Filippov, V.I. Chermenskii, M.D. Kharchuk, I.V. Konchakovskii, A.S. Zhilin, V.V. Tokarev, S.M. Nikiforova. Thermal properties and structure of cast carbon-containing invar and superinvar alloys after two-stage annealing // Metal Science and Heat Treatment, Vol. 55, No.3-4, July, 2013. Pp. 124-128.
2. Разработка композиций многофункциональных сплавов инварного класса с расширенными эксплуатационными характеристиками / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, А.С. Кузнецова, Ю.Л. Родионов, И.А. Кормс, А.В. Касаткин, Д.П. Подузов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 3 (43). С. 62-66.
3. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 5 (45). С. 33-35.
4. Особенности формирования комплекса физико-механических свойств в высокопрочных инварных сплавах / Н.В. Копцева, Э.М. Голубчик, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин, Е.М. Медведева, Ю.Л. Родионов, И.А. Кормс // Сталь. 2014. № 4. С. 97-99.
5. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / М.В. Чукин, Э.М. Голуб-

чик, Г.С. Гун, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин, А.Н. Матушкин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 43–47.

6. Исследование режимов термической обработки при производстве высокопрочных инварных сплавов нового поколения / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, Э.М. Голубчик, Д.М. Чукин, Е.М. Медведева // Металлург. 2014. № 4. С. 97-101.

7. Микрорентгеноспектральный анализ неметаллических включений в высокопрочных инварных сплавах, полученных при использовании различных вариантов раскисления / Н.В. Копцева, Д.М. Чукин, Ю.Ю. Ефимова М., Дабала, Э.М. Голубчик // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1 (49). С. 65-69.

УДК 621.011.015

## **СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В РОССИИ**

**Зайдес С.А.**

*Национальный исследовательский «Иркутский технический университет», Россия*

Важнейшими задачами машиностроения на современном этапе являются повышение долговечности и надежности металлических изделий, их эффективности и конкурентоспособности на мировом рынке; снижение массы изделия благодаря применению конструктивно-технологических способов повышения несущей способности деталей машин.

Как правило, причинами поломок деталей при эксплуатации служат процессы, протекающие в поверхностном слое: концентрация напряжений, развитие микротрещин, выгорание легирующих элементов, разупрочнение, изнашивание, окисление, перераспределение остаточных напряжений и т. д. Поверхностный слой детали в условиях эксплуатации подвергается наиболее сильному механическому, тепловому, магнитно-электрическому, световому и другим воздействиям. Поэтому в нашей стране и за рубежом повышение точности и надежности машин достигается технологическими методами, обеспечивающими значительное увеличение прочности и износостойкости рабочих поверхностей деталей.

В последние годы в передовых развитых странах во всех отраслях промышленности все чаще применяют методы, основанные не на резании материалов, а на пластическом деформировании в холодном состоянии поверхностного слоя металлических деталей машин, что определяется существенными преимуществами метода обработки давлением, по сравнению с методом обработки резанием. Сочетание достигаемых при обработке давлением низкой шероховатости поверхности с гарантированным упрочнением поверхностного слоя обеспечивает высокие эксплуатационные свойства деталей: повышение твердости поверхностного слоя металла, его износостойкости, предела текучести и особенно предела усталости. Именно эти достоинства в сочетании с высокой экономичностью и простотой осуществления технологического процесса практически в любых производственных условиях определили быстрое развитие и широкое внедрение в производство методов отделочно-упрочняющей обработки, среди которых поверхностное пластическое деформирование (ППД) является одним из наиболее экономичных и эффективных методов упрочнения. ППД позволяет полнее реализовать потенциальные свойства конструкционных материалов в реальных деталях, особенно в деталях сложной формы.

Прошло около ста лет с того момента, когда вместо острого резца стали использовать радиусные гладилки для сглаживания шероховатых поверхностей. За это время ППД развилось как самостоятельный вид отделочно-упрочняющей обработки. Разработаны различные

методы ППД, разнообразные конструкции рабочих инструментов и технологического оснащения, выполнен большой объем исследовательских работ по оценке качества упрочненных деталей, их надежности, долговечности и декоративных свойств.

Существенный вклад в разработку теоретических основ процессов ППД внесли научные школы российских ученых: «Вибротехнология» (основатель и научный руководитель - А.П. Бабичев); «Виброударное упрочнение» (основатель - Ю.Р. Копылов); «Электрические методы обработки в авиакосмической отрасли» (научный руководитель - В.П. Смоленцев); «Механика поверхностного слоя как научная основа проектирования упрочняющих технологических процессов ППД» (основатель и руководитель - В.М. Смелянский); «Математическое моделирование источников тепла при выглаживании поверхностей тел качения» (научный руководитель - Я.И. Барац).

Динамично развивается научная школа по обработке ППД нефтеромыслового оборудования и трубопроводной арматуры под руководством В.К. Кузнецова. Научно-педагогическую школу по разработке прогрессивных технологических процессов формообразования и упрочнения поверхностей деталей машин абразивным, лезвийным, деформирующим, упрочняющим инструментами и гидрорезанием сформировал и возглавляет Ю.С. Степанов. Крупные научные школы в данном направлении развивались под руководством Д.Д. Папшева, Ю.Г. Проскуракова, А.М. Розенберга, О.А. Розенберга, Э.В. Рыжова, Ю.Г. Шнейдера и других ученых.

Методы ППД развиваются и совершенствуются благодаря созданию новых научных направлений. Так, например, А.Г. Суслов является создателем учения об инженерии поверхности деталей машин, основателем нового научного направления – технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений.

Теоретические экспериментальные исследования А.П. Бабичева и руководимого им коллектива аспирантов, докторантов и сотрудников обеспечили разработку теоретических основ методов виброволновой обработки, основанных на использовании колебаний широкого спектра частот. При этом разработаны пути развития комбинированных процессов обработки и покрытий на основе воздействия физических эффектов магнитного, теплового и энергетических полей, химических реакций.

В.Ю. Блюменштейн – автор и руководитель научного направления «Механика технологического наследования на стадиях жизненного цикла ответственных деталей машин», в рамках которого разработана теория формирования и трансформации состояния поверхностного слоя на стадиях резания, поверхностного пластического деформирования и последующего усталостного нагружения. Под руководством С.А. Зайдеса успешно развивается научное направление «Технологическая механика осесимметричных процессов поверхностного пластического деформирования».

Научные интересы Кузнецова В.П. сосредоточены на актуальных проблемах создания технологий наноструктурирования поверхностного слоя конструкционных материалов методами интенсивной пластической деформации. Разработаны теоретические основы технологии наноструктурирующего выглаживания поверхностного слоя конструкционных сталей методом, реализуемой интенсивной пластической

Основные научные интересы М.Е. Попова направлены на решение проблем по снижению материалоёмкости и себестоимости производства машин на основе моделирования и оптимизации конструкторско-технологических структур,

По результатам проводимых научных исследований профессором В.А. Лебедевым разработаны энергетические основы упрочняющей обработки деталей динамическими методами ППД, принципы проектирования эффективных технологий упрочнения на основе формирования рациональной структуры операции. С позиций энергетического подхода предложены расчётно-аналитические модели прогнозирования характеристик качества поверхностно-

го слоя, модифицированного в процессе ППД и их влияние на повышение эксплуатационных свойств деталей машин.

Научные исследования профессора О.А. Горленко направлены на управление параметрами качества поверхности деталей машин, определяющими такие их эксплуатационные свойства, как износостойкость и контактная жёсткость при поверхностном пластическом деформировании на основе учёта закономерностей влияния технологической наследственности, под которой понимается влияние вида предварительной обработки и исходного состояния поверхности на качество и эксплуатационные свойства деталей машин после ППД.

Научной деятельностью профессора Ю.С. Степанова в рамках направления ППД является технологическое обеспечение качества ответственных деталей машин и механизмов для повышения их эксплуатационных характеристик, создание новых способов и инструментов для отделочно-упрочняющей обработки, расширение технологических возможностей и повышением эффективности существующих методов ППД.

Профессор А.В. Тотай в своих исследованиях показал, что алмазное выглаживание является наиболее эффективным методом финишной обработки ответственных поверхностей деталей машин, способным на разработанной теоретической базе получать оптимальные значения размера зерна и плотности дислокаций для различных конструкционных материалов и заданных условиях эксплуатации.

Профессор Ю.Г. Шнейдер - создатель нового в науке и технике направления - регуляризации микрорельефа поверхностей, которое позволяет повышать качество и надёжность машин и приборов. Под руководством Ю.Г. Шнейдера разработан ГОСТ «Поверхности с регулярным микрорельефом», а на его основе - проект международного стандарта. Новое направление получило признание за рубежом, в частности, в США, о чем свидетельствовал американский журнал «Прецизионная техника».

Последняя монография ученого «Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом» переведена и издана Оксфордским издательством в Англии. Дело своего учителя продолжают ученые Польши и Болгарии, которые в свое время окончили аспирантуру вуза под руководством Ю.Г. Шнейдера.

Область научных интересов профессора А.И. Болдырева – электрические и комбинированные методы обработки деталей с обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик. Он предложил технологическое решение проблемы обеспечения высокого уровня точности металлических деталей с одновременным достижением предельного значения эксплуатационного показателя – предела прочности изделий при многоцикловых нагружениях, свойственных высокоресурсным объектам ракетно-космической, авиационной и другой техники.

Профессор Л.А. Хворостухин разработал основы технологии поверхностного упрочнения деталей алмазным выглаживанием. Им оценены технологические возможности и даны обоснования по применению методов упрочнения деталей авиадвигателей (электроискровое легирование, ионноплазменное напыление, химико-термическая обработка деталей из титановых сплавов, различные кинематические разновидности выглаживания и вибровыглаживания, виброударная обработка алмазным индентором).

Профессор П. С. Чистосердов – один из немногих теоретиков и практиков науки, занимавшихся ППД фасонных поверхностей деталей машин ротационными инструментами. В его работах получила дальнейшее развитие общая теория формообразования таких поверхностей, методика проектирования обрабатываемых устройств и создание на её основе новых схем и способов накатывания вплоть до их практического применения на производстве.

ППД применяют не только для отделочно-упрочняющей обработки, но и для восстановления изношенных поверхностей (научный руководитель направления В.А. Забродин), правки маложестких деталей (В.Н. Емельянов, С.А. Зайдес, Г.В. Мураткин и другие), для формообразования изделий из листовых материалов (А.Е. Пашков), сборки трубчатых заго-

товок (А.Н. Исаев), получения декоративных поверхностей (Ю.Г. Шнейдер, М.Е. Попов) и других технологий.

Для совершенствования известных методов отделочно-упрочняющей обработки, создания новых способов упрочнения и внедрения их на производстве созданы научно-производственные подразделения. Так, в Новосибирском государственном техническом университете под руководством Х.М. Рахмянова организован центр электрофизических технологий, осуществляющий научно-инновационную деятельность в области лазерных, плазменных, электрохимических, ультразвуковых технологий. В Иркутском национальном техническом университете под руководством А.Е. Пашкова и при его непосредственном участии были разработаны и внедрены в производство технология и опытно-промышленное оборудование для формообразования панелей крыла самолетов ТУ-204, ТУ-334, БЕ-200. В лаборатории новых методов обработки, руководимой Л.И. Маркусом, разработаны, исследованы и внедрены в промышленность новые перспективные методы ППД (алмазное выглаживание, обдувка микрошариками), а также прогрессивные способы объемной вибрационной и электрохимической обработки. Под руководством Н.М. Бобровского в Тольяттинском государственном университете создано малое инновационное предприятие «Техномаш+» для внедрения наукоемких технологий на промышленных предприятиях. В.П. Кузнецов создал инновационное предприятие «Сенсор», серийно выпускающее оборудование и запасные части для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Потребителями продукции являются более 170 предприятий России и ближнего зарубежья.

Работы, направленные на разработку и внедрение методов поверхностного пластического деформирования, выполняются на ООО НПК «Станкопроект», которое успешно реализовало свои инновационные разработки на ряде предприятий России, включая АО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти), ОАО «АВТОВАЗагрегат» (г. Тольятти), ОАО «Завод малолитражных автомобилей», КАМАЗ (г. Набережные Челны), ОАО «Тяжпромарматура» (г. Алексин), ОАО «ДААЗ» (г. Димитровград), ООО «Самараволгомаш» (г. Самара), ОАО «Автоагрегат» (г. Кинешма), ООО «Авто-Раут» (г. Кинешма), АО «Самеко» (г. Самара), ООО «М-Драйв» (г. Тольятти), ООО «ЛабИнТех» (г. Москва) и др.

Научные разработки профессора В.П. Кузнецова активно внедряются на предприятиях Кургана и области. Ежегодно с применением методов поверхностного пластического деформирования на резбонакатном оборудовании и наноструктурирующего выглаживания на многоцелевых станках изготавливается свыше 4 миллионов шпилек диаметром от 6 до 72 мм и более 100 тысяч шпинделей задвижек, детали погружных нефтяных насосов и т.п.

НИОКР выполняются в созданной Бобровским Н.М. лаборатории «Автомобильные технологии». Совместно с ТГУ создано малое инновационное предприятие «Техномаш+» для трансфера наукоемких технологий на промышленные предприятия области, выполняющие работу при поддержке Фонда содействия развитию МП НТС. Результаты работ внедрены на ФГУП «НПО «Техномаш+», ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ОАО «КамАЗ» и др.

Содержащиеся в работах профессора М.М. Матлина научные результаты нашли применение на ряде предприятий машиностроения и энергетики: Волгоградском ПО «Баррикады», ООО «Волгоградский завод буровой техники», Краснодарском опытном заводе «Нефтемашремонт», Хабаровскэнерго, Мосэнергоремонт, Спецэнергоремонт (Волгоград), Киевэнергоналадка, опытном заводе сварочного оборудования института электросварки им. Е.О. Патона (Киев), ЦНИИпроектстальконструкции (Москва) и др.

Представленный обзор деятельности специалистов показывает роль отделочно-упрочняющих процессов ППД при повышении прочности, надежности, износостойкости изделий машиностроения. Отделочно-упрочняющая обработка занимает устойчивую позицию среди технологий, обеспечивающих выпуск продукции высокого качества.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ МАРКИ 12Х18Н10Т ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Железков О.С.<sup>1</sup>, Малаканов С.А.<sup>1</sup>, Ширяев О.П.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

В связи с интенсивным развитием в последние годы атомной энергетики, нефтяной и газовой промышленности, авиа- и судостроения, медицинской техники и других отраслей народного хозяйства, наметилась тенденция роста производства и потребления крепежных изделий из коррозионностойких сталей и сплавов [1].

В настоящее время крепеж из нержавеющей сталей, в основном, изготавливается методами обработки резанием, что связано с низкой производительностью и значительными потерями металла в стружку.

Изготовление крепежных изделий из коррозионностойких сталей штамповкой обеспечивает повышение производительности и экономию металла. Однако специфические свойства нержавеющей сталей (структура, структурные превращения при нагреве и пластическом деформировании, интенсивное упрочнение при холодной деформации, налипание на инструмент и др.) создают определенные трудности при штамповке и требуют проведения специальных исследований.

Нержавеющие стали при холодной пластической деформации интенсивно упрочняются, что приводит к росту усилий на технологический инструмент и снижению его стойкости, а также возникновению микро- и макротрещин, вследствие исчерпаемости ресурса пластичности [2-4].

В многопереходных процессах штамповки с целью снятия наклепа и повышения пластичности сталей возможно использование промежуточной термообработки полуфабрикатов. При этом повышение штампуемости существенно зависит от режимов термообработки и, в первую очередь, от температуры нагрева. Однако нагрев в некотором критическом интервале температур может привести к образованию карбидов хрома и снижению коррозионной стойкости.

С целью определения рациональных режимов термообработки полуфабрикатов, при которых обеспечивается повышение пластических свойств сталей без снижения коррозионной стойкости, проведена серия экспериментов. При оценке влияния температуры отжига на сопротивление деформации эксперименты проводились в следующей последовательности. Калиброванная сталь марки 12Х18Н10Т диаметром 11,65 мм подавалась в отрезное устройство холодновысадочного автомата АВ-192I, где отрезались заготовки длиной 65 мм. На разрывной машине ЗД-100 (Германия) с помощью специального приспособления, обеспечивающего соосность матрицы и пуансона, штамповались цилиндрические головки. При фиксированном усилии деформирования  $P_1 = 300$  кН формировались головки с высотой  $H_1 = 9,0$  мм и диаметром  $D_1 = 18,4$  мм. Затем заготовки с отштампованными головками подвергали термообработке, включающей нагрев в муфельной печи МП-2УМ до различных температур в диапазоне 400-850 °С, выдержку в течение 30 мин и охлаждение на воздухе. После чего головки термообработанных заготовок подвергались повторной штамповке с фиксированным усилием  $P_2 = 300-320$  кН. При этом замерялись высота  $H_2$  и диаметр  $D_2$  повторно высаженных головок. Результаты экспериментов представлены в **таблице**.

### Результаты экспериментов

$P_1$ , кН	$H_1$ , мм	$D_1$ , мм	$t$ , °C	$P_2$ , кН	$H_2$ , мм	$D_2$ , мм
300	9,0	18,4	400	300	8,9	18,5
			600	300	8,8	18,6
			700	300	8,6	18,8
			770	300	8,2	19,3
			850	320	7,3	20,4

Для оценки снижения сопротивления деформации использовалась известная формула Губкина - Зибеля для определения удельного давления при осадке цилиндра [5]

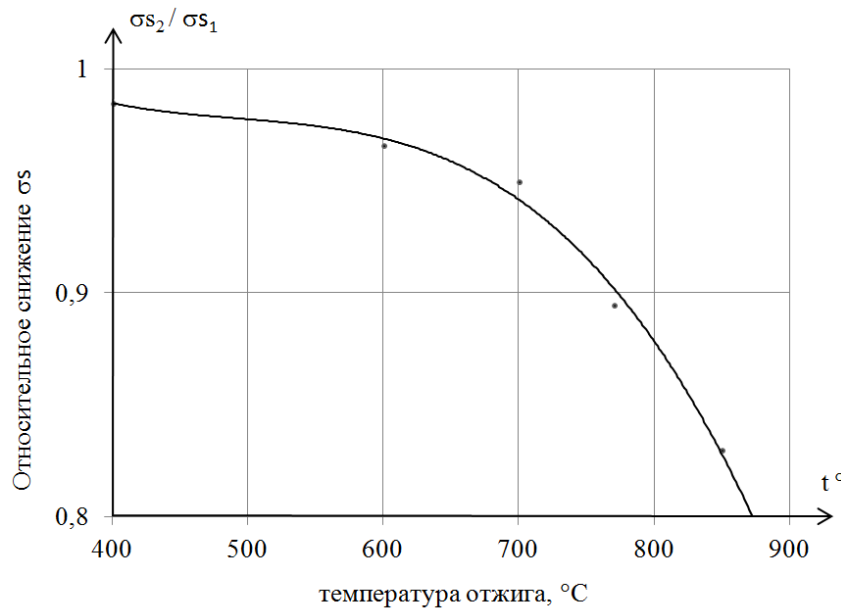
$$p = \sigma_s \left(1 + \frac{\mu D}{3H}\right), \quad (1)$$

где  $\sigma_s$  - сопротивление деформации (предел текучести);  $D$ ,  $H$  – диаметр и высота деформируемого цилиндра;  $\mu$  – коэффициент трения.

Используя зависимость (1), определяли относительное снижение сопротивления деформации термообработанных образцов

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{s_2}}{\sigma_{s_1}} = \frac{\left(1 + \frac{\mu \cdot D_1}{3 \cdot H_1}\right) \cdot D_1^2 \cdot P_2}{\left(1 + \frac{\mu \cdot D_2}{3 \cdot H_2}\right) \cdot D_2^2 \cdot P_1}. \quad (2)$$

По результатам выполненных расчетов построен график, характеризующий зависимость относительного снижения сопротивления деформации от температуры отжига (см. рисунок).



**Влияние температуры промежуточного отжига на сопротивление деформации холоднодеформированной стали марки 12X18H10T**

Анализ полученных результатов показал, что при температурах отжига 800-850 °С, сопротивление деформации  $\sigma_s$  снижается на 15-20 %.

### Список литературы

1. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы. М.: Metallurgy, 1980. 208 с.
2. Кроха В.А. Кривые упрочнения металлов при холодной пластической деформации. М.: Машиностроение, 1968. 131 с.
3. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1973. 224 с.
4. Богатов А.А., Межеричкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1984. 144 с.
5. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. М.: Metallurgy, 1960. 458с.

УДК 621.771.25

## К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПОТОКЕ ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА

**Шубин И.Г., Шубина Н.И.**

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

Разработка технологии прокатки металла с заданным комплексом свойств обычно осуществляется на базе выполнения обширных экспериментальных лабораторных и промышленных исследований. Для массового внедрения в практику рациональных технологических процессов производства прокатной продукции требуемый объем экспериментов становится настолько значительным, что его реализация является затруднительной. Как следствие, появляется необходимость разработать аналитический метод расчета оптимальных параметров технологического процесса прокатки, обеспечивающих получение заданного комплекса свойств готового проката и изделий из него [1].

Важнейшей технической характеристикой прокатного стана, во многом определяющей условия реализации устойчивого процесса производства, является температурный режим прокатки. Температурный режим тесно взаимосвязан с деформационным и скоростным режимами и определяется конструктивными особенностями стана: схемой расположения основного технологического оборудования, техническими характеристиками его основных агрегатов - нагревательных печей, рабочих клетей и вспомогательного оборудования.

Компактное расположение рабочих клетей и высокие скорости прокатки обусловили специфический характер изменения температуры прокатываемой полосы по длине современных непрерывных среднесортных, мелкосортных и мелкосортно-проволочных станов. В черновых группах клетей и части промежуточных групп происходит значительное снижение температуры прокатываемого металла (от 1100 – 1200 до 900 – 950 °С), а затем температура раската начинает расти за счет деформационного разогрева [2]. В связи с этим, особую роль в формировании характеристик качества готового проката играет характер изменения температурного поля, а также абсолютные значения температуры металла в поперечном и продольном его сечениях, что особо заметно не только при производстве легированных марок стали и стали специального назначения, но и высокоуглеродистых, используемых в метизной промышленности.



К высокоуглеродистой катанке для канатов и металлокорда, помимо требований к особой чистоте стали по вредным примесям и остаточным элементам, предъявляются особые требования к таким показателям качества, как: равномерная микроструктура, минимальная глубина обезуглероженного слоя и комплекс механических свойств, сочетающий высокую прочность и пластичность.

Достижение требуемого уровня перечисленных показателей качества, а также стабильности их воспроизводства в потоке стана обеспечивается соответствием температурно-деформационным режимам прокатки и предъявляет высокие требования к точности регулирования температурой раската по длине стана [3, 4].

Поэтому создание математической модели температурного режима мелкосортно-проволочного стана, учитывающей специфику его основного и вспомогательного оборудования, технические характеристики его основных агрегатов и другие факторы, является задачей, имеющей научное и прикладное значение.

Одна из составляющих задач моделирования заключалась в определении факторов, оказывающих существенное влияние на показатели качества, решение которой проводилось на основе построения статистических (регрессионных) моделей [5, 6]. Разработанные модели позволили определить не только значимые факторы, но и позволили оценить влияние этих факторов на показатели качества.

Как показал анализ результатов этих исследований [5], можно выделить факторы, которые оказывают влияние на все показатели качества - это углеродный эквивалент и фактор скорости охлаждения раската, а также факторы, влияющие на отдельные показатели качества, такие как температура раската на различных участках прокатного стана. Включение указанных факторов в математическую модель позволяет достаточно полно учитывать особенности технологического процесса, повышая её эффективность.

Анализ работ выявил некоторые очевидные несоответствия реальному процессу в рамках изучаемого вопроса. Так, например, принимается, что температурное поле в заготовке до деформации однородно, т.е. заготовка на выходе из печи имеет во всех точках своего поперечного сечения одинаковую температуру, равную среднемассовой.

Однако проведенные нами и другими авторами расчеты [7] показали, что на самом деле нагрев заготовок в печи сопровождается значительной неравномерностью температур в поперечном сечении, что, безусловно, играет значительную роль при дальнейшей прокатке и в построении математической модели температурного поля проката.

Условно процесс создания предполагаемой модели может быть разбит на три этапа. На первом этапе производилось моделирование нагрева исходной заготовки в нагревательной печи. На втором этапе рассматривался процесс прокатки от выдачи металла из печи до завершения деформации, т.е. до выхода металла из чистой клетки стана. На третьем - рассматривается охлаждение проката после чистой клетки в потоке на линии ускоренного охлаждения.

Принимая в качестве исходной температуру нагрева под прокатку, последовательно от прохода к проходу (от клетки к клетке), определяется изменение (падение или рост) температуры от влияния слагаемых теплового баланса. Уравнение температурного баланса раската при этом имеет вид

$$t_0 - \left( t_k + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \Delta t_{i,j} \right) = 0, \quad (1)$$

где  $t_0$  - исходная температура нагрева заготовок (температура начала прокатки);  $t_k$  - температура конца прокатки;

$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \Delta t_{i,j}$  - сумма всех изменений температуры раската за счет

изменения  $i$  статей теплового баланса на  $j$ -ом участке прокатного стана;  $m$  - количество расчетных участков, на которые условно делится прокатный стан;  $n$  - количество статей температурного баланса.

Тепловые воздействия на металлы при прокатке периодически повторяются в виде интенсивного охлаждения поверхностных слоев полосы при контакте с валками с одновременным нагревом ее за счет выделения внутренней теплоты деформации и теплоты внешнего трения, а также в виде охлаждения полосы на воздухе при движении её в межклетьевых промежутках.

Сумма всех изменений температуры раската складывается из следующих составляющих:

- приток тепла: за счет работы, затрачиваемой на пластическую деформацию металла; тепловыделения на контакте металла валками, в связи с преодолением сил трения, а также увеличение температуры поверхности раската за счет экзотермических реакций окисления при движении раската по стану;

- потери тепла: в окружающее пространство за счет излучения; отдача тепла омывающему полюсу воздуху за счет конвекции; охлаждение прокатываемого металла за счет попадания на его поверхность охлаждающей валки жидкости и отдача тепла посредством теплопроводности при соприкосновении с валками.

Обобщая воздействие указанных составляющих можно отметить, что первая группа вызывает практически мгновенный скачок температуры в зеве валков, а вторая – падение температуры полосы при её продвижении через стан.

Решение задачи описания теплового состояния раската с выбранным видом граничных и начальных условий было реализовано численным методом на основе уравнения теплопроводности (2) с использованием ЭВМ

$$c_i(T_i)\rho_i(T_i)\frac{\partial T_i(x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i(T_i)\frac{\partial T_i(x, y, \tau)}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_i(T_i)\frac{\partial T_i(x, y, \tau)}{\partial y}\right). \quad (2)$$

Используя конечно-разностную схему в декартовой системе координат, получили:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k}{\Delta \tau}; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x}\right) &= \frac{\partial \lambda_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \\ &= \frac{\lambda_{i+1,j}^k - \lambda_{i,j}^k}{\Delta x} \cdot \frac{T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k}{\Delta x} + \lambda_{i,j}^k \frac{T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i+1,j}^k}{\Delta x^2}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial y}\right) &= \frac{\partial \lambda_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_i \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \\ &= \frac{\lambda_{i+1,j}^k - \lambda_{i,j}^k}{\Delta y} \cdot \frac{T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k}{\Delta y} + \lambda_{i,j}^k \frac{T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i+1,j}^k}{\Delta y^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

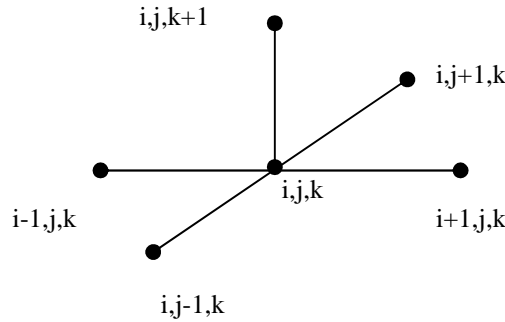
Начальное условие запишем в виде

$$T_{i,j}^0 = f(i, j, 0).$$

Тогда после упрощения решение уравнения (2) примет вид

$$T_{i,j}^{k+1} = \frac{\Delta\tau}{c_{i,j}^k \rho_{i,j}^k} \cdot \left[ \frac{\lambda_{i+1,j}^k (T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) + \lambda_{i,j}^k (T_{i-1,j}^k - T_{i,j}^k)}{\Delta x^2} + \frac{\lambda_{i,j+1}^k (T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k) + \lambda_{i,j}^k (T_{i,j-1}^k - T_{i,j}^k)}{\Delta y^2} \right] + T_{i,j}^k. \quad (6)$$

Шаблон схемы представлен на **рис. 1**.



**Рис. 1. Шаблон явной конечно-разностной схемы для решения уравнения теплопроводности**

В плоскости поперечного сечения заготовки введем сеточную функцию  $T(i,j,k)$  со значениями температуры в каждой точке. Требуется при известных значениях сеточной функции на  $k$ -ом слое найти значение на  $k+1$ -м слое. Выполним замену частных производных конечными разностями для ближайших слоев по формулам. Тогда граничные условия примут вид:

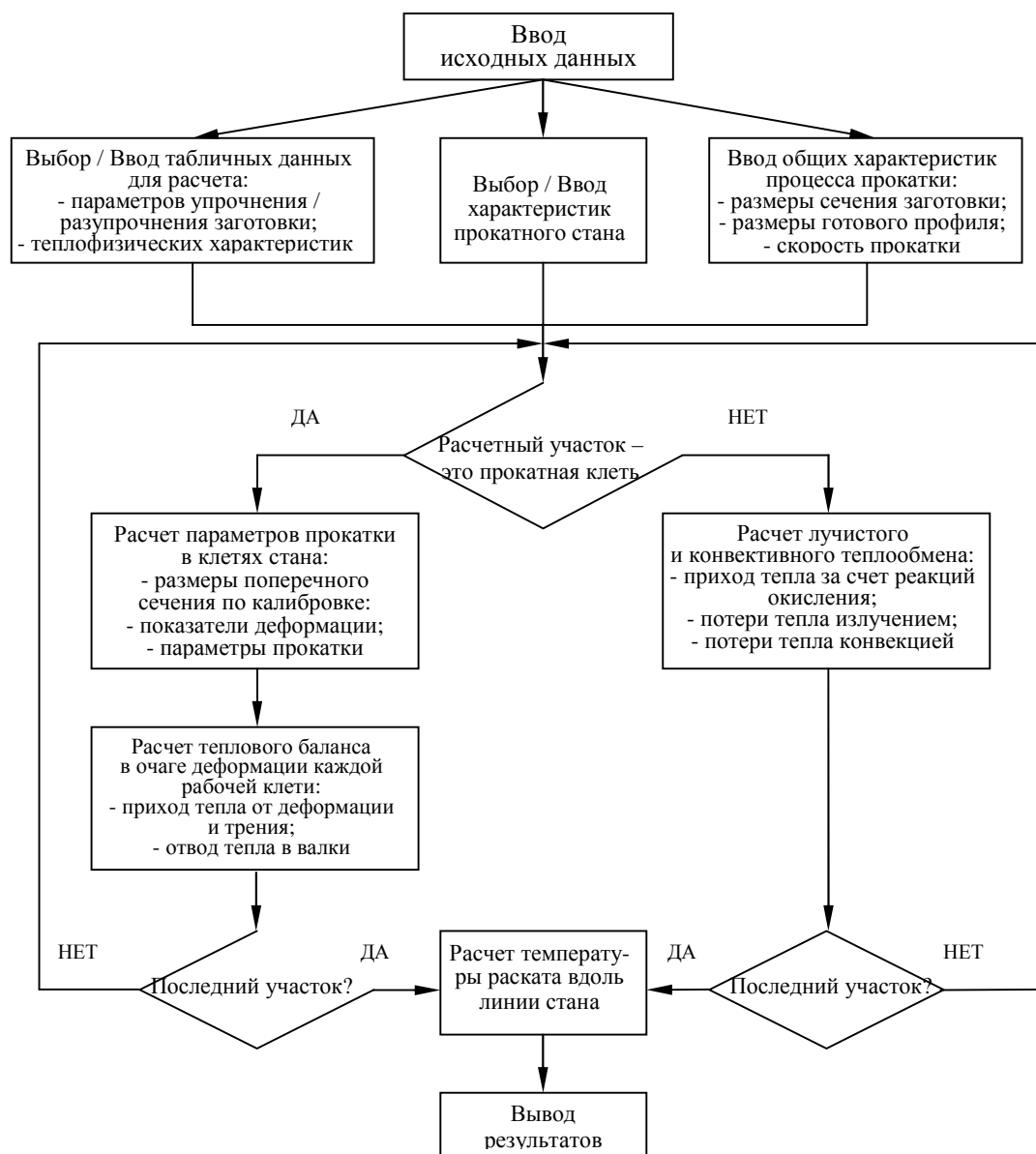
$$T_{0,j}^{k+1} = T_{1,j}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot \alpha_M^{k+1}}{\lambda(T_{0,j}^{k+1})} (T_{1,j}^{k+1} - U_M^{k+1}); \quad T_{n,j}^{k+1} = T_{n-1,j}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot \alpha_M^{k+1}}{\lambda(T_{n,j}^{k+1})} (T_{n-1,j}^{k+1} - U_M^{k+1});$$

$$T_{i,0}^{k+1} = T_{i,1}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot \alpha_M^{k+1}}{\lambda(T_{i,0}^{k+1})} (T_{i,0}^{k+1} - U_y^{k+1}); \quad T_{i,n}^{k+1} = T_{i,n}^{k+1} - \frac{\Delta x \cdot \alpha_M^{k+1}}{\lambda(T_{i,n}^{k+1})} (T_{i,n}^{k+1} - U_y^{k+1}). \quad (7)$$

На основе разработанной математической модели и её алгоритма расчета создан программный продукт по расчету температурного режима прокатки на сортовом стане.

Разрабатываемая математическая модель позволяет учитывать как физические свойства прокатываемого металла, так и технологические особенности процесса прокатки (количество и продолжительность междеформационной паузы, историю предшествовавшего паузе деформирования, условия контакта и т.д.).

Алгоритм определения температуры металла по длине стана представлен на **рис. 2**.



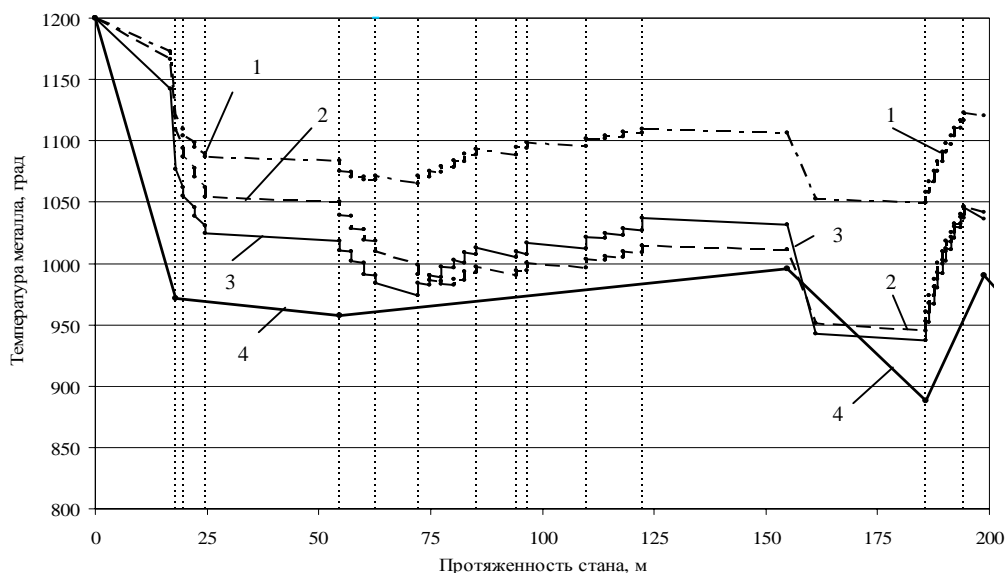
**Рис. 2. Алгоритм определения температуры металла по длине стана**

Цикличность процессов изменения температуры раската в потоке (прирост и отдача тепла) и количество проводимых операций, определяемых конструкцией прокатного стана и условиями деформирования, позволяет варьировать значения температур в реперных точках (точки контроля температуры раската в потоке стана). Знание температуры раската, и величины ее изменения, в контролируемых точках по длине стана позволяет прогнозировать значения показателей качества катанки и при необходимости проводить корректирующие действия. Решение обратной задачи позволяет корректировать температурно-деформационный режим прокатки, что обеспечивает получение заданных значений показателей качества.

В основе математических моделей применяют программное средство, которое предназначено для использования в операционной системе Windows в интегрированной среде визуального программирования Borland C++ Builder 5, на языке программирования C++, с использованием объектно-ориентированного подхода.

Проверка адекватности математической модели, с использованием разработанного программного средства автоматизированного расчета, проводилась путем сравнения расчетных данных и данных, полученных на действующем мелкосортно-проволочном стане.

При выполнении расчетов (рис. 3) были приняты некоторые допущения: теплоемкость, плотность и коэффициент излучения приняты в соответствии с фактической температурой металла; на поверхности металла предполагается наличие слоя окалины, что определяет наличие теплового сопротивления в зоне контакта полоса – валок; глубина проникновения тепла экзотермических реакций окисления в тело полосы не превышает  $(0,20-0,30)h$ .



**Рис. 3. Температурный режим прокатки катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 70 при расчете по различным вариантам разработанной методики:**  
1 – расчет по варианту № 1; 2 – расчет по варианту № 2;  
3 – расчет по варианту № 3; 4 – данные промышленного эксперимента

Адекватность разработанной модели проверена методом сравнения экспериментальных данных о температуре раската в линии конкретного прокатного стана с её значениями, полученными на основе расчетов с использованием разработанной модели. В данном случае вариант расчета изменения температуры № 3 показал наилучшую сходимость, при этом максимальная разность расчетных и экспериментальных данных составляет 8 %.

Полученная погрешность результатов расчета позволяет использовать разработанную модель для прогнозирования температуры раската в условиях конкретного производства. Представляется целесообразным дальнейшее совершенствование полученной модели в направлении учёта изменения значений температуры в поперечном и продольном направлении раската. Это позволит повысить точность модели, а также управлять качеством готовой продукции.

В целом, разработанная модель может быть применена в качестве инструмента аналитического исследования режимов прокатки, как на действующих прокатных станах, так и при проектировании новых.

### Список литературы

1. Осадчий В.А., Герман О.Ю. Моделирование процесса сортовой прокатки с использованием информационных технологий // Известия вузов. Черная металлургия. 2001. № 7. С. 39-42.

2. Деформационное тепловыделение в очаге деформации рабочей клетки прокатного стана / С.М. Жучков, А.П. Лохматов, Л.В. Кулаков, Э.В. Сивак // Известия вузов. Черная металлургия. 2001. № 5. С. 23-29.

3. Особенности автоматизированного проектирования режимов прокатки на ШСГП при решении задачи обеспечения стабильности контрольных параметров процесса и полосы / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, А.О. Попов, В.И. Шурыгин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4 (40). С. 42-45.

4. Румянцев М.И., Шубин И.Г., Митасов В.С., Насонов В.В. Сравнение методов прогнозирования деформационного упрочнения металла при автоматизированном проектировании режимов холодной прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2 (38). С. 39–42.

5. Шубин И.Г., Румянцев М.И., Некрасов С.В., Шубина Н.И., Попов А.О. К вопросу оценки влияния технологических факторов процесса прокатки на стане 170 ОАО «ММК» на показатели качества канатной катанки // Обработка сплошных и слоистых материалов. Вып. 36: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 7–14.

6. Шубин И.Г., Румянцев М.И., Бородина Е.Н. Оценка результативности и стабильности производства грузоподъемных канатов // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 6. С. 46-48.

7. Выдрин В.Н., Федосиенко А.С., Крайнов В.И. Процесс непрерывной прокатки. М.: Металлургия, 1970. 456 с.

УДК 004.42:669

## **РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НОВЫХ СТАНДАРТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ»**

**Валько Д.В.**

*Южно-Уральский институт управления и экономики, г. Челябинск, Россия  
Южно-Уральский многопрофильный колледж, г. Челябинск, Россия*

### **Постановка проблемы**

Одной из важных проблем в области профессионально-технического образования является отсутствие по значительной части технических специальностей современных проблемно-ориентированных учебно-исследовательских комплексов сопряженное с недоступностью для образовательных организаций специализированного отраслевого программного обеспечения, в том числе отсутствием его бесплатных учебных аналогов. Целью работы является анализ требований и разработка программного продукта, ориентированного на использование студентами среднего профессионального образования по специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» для приобретения ими профессиональных компетенций, необходимых работнику сферы металлургической промышленности.

### **Результаты**

Сформулированы критерии и требования к программным решениям в области обучения технологическим процессам обработки металлов давлением, выполнен анализ наиболее пригодных программных продуктов, в том числе систем автоматизированного проектирования и моделирования, отмечены их достоинства и недостатки. Разработан программный продукт для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением в части

расчета калибровочных систем по ходу прокатки по методике Б.П. Бахтинова, М.М. Штернова, А.И. Целикова, который может быть рекомендован для эффективного обучения студентов основам настройки и функционирования сортовых прокатных станов и выполнения соответствующих расчетов.

### **Практическая значимость**

Разработанный программный продукт отличается от аналогов простым пошаговым интерфейсом и возможностью интеграции в образовательный процесс по специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» среднего профессионального образования. Позволяет выполнять технологические расчеты по системам калибровки: ящичные калибры; ромб-квадрат; овал-квадрат; шестиугольник-квадрат; овал-круг; овал-ребровый овал. Предусматривает возможность редактирования и корректировки данных в процессе вычислений, построения таблиц результатов вычислений с возможностью редактирования и сохранения. Строит диаграммы основных технологических параметров (температура, абсолютное обжатие и др.). Апробация и внедрение программного продукта осуществляется с использованием практических данных о работе прокатных станов ОАО «ЧМК» в ГБПОУ «Южно-Уральский многопрофильный колледж», г. Челябинск.

### **Основная часть**

На современном этапе развития информационных технологий применение в обучении программных комплексов дает возможность студентам наглядно представить результат своих действий, определить этап в решении задачи, на котором сделана ошибка, и исправить ее. Вместе с тем обучение специальностям технического профиля, в соответствии с современными стандартами, обладает рядом особенностей, которые обуславливают насущную необходимость применения информационных технологий и программных комплексов, касающихся профессиональной деятельности.

В частности, основные профессиональные компетенции фиксируют необходимость не только поверхностного ознакомления студентов с оборудованием, но и участия в проектировании, контроле и исследовании сложных технологических систем, оборудования и процессов.

В рамках специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» обучают студентов для работы в металлургической промышленности. Современные прокатные цехи оснащены большим количеством сложных машин, механизмов, агрегатов, транспортных средств, участвующих в непрерывных и бесконечных процессах производства.

Для обеспечения непрерывности процесса и получения высококачественной продукции на прокатных станах и других агрегатах установлены системы автоматического контроля и управления. Разумеется, студенты должны иметь представление о данном оборудовании и программном обеспечении.

Поскольку технологическое оборудование обработки металлов давлением является весьма сложным, дорогостоящим и опасным, проблема соответствия требованиям стандартов образования может быть разрешена путем создания и внедрения в образовательный процесс программных комплексов моделирующих такое оборудование и технологические процессы.

Разрабатываемый программный комплекс должен быть ориентирован на использование студентами среднего профессионального образования по специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» для приобретения ими профессиональных компетенций, необходимых работнику сферы металлургической промышленности, прежде всего, таких как [1]:

–рассчитывать показатели и коэффициенты деформации обработки металлов давлением (ПК 3.4);

–рассчитывать калибровку рабочего инструмента и формоизменение выпускаемой продукции (ПК 3.5);

–осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства (ПК 3.7);

–применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением (ПК 3.9).

В этой связи, очевидно, что реализация подобных компетенций, не обходится без применения современных вычислительных программных продуктов, в том числе сугубо отраслевого назначения. Таки образом, можно сформулировать ряд требований к программным решениям такого уровня [2]:

1) моделирование технологических процессов с учетом основных характеристик оборудования;

2) возможность выполнения технологических построений и расчетов в условиях приближенных к реальной производственной деятельности;

3) удобный интерфейс, предоставляющий возможность студенту сфокусироваться на решаемой профессиональной задаче;

4) интеграция моделей и расчетов в образовательные и программные системы образовательного учреждения.

Использование промышленных программных комплексов при обучении, как правило, сводится к изучению непосредственно самих программных комплексов, а не той технологии, для автоматизации которой они предназначены. Очевидно, что обучение проектируемому процессу, а не системе проектирования должно осуществляться в «облегченной» версии промышленного варианта.

Успешное освоение основ настройки прокатных станов, как основного элемента специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением», невозможно без применения моделирующих программ, имеющих высокую точность описания параметров технологических процессов и позволяющих, без значительных материальных и временных затрат, производить исследование этих процессов [3].

В процессе обучения перед студентами ставится задача по разработке технологии получения готового профиля в жестко заданных рамках (состав и расположение оборудования с известными паспортными характеристиками, параметрами заготовки и др.). В данном случае студенту следует произвести необходимые расчеты и сделать выводы о возможности реализации поставленной задачи в условиях реального производства.

Одной из основных задач, возникающих при разработке и проектировании технологии, является расчет калибровки технологического инструмента. Использование для решения данной задачи рабочих программ и расчетных алгоритмов имеет практическую ценность для инженерно-технического персонала и является одним из элементов автоматизации инженерного труда [4].

В рамках настоящего исследования нами выполнен анализ наиболее известных программных продуктов, в том числе систем автоматизированного проектирования (САПР) и моделирования, применяемых, в том числе и в области обработки металлов давлением (**см. таблицу**). Как таковые, специализированные современные САПР в области проектирования технологических процессов обработки металлов давлением находятся, как убедительно показано в [5, 6], на стадии разработки и апробации, то есть не могут быть адаптированы к требованиям образовательного процесса в настоящее время. В этой связи, нами были проанализированы следующие основные программные пакеты, в той или иной мере используемые, как на производстве, так и в образовательной деятельности (**см. таблицу**):



1) APM Winmachine – САПР, используемая в машиностроении, включающая последние достижения вычислительной математики, математического программирования и экспериментальных решений;

2) КОМПАС – САПР, предоставляющая возможность построения трехмерных моделей и оформления документации в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и СПДС;

3) SolidWorks – САПР, позволяющая проектировать инженерные сооружения в трех измерениях;

4) AutoCad – САПР, которая содержит в себе необходимые элементы черчения и 3D моделирования;

5) Autodesk 3ds Max – полнофункциональная программная система для создания и редактирования трехмерной графики и анимации.

Для объективной оценки программных пакетов нами предложен следующий набор критериев:

- возможность учета и моделирования технических характеристик оборудования;
- возможность моделирования технологического процесса;
- возможность конструирования оборудования;
- эргономика и простота использования для не специалиста;
- возможность проведения учебных экспериментов;
- возможность интеграции в учебный процесс;
- взаимодействие с другими программными пакетами;
- применение в профессиональной деятельности.

### Анализ программных пакетов

Наименование программного продукта	Моделирование технических характеристик оборудования			Моделирование технологического процесса			Возможность проведения учебных экспериментов	Возможность интеграции в учебный процесс		
	3D	Схематическое	В виде расчетов	3D	Схематическое	В виде расчетов		Эргономика и простота использования для неспециалиста	Работа с другими программными пакетами, экспорт/импорт из широкоприменяемых форматов	Возможность применения в профессиональной деятельности
APM WinMachine	+	+	+	+	+	+	+			+
КОМПАС-3D	+	+		+	+		+	+	+	+
SolidWorks	+	+					+	+	+	+
AutoCAD	+	+	+	+	+	+	+		+	+
3DS MAX	+						+		+	

Проанализированные программные решения в основном являются пакетами для автоматизированного проектирования. В этой связи можно сказать, что все программные продукты предоставляют возможности построения трехмерных моделей оборудования в целом или его компонентов, а также позволяют выполнять проектные расчеты в соответствии со стандартами.

Однако возможности проектирования не охватывают комплексы оборудования и не позволяют моделировать непосредственно технологический процесс обработки металлов давлением, что является одним из ключевых критериев. В результате, становится возможным лишь фрагментарное моделирование и анимация отдельных элементов и сборок.

В основном программные продукты являются дорогостоящими, требовательными к комплектации компьютера, а также весьма сложными, т.е. требуют специальных знаний. Кроме того, использование данных программ в учебной и профессиональной деятельности связано с необходимостью разработки множества проектных шаблонов.

Таким образом, можно сказать, что данные программные пакеты могут применяться для целей моделирования оборудования, однако, практически не подходят для выполнения комплекса расчетов и моделирования самого технологического процесса обработки металлов давлением. Это приводит к необходимости разработки специального программного продукта решающего данные задачи.

В числе основных задач, которые должен решать такой продукт, можно выделить, прежде всего, возможность проведения учебных экспериментов и интеграции в учебный процесс, удобную работу с другими программными пакетами, достаточную приближенность к профессиональной деятельности при простоте интерфейса.

Прямыми аналогами такого рода программного продукта являются:

1. «Сорт-про» – программный комплекс для проектирования и анализа технологии сортовой прокатки [7], разработанный НПО «Доникс», г. Донецк. Данный программный продукт предназначен для оперативного моделирования, проектирования и анализа основных технологических параметров процесса прокатки в интерактивном режиме. Авторами осуществлена апробация в условиях производства на стане 150 ЗАО «ММЗ».

Структурно программа выполнена в виде модулей, каждый из которых выполняет определенную функцию. Программный продукт содержит модули для генерации модели стана, определения начальных параметров, проектирования калибровки (рис. 1), проектирования монтажей калибров, расчета параметров и вывода результатов.

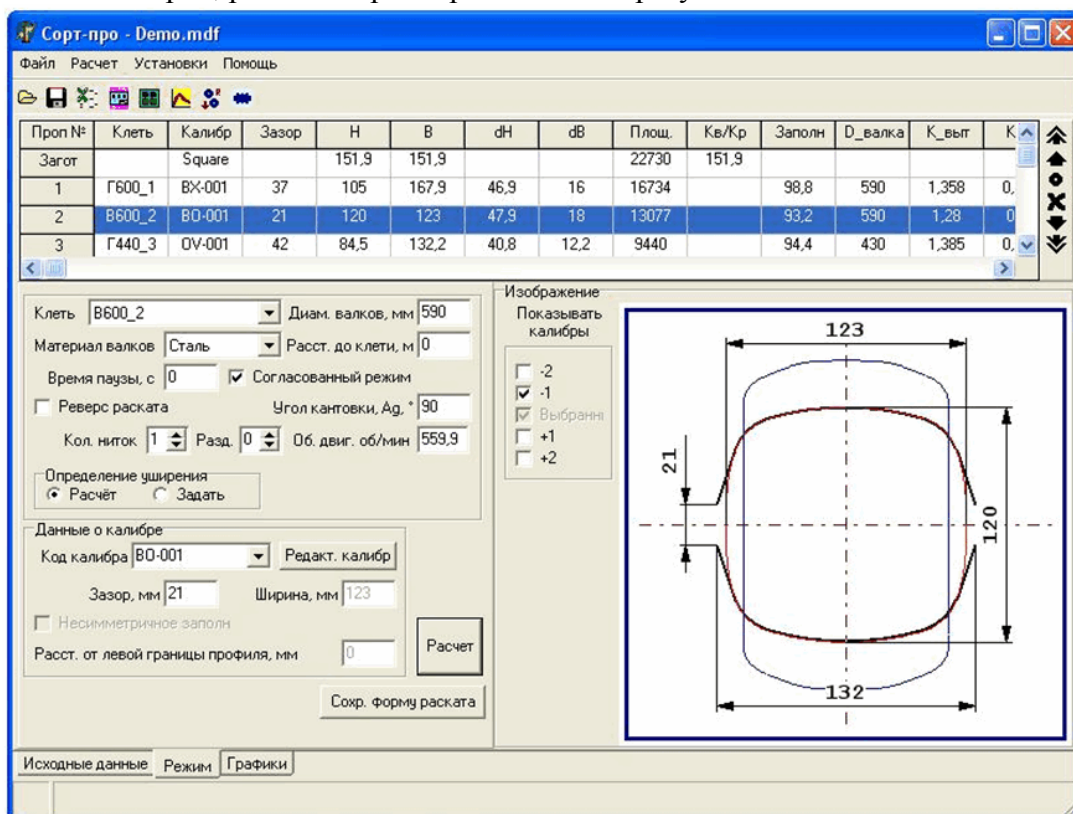


Рис. 1. Окно модуля проектирования калибровки «Сорт-про»

Достоинствами данного программного продукта, с точки зрения заявленных выше критериев, является ориентация на проектировщиков прокатных станов, разработчиков технологии прокатки, технологов прокатных цехов и калибровщиков, а также возможность построения и экспорта графиков, в том числе сохранения расчетных данных в формате Microsoft Excel.

Недостатком программного продукта, с точки зрения применения в среднем профессиональном образовании, можно признать сложность работы, обусловленную множеством параметров и необходимостью проектирования технологии с нуля, а также отсутствие в явном виде поддержки базовых калибровочных систем, которые изучаются на втором курсе обучения. В числе косвенных недостатков также можно упомянуть непрозрачность методик расчета, платность программного продукта при отсутствии демо-версии поставки. К сожалению, при всех достоинствах, на сегодняшний день, рассматриваемый программный продукт недоступен широкому пользователю.

2. «Тренажер настройки сортовых прокатных станов» – Данный программный продукт предназначен для изучения основ настройки прокатных валков станов, прокатки простых сортовых профилей. Программа разработана на базе ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ) и ориентирована на технологов сортовых прокатных станов. Кроме того, данная программа является современным аналогом более ранних разработок в области моделирования и проектирования технологических процессов прокатки того же коллектива авторов [8]. К сожалению, не опубликованы в открытой печати сведения об апробации программного продукта, однако последняя версия продукта интегрирована в учебный комплекс [9], включающий анимированные и интерактивные образовательные модули. В программе допускается выбор типа стана, количества клетей, схем прокатки, исходных температурных и скоростных параметров, характеристики приводов клетей и др.

В числе недостатков данной реализации программного продукта, следует обозначить непрозрачность методики расчета, возможность работы с ограниченным числом простых калибров (ящичные и овальные), невозможность импорта/экспорта расчетных данных и графиков. Можно также упомянуть сравнительное неудобство интерфейса (рис. 2) при высокой стоимости программного продукта, а также необходимость обеспечения функционирования и сохранности ключа защиты для каждого пользователя (а в составе учебного комплекса – сохранности учётных данных). Для функционирования программного продукта необходим .NET Framework 4.5 и от 850 до 2000 Мб доступного пространства на жестком диске.

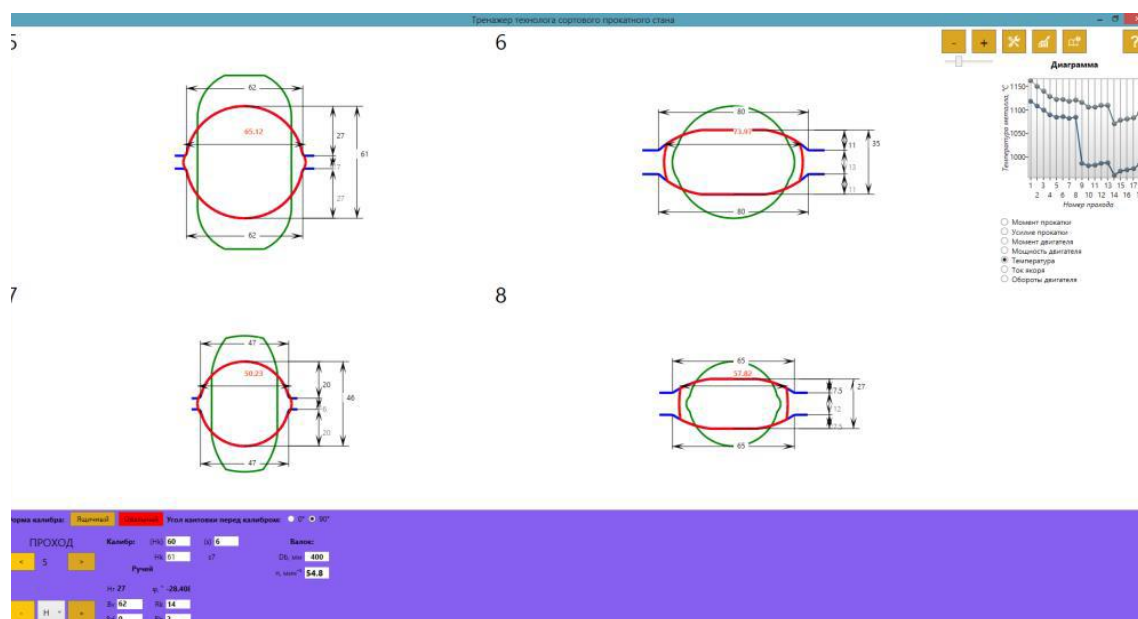


Рис. 2. Рабочая область программы «Тренажер настройки сортовых прокатных станов»

Таким образом, анализ существующих решений predeterminedил необходимость разработки нового программного продукта, для применения, в образовательном процессе среднего профессионального образования начиная со второго курса обучения.

Разработанный нами программный продукт «CalcRoll» [10] предназначен для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением в части расчета калибровочных систем по ходу прокатки по методике Б.П. Бахтинова, М.М. Штернова, А.И. Целикова и может быть рекомендован для эффективного обучения студентов основам настройки и функционирования сортовых прокатных станов и выполнения соответствующих расчетов.

Отличается от аналогов простым пошаговым интерфейсом и возможностью интеграции в образовательный процесс по специальности 22.02.05 «Обработка металлов давлением» среднего профессионального образования. Позволяет выполнять технологические расчеты заданного числа проходов по системам калибровки: ящичные калибры; ромб-квадрат; овал-квадрат; шестиугольник-квадрат; овал-круг; овал-ребровый овал. Предусматривает возможность редактирования и корректировки данных в процессе вычислений, построения таблицы результатов вычислений с возможностью редактирования и сохранения. Строит диаграммы основных технологических параметров (температура, абсолютное обжатие и др.).

В основу разработанного программного продукта положен принцип «Мастер» (англ. wizard, «волшебный помощник») — это инструмент повышения автоматизации выполнения пошаговых операций, помогающий пользователю быстро и наглядно осуществить интерактивную функцию в графическом интерфейсе программы, которая представляет собой последовательно сменяющиеся друг друга диалоговые окна для выполнения определённой задачи, которую можно разбить на этапы (шаги). На сегодняшний день, «мастера» стали неотъемлемой частью многих популярных графических сред и приложений. Также и некоторые веб-приложения стали использовать подобный способ организации диалога с пользователем.

В нашем случае технология «Мастер» позволяет объединить множество расчетных параметров моделирования технологического процесса в единую цепочку шагов. Алгоритм расчета программы выполняется на основании введенных данных пользователем, либо загруженных ранее данных. Основные интерфейсные окна содержат автодополнение и контроль ввода данных пользователем (**рис. 3**).

В программном продукте есть возможность сохранения пользователем введенных данных, а также полученных при расчете программой в файл типа CSV, что обеспечивает интеграцию и экспорт/импорт в Microsoft Excel, Access и любые другие СУБД и САПР. Графики и диаграммы (**рис. 4**), полученные в ходе работы с программой, могут быть экспортированы в формат JPEG.

Отдельным достоинством данного программного продукта с точки зрения интеграции в образовательный процесс можно признать использование опубликованных технологий, методик расчетов и общепринятых обозначений параметров. Программный продукт выполнен в среде Microsoft Visual Studio 2012 C++, поддерживает всю линейку операционных систем Windows, комплектуется руководством пользователя и для образовательных целей распространяется бесплатно.

Апробация и внедрение программного продукта осуществляется с использованием практических данных о работе станов ОАО «ЧМК» в ГБПОУ «Южно-Уральский многопрофильный колледж», г. Челябинск на базе корпоративной автоматизированной системы управления ProCollege.

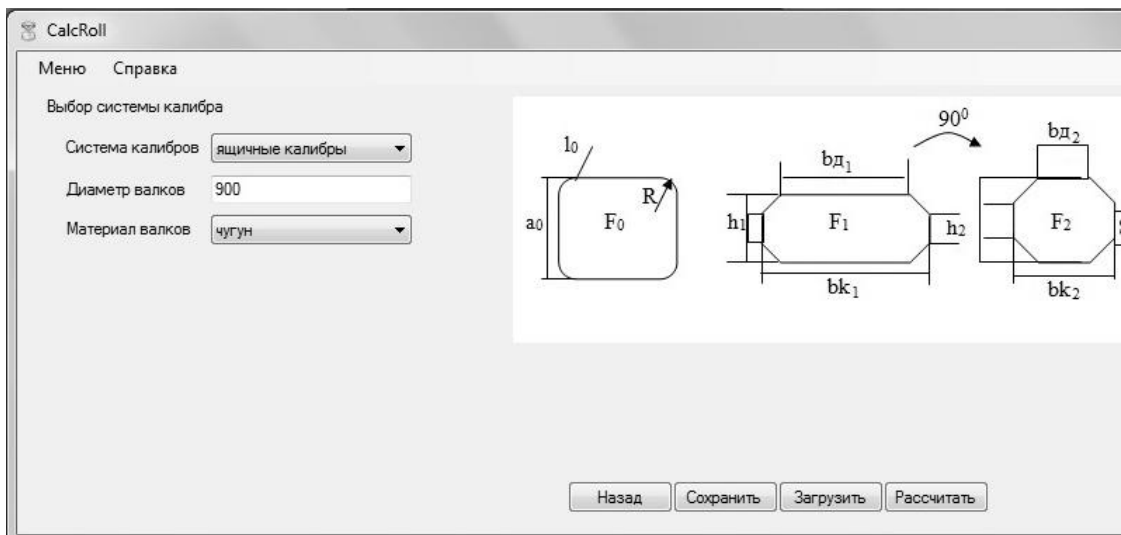
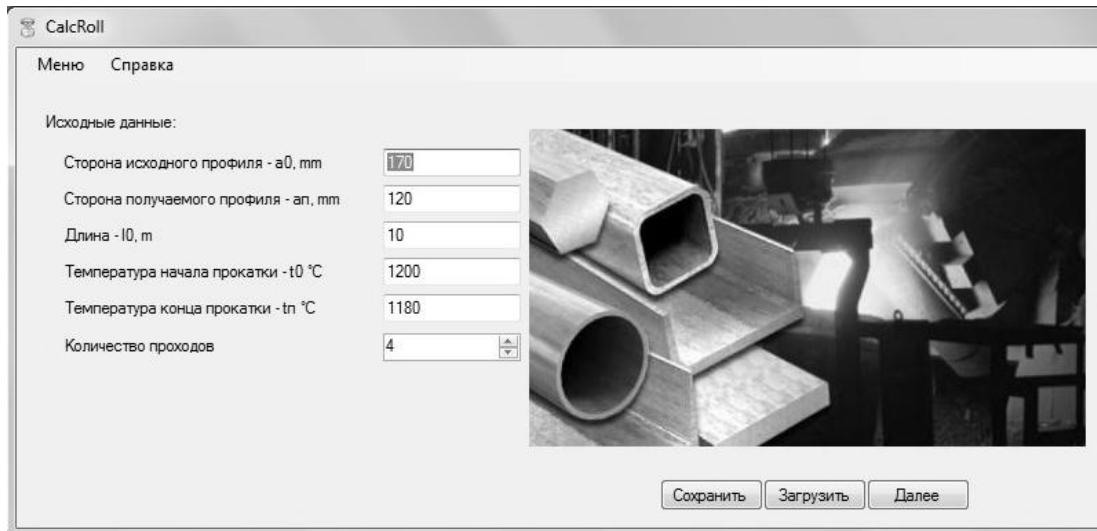


Рис. 3. Пошаговый ввод данных

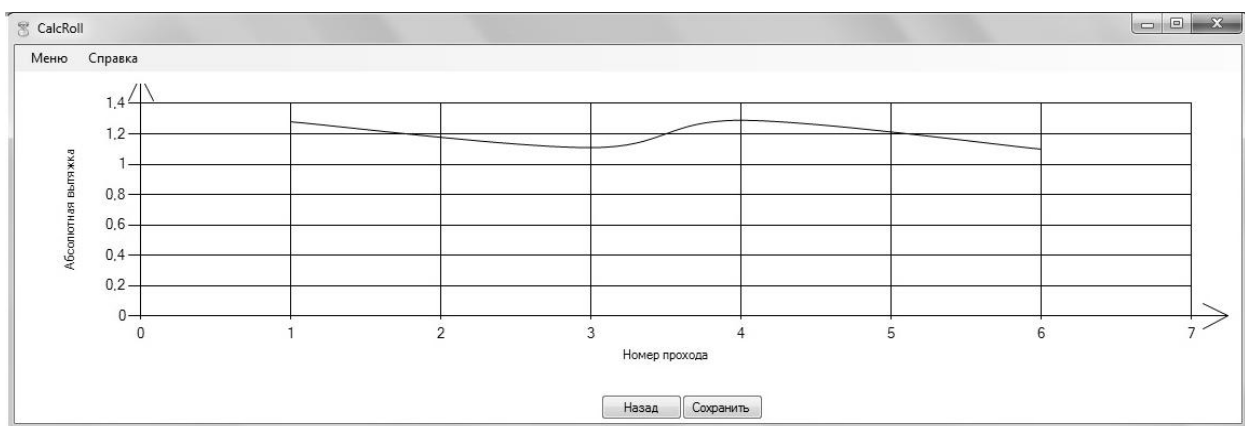


Рис. 4. Диаграмма абсолютной вытяжки

## Список литературы

1. Приказ Министерства образования и науки РФ от 21 апреля 2014 г. № 359 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 22.02.05 Обработка металлов давлением». ГАРАНТ, 2014. [www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70587428/](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70587428/) (дата обращения: 07.10.2015).
2. Применение современных систем автоматизированного проектирования для решения задач моделирования технологических процессов обработки металлов давлением / Д.В. Валько, В.И. Москвина // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых: сборник трудов III Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2014. 300 с. С. 86-89.
3. Валько Д.В. Проблема реализации профессиональных исследовательских компетенций в условиях стандартов нового поколения для среднего профессионального образования технического профиля / Проблемное обучение с применением информационных технологий в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты / Под ред. О.Р. Шефер: Сб. материалов регион. науч.-практич. семинара. 30 марта 2013 г. ЧОУ ВПО «Южно-Уральский институт управления и экономики» г. Челябинск. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2013. 267 с. С. 100-105.
4. Яковлева К.Ю. Использование системы варьируемых коэффициентов при расчете калибровки технологического инструмента станов холодной прокатки труб // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2012. № 39. С. 160-162.
5. Коновалов А.В. Концепция управления процессом проектирования в САПР технологических процессовковки // Программные продукты и системы. 2014. № 3. С. 126-131.
6. Исаев А.А., Бурдо Г.Б., Семенов Н.А. Интеллектуальные процедуры проектирования технологических процессов в интегрированных САПР // Программные продукты и системы. 2014. № 1. С. 60-64.
7. Солод В.С., Бенецкий А.Г., Мамаев А.Н. Программный комплекс для проектирования и анализа технологии сортовой прокатки /. <http://yurii.ru/ref10/particle-394880.html> (дата обращения: 07.07.2015).
8. Моделирование и проектирование технологических процессов прокатки / Ф.С. Дубинский, А.В. Выдрин, П.А. Мальцев, М.А. Соседкова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2007. № 13. С. 24-27.
9. Дубинский Ф.С., Соседкова М.А., Мальцев П.А. Учебно-исследовательский тренажер-имитатор процессов сортовой прокатки / // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2015. № 2. С. 120-125.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618937 от 20 августа 2015 г. «Программа для расчета калибровочных систем по ходу прокатки» / Валько Д.В., Москвина В.И.  
УДК 621.778

## РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОЛОКИ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ\*

**Харитонов В.А., Усанов М.Ю.**

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

Проволока находит самое широкое применение во всех отраслях промышленности. Она применяется в виде, как готовых изделий, так и полуфабрикатов для производства целого ряда метизов: стальные канаты, сварные и тканые сетки, гвозди, шурупы, детали машин, проволочно-кабельные изделия и др.

---

\* Работа проведена в рамках реализации госзадания по теме «Разработка технологии получения высокопрочных длинномерных профилей из материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях комбинирования процессов интенсивного пластического деформирования» (Задание № 11.1525.2014К от 18.07.2014).

Получение равномерной по сечению проволоки с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой является одним из эффективных способов повышения ее конкурентоспособности.

В ОМД для получения УМЗ структур получили распространение методы интенсивной пластической деформации, основными из которых являются равноканальное угловое прессование (РКУП), кручение под давлением (КД) и свободная ковка.

В последние 10 лет активно развиваются новые виды комбинированной пластической деформации с использованием сдвига (кручения) для получения нано- и субмикроструктурных материалов с высоким уровнем прочностных и пластических характеристик [1].

При кручении работа внешних сил, необходимая для деформации до разрушения различных материалов и отнесенная к единице массы деформируемого материала, в 3-5 раз выше, чем при растяжении. Возможность диссипировать больше энергии при кручении, чем при растяжении, объясняется двумя факторами: первый состоит в том, что при кручении реализуется схема деформации по типу простого сдвига, для которой характерно изменение угла между постоянным направлением действия максимальных касательных напряжений и направлением наибольшего удлинения; второй фактор заключается в том, что диссипация энергии деформации при кручении идет по пути генерации, перераспределения, накопления и аннигиляции дефектов кристаллического строения материала [1].

Поэтому для получения накопленной степени деформации  $e = 17-18$  процессом РКУП требуется 16 проходов, а кручением под давлением достаточно 0,5-1 оборота [2].

Основным способом ОМД, применяемым сегодня при производстве проволоки является волочение в монолитных волокнах. Способ хорошо изучен теоретически, обеспечен инфраструктурой (оборудование, инструмент, вспомогательные материалы и т.д.) [3]. В последние годы волочение прошло существенную модернизацию: коренным образом изменено оборудование, что дало возможность значительно повысить скорости волочения; большое внимание уделяется совершенствованию режимов деформации, повышению качества инструмента, технологических смазок и т.д. Это, в сочетании с простотой применяемого инструмента (монолитной волоки), повысило конкурентоспособность этого процесса. Однако, из-за монотонного характера течения металла сложно получить высокую накопленную степень деформации. Чтобы получить степень деформации  $e = 17-18$  волочением, необходимо вытянуть образец в 10 млн. раз [2], что неизбежно приведет к разрушению металла.

С нашей точки зрения, для получения УМЗ структуры в проволоке необходимо использовать методы непрерывной интенсивной деформации проволоки, основанные на кручении. При этом для успешной промышленной реализации необходимо оставить всю действующую инфраструктуру волочения практически неизменной.

В производстве проволоки деформация кручением получила применение при управлении напряженным состоянием проволоки, путем установки дополнительных устройств вращения переднего и заднего конца проволоки, вращения волоки с целью снижения усилия волочения [4-8].

Нами было проведено исследование влияния кручения переднего и заднего концов проволоки на изменение структуры проволоки [9]. Было показано, что кручение оказывает значительное влияние на деформированное состояние проволоки не оказывает, а изменяет напряженное состояние и способствует снижению усилия волочения. Тем самым теоретически была подтверждена правильность предшествующих эмпирических исследований.

Известны работы о применении комбинированных процессов деформации, включая кручение, для непрерывного наноструктурирования проволоки [10]. Было показано, что эти процессы позволяют получать требуемую структуру. Однако, оценки влияния деформации кручения при этом не производилось, а для реализации этих процессов в промышленных условиях требуется достаточно сложное дополнительное оборудование.

В связи с тем, что вращающиеся волоки получили достаточно широкое распространение на современном волочильном оборудовании, представляет интерес изучение деформированного состояния при вращении волок. Нами было проведено исследование в программном комплексе Deform-3d волочения во вращающейся монолитной волоке.

Исследовалась одна протяжка с диаметра 5,50 мм на диаметр 4,86 мм (обжатие 22 %). В качестве материала была принята сталь марки AISI-1070 из базы Deform-3d. Исследуемая заготовка – упругопластическая, длина - 50 мм. Геометрия волоки - по ГОСТ 9453-75. Скорость волочения – 2 м/с. Коэффициент трения по Кулону - 0,05.

В расчете меняли скорость вращения волоки. Линейную скорость вращения волоки находили по формуле

$$v = \omega \cdot R \quad (1)$$

где  $v$  - линейная скорость волоки;  $\omega$  - угловая скорость волоки;  $R$  – радиус (в нашем случае принимался радиус в середине очага деформации и составлял 2,59 мм).

Варианты соотношения линейных скоростей проволоки и волоки приведены в **табл. 1**.

**Таблица 1**

**Варианты соотношения скоростей**

№ варианта	Линейная скорость заготовки, м/с	Угловая скорость волоки, об/мин	Угловая скорость волоки, рад/с	Линейная скорость волоки, м/с	Соотношение скоростей, %
1-й	2	10	1,047	0,0027	0
2-й	2	921	96,447	0,2499	12,5
3-й	2	1843	192,998	0,4999	25
4-й	2	3686	385,997	0,9997	50
5-й	2	7372	771,993	1,9995	100

После моделирования в продольном сечении заготовки была нанесена координатная сетка с размером ячеек 1x1 мм.

Результаты моделирования приведены в **табл. 2**.

Анализ полученных данных показывает, что при вращении волоки со скоростью 10 об/мин не происходит видимых изменений. Во втором варианте при соотношении скоростей 12,5 % происходит скручивание заготовки со стороны выхода, и угол скручивания составляет 1 град. С повышением числа оборотов вращения волоки увеличивается угол скручивания заготовки до угла 2,6 град в четвёртом варианте. При одинаковом соотношении скоростей (5-й вариант) происходит разрушение заготовки сразу после выхода из волоки.

Вращение волоки приводит к изменению структуры, однако, для этого необходимо вращать волоку с большими скоростями. Таким образом, данный способ имеет невысокую эффективность и применять при его измельчении структуры при волочении нецелесообразно.




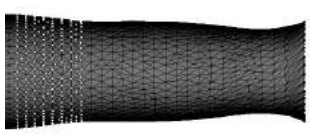
В работах [11, 12] проведено исследование по применению волочения со сдвигом. Устройство состоит из волоки со специальной геометрией, с возможностью вращения вокруг оси волочения. Деформация, сопровождающаяся изменением физико-механических свойств металла и формированием УМЗ структуры, обеспечивается за счет того, что устройство снабжено второй неподвижной волокой, а внутренние каналы первой и второй волок выполнены в виде смещенных конусов, причем выходное сечение второй волоки эксцентрично относительно входного сечения первой волоки.

Данный способ не меняет сути волочения, но имеет инструмент с достаточно сложной геометрией и находится на стадии лабораторного исследования.



Таблица 2

## Результаты моделирования

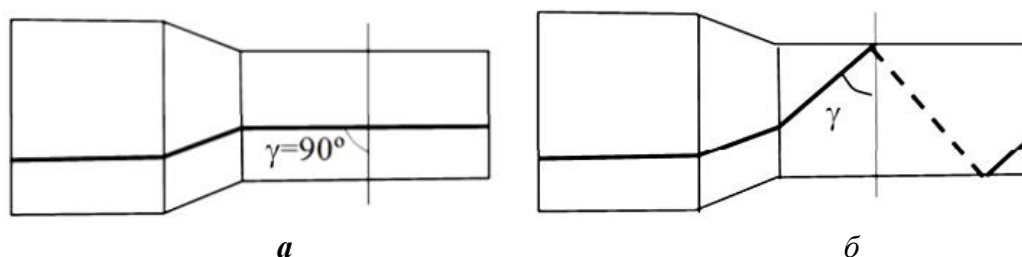
№ варианта	Результат моделирования	Угол скручивания, град
1-й	Без видимых изменений	0
2-й		1
3-й		1,7
4-й		2,6
5-й		-

В практике волочения проволоки различного назначения широкое распространение получило распространение волочение (протяжка) в роликовых волоках. По сути заменяется только инструмент, причем на современных волочильных машинах делается это очень просто. При этом улучшаются температурные и контактные условия волочения, повышается равномерность деформации по сечению проволоки. Это способствует повышению качества проволоки и снижению затрат на ее производство. Для изготовления круглой проволоки получили распространение двух-, трех- и четырех роликовые сдвоенные волоки, промышленно изготавливаемые многими машиностроительными фирмами.

В МГТУ им. Г.И. Носова с 2001 г. проводятся исследования по применению радиально-сдвиговой деформации для производства проволоки. Используя волочение в качестве основного способа обработки проволоки и заменив монолитную волоку на роликовую, был разработан способ, получивший название – радиально-сдвиговая протяжка (РСПр). РСПр является аналогом радиально-сдвиговой прокатки, как роликовое волочение является аналогом продольной прокатки.

Процесс радиально-сдвиговой протяжки был смоделирован в программном комплексе Deform-3d [13-15]. С помощью координатной сетки определены траектории течения металла [16]. Металл течет по геликоидальной траектории, которую характеризует угол подъема винтовой линии  $\gamma$  (рис. 1).

Угол подъема винтовой линии зависит от угла конической части ролика и от вытяжки. С увеличением вытяжки и обжатия угол скручивания уменьшается, т.е. подобно виткам пружины плотность навивки становится больше. Меняя эти параметры, можно управлять характером течения металла, что недостижимо при волочении в монолитных волоках.



**Рис. 1. Траектории течения металла**  
*a* - при волочении; *б* – при радиально-сдвиговой протяжке

Так как траектории течения металла становятся больше, то это приводит к немонотонной деформации и, соответственно, к повышению степени деформации. Что, в свою очередь, приводит к измельчению структуры металла. Зная угол подъема винтовой линии, можно определить накопленную степень деформации по формуле

$$e = 2 \ln \left( \frac{d_0}{d} \right) + \ln \left( \frac{90}{\gamma} \right), \quad (2)$$

где  $d_0$  и  $d$  – начальный и конечный диаметры проволоки, соответственно.

Также, зная межпластиночное расстояние до деформации  $S_0$  и диаметр  $d_0$ , можно определить межпластиночное расстояние после деформации  $S$  на диаметре  $d$  [17]

$$S = \frac{\sqrt{10 \cdot \gamma}}{30} \cdot \frac{S_0 \cdot d}{d_0}. \quad (3)$$

Смоделировали маршрут волочения РСПр с монолитной волокой [16]. Показано, что, меняя направление вращения волоки РСПр и комбинируя ее по проходам с монолитной волокой, можно в широких пределах управлять течением металла при волочении.

Разработаны модульные конструкции РСПр и монолитной волоки, что позволяет сократить кратность волочения [3].

На способ получения проволоки из высокоуглеродистой стали с наноструктурой, включающий деформацию заготовки путем приложения тянущего усилия с одновременным приложением дополнительной деформации сдвига вращением, получен патент РФ [18].

При совмещении двух роликовых волок, вращающихся в разные стороны, был разработан способ изготовления высокопрочной проволочной арматуры периодического профиля для создания на поверхности проволоки-заготовки мелкодисперсной, равновесной феррито-цементитной структуры. Причем толщина этого слоя зависит от глубины проникновения сдвиговой деформации, которая, в свою очередь, пропорциональна значению вытяжки [19].

Таким образом, применение волок РСПр позволяет, не меняя сути процесса волочения и используя действующую инфраструктуру, используя высокоэффективную деформацию кручения, начать промышленные исследования по освоению производства проволоки различного назначения с УМЗ и наноструктурами. Дополнительные возможности дает совмещение устройств радиально-сдвиговой протяжки и монолитных волок в едином вращающемся модуле.

## Список литературы

1. Пашинская Е.Г. Физико-механические основы измельчения структуры при комбинированной пластической деформации. Донецк: Изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. 352 с.
2. Утяшев Ф.З. Связь между деформированным и структурным состояниями металла при интенсивной пластической деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2011. № 5. С. 33-39.
3. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки: монография / В.А. Харитонов, А.Ю. Манякин, М.В. Чукин, Ю.А. Дремин, М.А. Тикеев, М.Ю. Усанов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.
4. А.с. СССР 372002 МПК В21С3/14. Оpubл. БИ №13 01.03.1973.
5. А.с. СССР 539630 МПК В21С1/00. Оpubл. БИ №47 25.12.1976.
6. А.с. СССР 663462 МПК В21С3/14. Оpubл. БИ №19 25.05.1979.
7. А.с. СССР 1243860 МПК В21С1/00. Оpubл. БИ №26 15.07.1986.
8. А.с. СССР 2043799 МПК В21С1/00. Оpubл. БИ 20.09.1995.
9. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Влияние кручения при волочении круглой проволоки в монолитной волоке // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. Вып. 21. С. 82-88.
10. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Анализ способов непрерывного наноструктурирования проволоки // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2015. № 1 (42). С. 50-61.
11. Рааб А.Г., Чукин М.В. Разработка нового метода интенсивной пластической деформации - волочение со сдвигом // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXI Уральской школы металловедов-термистов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. С. 20-21.
12. Патент РФ №2347632 МПК В21С 1/00. Оpubл. БИ 27.02.2009.
13. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование процесса радиально-сдвиговой протяжки // Материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2010. Т. 1. С. 46-48.
14. Усанов М.Ю. Моделирование в программном комплексе Deform 3d процессов волочения и радиально-сдвиговой протяжки проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 80-85.
15. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Модель формирования наноструктуры в высокоуглеродистой проволоке в процессе радиально-сдвиговой протяжки // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2012. Вып. 4. С. 309-313.
16. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направления развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 3. С. 69-73.
17. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Исследование радиально-сдвиговой протяжки проволоки на основе моделирования // Металлург. 2013. № 11. С. 83-87.
18. Патент РФ №2498870 МПК В21С1/00. Оpubл. БИ. 20.11.2013.
19. Патент РФ №2502573 МПК В21С1/00. Оpubл. БИ. 27.12.2013.

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА БУНТОВОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ\*

**Харитонов В.А., Петров И.М.**

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет»,*

*Россия, г. Магнитогорск*

*Филиал ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет»,*

*Россия, г. Белорецк*

Арматура железобетонных конструкций является непрерывно прогрессирующим материалом как по объемам производства и применения, так и по механическим свойствам, показателям качества и долговечности [1]. Конкуренция на строительном рынке порождает необходимость снижения себестоимости и сокращения сроков строительства, для чего нужны эффективные строительные материалы, обеспечивающие надежность и долговечность сооружений. Арматурная сталь по своим физико-механическим и эксплуатационным признакам оказывает существенное влияние на основные признаки эффективности железобетона: металлоемкость, индустриальность, долговечность и сейсмостойкость (безопасность) [2].

Повышение эффективности отечественного строительного комплекса, надежности и безопасности эксплуатации строительных сооружений, снижение себестоимости железобетона, а также необходимость сближения показателей качества отечественной арматурной стали с европейским уровнем предполагает производство и применение бунтовой арматуры в комплексе следующих свойств [3-6]:

1. класс прочности 400, 500 и 600 Н/мм с возможностью его повышения при минимальных затратах;

2. категории пластичности в соответствии с Eurocode 2 «А», «В» и «С»;

3. способы упрочнения арматурной стали должны минимизировать применение операций термической обработки, в особенности для сейсмически стойкой арматуры категории «С». Предпочтительные способы: легирование, контролируемое охлаждение и отпуск, упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем (малая степень деформации) и горячекатаного проката гладкого с нанесением периодического профиля (высокая степень деформации);

4. поставка преимущественно в бухтах рядной смотки дифференцированной массы от 2 до 5 тонн, с очищенной от окалина поверхностью (для сварного механизированного производства);

5. в интервале диаметров от 4 до 10 мм номинальный размер должен производиться через 0,5 мм, в интервале размеров от 10 до 16 (18) мм - через 1 мм в гарантированном минусовом поле допуска, предусматриваемом действующими нормативами;

6. форма и параметры периодического профиля должны обеспечивать высокие показатели сцепления, формироваться предпочтительно при горячей прокатке и полностью обеспечивать эффективную механизированную высокопроизводительную переработку;

7. технологическая свариваемость арматурной стали должна обеспечиваться не только низким содержанием углерода, но и содержанием необходимых для этого легирующих элементов, состав и доля которых могут определяться еще и способом деформационного упрочнения арматуры;

8. арматурная сталь должна быть коррозионностойкой как минимум в среднеагрессивных средах и морозоустойчивой до -50 °С;

9. оценка показателей качества арматурной стали должна производиться с использованием статистических показателей.

При этом при производстве арматурной стали необходимо обеспечить весь комплекс данных свойств.

---

\* Работа проведена в рамках реализации госзадания по теме «Разработка технологии получения высокопрочных длинномерных профилей из материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях комбинирования процессов интенсивного пластического деформирования» (Задание № 11.1525.2014К от 18.07.2014).

Целью статьи является сравнение отечественных и зарубежных стандартов на арматурную сталь, как по показателям свойств, так и по методам их статистической оценки для определения направлений развития отечественного производства бунтовой арматурной стали.

В настоящее время в России арматурная сталь производится по большому количеству различных нормативных документов. Наиболее современным отечественным стандартом на арматурную сталь на сегодняшний день является ГОСТ Р 52544-2006. Сравнение некоторых требований ГОСТ 52544-2006 и EN 1992-1-1 приведено в **табл. 1** [7].

**Таблица 1**

**Сравнение требований ГОСТ 52544-2006 и EN 1992-1-1**

Требования	EN 1992-1-1	ГОСТ 52544-2006
Сортамент	4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20,0; 25,0; 28,0; 32,0; 40,0; 50,0	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0; 22,0; 25,0; 28,0; 32,0; 36,0; 40,0
Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	400; 500; 600	500
Полное относительное удлинение при максимальном напряжении $A_{gt}$ , %, не менее	Категория А 2,5; Категория В 5,0; Категория С 7,5	Класс А –, Класс В 2,5
Минимальное значение относительной площади ребер $f_R$ , не менее (в зависимости от диаметра)	0,035-0,056	0,035-0,056
Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	–	Класс А 600, Класс В 550
Отношение $\sigma_B/\sigma_T$ , не менее	Категория А 1,05; Категория В 1,08; Категория С 1,15; < 1,35	Класс А 1,08, Класс В 1,05

Из представленного сортамента арматурной стали в бунтах производят арматуру диаметром до 18 мм включительно.

Химический состав стали и значения углеродного эквивалента для арматурной стали, производимой по ГОСТ 52544-2006 и EN 1992-1-1 представлены в **табл. 2 и 3**, соответственно.

Важно отметить, что в европейских стандартах на низкоуглеродистую сталь устанавливаются меньшие допустимые отклонения от номинальных значений по химическому составу по сравнению с ГОСТ 380-2005.

ГОСТ 52544-2006 и EN 1992-1-1 устанавливают аналогичные зависимости для определения углеродного эквивалента:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

где символы химических элементов представляют их массовую долю в процентах.

Таблица 2

**Химический состав арматурной стали по EN 1992-1-1  
(в процентах по массе)**

	C <sup>1)</sup>	S	P	N <sup>2)</sup>	Cu	Углеродный эквивалент <sup>1)</sup>
	макс.	макс.	макс.	макс.	макс.	макс.
Анализ расплава	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Поштучный анализ	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

1) Допускается превышение максимальных значений углерода на 0,03 % по массе при условии снижения значения углеродного эквивалента на 0,02 % по массе.  
2) Допускается повышенное содержание азота при наличии элементов, связывающих достаточное содержание азота.

Таблица 3

**Химический состав стали и значения углеродного эквивалента  
для арматурной стали по ГОСТ 52544-2006**

Вид анализа	Массовая доля элементов, %, не более							Углеродный эквивалент
	C	Si	Mn	P	S	N	Cu	
По ковшовой пробе	0,22	0,90	1,60	0,050	0,050	0,012	0,50	0,50
Готового проката	0,24	0,95	1,70	0,055	0,055	0,013	0,55	0,52

**Примечания**  
1. Для стали, содержащей нитридообразующие элементы, массовую долю азота не ограничивают.  
2. Для проката диаметром более 32 мм допускается увеличение в стали массовой доли углерода до 0,26 % и углеродного эквивалента до 0,53 % (в готовом прокате – соответственно, до 0,27 и 0,57 %).

При этом EN1992-1-1 регламентирует больший сортамент по сравнению с ГОСТ 52544-2006. Кроме того, в европейской и международной практике в соответствии со стандартами EN1992-1-1 Eurocode2 и EN 10080-2009 для арматуры, используемой в ненапряженном железобетоне, установлены три категории пластичности: «А», «В» и «С» при трёх различных классах прочности, характеризующихся пределом текучести. Также для каждой категории арматурной стали в Eurocode2 устанавливается отношение  $a_{\phi}/o_m$ .

На сегодняшний день в отечественной практике проблема получения высокой жесткости сцепления арматуры с бетоном решена. Для решения данной задачи в НИИЖБ был разработан профиль арматурной стали, позволяющий получить минимальное значение относительной площади ребер соответствующее требованиям современных стандартов [8].

ГОСТ 52544-2006 и EN1992-1-1 устанавливают требования к статистическим показателям характеристик арматурной стали. При этом ГОСТ 52544-2006 устанавливает данные требования только для прочностных характеристик (временного сопротивления и предела текучести) с доверительной вероятностью 90 %. Следует отметить, что EN1992-1-1 [9] устанавливает требования к статистическим показателям для большего числа характеристик ар-

матурной стали - предел текучести и максимальное отклонение от номинальной массы должны быть обеспечены с доверительной вероятностью 95 %; отношение  $a_s/a_m$  и полное относительное удлинение при максимальном напряжении с доверительной вероятностью 90%; прочность на срез с максимальной доверительной вероятностью.

На сегодняшний день при производстве арматурной стали в России используются два основных способа упрочнения арматурной стали - легирование заготовки или термоупрочнение. Использование легированной заготовки не позволяет получить требуемый уровень свариваемости арматуры. При этом в условиях отечественной практики при производстве арматурной стали с использованием термоупрочнения наблюдается нестабильность показателей качества, например, при их оценке с использованием методов математической статистики (отклонения от нормального распределения, высокие показатели асимметрии и эксцесса, значимый разброс значений в выборке и т.д.) [10]. Это может быть вызвано как нестабильностью технологического процесса, например, температурными режимами при прокатке, так и нестабильностью химического состава заготовки. Именно нестабильность используемой технологии вызывает нестабильность свойств арматурной стали.

Для повышения конкурентоспособности отечественной арматурной стали и сближения её по уровню требований с арматурой, производимой за рубежом, необходимо не только гармонизировать требования по основным показателям арматурной стали, но и ввести требования по статистической оценке качества в стандарты. Для получения удовлетворительных статистических показателей качества при производстве арматурной стали необходимо использовать заготовки из низкоуглеродистой стали с более стабильным химическим составом, исключить или минимизировать операции термоупрочнения и использовать способы упрочнения, позволяющие минимизировать неоднородность свойств. Исключить неоднородность деформации позволяет использование растяжения, совмещённого со знакопеременным изгибом (на этом основан способ «Stretching»).

### Список литературы

1. Мадатян С.А. Нормативные и расчётные сопротивления арматуры // Бетон и железобетон. 2005. С. 2-5,
2. Бондаренко В.И. Проблемы производства и применения холоднодеформированной арматуры // Метизы. 2009. № 1. С. 10-12.
3. Дорохин П.С, Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // Стройметалл. 2012. № 3. С. 14-23.
4. Михайлов К.В. Задачи отечественной строительной науки в области арматуры и предварительно напряженных железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 2001. № 3. С. 2-3.
5. Взгляд в будущее / СВ. Снимщиков, В.А. Харитонов, И.Н. Суриков, В.В. Анискин // Стройметалл. 2013. № 5. С. 7-13.
6. Харитонов В.А., Петров И.М. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 65-69.
7. Харитонов В.А., Петров И.М. Совершенствование технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Материалы трудов 71-й науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во. Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. Т. 1. С. 273-276.
8. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Судаков Г.Н. эффективная стержневая арматура для железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 2004. № 5. С. 18-23.
9. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по ЕВРОНОРМАМ. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 216 с.
10. Снимщиков СВ., Харитонов В.А., Харитонов Вик. А. и др. Анализ уровня качества арматурного проката класса В500С на основе методов математической статистики // Бюллетень «Черная металлургия». 2013. № 8. С. 48-59.

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 09Г2С НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ\***

**Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В., Бачева А.В.**

*ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия*

В последние годы всё более актуальной становится задача освоения природных ресурсов Крайнего Севера. В связи с этим при производстве оборудования и различных конструкций используются материалы, имеющие широкий диапазон рабочих температур, в частности, различные детали и элементы металлоконструкций изготавливаются из конструкционной низколегированной стали 09Г2С. Детали из этой стали могут эксплуатироваться при температуре от -70 до + 425 °С в условиях высоких давлений.

Эксплуатационные свойства машиностроительных конструкций - усталостная прочность, коррозионная стойкость, контактная прочность и др., характеризующие их долговечность и надежность, зависят от физико-механических характеристик материала, используемого для их производства [1-7].

В процессе изготовления детали могут подвергаться различным технологическим операциям, включая механическую обработку резанием.

Процесс механической обработки резанием сопровождается интенсивной пластической деформацией и изменением термомеханического состояния поверхностных слоев, что ведёт к изменению их структурного и фазового состава, и сопровождается появлением системы остаточных напряжений [8]. В условиях низких или повышенных температур напряженно-деформированное состояние поверхности деталей существенно влияет на процесс их разрушения. В связи с этим необходимо осуществлять контроль уровня остаточных технологических напряжений (остаточных напряжений 1 рода – далее ОН) на поверхности деталей после механической обработки.

Задача прогнозирования и управления уровнем ОН при проектировании технологических процессов невозможна без проведения контрольных операций, основанных на специализированных методах определения ОН.

Существующие разрушающие методы для определения величины ОН обладают рядом существенных недостатков:

- при малой толщине исследуемых изделий ОН можно определить только экстраполяцией, что вносит погрешности в расчет;
- возможны значительные погрешности при измерениях на начальных стадиях, когда толщины удаляемых слоев соизмеримы с погрешностью измерительного инструмента;
- невозможность применения для образцов малых поперечных сечений;
- невозможность последующей эксплуатации исследуемых изделий.

В настоящее время для определения остаточных напряжений широко применяется метод рентгеновской дифрактометрии, который достаточно прост и удобен, не нарушает целостности элемента конструкции, сочетается с любыми другими методами и позволяет надежно определять величину ОН с точностью, достаточной для решения технологических и научных задач [9, 10]. Метод является перспективным для решения задач оптимизации технологических процессов.

В данной статье рассмотрены результаты исследования влияния режимов механической обработки фрезерованием на уровень остаточных технологических напряжений на поверхности образца из стали 09Г2С.



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

### Методика проведения эксперимента Образцы и оборудование

Для исследования влияния режимов фрезерования на величину ОН на поверхности предварительно отожженного образца из стали 09Г2С торцевым фрезерованием наносились канавки (рис. 1).

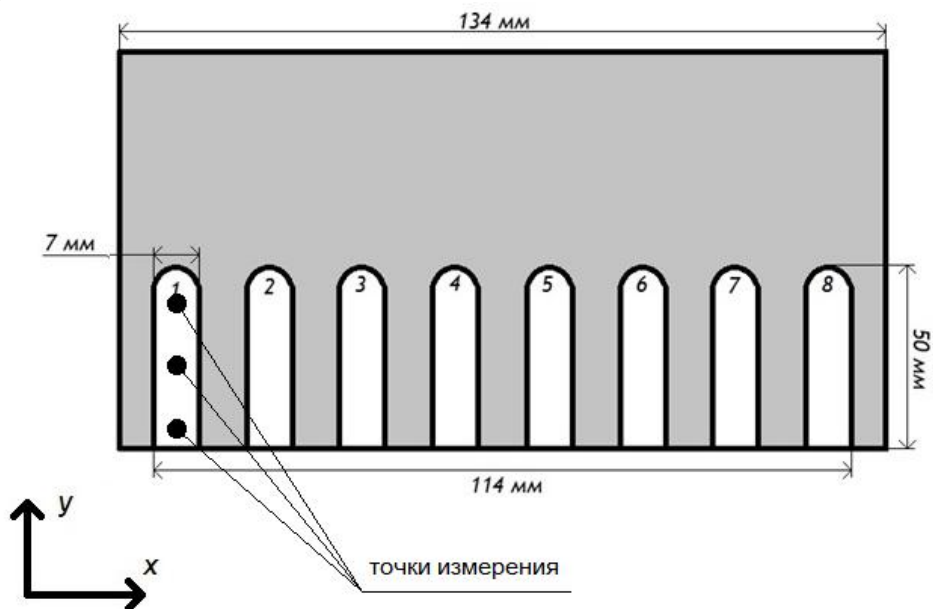


Рис. 1. Общий вид образца (а) и схема нанесения канавок (б)

Нанесение канавок проводилось на обрабатывающем центре Matec 40HV с использованием фрезы диаметром 4 мм SEE04Z4L50S AH725.

Определение остаточных технологических напряжений проводилось методом рентгеновской дифрактометрии с использованием роботизированного комплекса Xstress 3000 G3 (STRESSTECH, Финляндия) и коллиматором, обеспечивающем диаметр области измерения 3 мм. Измерение ОН проводилось в трёх точках каждой канавки – в середине и на краях канавки. В результате измерений определялись компоненты тензора напряжений для плоского напряженного состояния:  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  - нормальные компоненты вдоль и поперек оси канавки;  $\tau_{xy}$  - касательные напряжения.

В табл. 1 представлены параметры рентгеновского излучения, применяемого для определения ОН.

Таблица 1

#### Параметры рентгеновского излучения

Тип рентгеновской трубки	Cr K- $\alpha$
Длина волны, $A^0$	2,2897
Угол $2\theta$ , град	134÷138

#### Планирование эксперимента

При исследовании процесса формирования ОН особый интерес представляет получение их функциональной зависимости от режимов механической обработки.

Основными технологическими параметрами, которые могут влиять на уровень ОН при фрезеровании, являются следующие:

1. Число оборотов режущего инструмента  $n$ , об/мин.
2. Линейная скорость  $V$  на внешнем диаметре режущего инструмента, м/с.
3. Диаметр инструмента  $d$ , мм.
4. Подача инструмента на один зуб  $S_Z$ , мм/зуб.
5. Глубина резания -  $a_Z$ , мм.
6. Тип смазки.

Первые три величины связаны линейной зависимостью -  $V = \omega r$ , где  $\omega = \pi n / 30$  - угловая скорость вращения фрезы, рад/с;  $r = d / 2$  - радиус фрезы, мм.

Тип смазки, как управляющий параметр, был исключен связи с особенностями эксплуатации обрабатываемого центра.

Таким образом, управляющими параметрами являются: линейная скорость  $V$  на внешнем диаметре фрезы, подача на 1 зуб фрезы  $S_Z$  и глубина резания -  $a_Z$ .

Для получения функциональной зависимости ОН от режимов фрезерования использована математическая модель трёхфакторного эксперимента [11-16].

Уравнение регрессии для трёхфакторного эксперимента имеет вид

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i x_i + \sum_{i<j} a_{ij} x_i x_j + a_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (1)$$

где  $y$  – управляемая величина;  $x_i$  и  $x_j$  – нормированные значения управляющих факторов;  $a_0$ ,  $a_i$ ,  $a_{ij}$  и  $a_{123}$  - коэффициенты регрессии, показывающие влияние управляющих факторов.

Коэффициенты регрессии определяются по формулам (учитывая, что нормированные значения факторов принимают значения  $\pm 1$ )

$$a_0 = \frac{\sum_{k=1}^8 \sigma_{OHk}}{8}; \quad a_i = \frac{\sum_{k=1}^8 x_{ik} \sigma_{OHk}}{8}; \quad a_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^8 x_{ik} x_{jk} \sigma_{OHk}}{8}; \quad a_{123} = \frac{\sum_{k=1}^8 x_{1k} x_{2k} x_{3k} \sigma_{OHk}}{8},$$

где  $k$  – номер опыта в плане эксперимента;  $\sigma_{OHk}$  - среднее значение уровня ОН в  $k$ -ом опыте;

$x_{ik}$  - нормированное значение  $i$ -го фактора в  $k$ -ом опыте.

В качестве управляемой величины приняты напряжения, направленные вдоль оси канавки. В качестве управляющих факторов приняты:  $x_1$  -  $V$ ,  $x_2$  -  $S_Z$ ,  $x_3$  -  $a_Z$ .

Максимальные и минимальные значения управляющих факторов и их нормированные значения (+1 или -1) приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

**Режимы фрезерования и нормированные значения управляющих факторов  
(в скобках)**

№ канавки	$V$ , м/мин	$S_Z$ , мм/зуб	$a_Z$ , мм
1	80 (+1)	0,08 (+1)	0,3 (+1)
2	50 (-1)	0,08 (+1)	0,3 (+1)
3	80 (+1)	0,04 (-1)	0,3 (+1)
4	50 (-1)	0,04 (-1)	0,3 (+1)
5	80 (+1)	0,08 (+1)	0,1 (-1)
6	50 (-1)	0,08 (+1)	0,1 (-1)
7	80 (+1)	0,04 (-1)	0,1 (-1)
8	50 (-1)	0,04 (-1)	0,1 (-1)

## Результаты эксперимента

Порядок проведения опытов и результатов измерения ОН приведены в табл. 3, где  $\sigma_{ОН}$  – среднее значение результатов измерения ОН вдоль канавки.

Таблица 3

**Порядок проведения опытов и результаты измерения ОН**

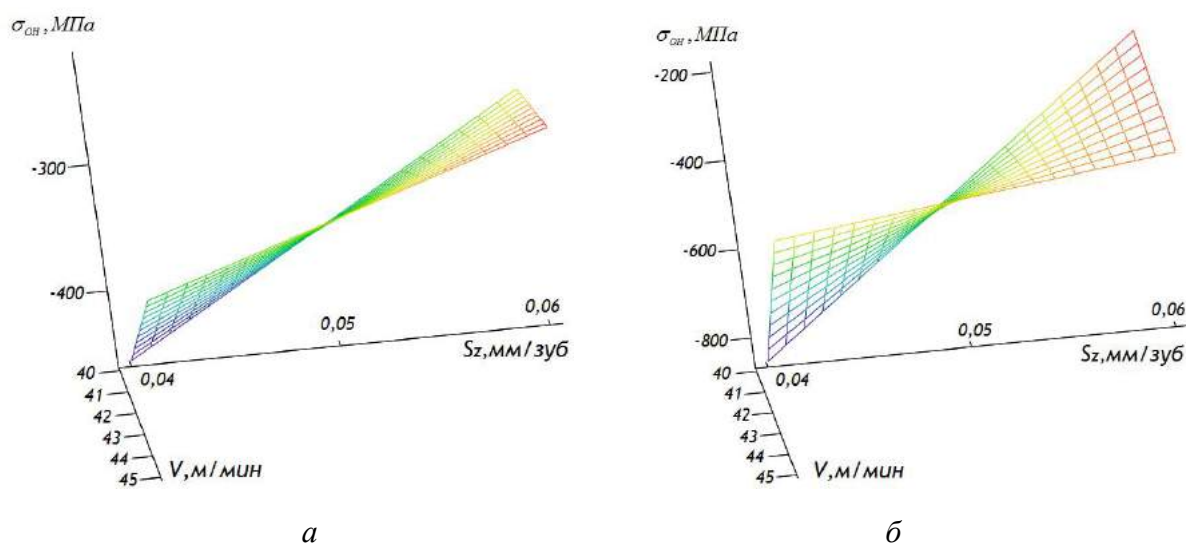
№ канавки	Порядок опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\sigma_{ОН}$ , МПа
1	7	+1	+1	+1	197,7
2	8	-1	+1	+1	193,9
3	2	+1	-1	+1	220,8
4	3	-1	-1	+1	208,5
5	6	+1	+1	-1	271,6
6	5	-1	+1	-1	252,4
7	1	-1	-1	-1	258,1
8	4	-1	-1	-1	250,5

На основании полученных результатов эксперимента были рассчитаны коэффициенты  $a_0, a_{ij}, a_{123}$  и получено уравнение регрессии в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{ОН} = & -360,075 + 81,625x_1 + 133,55x_2 + 44,175x_3 - 77,95x_1x_2 - \dots \\ & - \dots 35,08x_1x_3 - 59,70x_2x_3 + 58,45x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

### Анализ полученных результатов

Для удобства анализа влияния режимов фрезерования на величину  $\sigma_{ОН}$  проведём визуализацию полученных результатов. На рис. 2 в качестве иллюстрации представлено графическое изображение результатов расчёта ОН по уравнению (2), при фиксированных значениях глубины резания  $a_z$ .



**Рис. 2. Зависимость величины ОН от скорости резания  $V$  и подачи на зуб  $S_z$ :  
а -  $a_z = 0,2$  мм; б -  $a_z = 0,1$  мм**

Из **рисунков** видно, что:

- в реализованных диапазонах режимов резания - ОН сжимающие;
- снижение скорости резания ведет к уменьшению ОН (с учётом знака);
- увеличение подачи от 0,04 до 0,06 мм/зуб и глубины резания от 0,1 до 0,2 мм ведет к росту ОН;
- существуют режимы, при которых величина ОН практически не изменяется: при глубине резания  $a_z = 0,1$  мм величина ОН слабо зависит от скорости резания и равна примерно -300 МПа.

## **Выводы**

Экспериментальное исследование позволило получить уравнение регрессии, описывающее влияние основных параметров процесса фрезерования на величину ОН при механической обработке жаропрочного сплава ВЖМ-4. Результаты эксперимента показывают, что изменение режимов механической обработки ведет к существенному изменению величины ОН от -193,3 до -848,6 МПа.

Анализ методики проведения эксперимента и результатов эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. Существует достаточно сложная функциональная связь величины ОН в зависимости от режимов механической обработки.
2. Выбором режимов резания можно добиться достижения требуемой величины и знака технологических остаточных напряжений в поверхностных слоях обрабатываемой поверхности.
3. Проведение подобных исследований позволяет получить соответствующие уравнения регрессии и создать базу данных для определения влияния режимов механической обработки на величину ОН при обработке любых металлов и сплавов.

## **Список литературы**

1. Постановление Правительства № 303 от 15 апреля 2014 г. «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы»».
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надёжность машин. М.: Высшая школа, 1988. 238 с.
3. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. М.; Л.: Машгиз, 1956. 239 с.
4. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
5. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения / Е.Н. Каблов, Н.В. Петрушин, И.Л. Светлов, И.М. Демонис //Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 36–51.
6. Исследование влияния азота на структуру и свойства монокристаллов из литейного жаропрочного сплава ЖС30-ВИ / Д.Е. Каблов, Е.Б. Чабина, В.В. Сидоров, П.Г. Мин // МИТОМ. 2013. № 8. С. 3–7.
7. Особенности технологии выплавки и разливки современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов / Е.Н. Каблов, О.Г. Оспенникова, В.В. Сидоров, В.Е. Ригин, Д.Е. Каблов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. Спец. вып. «Перспективные конструкционные материалы и технологии». С. 68–78.
8. Яблокова Н.А., Трофимов В.В. Анализ напряженного состояния в поверхностных слоях лопаток ГТД // Фазовые превращения и прочность кристаллов: сб. тезисов VI Международной конференции. 2010. С. 159-160.

9. Тейлор А. Рентгеновская металлография. М.: Металлургия, 1965. 664 с.
10. Васильев Д.М. Дифракционные методы исследования. М.: Металлургия, 1977. 248 с.
11. K. Hartmann, E. Lezki, W. Schafer. Statistische Versuchsplanung und –auswertung in Stoffwirtschaft. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 1974.
12. Трофимов В.Н. Модель накопления поврежденности при пластической деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1 (17). С. 47-50.
13. Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В., Корионов М.А. Определение остаточных напряжений при одноосной пластической деформации цилиндрического стержня // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2 (50). С. 48-53.
14. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Чернова Т.В. Условия улучшенного (смешанного) режима трения при волочении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 1 (41). С. 31-33.
15. Гитман М.Б., Пустовойт К.С., Столбов В.Ю., Федосеев С.А., Гун Г.С. Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 102-106.
16. Трофимов В.Н., Кузнецова Т.В., Панин Ю.В., Шадрин А.А. Напряжение волочения сплошных профилей прямоугольного сечения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 2 (46). С. 40-44.

УДК 621.771

## **ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ КАЛИБРОВАНИИ В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ**

**Пивоварова К.Г.**

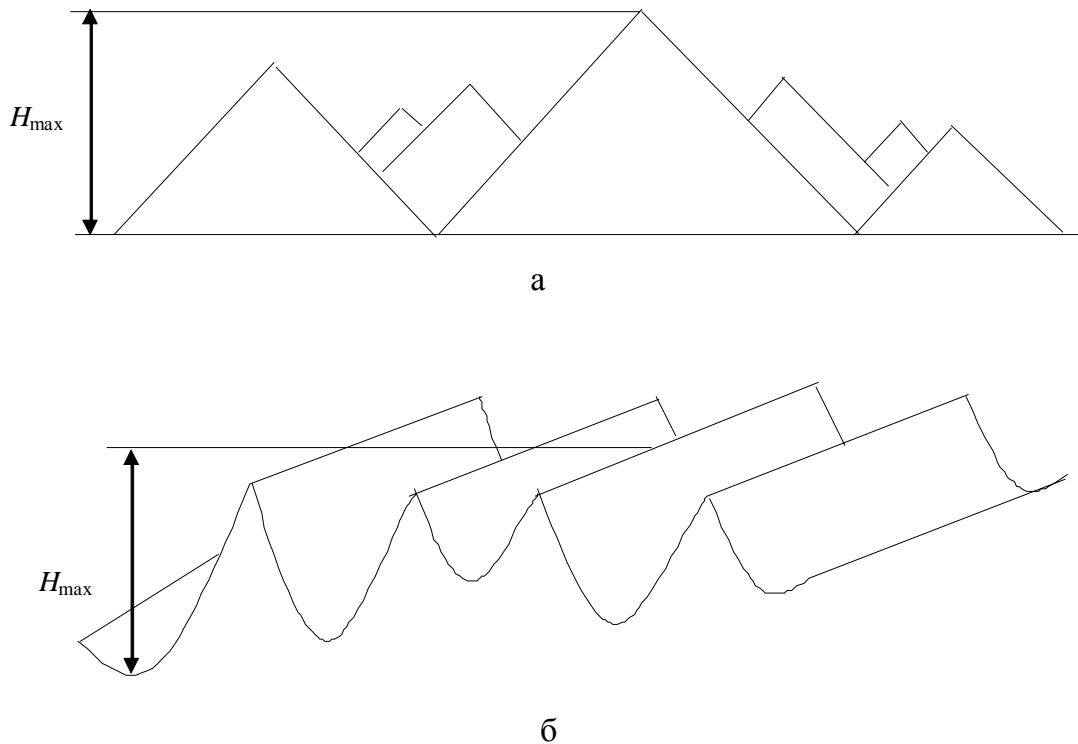
*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск,*

Современное машиностроение предъявляет повышенные требования к качеству поверхности калиброванного металла. Среди характеристик, описывающих качество поверхности, особое место занимают параметры шероховатости, а именно, среднее отклонение профиля Ra. С шероховатостью поверхности тесно взаимосвязаны эксплуатационные свойства калиброванного металла, пригодность к последующей переработке, потребительская стоимость продукции в целом. У автомобилестроителей повышенным спросом пользуется калиброванный металл со специальной отделкой поверхности групп А, Б по ГОСТ 14955. Этот вид продукции метизной отрасли используется при изготовлении деталей силовых машин и агрегатов.

Производство калиброванного металла основано на процессе волочения. В настоящее время закономерности формирования микрорельефа металла при волочении недостаточно изучены. Известно, что формирование микрорельефа поверхности в процессе волочения зависит от многих факторов (степень деформации, угол волокна, коэффициента трения, временное сопротивление разрыву и др.). Одним из важнейших факторов является шероховатость заготовки перед волочением. Многообразие применяемых способов подготовки поверхности к волочению (травление, дробеструйная обработка, токарная обработка, шлифование и др.) обуславливает различные параметры шероховатости заготовки.

Рассмотрим два наиболее распространенных способа подготовки поверхности: травление и обработка резанием (обточка). В качестве модели микрорельефа травленной поверхности выбрана коническая модель – неровности представлены в виде непересекающихся конусов различных высот с равными углами при вершинах  $2\gamma$  (рис. 1, а). Поверхность после об-

точки можно описать параболической моделью – неровности представлены в виде непересекающихся параболических цилиндров различной высоты с одинаковым радиусом при вершинах  $R$  (рис. 1, б).



**Рис. 1. Общий вид моделей микрорельефа:  
а - коническая модель (после травления),  
б - параболическая модель (после обточки)**

При исследовании формирования микрорельефа поверхности были приняты следующие допущения:

1) Поверхность волокна абсолютно гладкая. В обоснование этого предположения проведем сравнение: шероховатость волокна  $Ra=0,16-0,32$  мкм, шероховатость заготовки для волочения  $Ra=1-10$  мкм.

2) Процесс смятия микровыступов при волочении представим как параллельную осадку плоской абсолютно жесткой поверхностью.

3) При смятии микровыступов их форма изменяется без уменьшения глубины микровпадин.

На основании принятых допущений получили зависимости нормального контактного напряжения от параметров подката и способа подготовки поверхности:

- для конической модели:

$$p(Ra) = \frac{\pi C^2 \alpha^2}{256 Ra_0^2} e^{-\frac{16 Ra^2}{\alpha^2}} \int_{4 Ra}^{\infty} (D(H - 4 Ra) + \sigma_T H) H^2 e^{-\frac{H^2}{\alpha^2}} dH,$$

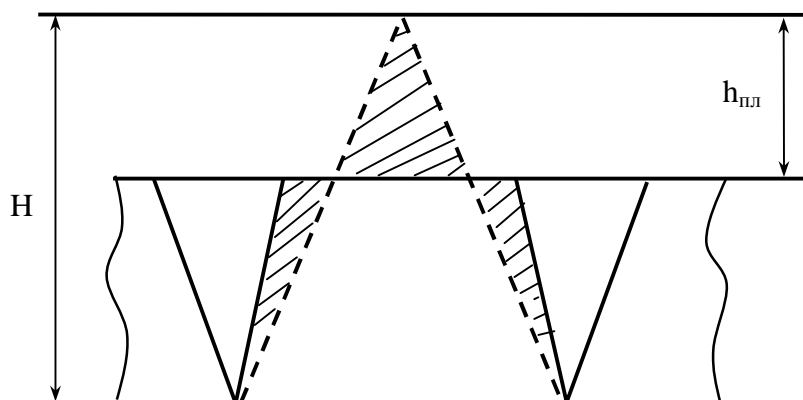
- для параболической модели:

$$p(Ra) = \frac{\sqrt{2}C}{4,34\sqrt{Ra}} \int_0^{\infty} (4D(Ra_0 - Ra) + \sigma_T H) \sqrt{H} e^{-\frac{H^2}{\alpha^2}} dH .$$

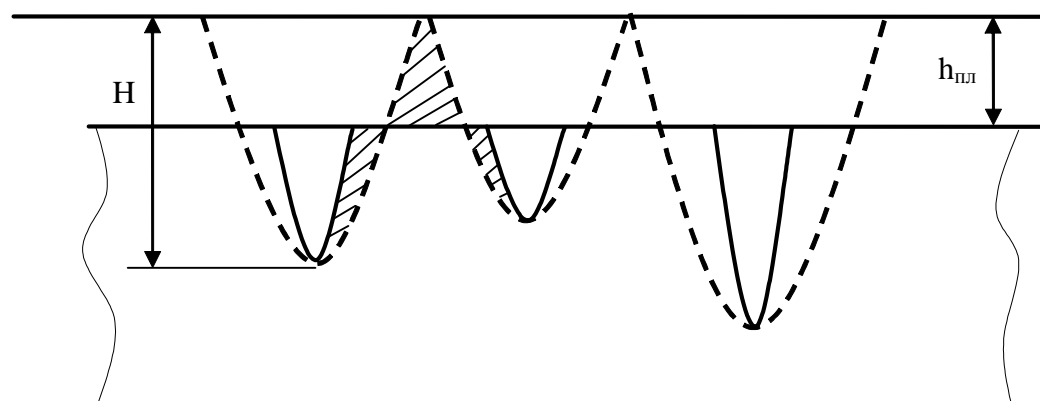
где  $C$ ,  $\alpha$  - постоянные;  $Ra_0$  - шероховатость подката;  $Ra$  - шероховатость калиброванного металла;  $D$  – модуль упрочнения;  $H$  – высота конуса;  $\sigma_T$  - предел текучести;

На **рис. 2** графически представлен механизм деформирования вершин микрорельефа поверхности после травления, а на **рис. 3** - механизм деформирования вершин микрорельефа обточенной поверхности.

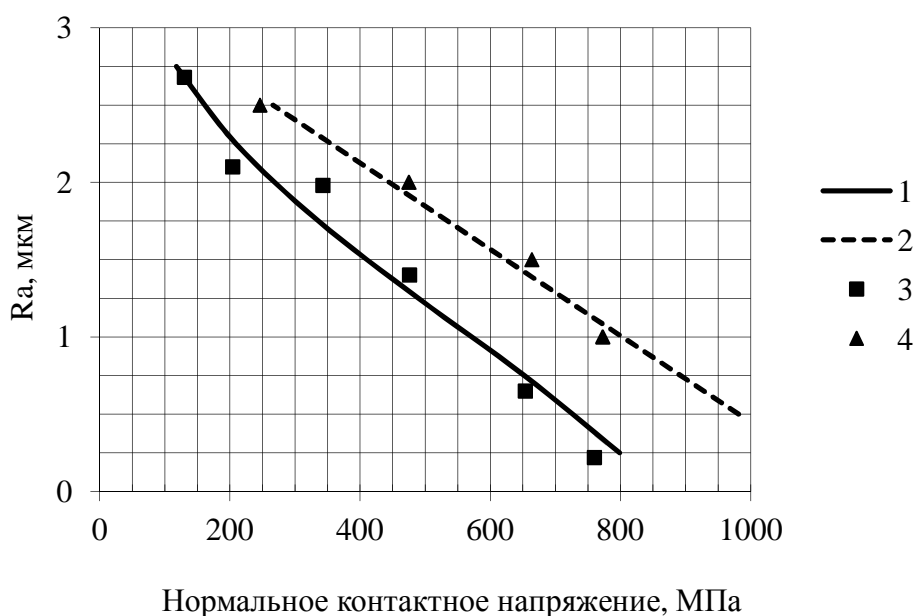
На **рис. 4** графически представлены данные расчетов для стали марки 20Г2Р.



**Рис. 2.** Схема процесса пластической деформации поверхностного слоя для конической модели (травление)



**Рис. 3.** Схема процесса пластической деформации поверхностного слоя для параболической модели (обточка)



**Рис. 4. Зависимость параметра  $Ra$  от нормального контактного напряжения (шероховатость подката  $Ra = 2,5$  мкм, сталь марки 20Г2Р):**  
**1- травление (расчетные данные); 2 – обточка (расчетные данные);**  
**3 – травление (экспериментальные данные);**  
**4 – обточка (экспериментальные данные)**

Из графика (см. **рис. 4**) можно сделать вывод, что при одинаковом нормальном напряжении поверхность подката, полученная обточкой, обеспечивает более высокие значения шероховатости, чем поверхность после травления при одинаковом  $Ra$  поверхности заготовки. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показывает хорошую сходимость – отклонение не превышает 14 %. Это говорит о том, что модель адекватно описывает процессы изменения шероховатости и может применяться для разработки технологических режимов производства калиброванной стали.

### Список литературы

1. Гун Г.С., Пивоварова К.Г., Антонов А.В. Моделирование процесса формирования микрорельефа поверхности калиброванного металла // Обработка сплошных и слоистых материалов. Вып. 32: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Г.С. Гуна. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 16-22.
2. Влияние способа обработки на состояние поверхности калиброванного металла / В.П. Рудаков, В.В. Чукин, А.Г. Корчунов, К.Г. Пивоварова, В.В. Андреев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 3 (3). С. 41-42.
3. Корчунов А.Г., Лебедев В.Н., Семенов В.Е., Пивоварова К.Г., Рудаков В.П. Формирование качества поверхности стали при калибровании в монолитной волоке: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 88 с.
4. Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Анализ технологических схем волочения шестигранного профиля // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 93-98.



## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА БЕСФИЛЬЕРНОГО ВОЛОЧЕНИЯ

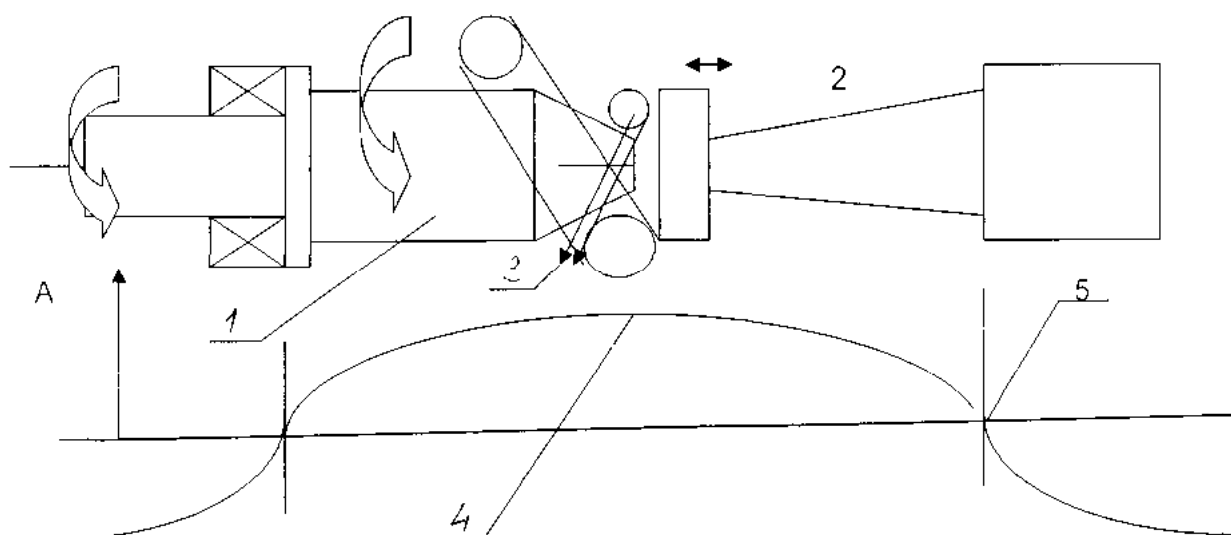
**Бахматов Ю.Ф.**

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

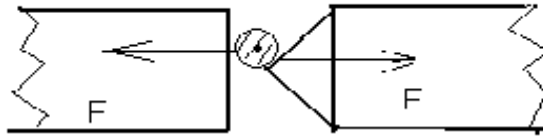
Обработка металла волочением на установке, схема которой предложена в [1, 2], связана с использованием ультразвуковой энергии. В свою очередь, ее эффективность зависит от таких факторов как гармоничность волнового процесса и стабильность частоты возбуждения и частоты резонанса волноводной системы. Элементы волноводной системы и обрабатываемый металл образуют оперативную зону, которая находится под воздействием силы волочения и нормальной силы взаимодействия между обрабатываемым металлом и волноводами. Эффективность процесса деформирования обусловлена созданием высокооборотных резонансных систем, обеспечивающих интенсивные колебательные процессы, мало зависимые от внешних воздействий

Как известно, волноводная система обладает собственной резонансной частотой, которая отражается конструктивно в геометрических размерах волноводов. Размер волновода должен быть кратным целому числу полувольт  $n\lambda \frac{1}{2}$ . В свою очередь,  $\lambda$  зависит от скорости продольной акустической волны, а ее параметры зависят от плотности среды  $\rho$  и модуля упругости  $E$ .

Волноводная система технологической установки представлена схемой на **рис. 1**. Инструментом является торец активного волновода 1 и образующая конуса пассивного 2. Замыкающим элементом является обрабатываемый металл 3 (см. **рис. 1, 2**).



**Рис. 1. Схема волноводной системы:**  
**1 - пассивный волновод; 2 - активный волновод;**  
**3 - обрабатываемый металл; 4 - пучность УЗК волны; 5 - узел УЗК волны**



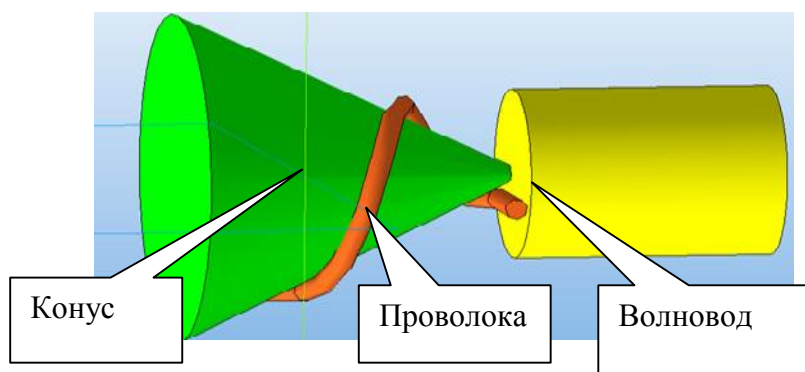
**Рис. 2. Силовое воздействие в очаге деформации**

В данной установке присутствует компонента процесса волочения через калибр, образованный поверхностями волноводов иковки между этими поверхностями. Так как металл охватывает пассивный боек на угол  $2\pi$ , а очаг составляет угол примерно  $\frac{\pi}{2}$ , то замыкание

волноводной системы происходит металлом с различными механическими свойствами, изменяющимися вдоль очага деформации (рис. 3). Доказано, что металл, в частности, сталь, при воздействии ультразвуком испытывает как упрочнение так и разупрочнение. Это происходит на дислокационном уровне и зависит от многих условий [3]. Таким образом, эти факторы нарушают расчетный резонансный режим и снижают эффективность процесса в целом.

Поэтому требуется учитывать воздействие расчетных нагрузок для определения геометрии неадаптивных систем и параметры воздействия на адаптивные системы. Как видно из рис. 3 силовое воздействие зависит от угла образующей конуса, который может изменяться от 30 до 45 град.

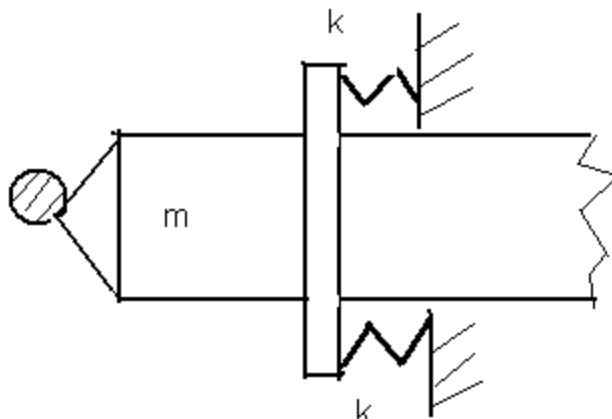
Это обеспечивается созданием внутри общего колебательного контура (см. рис. 1) локальной колебательной системы, состоящей из пассивного волновода определенной массы  $m$  и упругой опоры  $k$  (рис. 4).



**Рис. 3. Схема траектории движения проволоки в оперативной зоне**

Естественно эта система является не волновой, а колебательной и имеет свою собственную резонансную частоту, отличную от частоты возбуждающей силы. Как показывают расчеты и эксперименты, она как минимум на два порядка ниже частоты УЗК преобразователя. При воздействии на эту локальную систему происходит фазовый сдвиг между возбуждающей силой и пассивным волноводом, что заставляет подстраивать всю систему на устойчивый режим. При этом происходит, как бы смещение узла (см. рис.1, поз 5), зависящего от динамических условий технологического процесса. При этом частота волноводной системы изменяется, а режим стоячей волны сохраняется без изменения размеров волноводов. В ли-

температуре [6] приводятся данные о существенном возрастании амплитуды колебаний рабочей поверхности пассивного волновода, что повышает эффективность ультразвуковой обработки.



**Рис. 4. Схема закрепления пассивного волновода ( $k$  - упругий элемент)**

Использование в экспериментальной установке упругого закрепления пассивного волновода в узле колебаний выявило положительные моменты при реализации технологического процесса. Работы в этом направлении будут продолжены.

#### Список литературы

1. Патент РФ №122920. Оpubл. БИ. 2012.
2. Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г. Технологические основы пластической обработки канатки в совмещенном процессе бесфильтрного волочения с ультразвуком // *Сталь*. 2014. № 8. С. 80-82.
3. Головин С.А., Пушкар А., Левин Д.М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. М.: Металлургия, 1987.
4. Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвук и пластичность. Мн.: Наука и техника, 1976. 448 с.
5. Бахматов Ю.Ф. и др. Устройство для плющения А.С.СССР № 677795. 1978.
6. Вагапов И.К. Нелинейные эффекты в ультразвуковой обработке. Мн.: Наука и техника, 1987. 160 с.

УДК 621.774:061.6

#### РОСНИТИ – 55 ЛЕТ. К НОВЫМ РУБЕЖАМ

##### Пышминцев И.Ю.

*ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности»*,  
г. Челябинск, Россия

#### Введение

ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» представляет собой современный высокотехнологичный научный центр, являющийся лидером в трубной отрасли. За 55-летнюю историю коллективом института создан мощный научно-технический потенциал, который обеспечивает решение сложных многопрофильных задач в научной и производственной сферах, национальном и международном техническом регулировании.

## Истоки

Бурное развитие трубного производства в послевоенные годы, значительный рост удельного веса Урала и Сибири в общесоюзном балансе выпуска стальных труб и возрастающие требования к обеспечению необходимых объёмов производства для освоения новых месторождений углеводородов, сооружения магистральных трубопроводов и развития машиностроения стали побудительными причинами создания на Урале крупного научного центра трубной отрасли. Основанием этому послужило постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 13.02.1958 и последовавшее за ним распоряжение Совета народного хозяйства Челябинского экономического административного района от 02.04.1958 № 229 об образовании Уральского научно-исследовательского трубного института (УралНИТИ) с местонахождением в Челябинске.

Целевое назначение института состояло в оказании трубным заводам эффективной помощи в области освоения новых технологических процессов, внедрения прогрессивных схем производства, изыскания возможностей, обеспечивающих повышение производительности действующего оборудования, и улучшения качества выпускаемой продукции.

Не дожидаясь начала строительства основных зданий института в Ленинском районе Челябинска, в начале января 1961г. коллектив приступил к работе в помещении Научно-исследовательского института чёрной металлургии (НИИМ), расположенного в Металлургическом районе. К концу 1960-х годов было в основном завершено строительство и введены в эксплуатацию помещения лабораторно-инженерного корпуса (площадь 25 тыс. м<sup>2</sup>) и трубного опытно-экспериментального завода (площадь около 7 тыс. м<sup>2</sup>) как структурной единицы в составе института (ТОЭЗ УралНИТИ).

Принимая во внимание созданный научный потенциал, а также результаты научной деятельности на трубных заводах бывшего Советского Союза в области освоения новых и совершенствования существующих технологических процессов, исследований по экономике, управлению и организации производств, Минчермет приказом № 124 от 18.05.1966 присвоил институту наименование «Уральский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (УралНИТИ).

Необходимо отметить исключительно важную роль в развитии УралНИТИ и его экспериментальной базы директоров: С.А. Фрикке, Ю.М. Матвеева, Ю.И. Блинова; главных инженеров: М.В. Королёва, В.Я. Иванцова, заместителя директора по научной работе В.В. Ериклинцева, директора ТОЭЗ Ю.Е. Левкоева.

В составе Минчермета СССР институтом было получено более тысячи авторских свидетельств, а также российских и зарубежных патентов на изобретения, заключены лицензионные соглашения с компаниями Японии, Великобритании, Германии и других стран. Пять сотрудников института стали заслуженными изобретателями СССР. В 1963 г. директор УралНИТИ Ю.М. Матвеев стал лауреатом Ленинской премии совместно с работниками ВНИИМЕТМАШ, ЭЗТМ, ГИПРОМЕЗ и ЧТПЗ за создание и введение в действие первого отечественного высокоскоростного агрегата непрерывной печной сварки на Челябинском трубопрокатном заводе. В 1989 г. коллектив сотрудников института был удостоен Государственной премии СССР за разработку и промышленное освоение технологий защитных покрытий внутренней поверхности трубопроводов нефтяных и газовых месторождений. Ряд разработок института отмечен премиями Совета Министров СССР. Следует отметить, что достигнутые УралНИТИ показатели экономической эффективности в тот период почти в 1,5 раза превосходили средний уровень по 34 отраслевым институтам чёрной металлургии.

Распад Советского Союза и переход к рыночной экономике predeterminedли востребованность научной и научно-технической деятельности УралНИТИ на российском пространстве как единственного преемника Всесоюзного НИИ трубной промышленности - ВНИТИ (Днепропетровск, Украина) посредством создания в 90-х годах на его базе следующих структур:

- технического комитета (Госстандарта России) по стандартизации труб и стальных баллонов ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны», с возложением функций постоянно действующего национального органа в межгосударственном комитете МТК 7 «Трубы и стальные баллоны»;
- специализированной научно-исследовательской организации (Госстандарта России), осуществлявшей и контролировавшей работы по проектированию производства и проверке качества, в том числе технического диагностирования баллонов;
- испытательного центра по сертификации трубной продукции «Сертицентруба» с государственной аккредитацией Госстандарта России в системе ГОСТ Р на техническую компетентность и независимость;
- базовой отраслевой организации метрологической службы трубного производства;
- отраслевого информационного фонда стандартов трубной промышленности по специализации «Стальные и чугунные трубы и баллоны».

Вновь созданные структуры совместно с технологическими подразделениями УралНИТИ обеспечивали широкие контакты с изготовителями и потребителями трубной продукции, способствуя межотраслевой координации и научно-техническому развитию трубной отрасли. Однако трудности переходного периода привели к сокращению части коллектива, значительному снижению возможностей лабораторной и экспериментальной базы.

К началу нового столетия прежнее название института уже не соответствовало его фактической роли в развитии трубного производства страны, и после прохождения государственной аккредитации в 2001 году он был переименован в «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности».

### **Новые времена**

В 2003 г. после продажи государством основного пакета акций РосНИТИ были радикально изменены система управления и структура научно-технических направлений деятельности института. Основанием этому послужил договор о сотрудничестве в форме стратегического партнерства с крупнейшим отечественным трубным холдингом – Трубной металлургической компанией (ТМК), который определял текущую и перспективную тематику НИОКР института в рамках приоритетов развития трубного бизнеса ТМК. По мере расширения совместной деятельности были организованы новые и восстановлены ранее утраченные технологические подразделения, привлечены квалифицированные кадры, инвестированы значительные средства в современное исследовательское и испытательное оборудование.

В числе примечательных событий, произошедших после начала сотрудничества института с ТМК, необходимо отметить:

- образование лаборатории технического регулирования (2005 г.), разрабатывающей и проводящей экспертизу национальных стандартов (ГОСТ Р) в области производства и применения трубной продукции на территории РФ;
- аккредитацию Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии новых структур:
  - органа по сертификации продукции «РосНИТИсертицентр» (2008г.);
  - испытательной лаборатории (центра) ОАО «РосНИТИ» (2009г.);
- получение (2008 г.) сертификата одобрения компанией «Lloyd's Registered Quality Assurance» на соответствие стандарту системы менеджмента качества ISO 9001:2000 в области «Проектирование и разработка трубной продукции. Квалификация поставщиков» (аудиты второй стороны);
- создание (2009 г.) межотраслевой лаборатории коллективного пользования по проблемам производства и эксплуатации трубной продукции.

В 2007 году РосНИТИ был включён в контур консолидации ТМК, став научно-техническим центром компании, на базе которого Управляющая компания создала корпоративную систему управления инновациями. В рамках реализуемой компанией Стратегической

инвестиционной программы основные задачи, стоящие перед институтом, связаны с обеспечением дальнейшего развития корпоративной системы знаний, позволяющих оперативно реагировать на постоянно возрастающие требования основных потребителей трубной продукции. Осуществлён переход на единую корпоративную систему планирования научных исследований и разработок посредством формирования плана НИОКР для российских заводов группы ТМК как неотъемлемой части инвестиционной программы. Это повысило эффективность управления ресурсами, позволило выполнять работы одновременно для нескольких заводов, более эффективно организовывать проведение НИОКР и управлять их результатами. Следующим шагом развития компании стало включение в этот процесс предприятий сервисного и зарубежного дивизионов с европейскими и американскими предприятиями. Сегодня Трубная металлургическая компания является крупнейшим российским производителем и экспортёром стальных труб, входит в тройку ведущих мировых производителей высококачественных труб и объединяет 30 предприятий, расположенных в России, США, Канаде, Румынии, Омане, ОАЭ и Казахстане, обладает уникальными мощностями по производству всего спектра стальных труб.

В настоящее время институт является крупнейшим научно-техническим центром чёрной металлургии Российской Федерации и стран СНГ в области трубного производства, решения теоретических и практических вопросов технологии и оборудования для изготовления трубной продукции на всех этапах передела: от трубной заготовки до комплексных испытаний, стандартизации, сертификации, экономических и маркетинговых исследований.

### Научно-технический потенциал

Высокие темпы изменения рыночной конъюнктуры, особенно в наукоемких отраслях, к числу которых относится и трубная отрасль, возникновение санкционной ситуации требуют сегодня и в перспективе принятия мер по поддержанию конкурентоспособного уровня научных исследований и прикладных технологических разработок. Решение такой задачи невозможно без соответствующего времени и содержанию научно-технического потенциала института (см. **рисунок**).



### Научно-технический потенциал РосНИТИ

В числе наиболее значимых результатов современных научных разработок РосНИТИ, созданных за последнее десятилетие, следует отметить:

- создание производства бесшовных и электросварных труб на базе нового поколения высокоэффективных сталей и сплавов. Разработка легла в основу создания совместного предприятия ТМК, СинТЗ и РосНАНО – ТМК ИНОКС;

- разработку совместно с ГазпромВНИИГАЗ и ТМК-Премиум Сервис конструкции и освоение технологии изготовления на СинТЗ широкой линейки теплоизолированных лифтовых колонн (ТЛТ), предназначенных для добычи нефти и газа в районах вечной мерзлоты, для исключения растепления грунта и, следовательно, разрушения всей инфраструктуры скважины. ТЛТ также применяются при добыче с использованием тепловых методов, в частности паротепловых методов добычи тяжелой (вязкой) нефти, для исключения образования парафиновых и газогидратных пробок (лишь считанные единицы производителей в мире могут поставлять такую продукцию);

- освоение производства бесшовных труб линейных участков газопровода «Южный поток» и трубопроводов компрессорных станций с рабочим давлением до 28,45 МПа включительно;

- разработку и освоение технологии производства сероводородостойких линейных, обсадных, насосно-компрессорных и бурильных труб повышенных групп прочности для Оренбургского и Астраханского месторождений;

- освоение технологии производства хладостойких обсадных и насосно-компрессорных труб из коррозионностойких сталей «семейства» типа суперхром (13 Cr), обладающих особой стойкостью к агрессивным средам на газовых и газоконденсатных месторождениях в районах с пониженными температурами;

- создание на основе синтеза наиболее современных методов – конечных элементов и нейронных сетей уникальной методики для определения параметров труб и выбора эффективного способа достижения высоких показателей устойчивости обсадных труб к смятию внешним давлением. Применение методики позволило значительно расширить производимую линейку труб категории High Collapse на ВТЗ и ТАГМЕТ, которые по своим эксплуатационным свойствам превосходят требования стандартов;

- разработку «бессмазочных» технологий для новых резьбовых соединений насосно-компрессорных и обсадных труб. Применяемые в них в настоящее время жидкие смазки будут заменены специальным твёрдым композиционным покрытием с полимерной матрицей, обладающим эквивалентным антифрикционным, противозадирным и антикоррозионным свойствами;

- создание и освоение новой технологии прокатки горячекатаных бесшовных труб на станах: раскатных, обкатных и продольной прокатки с использованием разработанных институтом графитосодержащей технологической смазки, наносимой на оправку, и смазочно-дезоксидирующего продукта, наносимого на внутреннюю поверхность гильзы;

- разработку на основе энергетической теории взаимодействия прокатного инструмента и деформируемого металла новых форм рабочей поверхности оправок с повышенной стойкостью для освоения горячекатаных бесшовных труб на станах винтовой прокатки;

- технологическое сопровождение освоения промышленного производства горячекатаных высокопрочных труб повышенной точности и качества поверхности на современных трёхвалковых станах непрерывной прокатки: PQF на ТАГМЕТе и FQM Северского трубного завода – уникальном трубопрокатном оборудовании, единственным в России владельцем которого является ТМК.

С вводом этих агрегатов ТМК становится обладателем наиболее современного на территории СНГ комплекса технологий для производства широкого сортамента бесшовных труб от собственного изготовления трубной заготовки до конечного продукта, существенно превосходя конкурентов на внутреннем рынке благодаря достижению более высокой произво-

дительности, более жёстких допусков на геометрические размеры, не уступающих сварным трубам, и возможности качественной прокатки труб из высокопрочных марок стали. Эти технологии открывают дорогу к освоению серийного выпуска уникальной продукции, в том числе для глубоководного бурения. Такими технологиями в настоящий момент обладают только две компании в мире. Преимущество, полученное ТМК с приобретением самых современных непрерывных станов, может быть в дальнейшем усилено за счёт создания на их базе новых перспективных ресурсо- и энергосберегающих технологий прокатки, увеличения манёвренности агрегатов.

В этом направлении РосНИТИ созданы уникальные подходы для разработки и внедрения новых схем калибров, позволяющих развить преимущества (равно как преодолеть имеющиеся недостатки) станов с трёхвалковыми клетями и двухвалковых калибров МРМ для прокатки качественных стальных труб тонкостенного сортамента.

Приоритетными задачами повышения научно-технического потенциала института определены:

- способность гибко реагировать на быстро меняющиеся требования к трубной продукции.

Решение данной задачи требует обеспечению тесной связи с потребителями, учёта проектов по новым видам продукции. Так, расширение географических границ добычи углеводородов за счёт освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Северных морей, Арктики предъявляет повышенные эксплуатационные характеристики к трубной продукции. Институт ведёт разработку новых технологий, инструментов, марок стали для производства труб, эксплуатируемых в зонах повышенной сейсмической активности, высоких и низких температур, агрессивных сред.

- тесное сотрудничество с основными потребителями трубной продукции и производителями оборудования для трубной отрасли.

С научными подразделениями крупнейших потребителей трубной продукции нефтегазового сортамента – Газпрома, Роснефти, Сургутнефтегаза, ЛУКОЙЛа, Газпромнефти, Независимой нефтяной компании – разработаны и реализуются научно-исследовательские программы в рамках долгосрочных соглашений. Деловые встречи и совещания на базе института проводятся с зарубежными партнерами – SMS Meer, Salzgitter и др.

- взаимодействие с российскими и зарубежными научными центрами.

Совместные исследования и разработки по созданию новых видов продукции под конкретные проекты и месторождения проводятся с отраслевыми центрами - ГазпромВНИИГА-Зом, ВИИТнефтью, ГИПРОМЕЗом. Научные интересы связывают институт с российскими и зарубежными образовательными центрами – МИСиС, УрФУ, ЮУрГУ, Массачусетским технологическим и Питтсбургским университетами.

Большие планы институт связывает с созданием нового научно-технического центра (НТЦ) ТМК в Инновационном Центре «Сколково», завершение строительства которого планируется в начале 2017г. Доступ к возможностям современной инновационной экосистемы, проведение исследований и испытаний на современном, соответствующем мировым стандартам и уникальном для отрасли оборудовании открывает перспективы в создании новых видов продукции. С Центром связывается реализация амбициозных планов по разработке технических решений, внедрению новых материалов и видов испытательного оборудования, позволяющих повысить эффективность и безопасность эксплуатации создаваемой инновационной продукции, отвечающей самым передовым требованиям ключевых нефтегазодобывающих компаний. Речь идёт о проработке на теоретическом и экспериментальном уровне требований к трубной продукции для разведки, добычи углеводородов на шельфе и в океане, их транспортировке, проведения полноразмерных испытаний образцов труб, проверке готовности продукции к сертификационным испытаниям и подтверждении надёжности создаваемых технических решений для производства новой продукции с повышенными эксплуатационными характеристиками.



Научно-технологические направления, которыми РосНИТИ занимается в настоящее время, и новые, возможность для которых предоставит НТЦ ТМК в Сколково, станут достойным вкладом института в реализацию государственной политики импортозамещения.

В современной научно-исследовательской деятельности РосНИТИ появляются новые горизонты планирования, прогнозирования и формирования перспектив развития отраслевой науки для дальнейшего удовлетворения потребностей всех участников нефтегазового рынка. Сегодня часть научных сотрудников РосНИТИ в Челябинске работает над темами, которые получают развитие на новой научно-исследовательской площадке ТМК. Тем самым обеспечивается преемственность многолетнего технологического опыта и связь между институтом и новым НТЦ в Сколково.

В задачи нового центра будет также входить подготовка высокопрофессионального персонала ТМК и формирование у него современных компетенций, ускоряющих применение новых научных знаний. Можно с уверенностью заявить, что для реализации перспективных инновационных проектов ТМК будет востребован и вовлечён широкий круг молодых специалистов и учёных института.

В институте традиционно уделяется большое внимание профессиональному росту молодых специалистов. Ежегодно в институте проводится Молодежная конференции «Молодые исследователи – металлургии», которая является отчётным мероприятием и демонстрацией вклада молодых исследователей в научно-технический потенциал института. Лучшие докладчики принимают достойное участие в ежегодной корпоративной молодёжной научно-практической конференции с участием представителей всех заводов по ключевым научно-техническим и производственным направлениям деятельности ТМК. По итогам последней конференции в октябре 2015г., как и в прошлые годы, молодые учёные института стали победителями и лауреатами в четырёх основных технологических секциях.

Помимо этого, молодые специалисты института ежегодно принимают участие в 4-5 международных и до 8-10 российских научных конференциях различного уровня, и в последние годы их достижения становятся всё весомее.

Сегодня в составе РосНИТИ научную деятельность ведут 67 исследователей в возрасте до 30 лет (или 42,7% от общей численности института), в их числе 17 аспирантов. Базовыми вузами для подготовки специалистов являются Южно-Уральский государственный университет и Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

За последние три года 8 сотрудников института, недавних выпускников вузов, защитили кандидатские диссертации.

В целом деятельность РосНИТИ за период 2003-2015 гг. характеризуется динамичным развитием, в частности возросли: численность сотрудников в 2 раза, заработная плата в 5 раз, техническая вооружённость труда одного сотрудника, выполняющего исследования и разработки, в 14 раз, поступление финансовых средств от НИОКР на одного сотрудника в 13 раз.

По сравнению с 2003 г. общие объёмы поступления финансовых средств в институт от выполнения НИР и НИОКР возросли более чем в 6 раз. Порядка 80% этих объёмов составляют поступления от заводов ТМК, включая зарубежные в Румынии, США и Казахстане.

Средний возраст научных работников составил 39 лет и по сравнению с 2014 г. снизился на 4 года.

Существенно изменилась в институте система патентно-информационного обеспечения НИОКР. Используя сетевую модель распространения информации, научные подразделения получают своевременную информационную поддержку, что повышает информационную культуру специалистов и научно-технический уровень выполняемых ими разработок.

За рассматриваемый период подано 50 заявок на предполагаемые изобретения, получено 39 патентов и положительных решений, получено 87 свидетельств на программы для ЭВМ, в научно-технических и производственных журналах опубликовано 260 научных статей.

РосНИТИ в рамках планов НИР и НИОКР ежегодно выполняет около 300 работ с заводами ТМК и 200 работ с другими организациями по оказанию научно-технических и информационных услуг, стандартизации, сертификации, испытаниям и др.

Испытательная лаборатория РосНИТИ, аккредитованная Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии на техническую компетентность и независимость, а также обладающая свидетельством Российского морского реестра судоходства, в 2015 г. по сравнению с 2010 г. увеличила объёмы проводимых испытаний практически в 20 раз.

Успешная деятельность научно-исследовательских и испытательных подразделений, входящих в состав РосНИТИ, в рамках основных направлений развития бизнеса была бы невозможна без их технического переоснащения. Сегодня эти подразделения на 95% вооружены самым необходимым и современным оборудованием в возрасте до 5 лет.

Национальным Техническим Комитетом ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны», созданным на базе научно-технического потенциала РосНИТИ (членами которого сегодня являются 50 заинтересованных субъектов в области производства и потребления трубной продукции и в составе которого функционируют 10 подкомитетов по тематическим направлениям) разработан 61 национальный стандарт на трубы и баллоны, 46 из которых введены в действие, 28 из них гармонизированы с ISO, 12 переведены в разряд межгосударственных. Остальные из разработанных национальных стандартов находятся в стадии согласования и утверждения. В 2016 г. планируется к разработке 16 проектов новых стандартов.

За период 2001-2015 гг. целенаправленная деятельность ТК 357, согласованная с основными задачами и перспективными планами Комитета Российского союза промышленников и предпринимателей по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия, по обновлению и гармонизации ранее существовавшей и применяемой на территории Российской Федерации нормативно-технической базы на трубную продукцию привела к следующим позитивным изменениям:

- фонд национальных стандартов (ГОСТ Р) на трубную продукцию обновлён более чем на 50%;
- основная масса (более 70%) всех новых национальных стандартов относится к наиболее наукоёмким стальным трубам нефтегазового сортамента;
- национальные стандарты, гармонизированные с международными, впервые за последние десятилетия позволили отечественным потребителям определять перспективные направления развития трубных рынков, а изготовителям принимать оптимальные решения по технологическому перевооружению заводов и корректировке технологий.

При всё более активном участии промышленности и благодаря эффективному взаимодействию ТК 357 со смежными техническими комитетами: ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность», ТК 67/ISO «Материалы, оборудование и морские конструкции для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности», ТК 375 «Металлопродукция из черных металлов и сплавов», ТК 145 «Методы контроля металлопродукции», ТК 465 «Строительство», ТК 371 «Неразрушающий контроль» и рядом других, в области технического регулирования отечественная трубная промышленность, безусловно, может служить самым ярким примером лидерства не только в развитии национальной стандартизации, но и в международной. Подтверждением этому могут служить результаты рейтинга «Росстандарта» по оценке эффективности деятельности в 2014 году 254 национальных технических комитетов по стандартизации, в котором ТК 357 занял 2 место.

Приведённые сведения о современной деятельности РосНИТИ убедительно показывают его практические связи с широким кругом отечественных и зарубежных разработчиков, изготовителей и потребителей, что позволяет институту отслеживать рыночные тенденции, и успешно разрабатывать новые материалы и технологические процессы производства высококачественных видов трубной продукции.

## ПОЗДРАВЛЯЕМ!

*4 января 2016 года ОАО «Российский НИИ трубной промышленности» отмечает 55 лет со дня образования. ОАО «РосНИТИ» - современный высокотехнологичный научный центр, являющийся лидером в трубной отрасли. За 55-летнюю историю коллективом института создан мощный научно-технический потенциал, который обеспечивает решение сложных многопрофильных задач в научной и производственной сферах, национальном и международном техническом регулировании.*

В числе наиболее значимых результатов современных научных разработок РосНИТИ, созданных за последнее десятилетие, следует отметить:

- создание производства бесшовных и электросварных труб на базе нового поколения высокоэффективных сталей и сплавов. Разработка легла в основу создания совместного предприятия – Трубная Metallургическая Компания (ТМК), СинТЗ и РосНАНО – ТМК ИНОКС;

- разработку совместно с ГазпромВНИИГАЗ и ТМК-Премиум Сервис конструкции и освоение технологии изготовления на СинТЗ широкой линейки теплоизолированных лифтовых колонн (ТЛТ), предназначенных для добычи нефти и газа в районах вечной мерзлоты, для исключения растепления грунта и, следовательно, разрушения всей инфраструктуры скважины. ТЛТ также применяются при добыче с использованием тепловых методов, в частности паротепловых методов добычи тяжелой (вязкой) нефти, для исключения образования парафиновых и газогидратных пробок (лишь считанные единицы производителей в мире могут поставлять такую продукцию);

- освоение производства бесшовных труб линейных участков газопровода «Южный поток» и трубопроводов компрессорных станций с рабочим давлением до 28,45 МПа включительно;

- разработку и освоение технологии производства сероводородостойких линейных, обсадных, насосно-компрессорных и бурильных труб повышенных групп прочности для Оренбургского и Астраханского месторождений;

- освоение технологии производства хладостойких обсадных и насосно-компрессорных труб из коррозионностойких сталей «семейства» типа суперхром (13 Cr), обладающих особой стойкостью к агрессивным средам на газовых и газоконденсатных месторождениях в районах с пониженными температурами;

- создание на основе синтеза наиболее современных методов – конечных элементов и нейронных сетей уникальной методики для определения параметров труб и выбора эффективного способа достижения высоких показателей устойчивости обсадных труб к смятию внешним давлением. Применение методики позволило значительно расширить производимую линейку труб категории High Collapse на ВТЗ и ТАГМЕТ, которые по своим эксплуатационным свойствам превосходят требования стандартов;

- разработку «бессмазочных» технологий для новых резьбовых соединений насосно-компрессорных и обсадных труб. Применяемые в них в настоящее время жидкие смазки будут заменены специальным твёрдым композиционным покрытием с полимерной матрицей, обладающим эквивалентным антифрикционным, противозадирным и антикоррозионным свойствами;

- создание и освоение новой технологии прокатки горячекатаных бесшовных труб на станах: раскатных, обкатных и продольной прокатки с использованием разработанных институтом графитосодержащей технологической смазки, наносимой на оправку, и смазочно-дезоксирующего продукта, наносимого на внутреннюю поверхность гильзы;

- разработку на основе энергетической теории взаимодействия прокатного инструмента и деформируемого металла новых форм рабочей поверхности оправок с повышенной стойкостью для освоения горячекатаных бесшовных труб на станах винтовой прокатки;

- технологическое сопровождение освоения промышленного производства горячекатаных высокопрочных труб повышенной точности и качества поверхности на современных трёхвалковых станах непрерывной прокатки: PQF на ТАГМЕТе и FQM Северского трубного завода – уникальном трубопрокатном оборудовании, единственным в России владельцем которого является ТМК.

## РЕФЕРАТЫ

### УДК 621.77

**Лежнев С.Н., Волокитина И.Е., Курапов Г.Г., Кнапиньски М.Я. Исследование влияния криогенного охлаждения при равноканальном угловом прессовании на эволюцию микроструктуры меди.**

В данной статье проведено исследование влияния криогенного охлаждения при равноканальном угловом прессовании на эволюцию микроструктуры меди. Научной гипотезой являлось то, что измельчение структуры происходит за счет физико-механических процессов, проходящих в материале. Поэтому работа связана с более глубоким пониманием теоретических представлений и практических аспектов методов ИПД со структурообразованием и с возможностью значительного расширения области применения промышленных металлов за счет создания передовых технологических процессов получения субультрамелкозернистых полуфабрикатов и изделий с качественно новым уровнем физико-механических свойств.

Материалом исследования являлась техническая медь марки М1 квадратного сечения 15×15×70 мм, которую подвергали РКУП в обычной ступенчатой матрице с углом стыка каналов 125° и в ступенчатой матрице с таким же углом стыка каналов, но с промежуточной и закалочной камерой, оснащенной системой для циркуляции азота, располагающихся после выходного канала матрицы. В результате исследования выявлено, что микроструктура меди после прессования в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы, обеспечивающей криогенное охлаждение заготовки, получается более мелкозернистой, а также обеспечиваются более высокие значения микротвердости медного сплава. Установлено, что основной процесс измельчения структуры, вне зависимости от механизма пластичности, происходит в момент протекания пластического течения металла, а в дальнейшем происходит закрепление образовавшейся структуры.

Рис. 4. Табл. 1. Библ. 3 назв.

**Ключевые слова:** микроструктура; РКУП, медь, криогенное охлаждение, микротвердость.

### УДК 621:771.23–022.532:621.785

**Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Алексеев Д.Ю. Совершенствование технологии контролируемой прокатки низколегированных сталей.**

В данной статье проведена оценка возможности снижения времени, затрачиваемого на процесс межфазного охлаждения. Исследование проводилось с помощью физического моделирования на базе научно-производственного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ». В результате исследований удалось уменьшить время, затрачиваемое на охлаждение раската с 20 до 16,5 мин с соответствующим увеличением производительности на 10 т/час.

Рис. 2. Табл. 3. Библ. 6 назв.

**Ключевые слова:** контролируемая прокатка, межфазное охлаждение, низколегированная сталь, термомеханическая обработка, ускоренное охлаждение.

### УДК 669.018.58.017

**Барышников М.П., Голубчик Э.М., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Кузнецова А.С., Гитман М.Б. Исследование свойств высокопрочных инварных сплавов нового поколения.**

В настоящее время для разработки техники нового поколения широкое распространение получают материалы на базе специальных сплавов с особыми физико-механическими свойствами. Примером таких сплавов являются инварные сплавы, обладающие минимальным значением температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) в сочетании с высокими прочностными характеристиками. Учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ» в кооперации с ведущими специалистами ПАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь) ведется освоение

промышленного малотоннажного производства новых высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса на Fe-Ni-C основе. Представлены результаты комплексных исследований влияния режимов технологического воздействия различной физической природы на формирование эксплуатационных свойств инварных сплавов системы Fe-Ni-C, дополнительно легированных Co, V, Mo, с применением методов растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа, а также современного исследовательского оборудования (комплекса Gleeble 3500). Установлены особенности структурообразования исследуемых материалов. Описано влияние легирующих элементов (V, Mo, Co) на изменение физико-механических свойств в инварных сплавах системы Fe-Ni-C в процессе их термообработки.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр. 7 назв.

**Ключевые слова:** высокопрочные инварные сплавы; закалка; отжиг; структура; твердость; температурный коэффициент линейного расширения

#### **УДК 621.011.015**

**Зайдес С.А. Состояние технологии поверхностного пластического деформирования в России.**

Представлен обзор научных школ и научных направлений, которые развивают и совершенствуют процессы отделочно-упрочняющей обработки. Показаны достижения ученых в области развития процессов деформационного упрочнения, формообразования, восстановления и других технологий на основе малых пластических деформаций.

**Ключевые слова:** поверхностное пластическое деформирование, отделочно-упрочняющая обработка, исследования, достижения.

#### **УДК 620.173.25**

**Железков О.С., Малаканов С.А., Ширяев О.П. Изменение сопротивления деформации холоднодеформированной стали марки 12X18H10T при термообработке.**

Экспериментально установлена зависимость сопротивления деформации холоднодеформированной стали марки 12X18H10T от температуры промежуточного отжига.

Рис. 1. Табл. 1. Библ. 5 назв.

**Ключевые слова:** коррозионностойкие стали и сплавы, холодное деформирование, сопротивление деформации, отжиг, температура отжига, усилие деформирования.

#### **УДК 621.771.25**

**Шубин И.Г., Шубина Н.И. К вопросу формирования качества сортового проката на основе моделирования температурного режима в потоке проволочного стана.**

Важнейшей технической характеристикой прокатного стана, во многом определяющей условия реализации устойчивого процесса производства и качества готовой продукции, является температурный режим прокатки. Разработана математическая модель учитывающая специфику оборудования, его технические характеристики и параметры процесса деформации металла. Адекватность модели подтверждена сравнением с промышленными данными.

Рис. 3. Библ. 7 назв.

**Ключевые слова:** качество, катанка, математическая модель, температура, прокатный стан.

#### **УДК 004.42:669**

**Валько Д.В. Разработка и применение учебного программного обеспечения в условиях новых стандартов профессионального образования по специальности «Обработка металлов давлением».**

Сформулированы критерии и требования к программным решениям в области обучения технологическим процессам обработки металлов давлением, выполнен анализ наиболее пригодных программных продуктов, в том числе систем автоматизированного проектирования и моделирования, отмечены их достоинства и недостатки. Разработан программный про-

дукт для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением в части расчета калибровочных систем по ходу прокатки.

Рис. 4. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

**Ключевые слова:** технологические процессы, обработка металлов давлением, моделирование, программирование расчетов, среднее профессиональное образование

#### **УДК 621.778**

**Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Реализация деформации кручения в производстве проволоки с ультрамелкозернистой структурой.**

Процесс волочения проволоки в монолитных волокнах хорошо изучен теоретически и обеспечен инфраструктурой. Для интенсификация данного процесса необходимо искать новые способы. Однако способы должны быть такими, чтобы минимально вносить изменения в действующее волочильное оборудование. В работе рассмотрены различные способы. Показано, что необходимо развивать способы, основанные на кручении. Одним из наиболее перспективных методов является радиально-сдвиговая протяжка.

Рис. 1. Табл. 2. Библиогр. 19 назв.

**Ключевые слова:** проволока, вращающаяся волока, волочение, кручение, моделирование, радиально-сдвиговая протяжка

#### **УДК 621.778.08**

**Харитонов В.А., Петров И.М. Направления развития отечественного производства бунтовой арматурной стали.**

В статье рассмотрено современное состояние и даны направления развития технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали. Также приведен комплекс требований к арматуре, соответствующей современным мировым требованиям.

Рис. 3. Библиогр. 10 назв.

**Ключевые слова:** арматурная сталь, пластичность, прочность, сцепление с бетоном, свариваемость, стандарты.

#### **УДК 539.42**

**Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В., Бачева А.В. Влияние режимов механической обработки стали 09Г2С на формирование остаточных напряжений.**

В статье приводятся результаты исследования влияния режимов механической обработки на формирование остаточных технологических напряжений в поверхностных слоях образцов из конструкционной низкоуглеродистой стали 09Г2С.

Рис. 2. Табл. 3. Библиогр. 16 назв.

**Ключевые слова:** остаточные технологические напряжения, метод рентгеновской дифрактометрии, режимы механической обработки, низкоуглеродистая сталь.

#### **УДК 621.771**

**Пивоварова К.Г. Формирование шероховатости поверхности металла при калибровании в монолитной волоке.**

Разработана математическая модель формирования микрорельефа в процессе калибрования, позволяющая определять значения высотного параметра  $R_a$  шероховатости поверхности стали в зависимости от исходной шероховатости заготовки, степени деформации, вида подготовки поверхности к деформации, механических свойств и характера упрочнения стали. Методом совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и условия пластичности определили усилие деформации микровыступа при калибровании сплошного круглого профиля с учетом вида подготовки поверхности. Модель позволяет установить ко-

личественное влияние указанных факторов на шероховатость поверхности калиброванной стали.

Рис. 4. Библиогр. 4 назв.

**Ключевые слова:** калиброванный металл, микрорельеф поверхности, параметры шероховатости поверхности, пластическая деформация

**УДК 621.778**

**Бахматов Ю.Ф. Влияние технологических параметров на эффективность процесса бесфильтрного волочения.**

Работа силовых установок с применением ультразвука связана с резонансными режимами. Они зависят от степени нагружения элементов оборудования. Проведен анализ возможных источников, влияющих на необходимые режимы. Предложено решение, обеспечивающее самонастройку системы.

Рис. 4. Библиогр. 6 назв.

**Ключевые слова:** волочение, ультразвук, резонанс, дефект модуля упругости, волновод.

**УДК 621.774:061.6**

**Пышминцев И.Ю. РосНИТИ – 55 лет. К новым рубежам.**

Представлен обзор основных этапов становления и развития института за 55-летнюю деятельность. Отражены основные составляющие научно-технического потенциала института: интеллектуальный капитал, современная научно-техническая база, кооперационные связи и информационное пространство, позволяющие решать оперативные, стратегические научные и производственные проблемы для трубной отрасли страны.

Рис. 1.

**Ключевые слова:** РосНИТИ, трубная промышленность, НИОКР, научно-технический потенциал, инновационные разработки, научно-техническое сотрудничество, техническое регулирование.



## REPORTS

### UDK 621.77

**Lezhnev S.N.; Volokitina I.E., Kurapov G.G.; Knapinski M.Ya. Study of the cryogenic cooling effect on the copper microstructural evolution during equal channel angular extrusion.**

This article describes the study of the cryogenic cooling effect on the copper microstructural evolution during equal channel angular extrusion. A scientific hypothesis was that the structure refinement occurs due to the physical and mechanical processes which take place in the material. Therefore, the work is associated with a deeper understanding of theoretical concepts and practical aspects of the SPD (severe plastic deformation) methods with structure formation and with the opportunity to expand significantly the scope of industrial metals due to the creation of advanced processes to obtain the subultra-fine grain semi-fabricated products and products with a qualitatively new level of physical and mechanical properties.

The data for investigation was the M1 commercial copper of square section 15×15×70 mm that was subjected to the equal channel angular extrusion in a conventional echelon matrix, with angle of the channel junction of 125° and in an echelon matrix with the same angle of the channel junction but with an intermediate and a quenching chamber equipped with a system for circulating nitrogen, which are located after the output matrix channel. The investigation has revealed that the microstructure of copper after extrusion in the proposed equal-channel echelon matrix design that provides cryogenic cooling of the workpiece, is more fine-grained, and higher values of microhardness of copper alloy are provided. It has been established that the main process of the structure refinement, regardless of the mechanism of yield ability (ductility), occurs at the time of yielding of metal, and subsequently there is fixation of the formed structure.

Fig. 4. Table 1. Bibliograf. 3 names.

**Keywords:** microstructure, ECA-pressing, copper, cryogenic cooling, microhardness.

### UDK 621:771.23–022.532:621.785

**Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushina M.S. Alekseev D.Iu. Improving of the technology controlled rolling alloy steels.**

In this article was made the analysis of ability to reducing the time for interphase cooling. This study was conducted with a help of physical modeling in a Research and Production Complex LLC "Termodeform-MGTU". As a result the time for cooling the strip was reduced from 20 to 16.5 minutes with a increase in productivity of 10 tons per hour.

Fig. 2. Table 3. Bibliograf. 6 names.

**Keywords:** controlled rolling, interphase cooling, low alloy steel, thermomechanical manufacturing, accelerated cooling.

### UDK 669.018.58.017

**Barishnikov M.P., Golubchik E.M., Koptseva N.V., Efimova Ju.Ju., Kuznetsova A.S., Gitman M.B. Study on properties of high-strength invar alloys new generation**

At the present time to develop a new generation of technology proliferation of materials on the basis of special alloys with special physical-mechanical properties. An example of such alloys are alloys of invarnye possessing minimum value of temperature coefficient of thermal expansion combined with high strength characteristics. Scientists Nosov Magnitogorsk State Technical University in cooperation with leading experts of PJSC "Motovilikhinskiye zavody" (Perm) is mastering small-scale industrial production of new high-strength alloys invarnogo all-in-one class in Fe-Ni-C basis. Presents the results of a comprehensive study of the impact of technological impact modes of different physical nature in shaping operational properties of invarnyh alloys Fe-Ni-C, optionally doped Co, V, MO, using the methods of scanning electron microscopy and mikrorentgenospektrol'nogo analysis, as well as modern research equipment.

Fig. 3. Table 1. Bibliograf. 7 names.

**Key words:** high strength Invar alloys; quenching; annealing; structure; hardness; coefficient of linear thermal expansion.

#### **UDK 621.011.015**

##### **Zaydes S.A. State of surface plastic deformation technology in Russia.**

A review of scientific schools and scientific directions which develop and improve the finishing and strengthening treatment processes is given.

The scientists' achievements in the field of development of the strain hardening, forming, recovery processes and other technologies based on the small plastic deformation are shown.

**Keywords:** surface plastic deformation, finishing and hardening treatment, investigations, achievements

#### **UDK 620.173.25**

##### **Zhelezkov O.S., Malakanov S.A., Shiriyev O.P. Experimentally determined the dependence of the deformation resistance in cold-formed steel 12X18H10T from the temperature of the intermediate annealing.**

Experimentally determined the dependence of the deformation resistance in cold-formed steel 12X18H10T from the temperature of the intermediate annealing.

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

**Keywords:** Corrosion-resistant steels and alloys, cold deformation, deformation resistance, annealing, annealing temperature, stress deformation.

#### **UDK 621.771.25**

##### **Shubin I.G., Shubina N.I. About the long products quality formation based on the temperature condition modeling in the flow section mill.**

Rolling temperature is the most important technical characteristic of the rolling mill that largely determines conditions for sustainable production process and the quality of the finished product. A mathematical model was developed, it takes into account equipment specificity, its technical characteristics and metal strain process characteristics. The adequacy of the model is confirmed by comparison with the industrial data.

Fig.3. Bibliograf . 7 names

**Key words:** quality, rod, mathematical model, temperature, rolling mill.

#### **UDK 004.42:669**

##### **Valko D.V. The Development and Using of Educational Software in the Context of the New Standards of Professional Education in the Specialty "Metal Forming"**

The criteria and requirements for software solutions in the field of education technology of metal forming processes, the analysis of the most suitable software products, including computer-aided design and modeling, their advantages and disadvantages. A software product for modeling manufacturing processes of metal forming for a part of the calculation in the calibration system during the rolling.

Fig. 4. Table 1. Bibliograf. 10 names.

**Keywords:** technological processes, metal forming, modeling, programming calculations, secondary vocational education.

#### **UDK 621.778**

##### **Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Implementation of torsional strain in wire production with ultrafine-grained structure.**

The process of wire drawing in the monolithic dies has been well studied theoretically and ensured infrastructure. In order to intensify this process, it is necessary to look for new ways. However, the ways must be such as to make minimal changes in the valid drawing equipment. The paper discusses various ways. It has been shown that it is necessary to develop ways based on torsion. One of the most promising methods is a radial-displacement broach.

Fig. 1. Table 2. Bibliograf. 19 names.

**Keywords:** wire, rotating die, drawing, torsion, modeling, radial-displacement broach.

#### **UDK 621.778.08**

##### **Kharitonov V.A., Petrov I.M. Development direction of domestic production of coin reinforcing steel.**

The article considers the current status and development direction of manufacturing processes coin low carbon reinforcing steel. Also there is given the set of requirements for reinforcement, corresponding to modern world requirements.

Table 3. Bibliograf. 10 names.

**Keywords:** reinforcing steel, plasticity, toughness, adhesion to concrete, weldability, standards.

#### **UDK 539.42**

##### **Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Y.V., Bacheva A.V. Influence of mechanical treatment of steel 09G2S on the formation residual stresses.**

The article presents the research results of influence of machining conditions on the formation of residual technological stresses in the surface layers of samples of low carbon structural steel 09G2S.

Fig. 2. Table 3. Bibliograf. 16 names.

**Key words:** residual technological stresses, x-ray diffraction method, the machining, low carbon steel.

#### **UDK 621.771**

##### **Pivovarova K.G. Metal surface roughness formation at sizing in monolith die.**

Mathematical model of microrelief at sizing is carried out which allows to estimate high parameter Ra value depending on initial workpiece roughness, deformation degree, type of surface preparation to deformation, mechanical properties and steel strengthening mechanism. Subject to type of surface preparation microlug deformation stress at sizing solid round profile is determined by joint calculation differential equations of balance and ductility condition. This model allows to estimate these factors quantitave influence the sized metal workpiece surface roughness.

Fig. 4. Bibliograf. 4 names.

**Key words:** sized metal workpiece, surface microrelief, surface roughness parameters, plastic deformation

#### **UDK 621.778**

##### **Bakhmatov Yu.F. Influence of technological parameters on the dieless wire drawing process effectiveness.**

Operation of ultrasound power devices deals with resonance modes. They depend on the degree of equipment elements loading. The analysis of probable resources effecting on the necessary modes is carried out. The decision which provides system selfadjustment is proposed.

Fig. 4. Bibliograf. 6 names

**Key words:** wire drawing, ultrasound, resonance, modulus of elasticity defect, wave guide

#### **UDK 621.774:061.6**

##### **Pyshmintsev I.Yu. RosNITI – 55 years. To new advances.**

The review of the basic stages of institute formation and development for 55 years activity is presented. Cardinal constituents of institute scientific and technical potential are described: intellectual capital, modern scientific and technical basics, cooperation links and information area which allow to solve urgent problems for country pipe industry as strategic as scientific and manufacturing.

Fig. 1.

**Key words:** RosNITI, pipe industry, scientific and research activity, scientific and technical potential, innovative developments, scientific and technical cooperation, technical reglament

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алексеев Даниил Юрьевич** – студент кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-25. E-mail: [danon369@gmail.com](mailto:danon369@gmail.com).

**Барышников Михаил Павлович** - канд. техн. наук, профессор кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. E-mail: [arcosmag@mail.ru](mailto:arcosmag@mail.ru).

**Бахматов Юрий Федорович** - канд. техн. наук, доцент кафедры физики, ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. E-mail: [ybakhmatov@yandex.ru](mailto:ybakhmatov@yandex.ru).

**Бачева Анна Вячеславовна** - инженер кафедры «Инновационные технологии машиностроения», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Россия, г. Пермь. Раб. телефон: 8 (342) 239-15-08. E-mail: [anna-bacheva@mail.ru](mailto:anna-bacheva@mail.ru)

**Бережная Галина Андреевна** - канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-25. E-mail: [galina\\_1609@mail.ru](mailto:galina_1609@mail.ru)

**Валько Данила Валерьевич** - к.э.н., зав. лабораторией, Южно-Уральский институт управления и экономики; преподаватель, Южно-Уральский многопрофильный колледж, Россия, г. Челябинск. E-mail: [lex\\_13@list.ru](mailto:lex_13@list.ru)

**Волокитина Ирина Евгеньевна**, докторант, Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Казахстан.

**Голубчик Эдуард Михайлович** - д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-12. E-mail: [golub66@mail.ru](mailto:golub66@mail.ru).

**Гитман Михаил Борисович** - профессор, д-р физ.-мат. наук, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Математического моделирования систем и процессов». Россия, г. Пермь. E-mail: [gmb@matmod.pstu.ac.ru](mailto:gmb@matmod.pstu.ac.ru).

**Гушина Марина Сергеевна** – аспирант кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-25. E-mail: [marina.mgn.89@mail.ru](mailto:marina.mgn.89@mail.ru).

**Ефимова Юлия Юрьевна** - канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО « Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. E-mail: [jefimova78@mail.ru](mailto:jefimova78@mail.ru)

**Железков Олег Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел.: 8(3519) 29-84-27. E-mail: [ferumoff@mail.ru](mailto:ferumoff@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](mailto:zsa@istu.edu)

**Карманов Вадим Владимирович** - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Инновационные технологии машиностроения», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Россия, г. Пермь. Раб. тел. 8 (342) 239-15-08. E-mail: [karmanovs@yandex.ru](mailto:karmanovs@yandex.ru)

**Кнапиньски Марчин Ярослав** – д-р техн. наук. Ченстоховский политехнический университет, Польша.

**Копцева Наталья Васильевна** - д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. E-mail: [koptsev2002@mail.ru](mailto:koptsev2002@mail.ru)

**Кузнецова Алла Сергеевна** - ассистент кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-12. E-mail: [allakuznetsova.mgtu@mail.ru](mailto:allakuznetsova.mgtu@mail.ru).

**Курапов Георгий Георгиевич** - к.х.н., асс. профессора, Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Казахстан.

**Лежнев Сергей Николаевич** - к.т.н., доцент; Карагандинский государственный индустриальный университет, Казахстан;

**Малаканов Сергей Александрович** – канд. техн. наук, начальник отдела. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел.: 8(3519) 29-84-43. E-mail: [samalakanov@mail.ru](mailto:samalakanov@mail.ru).

**Панин Юрий Валерьевич** – аспирант ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Россия, г. Пермь. Раб. телефон: 8 (342) 239-15-08. E-mail: [anton.nurtdinov@gmail.com](mailto:anton.nurtdinov@gmail.com).

**Петров Игорь Михайлович** – аспирант, старший преподаватель кафедры металлургии и стандартизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке». E-mail: [petrov.mgtu@gmail.com](mailto:petrov.mgtu@gmail.com).

**Пивоварова Ксения Григорьевна** - канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail: [kgpivovarova@gmail.ru](mailto:kgpivovarova@gmail.ru).

**Полецков Павел Петрович** - д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, Тел. 8(3519)29-85-25. E-mail: [pavel\\_poletskov@mail.ru](mailto:pavel_poletskov@mail.ru).

**Пыжменцев Игорь Юрьевич** – д-р техн. наук, генеральный директор ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности». Россия, г. Челябинск. E-mail: [secretariat@rosniti.ru](mailto:secretariat@rosniti.ru).

**Салганик Виктор Матвеевич** - д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологий обработки материалов», ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)29-85-25. E-mail: [svm375@yandex.ru](mailto:svm375@yandex.ru).

**Трофимов Виктор Николаевич** - д-р техн. наук, профессор кафедры ДПМ, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Россия, г. Пермь. Раб. тел. 8 (342) 239-13-40 E-mail: [tvn\\_perm@mail.ru](mailto:tvn_perm@mail.ru).

**Усанов Михаил Юрьевич** - старший преподаватель кафедры металлургии и стандартизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке». Направление исследований: проволочное производство, методы интенсивной пластической деформации, радиально-сдвиговая деформация. E-mail: [barracuda\\_m@mail.ru](mailto:barracuda_m@mail.ru).

**Харитонов Вениамин Александрович** - к.т.н., проф.; профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: проволочное производство, прокатное производство, изготовление метизов, методы интенсивной пластической деформации, радиально-сдвиговая деформация. Сл. тел. (3519) 29-84-81.

**Ширяев Олег Петрович** – директор ОАО «ММК-МЕТИЗ». Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск.

**Шубин Игорь Геннадьевич** – к.т.н., доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия, [shubin64@mail.ru](mailto:shubin64@mail.ru)

**Шубина Наталья Игоревна** - аспирант кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Alekseev Daniil Iurevich** – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: [danon369@gmail.com](mailto:danon369@gmail.com).

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

**Bacheva Anna Vyacheslavovna** – engineer Department ITM, State National Research Politechnical University of Perm. Perm. Russia. Phone: 8 (342) 239-15-08. E-mail: [anna-bacheva@mail.ru](mailto:anna-bacheva@mail.ru).

**Bakhmatov Yriy Fedorovich** - Ph.D. (Eng.), associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [ybakhmatov@yandex.ru](mailto:ybakhmatov@yandex.ru).

**Berezhnaya Galina Andreevna** - Ph.D. (Eng.), associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: [galina\\_1609@mail.ru](mailto:galina_1609@mail.ru).

**Efimova Yuliya Yuryevna** - Ph.D. (Eng.), associate Professor e, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [jefimova78@mail.ru](mailto:jefimova78@mail.ru)

**Gitman Mihail Borisovich** - D.Sc. (Eng.), Professor, Perm national research University, Department of mathematical modeling of systems and processes, 614000, Perm. Russia. E-mail: [gmb@matmod.pstu.ac.ru](mailto:gmb@matmod.pstu.ac.ru),

**Golubchik Eduard Mikhailovich** - D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. chair of mechanical engineering and metallurgical technologies. Magnitogorsk, Russia. E-mail: [golub66@mail.ru](mailto:golub66@mail.ru);

**Gushina Marina Sergeevna** - Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: [marina.mgn.89@mail.ru](mailto:marina.mgn.89@mail.ru).

**Karmanov Vadim Vladimirovich** - D.Sc. (Eng.), Professor, head of Department "Innovation engineering technologies", State National Research Politechnical University of Perm. Perm, Russia. Phone: 8 (342) 239-15-08. E-mail: [karmanovs@yandex.ru](mailto:karmanovs@yandex.ru).

**Kharitonov Veniamin Alexandrovich** - Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University."The direction of research: wire manufacturing, rolling production, manufacture of metal products, methods of severe plastic deformation, radial shear strain. Magnitogorsk. Russia. Tel. (3519) 29-84-81.

**Knapinski Marcin Yaroslav** - PhD. Politechnika Częstochowska, Poland.

**Kopceva Natalia Vasilyevna** - D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [koptsev2002@mail.ru](mailto:koptsev2002@mail.ru);

**Kurapov Georgy Georgyevich** - PhD, associate Professor; National Technical University after K.I. Satpayev, Kazakhstan.

**Kuznetsova Alla Sergeevna** - research assistant, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [allakuznetsova.mgtu@mail.ru](mailto:allakuznetsova.mgtu@mail.ru).

**Lezhnev Sergey Nikolaevich** - PhD, associate professor; Karaganda State Industrial University, Kazakhstan.

**Malakanov Sergey Aleksandrovich** – Ph.D. (Eng.), head of department, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519) 29-84-43. E-mail: [samalakhanov@mail.ru](mailto:samalakhanov@mail.ru).

**Panin Yuriy Valerievich** - postgraduate student Department ITM, State National Research Politechnical University of Perm. Perm. Russia. Phone: 8 (342) 239-15-08. E-mail: [anton.nurtdinov@gmail.com](mailto:anton.nurtdinov@gmail.com)

**Petrov Igor Mikhailovich** – postgraduate student, Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Standardization,, Nosov Magnitogorsk State Technical University branch in Beloretsk. Russia. E-mail: [petrov.mgtu@gmail.com](mailto:petrov.mgtu@gmail.com).

**Pivovarova Kseniya Grigorevna** – Ph.D., associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [kgpivovarova@gmail.com](mailto:kgpivovarova@gmail.com).

**Poletskov Pavel Petrovich** - D.Sc. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: [pavel\\_poletskov@mail.ru](mailto:pavel_poletskov@mail.ru).

**Pyshmintsev Igor Yurievich** - D.Sc. (Eng.), General director OJSC “Russian research institute of pipe industry” (RosNITI). Chelyabinsk. Russia. E-mail: [secretariat@rosniti.ru](mailto:secretariat@rosniti.ru).

**Salganik Victor Matveevich** - D.Sc. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: [svm375@yandex.ru](mailto:svm375@yandex.ru).

**Shiryev Oleg Petrovich** – director OAO “MMK-METIZ”. Magnitogorsk. Russia.

**Shubin Igor Gennad’evich** – Ph.D., associate professor, Nosov Magnitogorsk state technical university. Magnitogorsk. Russia. E-mail: [shubin64@mail.ru](mailto:shubin64@mail.ru).

**Shubina Natalia Igorevna** – postgraduate student, Nosov Magnitogorsk state technical university. Magnitogorsk. Russia.

**Trofimov Viktor Nikolaevich** - D.Sc. (Eng.), Professor Department DPM, State National Research Politechnical University of Perm. Perm, Russia. Phone: 8 (342) 239-13-40. E-mail: [tvn\\_perm@mail.ru](mailto:tvn_perm@mail.ru)

**Usanov Mikhail Yuryevich** - Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Standardization, Nosov Magnitogorsk state technical university in Beloretsk. The direction of research: wire production, methods of severe plastic deformation, radial shear strain. Beloretsk. Russia. E-mail: [barracuda\\_m@mail.ru](mailto:barracuda_m@mail.ru).

**Valko Danila Valerievich** - Cand. Sc. (Econ.), Head of Labs South-Ural Institute of Management and Economics; South-Ural Versatile College, Chelyabinsk. Russia. E-mail: [lex\\_13@list.ru](mailto:lex_13@list.ru).

**Volokitina Irina Evgenievna** - PhD; National Technical University after K.I. Satpayev, Kazakhstan.

**Zaydes Semion Azikovich** - D.Sc. (Eng.), Professor Head of the department «Irkutskiy State Technical University». Irkutsk. Russia. E-mail: [zsa@istu.edu](mailto:zsa@istu.edu).

**Zhelezkov Oleg Sergeevich** – D.Sc. (Eng.), Professor of the chair “Theoretical Mechanics and Strength of Materials”, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. Russia. Phone: 8(3519) 29-84-27. E-mail: [ferumoff@mail.ru](mailto:ferumoff@mail.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). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.

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

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

**Онлайн - перевод запрещается!**

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

**2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ**

**2.1. Введение** (постановка проблемы)

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

**2.3. Результаты исследования и их обсуждение**

**2.4. Заключение** (выводы)

**2.5. Список литературы** (на русском и английском языках)

**3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

3.1. Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.

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

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

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 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 подрисуночные подписи в местах размещения рисунков. Например:

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

*от выводов асинхронного двигателя*

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

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

**4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ**

**4.1. Рецензия.**

**4.2. Экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати.