

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

International Youth Workshop  
MAGNITOGORSK  
ROLLING PRACTICE  
2018

Материалы III международной молодежной  
научно-практической конференции

Под редакцией А.Г. Корчунова

*Конференция проводится при финансовой поддержке  
ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований»  
(Договор № 18-38-10016\18 от 27.04.2018)*

Магнитогорск  
2018

Редколлегия:

Корчунов А.Г. (главный редактор)  
Константинов Д.В. (зам. главного редактора)  
Медведева Е.М. (отв. редактор)  
Мещеряков Э.Ю.  
Шеметов А.Н.  
Пивоварова К.Г.  
Гулин А.Е.  
Песин А.М.  
Чикишев Д.Н.

*Сборник входит в базу данных  
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

**Magnitogorsk Rolling Practice 2018:** материалы III молодежной научно-практической конференции / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. 130 с.

ISBN 978-5-9967-1270-0

В сборнике представлены материалы докладов III молодежной научно-практической конференции Magnitogorsk Rolling Practice 2018, проводимой в Магнитогорском государственном техническом университете при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

ISBN 978-5-9967-1270-0

© Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И.Носова, 2018

УДК 621.771.252.01

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1070, 2024 И 5083  
ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ И ПАКЕТНОЙ ПРОКАТКЕ МЕТОДОМ  
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Бирюкова О.Д., Песин А.М., Пустовойтов Д.О.  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
fimapatisonchik@inbox.ru*

Методы интенсивной пластической деформации являются одними из самых современных и экономически обоснованных способов получения высоких значений механических свойств металлов и сплавов. Обработка алюминиевого сплава методом ИПД дает возможность измельчения структуры металла, при этом размеры зерен в среднем уменьшаются в 3–6 раз, так как есть большое различие в стадиях эволюции структуры и изменения размеров фрагментов при ИПД как показано на рисунке 1 [1]. Это ведет к росту плотности дислокаций. Важно отметить, что предел текучести и предел прочности также показательно возрастают. Измельченное зерно в подобных условиях является необходимым фактором для того, чтобы сохранялась пластичность металла на должном уровне.

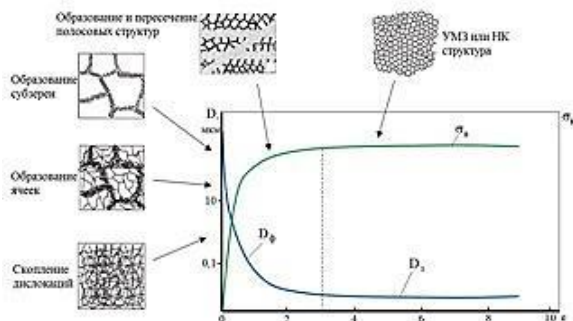


Рис. 1. Основные стадии эволюции структуры при ИПД

В настоящей работе для моделирования процессов деформирования в качестве материала биметалла использовали алюминиевые сплавы 5-й серии (Al5083) и 1-й серии (Al1070), а также алюминиевые сплавы

5-й серии (A15083) и 2-й серии (A12024). При моделировании пакетной прокатки использовался алюминиевый сплав 5083. Данные сочетания слоев биметалла сложно поддаются обработке, так как попытки получить УМЗ структуры до настоящего времени не увенчались успехом.

В программном комплексе Deform 2D моделировались симметричная и асимметричная прокатка ленты. Принимали толщину заготовки – 2 мм, обжатие за один проход – 50, 60, 70 %, коэффициент трения на контакте металла с валками варьировали от 0,1 до 0,4, скорость валков 1,047 рад/с в симметричном случае, количество проходов – 2. При асимметричной прокатке рассогласование скоростей валков составило 10-50%. Радиус валков составил 250 мм, температура деформирования 20 °С. Кривую текучести сплава задавали из библиотеки материалов Deform 2D. Для аппроксимации геометрических параметров заготовки использовались элементы тетраэдрической формы. Количество элементов в сетке составляло 1000 в первом проходе для одной полосы и 2000 во втором цикле. Все элементы были равномерно распределены по объему заготовки.

Главным образом были выделены основные отличия между различными случаями прокатки (асимметричной прокатки алюминиевого биметалла и пакетной прокатки алюминия 5083); при достижении требуемых значений деформации при асимметричной прокатке, прочностные свойства исследуемого материала приходят к насыщению, соответственно появляются большеугольные разориентировки, усилия в двух случаях также различаются. При этом прослеживается изменение сетки Лагранжа в процессе деформирования заготовки. Угол сдвига  $\phi$  при асимметричной прокатке биметаллической ленты составляет более 80°, что обеспечивает попадание структуры в зону интенсивной пластической деформации.

### Литература

1. Песин А.М. Развитие теории и технологии процесса асимметричной тонколистовой прокатки как метода интенсивной пластической деформации.- МОиНРФ ФГБОУ ВО МГТУ им.Г.И. Носова, 2017. - 152 с.
2. Алиева, С.Г. Промышленные алюминиевые сплавы.- М.: «Металлургия», 1984. - 528 с.
3. Маркушев М.В. К вопросу об эффективности некоторых методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов. - Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, 2011. – 43с.
4. M. Heydari Vini Mechanical Properties and Microstructural Evolution of AA5083/Al2O3 composites Fabricated by Warm Accumulative Roll Bonding// Advanced Design and Manufacturing Technology - 2016. - Vol. 9 - No. 4 – P. 10-17.

5. M. Heydari Vini Mechanical Mechanical properties and bond strength of bimetallic AA1050/AA5083 laminates fabricated by warm-accumulative roll bonding // Canadian Metallurgical Quarterly – 2017. – P.45-50.

УДК 669

## ОЦЕНКА ИЗНОСА МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Трубеев Е.А.<sup>1</sup>, Салихьянов Д.Р.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина»,*

*г. Екатеринбург, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБУН «Институт машиноведения Уральского отделения РАН»,*

*г. Екатеринбург, Россия*

*salenhall@gmail.com*

Проблема повышения стойкости штампов является одной из самых актуальных задач в процессах горячей объемной штамповки. Об этом свидетельствует тот факт, что стоимость штампов для горячей объемной штамповки составляет 5 – 15 % от себестоимости поковок, а на некоторых предприятиях она может подниматься до 30 % [1]. На стойкость штампов влияют такие факторы производства, как материал и состояние поверхности штампа, температурно-скоростные режимы деформирования и др. К основным видам износа штампов относятся истирание, смятие и разгар.

С целью оценки износа штампов для каждого отдельного процесса, а также с целью поиска путей повышения стойкости штампа используются различные компьютерные программы, ориентированные на анализ процессов обработки металлов давлением [2]. При выполнении работы использована программа Deform–3D и ее подпрограмма Die Stress Analysis, позволяющая провести моделирование процесса горячей объемной штамповки с учетом теплообмена штампа с обрабатываемым металлом и внешней средой и дать оценку его износа. За один из основных критериев стойкости штампов был взят показатель абразивного износа по модели Эркхарда:

$$W = \int_0^t K \cdot \frac{P^a v^b}{H^c} dt,$$

где  $p$  – контактное напряжение,  $v$  – скорость скольжения частиц металла относительно инструмента,  $H$  – твердость материала инструмента,  $t$  – продолжительность контакта,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $K$  – коэффициенты, значения которых рекомендуется принять следующими:  $a = 1$ ,  $b = 1$ ,  $c = 2$  [3]. В работе была поставлена задача анализа износа штампов при штамповке поковки типа «Корпус». Исходные параметры технологического процесса для моделирования в модуле Deform-3D приняты следующими: температура нагрева заготовки – 1160 °С, температура нагрева штампов – 250 °С, материал заготовки – 12Х18Н10Т, материал штампов – 5ХНМ, оборудование – молот штамповочный с МПЧ= 3,5 т.

В качестве исследуемых параметров, были выбраны параметры: нормальное напряжение; температура; абразивный износ по модели Эрхарда.

Результаты анализа распределения нормальных напряжений, температуры и износа штампов показали, что наиболее подверженными износу являются участки перехода облойной канавки в гравюру штампа, а также участки перепада глубины в гравюре штампа (рис. 1, участки, отмеченные темным цветом). Сопоставление результатов моделирования с износом штампов на практике показало совпадение участков с максимальным износом. Это указывает на возможность использования предложенной методики для анализа износа штампов заданного процесса штамповки.

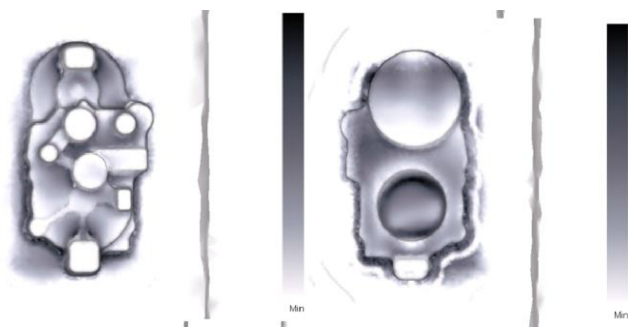


Рис. 1. Интенсивность износа верхней и нижней частей штампа

Возможными путями повышения стойкости штампов является нанесение износостойких покрытий, изменение формы и размеров заготовки, изменение температурно-скоростного режима штамповки, обеспечивающего уменьшение локального разогрева участков штампа и скорости скольжения частиц металла заготовки по гравюре штампа.

## Литература

1. Гурьев А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов. Барнаул: АлтГТУ, 2000. – 216 с.
2. Салиенко А.Е., Кривицкий Б.А., Юргенсон Э.Е., Фомичев А.Ф. Опыт использования программного продукта MSC Manufacturing при разработке процессов пластического деформирования // Металлообработка. — 2005. — № 6. — С. 21 – 23.
3. DEFORM Integrated 2D-3D Version 10.2 and DEFORMTM v11.0 (Beta): User's Manual, 2011.

УДК 621.777

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МАЛОПЛАСТИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ\***

**Самчук А.П.**

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия  
samchukanton@gmail.com*

Применение новых схем обработки металлов давлением, таких как совмещенная прокатка-прессование и литье-прокатка-прессование [1], сопровождается высокими степенями и скоростями деформации. Для проектирования оборудования и разработки технологий получения продукции на нем необходимо знать механические свойства и реологические характеристики обрабатываемого материала в заданных температурно-скоростных и деформационных диапазонах [2], что является актуальной задачей в настоящее время. Кроме того, они необходимы для моделирования процессов совмещенной обработки.

Для исследования реологических характеристик алюминиевых сплавов на кафедре обработки металлов давлением (ОМД) института цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ) разработана и запатентована установка на кручение [3]. Данная установка позволяет проводить исследования и определять сопротивление металла деформации при различных температурно-скоростных и деформационных условиях обработки.

Методика для определения истинного сопротивления деформации методом кручения [2] подразумевает скручивание двух образцов разных диаметров (радиусов  $r$ ) при идентичных температурно-скоростных усло-

---

\* работа выполнена под научным руководством проф., д.т.н. С.Б. Сидельникова

виях. Расчётные формулы для определения истинного сопротивления ( $\tau$ ), деформация сдвига ( $\gamma$ ) и скорость деформации ( $\xi$ ) приведены ниже:

$$\tau = \frac{3(M_1 - M_2)}{2\pi(\rho_1^3 - \rho_2^3)}, \quad \gamma = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2l} \varphi, \quad \xi = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2l} \omega,$$

где  $M_1, M_2$  - моменты при скручивании образца, МПа;  $\rho$  - радиус образца, мм;  $l$  - длина рабочей части образца, мм;  $\varphi$  - угол скручивания, рад;  $\omega$  - угловая скорость шпинделя,  $\text{с}^{-1}$ .

Исследованиям подвергались прутки диаметром 9 мм из малопластичных алюминиевых сплавов АМг6, АВ87 и 8176 (рис. 1), полученные на установке совмещенной обработки СПП-200 на кафедре ОМД ИЦ-МиМ СФУ [1].

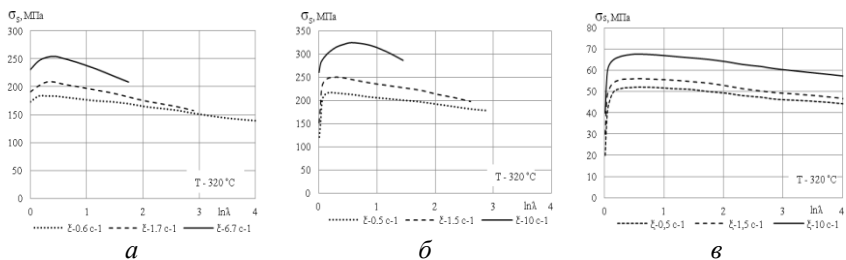


Рис.1. Сопротивление деформации  $\sigma_s$  при температуре  $320^\circ\text{C}$  при различных степенях деформации  $\ln \lambda$  и скоростях деформации  $\xi$  для сплавов:

а – АМг6; б – АВ87; в – 8176

Данные по свойствам были импортированы в пакет "DEFORM 3D" и применялись для моделирования процесса совмещенной прокатки-прессования прутков из указанных выше сплавов. Результаты компьютерного и физического моделирования были успешно использованы при проектировании оборудования и разработке технологии производства прутков и катанки из алюминиевых сплавов на установках совмещенной обработки СПП-400 Красноярского завода современных материалов и СЛИПП-4 Иркутского алюминиевого завода.

### Литература

1. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. – М.: МАКС Пресс, 2005.- 344 с.
2. Механические свойства алюминиевых сплавов : монография / Н.А. Грищенко, С.Б. Сидельников, И.Ю. Губанов [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 196 с.



3. Патент РФ №130708. Установка для испытания на скручивание / Сидельников С. Б., Довженко Н.Н., Беляев С.В., Грищенко Н.А., Самчук А.П. [и др.], опубли. 27.07.2013. Бюл. № 21.

УДК 621.771.011

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ХРОМИСТОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ**

*Думова Л.В.<sup>1</sup>, Уманский А.А.<sup>1</sup>, Головатенко А.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный  
индустриальный университет»,*

*г. Новокузнецк, Россия*

*<sup>2</sup>АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский  
металлургический комбинат»,*

*г. Новокузнецк, Россия*

*bridgit\_rus@mail.ru*

Согласно общепринятым представлениям сопротивление пластической деформации (СПД) металлов и сплавов представляет собой напряжение одноосного растяжения или сжатия в условиях развитой пластической деформации. Практическая значимость точного определения значений СПД при проектировании новых режимов прокатки обусловлена тем, что указанный показатель входит в качестве сомножителя в формулу для расчета усилия прокатки и, следовательно, от него напрямую зависят энергосиловые параметры процесса. Соответственно использование неверных значений указанного показателя при расчетах приводит либо к повышенному износу основного и вспомогательного оборудования прокатных станов, либо к необоснованному снижению их производительности.

К настоящему моменту накоплен значительный объем экспериментальных данных о СПД различных марок сталей и сплавов. В ряде работ [1, 2] проведена систематизация указанных данных в формате кривых течения – зависимостей СПД от степени деформации при различных температурах и скоростях деформации. Целым рядом авторов сделаны попытки аппроксимации экспериментальных данных о зависимости СПД от термомеханических параметров деформации (температуры, скорости и степени деформации). При этом следует констатировать, что в целом, несмотря на значительное количество формул для численного определения СПД, применение имеющихся методик не позволяет получать стабильно низкую погрешность расчетных данных относительно фактических значений СПД. Проблема отсутствия универсальных методик теоре-

тического определения истинных значений СПД усугубляется практически полным отсутствием экспериментальных данных о СПД ряда вновь осваиваемых марок стали.

На новом универсальном рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ ЗСМК» после запуска в эксплуатацию в качестве основной марки стали для производства длинномерных дифференцированно закаленных рельсов применяется хромистая рельсовая сталь марки Э78ХСФ. Использование данной марки стали позволяет получать рельсы, отвечающие требованиям стандартов по механическим свойствам. Ранее указанная марка стали в рельсoproкатном производстве АО «ЕВРАЗ ЗСМК», как и в других отечественных рельсобалочных цехах, не использовалась. Также следует констатировать отсутствие информации о СПД указанной марки стали в зарубежных литературных источниках.

Необходимость разработки и совершенствования режимов прокатки на новом рельсобалочном стане обусловила значительную актуальность исследования СПД стали Э78ХСФ. Указанные исследования проведены на установке «Gleeble System 3800» путем испытаний на горячее сжатие цилиндрических образцов, полученных из непрерывнолитых заготовок стали Э78ХСФ текущего производства электросталеплавильного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Режим испытаний включал в себя: нагрев в вакууме со скоростью 5°С/с до температуры 1200°С, изотермическую выдержку при указанной температуре, подстуживание стали со скоростью 10°С/с до температуры деформации в интервале 900-1150°С с шагом 50 °С, деформацию методом сжатия со скоростями 0,1, 1 и 10 с<sup>-1</sup>.

Математическая обработка полученных экспериментальных данных позволила получить систему уравнений регрессии, отражающих взаимосвязь СПД с термомеханическими параметрами прокатки (температура, скорость и степень деформации) и химическим составом прокатываемой стали. Указанные уравнения регрессии легли в основу разработанной методики расчета СПД рельсовой стали Э78ХСФ [5], адекватность которой подтверждена исследованиями энергосиловых параметров прокатки в условиях действующего универсального рельсобалочного стана АО «ЕВРАЗ ЗСМК» [6]. Погрешность прогнозных данных по усилию прокатки в обжимных клетях стана при использовании исходных заготовок различного химического состава не превысила 10 % относительно фактических значений.

### Литература

1. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей. – М.: Металлургия, 1964. – 270 с.
2. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

3. Остапенко А.Л. О применимости методик расчета сопротивления деформации для оценки энергосиловых условий горячей прокатки по- лос // Сталь. –2014. – №5. – С. 41–52.

4. Андреюк А.Л. Определение давления металла на валки при горя- чей прокатке сталей и сплавов широкого сортамента // Теоретические проблемы прокатного производства: Материалы всесоюзной научно- технической конференции – М: Metallurgia, 1975. – С. 383–385.

5. Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадыков В.Н., Думова Л.В. Разработка математической модели и методики расчета сопротивления де- формации рельсовых сталей различного химического состава // Metallур- гия: Технологии, инновации, качество: Труды XIX Международной научно- практической конференции. – Новокузнецк, 2015. – Ч. 2. – С. 110–115.

6. Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадыков В.Н. Совершенство- вание режимов прокатки длинномерных железнодорожных рельсов на универсальном рельсобалочном стане с использованием методов физиче- ского моделирования процессов деформации // Прокатное производство. – 2016. – №7. – С. 27–32.

УДК 621.7.044:669.14: 620.18

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИКЕЛЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ ХЛАДОСТОЙКОЙ СТАЛИ**

*Гущина М.С., Полецков П.П., Никитенко О.А.,  
Алексеев Д.Ю., Мишуков М.В.*

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
[gushchina.ms@mail.ru](mailto:gushchina.ms@mail.ru)*

Освоение природных ресурсов приполярных районов и Арктиче- ского шельфа страны предопределяет необходимость использования вы- сокопрочных марок стали с твердостью не менее 500 HV для изготовле- ния машин и тяжелонагруженных сварных конструкций, работающих при температурах до -60 °С [1, 2].

Достижение высокой прочности без существенного ухудшения вязкопластических характеристик возможно за счет создания соответ- ствующих химических композиций стали, а также протекания контроли- руемых фазовых превращений и целенаправленного формирования тре- буемой структуры проката в процессе термической обработки.

Известно, что применение никеля при легировании стали увеличивает ее вязкость, понижает критическую температуру хладноломкости, повышает твердость (рис. 1).

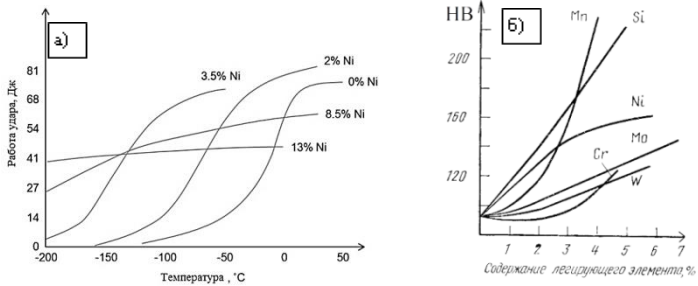


Рис. 1. Влияние содержания никеля в низкоуглеродистой стали на хладостойкость (а) и твердость (б) [3, 4]

Целью работы является исследование влияние никеля на структурно-фазовые превращения и свойства высокопрочной среднеуглеродистой комплексно-легированной стали с твердостью не менее 500 HV, а также построение термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита.

Для этого в лабораторном комплексе «Термодеформ-МГТУ» были выплавлены слитки среднеуглеродистой стали (с 0,3 % C) системы легирования Cr-Ni-Mo-(V-Nb-Ti) с содержанием никеля 1 % и 3 %. Обжатие слитков осуществляли с применением гидравлического пресса и на однокатетовом реверсивном стане горячей прокатки 500 «ДУО».

Комплекс дилатометрических и металлографических исследований был выполнен в ЦКП НИИ Наносталей при ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Определение критических точек и построение термокинетических диаграмм (рис. 2) проводили с использованием исследовательского комплекса Gleeble 3500.

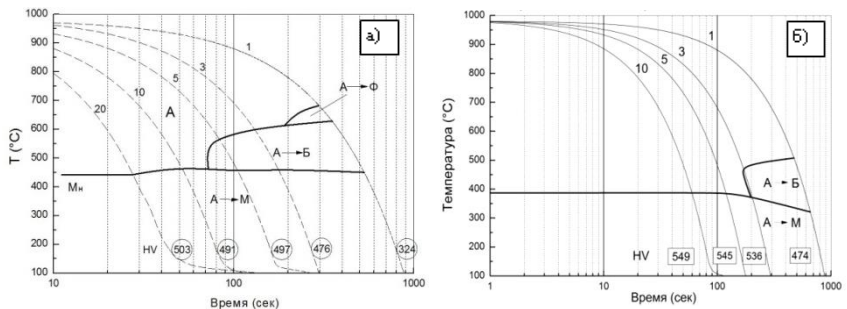


Рис. 2. Термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита среднеуглеродистой комплексно-легированной стали с 1% Ni (а), 3% Ni (б)

Сравнительный анализ термокинетических диаграмм базовой марки стали с 1 % Ni (рис. 2, а) и стали с 3 % Ni (рис. 2, б) показал, что дополнительное легирование стали никелем (3 %) позволяет достигать высокие значения твердости (более 540 HV) при более низких скоростях охлаждения (3 °C/с), что объясняется формированием уже при этих скоростях структуры мартенсита. Повышение содержания никеля от 1 до 3 % привело к значительному повышению устойчивости переохлажденного аустенита, понижению температуры  $A_3$  на 70 °C.

*Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России (договор 03.G25.31.0235).*

### Литература

1. Полецков П.П., Хакимуллин К., Набатчиков Д.Г., Гущина М.С., Алексеев Д.Ю., Кузнецова А.С. Назначение и область применения ультрахладостойкого наноструктурированного листового проката // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2017. – № 2. – С. 85-88.
2. Чукин М.В, Полецков П.П., Набатчиков Д.Г., Емалеева Д.Г., Гущина М.С., Кузнецова А.С. Анализ технических требований, предъявляемых к ультрахладостойкому листовому прокату // Вестник ЮУрГУ. Серия: Metallurgy. – 2017. – Т. 17. – № 2. – С. 52-60.
3. Freitag, D. R., McFadden, T. T. (1997). Introduction to Cold Regions Engineering // American Society of Civil Engineers. – 1997. – p. 738.
4. Ульянин Е.А., Сорокина Н.А. Стали и сплавы для криогенной техники. – М.: Metallurgy, 1984. – 208 с.

УДК 621.771.65

### ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ШАРОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОКАТКЕ ЕЁ НА ШАРОПРОКАТНОМ СТАНЕ 30-60

*Панин Е.А.<sup>1</sup>, Найзабеков А.Б.<sup>2</sup>, Мухаметкалиев Б.С.<sup>3</sup>, Лежнев С.Н.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>РГП на ПХВ «Карагандинский государственный индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан*

*<sup>2</sup>РГП на ПХВ «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный, Казахстан*

*<sup>3</sup>АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение», г. Рудный, Казахстан  
[cooper802@mail.ru](mailto:cooper802@mail.ru)*

На сортопрокатном стане 320 металлопрокатного завода АО «ССГПО» действует следующая схема прокатки круглой стали [1]: из исходной заготовки 120×120 мм производится круглая заготовка диамет-

ром 40 мм, которая применяется на шаропрокатных станах при производстве шаров диаметром 40 мм. В работе [2] была разработана калибровка валков для прокатки круглой стали № 40 из заготовки сечением 150 x 150 мм в условиях стана 320.

В работе [3] был проведен расчет калибровки валков для прокатки шаров диаметром 40 мм в условиях АО «ССГПО», получаемых из исходной круглой заготовки диаметром 40 мм. В настоящей работе на основе рассчитанной калибровки было проведено компьютерное моделирование процесса прокатки шаровой заготовки диаметром 40 мм из круглой стали диаметром 40 мм в программе Simufact Forming. В результате была получена модель прокатки шаров из круглой заготовки, в которой первая шаровая заготовка за счет утяжки является недокатом. Остальные заготовки представляют собой цельные шары диаметром 40 мм. Для изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) были рассмотрены параметры «эффективная пластическая деформация» и «среднее нормальное напряжение». При изучении деформированного состояния было отмечено его крайне неравномерное распределение по сечению заготовки (рис. 1, а). Центральные слои заготовки (0÷20% от радиуса) практически не получают прирост деформации. Здесь уровень  $\epsilon$  достигает 2,3÷2,5. В промежуточных слоях (20÷70% от радиуса) величина эффективной пластической деформации значительно выше, уровень  $\epsilon$  достигает 3÷10. Это связано с тем, что металл в этой зоне, в отличие от центра заготовки, движется по круговой траектории шарового калибра более интенсивно. В поверхностных слоях (70÷100% от радиуса) наблюдается наиболее интенсивное развитие эффективной пластической деформации, причем на расстоянии 95÷100% от радиуса значения  $\epsilon$  являются максимальными, порядка 30÷33. Это является следствием того, что поверхностные слои подвергаются не только наиболее интенсивной деформации в ходе формирования шара, но и последующей обкатке, после того, как шар сформирован.

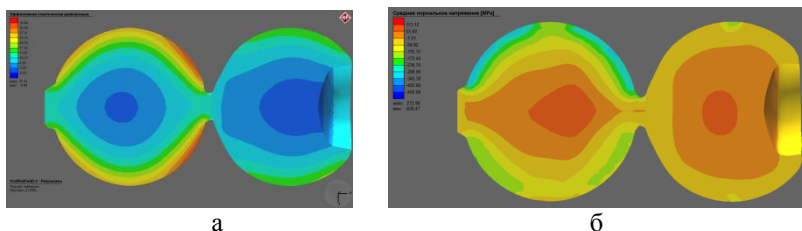


Рис. 1. Параметры НДС:

а) деформированное состояние; б) напряженное состояние

При изучении напряженного состояния было отмечено, что неравномерное распределение среднего нормального напряжения по

сечению заготовки имеет определенную тенденцию (рис. 1, б). Центральные слои заготовки (0÷20% от радиуса) испытывают действие растягивающих напряжений, однако их величина невелика, порядка 0÷55 МПа. В промежуточных слоях (20÷70% от радиуса) растягивающих напряжений не наблюдается, здесь действуют только сжимающие напряжения, их значения находятся на уровне 0÷-116 МПа. Это связано с тем, что металл в этой зоне, двигаясь по траектории калибра в большей степени подвергается действию нормальных напряжений. В поверхностных слоях (70÷100% от радиуса) действуют только сжимающие напряжения, их значения достигают -460 МПа. Такой резкий рост нормального напряжения является следствием того, что поверхностные слои в наибольшей степени испытывают действие нормальных напряжений со стороны деформирующего калибра.

### Литература

1. Металлопрокатный комплекс РМЗ АО «ССГПО» в г. Рудный. Рабочий проект. Общая пояснительная записка. Том I. КазГипроМаш. 2010. – 147 с.
2. Найзабеков А.Б., Мухаметкалиев Б.С., Лежнев С.Н., Панин Е.А., Андреев Е.В. Разработка калибровки валков для прокатки круглой стали № 40 из заготовки сечением 150 x 150 мм в условиях стана 320 металлопрокатного завода АО «ССГПО» // Труды 11-го Международного Конгресса Прокатчиков. – Магнитогорск, 9-11 октября 2017. –Т1. - С. 182-188.
3. Naizabekov A., Lezhnev S., Panin E., Stepanov E. The development of calibration for the rolling balls of diameter 40 mm in conditions of JSC "SSGPO" // Machines, Technologies, Materials. - Year XII. - Issue 1/2018. - p. 16-18.

УДК 669

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПРОКАТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Хаматов Д.Д., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
Aimi160@rambler.ru*

Тепловое загрязнение можно назвать основной причиной возникновения тепловых островов и местной инверсии температур над источником, что непреклонно ведет к усилению микроциркуляций атмосферы, изменению микроклимата и пертурбации механизма движения загрязнений. На локальном и региональном уровнях тепловое воздействие может

быть направлено либо непосредственно на организм человека или животного, либо на объекты и компоненты окружающей среды, что ведет к различным негативным последствиям для экосистем в целом.

На ООО «ВИЗ Сталь» расположены четыре башенные градирни. Данное предприятие является ведущим мировым и крупнейшим российским производителем холоднокатаной электротехнической трансформаторной стали.

Энергоемкими процессами здесь являются собственно холодная прокатка и термическая обработка [1, 2]. Несмотря на то, что прокатка осуществляется в холодном состоянии, выделение тепла за счет энергии деформации, приводит к повышению температуры в очаге деформации до 300°C и выше. Это тепло приходится отнимать как у валков, так и полосы за счет работы эмульсионных систем прокатных станков. Соответственно эмульсия должна охлаждаться в контурах теплообменников с рассеиванием энергии в окружающее пространство.

Градирня представляет собой устройство для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха. На ООО «ВИЗ-Сталь» градирни используются для охлаждения воды, которая поступает по трубам из цеха водоподготовки и очистки промышленных стоков (ВОПС). Далее она распределяется через сопла и попадает на ороситель, который замедляет проток через градирню, и максимально увеличивает водную поверхность для контакта воздуха с водой. В цех ВОПС вода, в свою очередь, поступает в составе эмульсии с прокатного производства. Вода очищается от масла, при этом температура ее составляет в среднем 80-90°C.

При падении через градирню вода встречается с воздухом, который втягивается естественным образом. Когда вода и воздух встречаются, небольшое количество воды испаряется, что создает охлаждающее действие. Охлажденная вода подается обратно в технологическое оборудование и идет на нужды производства.

Температура воды после охлаждения в градирне составляет не выше 30°C. Важно отметить, что количество тепла, характеризующее разницу между начальной и конечной температурой воды, выделяется в атмосферу.

Существуют способы, позволяющие преобразовывать выделяемое «в никуда» тепло в электроэнергию и направлять ее на нужды предприятия, либо, если рассматривать вопрос более глобально - отправлять на городские станции.

Одним из способов преобразования энергии тепла в электрическую энергию является применение термоэлектрических генераторов, которые способны «снимать» тепло с источников, температура которых ниже температуры кипения воды. Термоэлектрический генератор (термогенератор) - электрическое устройство, способное на прямое преобразование тепловой энергии в электрический ток по средствам использования в своей конструкции термоэлементов. Принцип действия термогенератора основан на эффек-



те термо-ЭДС Зеебека, суть которого заключается в преобразовании энергии за счёт разности температур на разных частях устройства, результатом чего становится появление электродвижущей силы на клеммах. Два тела, имеющие одинаковый вид заряда, стремятся оттолкнуться друг от друга. При нормальной температуре, электроны атома обладают малой энергией, что соответствует определённой силе отталкивания (друг от друга). При повышении температуры, у электронов будет повышаться и их энергия, что повысит и силу взаимного отталкивания.

Данный эффект можно использовать для получения электричества. Имеется полупроводник, состоящий из 2 слоев. У первого внутри избыток электронов, у второго их недостаток. При соединении их друг с другом между ними образуется пограничная зона, которая препятствует переходу электронов в то место, где их не хватает. Здесь в дело вступает температура. Границу между двух зон нагревается, что даёт электронам дополнительную силу для осуществления перехода с одной зоны в другую. Но в том месте, откуда электроны ушли, естественно, образовался положительный заряд, а туда, куда они пришли, отрицательный. Таким образом можно получить термо-ЭДС.

Предлагается заменить 4 градирни на 4 крупных термоэлектрических генератора, через которые будет проходить водный контур из цеха водоподготовки и очистки промышленных стоков. Вода будет проходить через термогенератор по спиральному контуру, отдавая энергию тепла и охлаждаясь до 30°. К недостаткам такой конструкции можно отнести тот факт, что количество полученного электричества напрямую зависит от разницы температур: чем больше разность температуры, тем больше электричества. Однако, учитывая производительность одной градирни на заводе ООО «ВИЗ-Сталь» - 7000 м<sup>3</sup>/ч и их общее число, которое составляет 4 штуки, можно увидеть, что количества энергии, получаемой таким образом, вполне может хватить на обслуживание тех или иных производственных процессов.

### Литература

1. Логинов Ю.Н., Буркин С.П. Энергоемкость и энергосбережение в процессах пластической обработки специальных сплавов. – Е.: УГТУ-УПИ, 2006. – 43 с.
2. Логинов Ю.Н., Пузанов М.П., Соловей В.Д. Силовой и скоростной режимы холодной прокатки трансформаторной стали // Сталь.– 2017.– № 8.– С. 30–33.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ВАЛКОВЫХ СИСТЕМ КВАРТО

*Макарова П.В., Анцупов В.П., Анцупов А.В., Анцупов А.В.,  
Слободянский М.Г.*

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
[polina-makarova95@mail.ru](mailto:polina-makarova95@mail.ru)*

В связи с растущими требованиями к условиям бесперебойности и непрерывности металлургического прокатного производства особое внимание в настоящее время уделяется эксплуатации валковых систем кварто (ВСК). Одной из наиболее важных задач в этом вопросе является обеспечение безотказной работы увеличение срока их службы.

Методика моделирования отказов привода ВСК базируется на общем методологическом подходе прогнозирования надежности деталей машин [1]. В соответствии с данным подходом выбираются базовые параметры состояния ВСК, которые описывают её деградацию. Статистический анализ данных, полученных на производственных объектах ПАО «ММК» показал, что отказ ВСК происходит по одной из следующих вероятных причин: поломке опорных валков по бочке или шейке, появлению выкрашивания поверхностных слоев, недопустимому искажению профилей валков от износа и нарушению поперечной разнотолщинности прокатываемых полос. Исходя из этого подбираются параметры, описывающие вышеописанные процессы эволюции системы:  $u_{e1t}$ -текущая плотность скрытой энергии (энергоемкость) материала опорного валка в зоне действия максимальных эквивалентных (от изгиба с кручением) циклических напряжений [2];  $u_{e2t}$  и  $u_{e3t}$  текущая энергоемкость локальных объемов материала поверхностных слоев в зоне действия максимальных контактных напряжений опорного и рабочего валков [2];  $\Delta_{(on)t}$ -текущая величина активной образующей опорного валка;  $\delta t$ -текущее значение поперечного профиля прокатываемой полосы.

Следующим этапом моделирования является разработка уравнений эволюции валковой системы кварто по выбранным параметрам. Уравнения отражают состояние системы по тому или иному параметру, которые были описаны выше:

- описывает состояние системы по критерию энергоемкости материала опорного валка:

$$\bar{u}_{e1,j}(\sigma_{1,j}, T_1) = \bar{u}_{e10} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e1,j}(\sigma_{1,j}, T_1) t_j ; \quad (1)$$

- описывает состояние системы по критерию контактной прочности опорных валков:

$$\bar{u}_{e2,j}(\sigma_{2,j}, T_i) = \bar{u}_{e20} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e2,j}(\sigma_{2,j}, T_i) \cdot t_j ; \quad (2)$$

- описывает состояние системы по критерию контактной прочности рабочих валков:

$$\bar{u}_{e3,j}(\sigma_{3,j}, T) = \bar{u}_{e30} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e3,j}(\sigma_{3,j}, T_3) \cdot t_j ; \quad (3)$$

- описывает состояние системы по критерию изменения исходного профиля опорных валков:

$$\bar{\Delta}_{onj} = \bar{\Delta}_{on0} - \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{onj} \cdot t_j ; \quad (4)$$

- описывает состояние системы по критерию разнотолщинности прокатываемых полос:

$$\bar{\delta}_h j = \left( \Delta_{p0}^e + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^e \cdot t_j \right) + \left( \Delta_{p0}^u + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^u \cdot t_j \right). \quad (5)$$

Приравняв полученные уравнения эволюции валковой системы кварто 1-5 к предельному значению величины каждого параметра, формулируется уравнения перехода ВСК в предельное состояние по выбранным параметрам:

- поломка опорных валков:

$$\bar{u}_{e1,j}(\sigma_{1,j}, T_1) = \bar{u}_{e10} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e1,j}(\sigma_{1,j}, T_1) \cdot t_j = u_{e*1} ; \quad (6)$$

- выкрашивание опорных валков:

$$\bar{u}_{e2,j}(\sigma_{2,j}, T_i) = \bar{u}_{e20} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e2,j}(\sigma_{2,j}, T_i) \cdot t_j = u_{e*2} ; \quad (7)$$

- выкрашивание рабочих валков:

$$\bar{u}_{e3,j}(\sigma_{3,j}, T) = \bar{u}_{e30} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{e3,j}(\sigma_{3,j}, T_3) \cdot t_j = u_{e*3} ; \quad (8)$$

- изменение текущей величины активной образующей опорного валка:

$$\bar{\Delta}_{onj} = \bar{\Delta}_{on0} - \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{onj} \cdot t_j = \Delta_{on*} ; \quad (9)$$

- изменение поперечного профиля прокатываемой полосы:

$$\bar{\delta}_{hj} = \left( \Delta_p^e 0 + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_p^e j \cdot t_j \right) + \left( \Delta_p^H 0 + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_p^H j \cdot t_j \right) = \delta_{hj}^* \quad (10)$$

Решив данные уравнения относительно времени  $t$  получим уравнения среднего ресурса ВСК:

- по критериям 1-3:

$$\bar{t}_{i,j}^* = k_{\Pi} \cdot k_{fi,j} \cdot (u_{e^*i} - \bar{u}_{e0i} - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) t_j) / \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) \quad (11)$$

- по критерию 4:

$$\bar{t}_{on,j}^* = k_{\Pi} (\Delta_{on0} - \Delta_{on}^* - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{on} j \cdot t_j) / \bar{\Delta}_{on} j \quad (12)$$

- по критерию 5:

$$\bar{t}_{\delta}^* = \frac{\delta_{hj}^* - \Delta_p^e 0 - \Delta_p^H 0 - \left( \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_p^e j + \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_p^H j \right) t_j}{\bar{\Delta}_p^e j + \bar{\Delta}_p^H j} \quad (13)$$

Заключительным этапом моделирования является расчет скорости деградации ВСК по назначенным критериям работоспособности:

По параметрам 1-3:

$$\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) = \frac{2 \cdot R \cdot T_i \cdot U(\sigma_{i,j}, T_i)}{h \cdot N_0} \exp \left[ \frac{U(\sigma_{i,j}, T_i)}{R \cdot T_i} \right] \times \operatorname{sh} \left[ \frac{v_i}{2 \cdot R \cdot T_i} \left( \frac{k_{\sigma_i}^2 \cdot M_{Ri,j}^2 \cdot \sigma_{i,j}^2}{6G(T_i)} - \Delta \bar{u}_e \right) \right] \quad (14)$$

Средняя скорость  $\bar{X}_{i=4}$  деградации ВСК по четвертому параметру, изменение которого моделирует искажение профилировки нижнего или верхнего опорного валков при их изнашивании в межвалковом контакте в процессе последовательной прокатки  $j$ -тых партий полос одного типоразмера ( $j=1,2,3...j^*$ ) в стационарных температурно-силовых условиях, определяется зависимостью вида:

$$\bar{X}_4 = \bar{\Delta}_{on} j = \dot{R}_{on}(0, t_j) - \dot{R}_{on}(L, t_j) \quad (15)$$

Среднюю скорость деградации ВСК по пятому параметру - критерию точности профиля прокатываемой полосы  $\bar{X}_{i=5} = \bar{\delta}_{hj}$ , можно оценить по методике расчета искажения профиля обоих рабочих валков по ширине  $j$ -ой полосы при их изнашивании в очаге деформации с использованием уравнения вида:

$$\bar{\delta}_{h j} = \bar{\Delta}_p^e + \bar{\Delta}_p^H j = \left( \dot{R}_p^e(0, t_j) - \dot{R}_p^e(B_j, t_j) \right) + \left( \dot{R}_p^H(0, t_j) - \dot{R}_p^H(B_j, t_j) \right) \quad (16)$$

Таким образом, на основании представленной системы уравнений 1 – 16 разработана математическая модель постепенных отказов привода валков чистовых клетей широкополосных станов горячей прокатки, которая позволяет спрогнозировать ресурс ВСК в рамках общего методологического подхода прогнозирования надежности деталей машин.

### Литература

1. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. С. 28-34.
2. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1985. 165с.
3. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560с.
4. Салганик В.М., Мельцер В.В. Исследование на ЭВМ деформаций и нагрузок валковой системы кварто: учебное пособие – Свердловск: УПИ 1987. – 78 с.

УДК 621.771

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПОЛУЧЕНИЯ АВТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ СТАНА 2500 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

*Кондрашов С.А., Голубчик Э.М., Кондрашова Ю.Н.  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
soulsnack@mail.ru*

В настоящее время современные прокатные станы полностью автоматизированы и оборудованы системами контроля качества прокатаваемого автолиствого проката, при помощи которых появляется возможность контролировать качество в реальном времени и своевременно вносить корректировки в ведение технологического процесса производства автолиста. Но к сожалению не все станы оборудованы данными системами и требуют постоянного контроля со стороны технологического персонала и оперативного вмешательства в процессе производства. К ним относится непрерывный широкополосный стан холодной прокатки с

длиной бочки рабочих валков 2500мм, введенный в эксплуатацию в 1969г. [1].

На протяжении эксплуатации 4-х клетового стана холодной прокатки 2500 сменилось не одно поколение технологического персонала, в процессе работы периодически стан модернизировался, в связи с этим технологические режимы обработки автолиста и настройки стана видоизменялись, что привело в ряде случаев к неравномерной нагрузке генератора 4-й клетки в процессе производства (табл. 1).

Таблица 1 - Распределение загрузки генераторов клетей в зависимости от технологических параметров

Марка	Толщина подката	Ширина подката	PT1	PT4	KC1	KC2	KC3	1B	1H	2B	2H	3B	3H	4B	4H
08пс	3,2	1280	2,4	1,5	60,6	73,9	91,8	0,2	0,8	1,0	1,0	1,9	1,9	3,0	3,5
08Ю	2,8	1046	2,1	1,2	55,1	68,1	86,6	0,4	0,9	1,2	1,2	2,5	2,5	2,8	3,4
08пс	2	1030	1,4	0,6	42,7	61,6	83,7	0,1	0,4	0,8	0,8	1,3	1,3	1,4	2,8
08кп	2	1030	1,32	0,5	38,7	60,5	83	0,4	0,8	0,9	0,9	1,3	1,3	1,5	1,9
08кп	4,2	1250	3,2	2	63	75	90	1,1	1,8	1,0	1,0	2,4	2,4	4,4	4,8
СтЗпс	3,8	1280	3,2	2	63	75	90	0,2	0,6	1,3	1,3	2,4	2,4	3,9	4,8
08пс	3,2	1280	2,4	1,5	63,3	75	90	1,2	1,9	1,2	1,2	3,0	3,0	3,1	3,9
08пс	2,8	1280	2,15	1,2	55	68	87	0,9	1,3	1,8	1,8	3,2	3,2	3,4	4,1
08пс	2,8	1280	2,1	1,1	54,1	67,9	87	1,0	1,7	1,8	1,8	2,0	2,0	3,0	3,7
08пс	2,8	1280	2	1	50,6	65	84	1,2	1,8	1,8	1,8	2,7	2,7	3,4	4,2
08Ю	2,8	1275	2,15	1,2	55,6	68	87	0,9	1,5	1,4	1,4	2,8	2,8	3,0	3,7
08пс	2,8	1280	2	1	51,4	65,4	84,6	1,1	2,0	1,6	1,6	3,0	3,0	3,3	4,1
08пс	2,5	1280	1,75	0,8	46,2	64	84,8	1,2	2,0	1,8	1,8	2,2	2,2	2,9	3,7
СтЗпс	2,4	1280	1,75	0,8	46,1	64	84,8	1,2	1,8	2,1	2,1	2,9	2,9	3,0	3,7
08пс	2,8	1280	1,85	0,9	46,7	64,7	85,4	1,2	2,2	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,4
08пс	2,8	1280	2,15	1,2	55	68	87	0,9	1,4	1,7	1,7	2,2	2,2	2,9	3,9
08пс	2,7	1250	1,95	0,96	48,1	64,6	85,5	0,5	0,9	1,2	1,2	2,2	2,0	1,8	2,5
08пс	2	1250	1,31	0,51	39	60,5	83	0,7	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,4	1,8

Как видно из табл.1 при производстве типового сортамента нагрузка генераторов клетей не однозначна, что может быть обусловлена различными факторами, такими как: технологические аспекты производства автолиста на предыдущих переделах, а так же обусловлена непосредственным подбором параметров и выбором технологических режимов производства.

В условиях производства автолиста на 4-х клетевом стане 2500 холодной прокатки не возможно построить однозначную программу расчета силовых параметров, так как на процесс производства воздействует множество факторов, которые могут изменяться во время технологического процесса производства автолиста.

Таким образом, в процессе анализа производственных и расчетных данных было выявлено, что в ряде случаев 1-я клеть является не до загруженной, исходя из этого проведены расчеты для различных марок стали и составлена рекомендованная таблица с параметрами настройки стана [2].

### Литература

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Книга 2. – М.: Тепло-техник, 2008. – 608 с.
2. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Том 3. – М.: Металлургия, 1988. – 680с.
3. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: металлургия, 1967. – 340 с.
4. Methodology of calculation of the reliability indexes and life time of the electric and mechanical systems. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Kondrashova Yu.N., Karandaeva O.I.B сборнике: Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014. С. 1-6.

УДК 621.774.2

## АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С УЧЕТОМ НЕ ПОЛНОГО КОНТАКТА С РАБОЧИМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Фадеев В.А.**

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
[fdv\\_viktor@mail.ru](mailto:fdv_viktor@mail.ru)*

На кафедре ОМД «НИТУ МИСИС» проводятся эксперименты по физическому моделированию наиболее распространённых процессов формовки сварных прямошовных труб большого диаметра [1]. Физическое моделирование осуществляется на профилегибочной установке РВТ 25 Profilbiegetechnik AG.

При производстве сварных прямошовных труб большого диаметра по способу JSOE зафиксирован отрыв заготовки от деформирующего инструмента в зоне очага деформации (рис 1). Отрыв заготовки от гибочного вала характерен для формовки на прессах так и для процесса вальцовки [2,3]. Параметры отрыва заготовки зависит от величины хода гибочного вала и от параметров настройки рабочего инструмента. Эксперименты показали, что заготовка в зоне отрыва от рабочего инструмен-

та имеет сложную кривизну профиля, радиусы участка отрыва заготовки увеличиваются от центра заготовки до точки контакта заготовки с гибочным валком. [4]. Получена кривая профиля заготовки с учетом изменения кривизны отрыва от пуансона (рис.2). При расчетах радиуса кривизны после разгрузки учитывается отрыв трубной заготовки от пуансона.

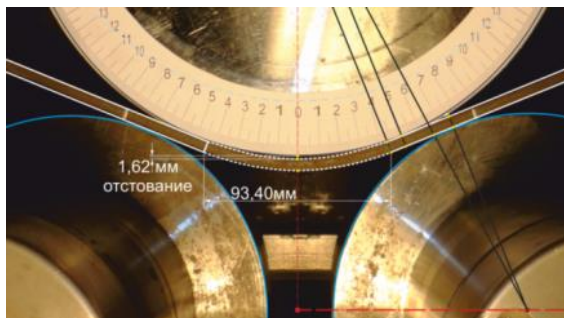


Рис.1. Отрыв заготовки от деформирующего инструмента в зоне очага деформации



Рис. 2. График изменения радиусов кривизны в зоне отрыва заготовки

### Литература

1. Самусев С.В., Фадеев В.А. Сборник докладов международного научно-технического конгресса «ОМД» 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии». Ч.2. – М.: «Белый ветер», – 2014. – С. 136-143
2. Самусев С.В., Жигулев Г.П., Фадеев В.А., Манахов К.С. Моделирование процесса формоизменения трубной заготовки на специализированной профилегибочной установке // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 3. С. 154-158.



3. Самусев С.В., Фадеев В.А., Фортунатов А.Н. Расчет параметров формоизменения трубной заготовки по схеме JSOE // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2018. – № 2. – С. 37-43.

4. Самусев С.В., Жигулев Г.П., Скрипаленко М.М., Фадеев В.А. Исследование параметров шаговой формовки заготовки при производстве труб большого диаметра на линии ТЭСА 1420 // Черные металлы. – 2017. – № 9. – С. 73-77.

УДК 621.771.073

## **ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ЛИСТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ДЛЯ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ В УСЛОВИЯХ ЗАО «КУШВИНСКИЙ ЗАВОД ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ»**

*Тухватулин И.Х.<sup>1</sup>, Потанов М.Г.<sup>2</sup>, Михайлов А.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков», г. Кушва, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

*[potapovmg@mail.ru](mailto:potapovmg@mail.ru)*

Современные тенденции мирового рынка прокатной продукции определяют потребности прокатного производства в валках. Потребитель прокатной продукции повышает требования к ее качеству, что, в свою очередь, определяет требования к эксплуатационным свойствам прокатных валков.

С целью увеличения объемов производства и освоения новых видов продукции на Кушвинском заводе прокатных валков (ЗАО "КЗПВ") при участии рабочего коллектива МГТУ им. Г.И. Носова была проведена отработка технологии литья и освоено производство особо крупных валков исполнений HiCr Steel, HSS, HSS-GS, ICDP-GG для черновых клетей толстолистовых станов. Масса отливаемых особо крупных валков достигает 50 тонн.

*Прокатные валки HiCr S для черновых клетей.* Материал производства валков исполнения HiCr Steel – высокохромистая сталь. Основными легирующими элементами являются Cr, Ni, Mo. После специальной термообработки структура материала состоит из мартенсито-бейнитной основы, содержащей специальные карбиды хрома и молибдена с твердостью до 2000 HV (рис. 1, а). В связи с высокой прочностью на сжатие (до 3200 МПа), устойчивость высокохромистой стали к образованию сетки разгара существенно выше по сравнению с высокохромистым чугуном. Материал HiCr S обладает также высокой износостойкостью, жаропрочностью, стойкостью к окислению, незначительным спадом твердости по глубине рабочего слоя.

*Прокатные валки HSS для клетей F1-F3.* Материал производства валков исполнения HSS — быстрорежущая заэвтектоидная сталь (High-Speed Steel). Основными легирующими элементами являются С, Cr, V, Mo. После специальной термообработки, включающей в себя два этапа, структура материала состоит из мартенсито-бейнитной матрицы, в которой находятся карбиды ванадия, молибдена, хрома (рис. 1, б). Твердость обеспечивается мартенсито-бейнитной матрицей, легированной хромом, ванадием и молибденом, а специальные карбиды отличаются очень высокой твердостью (до 3000 HV) и тем самым способствуют обеспечению высокой износостойкости материала [1,2]. Данная структура обеспечивается специальной термообработкой.

*Прокатные валки ICDP-GG для клетей F4-F7.* Материал производства валков исполнения ICDP-GG - индефинитный чугуи с глобулярным графитом и спецкарбидами MC. Металл прокатных валков ICDP-GG отличается от металла валков ICDP-CE наличием графита глобулярной формы в структуре рабочего слоя и большим количеством специальных карбидов MC с высокой твердостью (рис. 1, в). Глобулярная форма графита обеспечивает повышение устойчивости к образованию сетки разгара, увеличение ударной вязкости материала рабочего слоя, что позволяет снизить вероятность образования микротрещин, приводящих к выкрошке и отслоениям металла. Увеличение количества карбидов MC повышает износостойкость. Перечисленные качества обеспечивают увеличение наката.

*Прокатные валки HSS-GS для клетей F4-F7.* Материал HSS-GS - быстрорежущий сплав со специальными карбидами и свободным графитом. Микроструктура рабочего слоя валков HSS-GS состоит из мартенсито-бейнитной матрицы и специальных карбидов и графита (рис. 1, г). Сочетание специальных карбидов и свободного графита обеспечивает высокую износостойкость и исключает налипание металла. Применение валков HSS-GS в чистовых клетях стана позволяет увеличить продолжительность кампании и обеспечивает высокое качество поверхности листового проката.

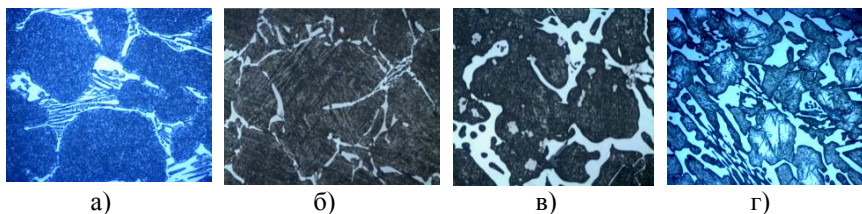


Рис. 1. Микроструктура рабочего слоя осособкрупных валков различного исполнения: а - HiCr S, x500; б – HSS, x100; в - ICDP-GG, x100; г - HSS-GS, x100

В число потребителей продукции ЗАО "КЗПВ" входят предприятия России, Украины, ЕС, США, Канады, Индии, Индонезии, Таиланда, Египта. Изготовление прокатных валков, отвечающих индивидуальным требованиям заказчиков, обогащает опыт производства высококачественных валков для различных условий эксплуатации, способствует повышению квалификации работников ЗАО "КЗПВ" и создает условия мотивации для разработки и освоения технологии производства прокатных валков из прогрессивных материалов.

### Литература

1. Потапов М.Г., Петроченко Е.В., Шекунов Е.В., Молочкова О.С. Синтез нового состава износостойкого чугуна для отливок специального назначения, исследование его структуры и свойств // Литейщик России. 2005. № 7. С. 12-15.
2. Гималетдинов Р.Х., Гулаков А.А., Тухватулин И.Х. Влияние химического состава на свойства рабочего слоя центробежно-литых индифинитных прокатных валков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 3. С. 78-89

УДК 621.774

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

*Та Динь Суан, Гамин Ю.В.*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
dinhxuanta@gmail.com*

Программы компьютерного 3D моделирования находят широкое применение в исследовании и визуализации процессов винтовой и радиально-сдвиговой прокатки (РСП) [1]. При этом наибольшая активность сосредоточена на стационарных процессах и стадиях получения круглых сплошных и полых профилей [2]. При этом обратный нестационарный процесс - формоизменение заготовок переменного диаметра в круглый сортовой прокат постоянного диаметра, до настоящего исследования не описан в литературе как объект моделирования.

Для подтверждения принципиальной реализуемости процесса перекатки ступенчатой исходной заготовки в сплошной круглый пруток моделировали процесс прокатки в QFORM-3D. В качестве базовых установок валков относительно оси прокатки использовали параметры уни-

версального способа РСП [3]: угол подачи  $-18^{\circ}$ ; угол раскатки  $-10^{\circ}$ ; угол конусности калибра на обжимном участке  $-10^{\circ}$ . Калибровка валков принята биконической, состоящей из обжимного и калибрующего участков с равными углами конусности по  $5^{\circ}$ . Диаметр валков в пережиме составлял 250 мм. Моделирование выполнено для заготовки из стали 45, нагретой до температуры  $1150^{\circ}\text{C}$  (рис. 1).

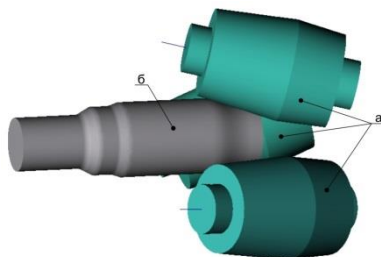


Рис.1. Модель валков (а) и ступенчатой заготовки (б) для расчёта РСП в QFORM-3D

Моделирование показало, что заготовка ступенчато переменного диаметра со снятыми фасками устойчиво захватывается валками. Винтовое движение прокатываемого металла на всех стадиях деформации происходит стабильно без пробуксовок и остановок. Контакт металла с валками постоянный.

В результате моделирования построены диаграммы изменения во времени момента и мощности прокатки на одном валке (рис.2). Диаграммы носят весьма плавный характер, свойственный процессам РСП [4]. В рассматриваемом конкретном случае деформации ступенчатой заготовки на диаграммах можно отметить 6 временных интервалов, которые соответствуют прохождению через очаг деформации участков заготовки различного диаметра.

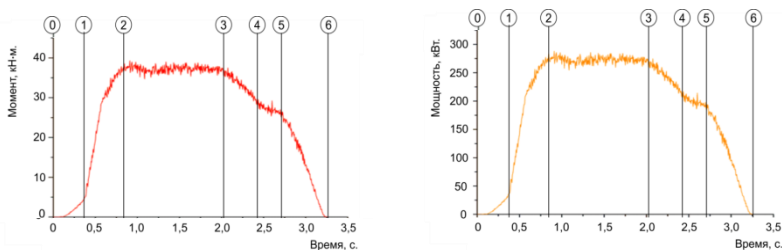


Рис. 2. Диаграммы изменения во времени момента и мощности прокатки на одном валке при РСП заготовки переменного диаметра

В интервале 0-1 происходит начальный контакт заготовки с валками и заполнение очага деформации. Промежуток времени 1-2 соответствует обжатию участка заготовки переменного диаметра перед наибольшим диаметром 181 мм. Цилиндрический участок максимального диаметра 181 мм обжимается на отрезке времени 2-3, а цилиндрическая ступень диаметром 165 мм деформируется на отрезке 4-5. На этих участках диаметр исходной заготовки постоянен, и процесс можно рассматривать, как псевдо стационарный. Промежуточный интервал 3-4 между ними является зоной нестационарного перехода и характеризуется плавно падающими нагрузками. Освобождению очага деформации соответствует крайний интервал 5-6.

Полученные диаграммы свидетельствуют о стабильности процесса прокатки ступенчатой заготовки с наибольшими перепадами диаметров. Отсутствуют как ударные нагрузки, так и резкие падения усилия, момента и мощности. В явном виде установлено, что процесс РСП имеет способность сглаживать влияние резких перепадов диаметров на зависимость энергосиловых параметров от времени.

### Литература

1. Гамин Ю.В., Романцев Б.А. Особенности процесса прошивки коротких заготовок малого диаметра на мини-стане винтовой прокатки // Производство проката. 2015. – № 11. – С. 25–31.
2. Stefanik A., Morel A., Mroz, S., Szota P. «Theoretical and experimental analysis of aluminium bars rolling process in three-high skew rolling mill» Archives of Metallurgy and Materials. Vol. 60, Issue 2, 2015. Pp 809-813.
3. Galkin, S.P., Romantsev, B.A., Kharitonov, E.A. Putting into practice innovative potential in the universal radial-shear rolling process. CIS Iron and Steel Review 2014(9), с. 35-39.
4. Galkin, S.P. Trajectory of deformed metal as basis for controlling the radial-shift and screw rolling (2004) Stal' (7), pp. 63-66.

УДК 621.771.014.2

## ПАРАМЕТРЫ НЕЙТРАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ

*Пузанов М.П., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
puzanovmp@ya.ru*

Изменение формы нейтрального сечения при различных коэффициентах контактного трения во время холодной прокатки отслеживали при помощи моделирования методом конечных элементов (МКЭ), для

чего использовали программный пакет «DEFORM 3D». Было поставлено пять задач, в которых моделировали процесс продольной прокатки листа с различными значениями коэффициента трения. Для задания условий контактного трения использовали закон трения Амонтона-Кулона.

В задачах № 1 и 2 моделировали условия холодной прокатки в стабильном скоростном режиме с различной смазкой, для задачи № 1 приняли  $\mu = 0,06$  (пальмовое масло), для задачи № 2  $\mu = 0,11$  (масло индустриальное 20). В задаче № 3 моделировали прокатку на заправочной скорости, величину коэффициента трения установили  $\mu = 0,15$ . В задачах № 4 и № 5 моделировали прокатку в сухих валках при  $\mu = 0,22$ , для задачи № 5  $\mu = 0,27$ . Твердотельные модели валков и заготовки создавали при помощи программы «КОМПАС 3D». Деформирующий инструмент – идеально жёсткие валки диаметром  $D = 70$  мм с цилиндрической профилировкой. Начальная толщина заготовки  $h_0 = 0,50$  мм, начальная ширина  $B_0 = 30$  мм, деформируемая среда – упругопластическая. В качестве материала полосы была выбрана кремнистая (трансформаторная) сталь, содержащая 3,0-3,2 % (масс.) Si. Выбор диаметра валков и материала обоснован реальными условиями производства этого вида стали [1]. Ширина проката искусственно занижена для уменьшения количества конечных элементов, участвующих в расчете.

В заготовке была создана сетка из тетрагональных конечных элементов, общее количество элементов равнялось 79728. Прокатка велась за один проход на толщину  $h_1 = 0,275$  мм с относительным обжатием  $\varepsilon = 45$  %. Процесс прокатки моделировали без натяжения, чтобы оценить влияние коэффициента трения. Для решения использовали метод Ньютона-Рафсона. На рисунке показан один из вариантов решения применительно к распределению касательного напряжения.

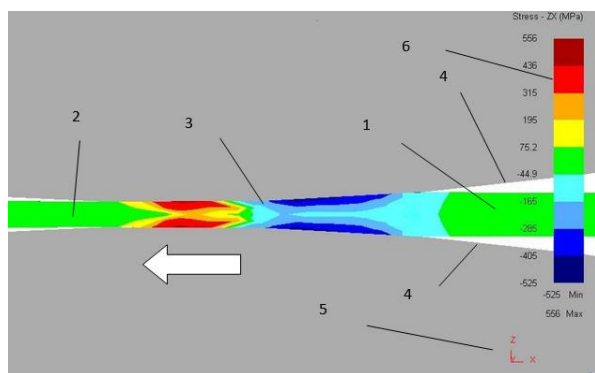


Рис. 1. Поле напряжений  $\sigma_{zx}$  в продольном сечении полосы: 1 – заготовка; 2 – прокатанная полоса; 3 – очаг деформации; 4 – поверхность валков; 5 – система координат; 6 – цветовой ключ; белая стрелка – направление прокатки

Выявлено, что нейтральное сечение в очаге деформации при холодной тонколистовой прокатке не является плоским, с ростом величины коэффициента трения происходит увеличение величины изгиба нейтрального сечения в сторону входа полосы в валки по экспоненциальному закону.

В диапазоне значений коэффициента трения, реализуемого при различных условиях холодной прокатки кремнистой стали на действующих прокатных станах ( $\mu = 0,06 \dots 0,15$ ) использование гипотезы плоских сечений при расчёте давления прокатки даёт существенно заниженный результат, величина отклонения составляет 23-25 %. Более подробно результаты расчета изложены в статье [2].

### Литература

1. Логинов Ю.Н., Пузанов М.П., Соловей В.Д. Силовой и скоростной режимы холодной прокатки трансформаторной стали. Сталь. 2017. № 8. С. 30-33.
2. Логинов Ю.Н., Пузанов М.П. Влияние формы нейтрального сечения в очаге деформации на расчетное давление при холодной прокатке. Сталь. 2016. № 11. С. 36-40.

УДК 621.73.043

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ОСАДКЕ

*Тишук Л.И., Соломонов К.Н., Орлов В.В.*

*Филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Воронеж, Россия  
liudmila.tishchuk@mail.ru*

Разработки, связанные с созданием удобного инструмента для моделирования формоизменения плоских заготовок, служащих базой для изготовления поковок, в том числе и с ребрами жесткости, в процессахковки и объемной штамповки, проводятся на протяжении конца прошлого и начала этого века достаточно интенсивно [1-4]. При этом приходится решать ряд частных задач, являющихся звеньями при создании общей методики.

С целью определения влияния начальной толщины плоской заготовки на ее формоизменение были проведены теоретический анализ и лабораторные эксперименты по исследованию изменения формы и размеров поперечного сечения образца в ходе осадки.

Предполагалось, что площадь деформируемой заготовки зависит только от степени деформации. Тогда при одинаковой степени деформа-

ции площади «тонкой» и «толстой» заготовок должны совпадать. То есть площадь образца в ходе деформирования не зависит от начальной толщины заготовки, а зависит только от степени деформации. Тогда, если площади двух плоских образцов, деформируемых между жесткими плоскопараллельными плитами, равны до начала осадки, то они должны быть равны и в любой момент осадки при одинаковой степени деформации. Так как в ходе деформирования не меняются плотность материала и вес образца, данное утверждение является следствием закона постоянства объема. Тем не менее, авторы сочли необходимым найти теоретико-экспериментальное подтверждение этого очевидного факта.

Действительно, исходя из закона постоянства объема, имеем:

$$V_1 = V_1^i,$$

$$V_2 = V_2^i,$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – начальные объемы первой и второй заготовок соответственно;

$V_1^i$  и  $V_2^i$  – объемы первой и второй заготовок соответственно при  $i$ -й степени деформации.

Следовательно,

$$S_1 h_1 = S_1^i h_1^i,$$

$$S_2 h_2 = S_2^i h_2^i,$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – начальная площадь первой и второй заготовок соответственно;

$S_1^i$  и  $S_2^i$  – площадь первой и второй заготовок соответственно при  $i$ -й степени деформации;

$h_1$  и  $h_2$  – начальная толщина первой и второй заготовок соответственно;

$h_1^i$  и  $h_2^i$  – толщина первой и второй заготовок соответственно при  $i$ -й степени деформации.

Разделив первое уравнение на второе, после несложных преобразований, с учетом равенства площади исходных образцов, получим

$$h_1 / h_1^i = h_2 / h_2^i S_1^i / S_2^i.$$

Так как образцы рассматриваются при одинаковой степени деформации, очевидно

$$h_1 / h_1^i = h_2 / h_2^i.$$

Следовательно,

$$S_1^i = S_2^i.$$

Для подтверждения того, что и форма деформируемого образца не зависит от начальной толщины заготовки были проведены лабораторные эксперименты по осадке «толстых» и «тонких» пластилиновых образцов.

Выбор пластилина в качестве материала для данных опытов обусловлен тем, что, согласно утверждениям С.И. Губкина, для моделирования процессов обработки металлов и получения представлений о картине



формоизменения возможно использование высокопластичных глин или различных пластичных масс. Поэтому пластилин издавна признан исследователями как один из наиболее подходящих недорогих материалов для моделирования процессов пластического формообразования.

Бочкообразование при этом не учитывалось.

Начальная толщина «толстого» образца 40 мм, «тонкого» – 8 мм, при одинаковых размерах поперечного сечения обоих образцов 60х40 мм. То есть отношение линейного размера в плане к толщине для «толстой» заготовки составляло 1, для «тонкой» – 5. Исходя из известных положений, последнюю заготовку можно считать условно тонкой.

Количественная оценка формоизменения заготовок в плане проведена с помощью изображения полученных образцов в натуральную величину на масштабнo-координатной бумаге.

Деформируемые образцы исследовались при одинаковой степени деформации. При степени деформации  $\varepsilon = 0,5$  площадь поперечного сечения «толстого» образца составила 5330 мм<sup>2</sup>, «тонкого» – 5570 мм<sup>2</sup>. Сравнение результатов показывает, что расхождение размеров сечений толстого и тонкого образцов не более 5%. При  $\varepsilon = 0,75$  площадь «толстого» образца составляла 9524 мм<sup>2</sup>, «тонкого» – 9838 мм<sup>2</sup>. Расхождение менее 4%.

Таким образом, площадь и форма заготовки в ходе деформирования не зависят от ее начальной толщины. Независимость формы следует из проведенных лабораторных экспериментов, а независимость площади – из полученных аналитических соотношений.

## Литература

1. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение. – 2000. – № 3. – С. 62-65.
2. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки оребренных деталей // Технология легких сплавов. – 2005. – № 1-4. – С. 142-149.
3. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовки // Технология легких сплавов. – 2008. – № 2. – С. 96-100.
4. Соломонов К.Н., Свиринов В.В. Анализ кинематических схем течения металла с помощью виртуального эксперимента // Технология легких сплавов. – 2010. – № 3. – С. 58-64.

## ВЛИЯНИЕ НАТЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ

**Водопьянова О.В., Непряхин С.О.**

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
olgavod.ru@gmail.com*

Влияние согласованности скоростного режима на энергосиловые параметры процесса сортовой непрерывной прокатки в трех смежных клетях черновой группы, изучали при помощи моделирования методом конечных элементов (МКЭ), для чего использовали программный пакет «DEFORM 3D». Было поставлено 3 задачи, в которых моделировали процесс непрерывной продольной прокатки полосы в трех клетях, с калибровкой овал-круг-овал, соответственно.

В задаче №1 моделировали процесс прокатки при согласованном скоростном режиме. В задаче №2 производилось моделирование процесса непрерывной прокатки с натяжением, при снижении скорости в первой клети на 10% и повышении скорости в третьей клети на 10%. В задаче №3 моделировали прокатку с подпором, в данном режиме скорость в первой клети была повышена на 10%, скорость в третьей клети снижена на 10%. Твердотельные модели валков и заготовку создавали при помощи программы «SOLIDWORKS». Деформирующий инструмент – идеально жесткие валки, калибровка валков представлена на рисунке 1. Заготовка принята с начальной толщиной  $h_0=98$  мм, и шириной  $b_0=137$  мм. В качестве материала заготовки была выбрана сталь AISI 1025.

В заготовке была создана сетка из тетрагональных конечных элементов, общее количество элементов равнялось 32000. Прокатка велась в трех клетях. Принят коэффициент трения по Зибелю равный 1. Температура заготовки 1030 °С.

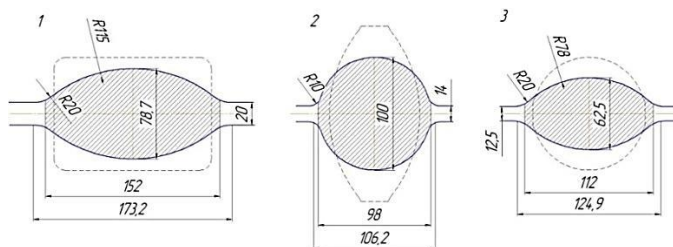


Рис.1. Калибровка валков

На рисунке 2 представлены графики изменения усилия во второй клети для трех задач.

Анализируя полученные результаты можно заметить, что при прокатке с подпором усилие прокатки гораздо больше, чем при согласованном режиме и прокатке с натяжением. Это, в свою очередь связано с тем, что подпор приводит к возрастанию давления прокатки и в большей мере к увеличению момента прокатки [1]. Из рисунка 2в можно заметить, что усилие прокатки при выходе полосы из первой клетки резко уменьшается с 10МН до 7,7 МН, таким образом, неравномерность межклетьевых усилий приводит к неравномерной загрузке клетей черновой группы стана.

Сравнивая полученные результаты при прокатке с натяжением и согласованным режимом прокатки, можно заметить, что усилия при прокатке с натяжением меньше, чем при согласованном режиме прокатке.

Анализируя графики на рисунках 2а и 2б, можно заметить, что при выходе полосы из первой клетки усилие прокатки во второй с 8,4 МН снижается до 7,5 МН. При прокатке с натяжением усилие прокатки с 8,03 МН снижается до 7,29. Таким образом, при прокатке с натяжением усилие прокатки меньше, а, следовательно, и момент прокатки, таким образом, загрузка клетей меньше.

Таким образом, можно сделать вывод, что прокатка с натяжением более выгодна в черновой группе клетей стана, так как усилия прокатки меньше, чем при согласованном режиме прокатки и прокатке с подпором.

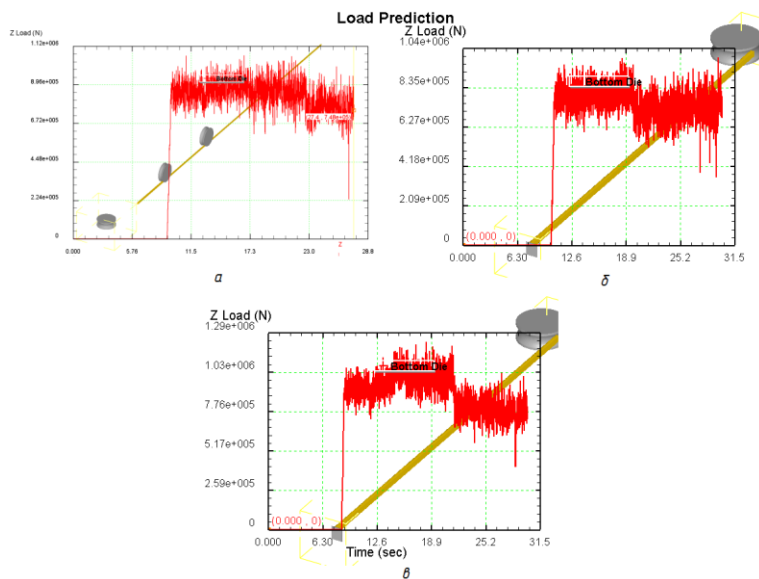


Рис. 2. Изменение усилия прокатки во второй клет:  
 а) согласованный скоростной режим, б) прокатка с натяжением,  
 в) прокатка с подпором

## Литература

1. Выдрин В.Н. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосенко, В.И. Крайнов/ М.: Металлургия, 1970, 456с.

УДК 665.7.038

### ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА УСИЛИЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

*Снегирёв И.В., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
igor\_snegirev@mail.ru*

Современная прокатка алюминия и его сплавов невозможна без применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). При этом в технической литературе в качестве основной причины применения СОЖ объявляются снижение коэффициента трения [1], снижение усилий и в целом энергосиловых параметров прокатки [2]. Однако в отличие от прокатки черных металлов прокатка цветных металлов сопровождается налипанием на валки, что объясняется проявлением повышенной адгезии [3,4]. Снизить влияние адгезии возможно при создании более толстых слоев смазки, например, за счет повышения вязкости, что может приводить к приближению режима трения к жидкостному.

Целью исследования является изучение влияния вязкости СОЖ на параметры процесса холодной прокатки на шестивалковом стане холодной прокатки алюминиевых сплавов компании “Danieli”.

В таблице 1 приведены основные параметры прокатки полос из сплава АМг5 в двух вариантах применения СОЖ: с меньшей и большей вязкостью.

Таблица 1 - Влияние вязкости СОЖ на параметры прокатки

Параметр	Рулон 1	Рулон 2
Вязкость СОЖ, сСТ	2,85	3,14
Толщина начальная, мм	5,15	5,27
Толщина конечная, мм	4,51	4,61
Относительное обжатие, %	12,4	12,84
Абсолютное обжатие, мм	0,64	0,65
Усилие прокатки, кН	8077	7563
Ширина полосы, мм	1648	1584
Длина очага деформации, мм	12,63	12,84
Скорость прокатки, м/мин	220	245
Удельное давление металла на валки, МПа	388	372

Результаты измерений усилия показывают, что при прокатке рулона 2 с применением СОЖ большей вязкости усилие снизилось на 7%, что можно было бы отнести к меньшей ширине полосы. Однако ширина рулона 2 уменьшена не на 7 %, а только на 4 %. Показатель удельного давления нивелирует влияние ширины проката и по нему становится видно, что применение СОЖ большей вязкости снижает напряжения на валках на 4%.

Известно, что применение смазок большей вязкости приводит к созданию более толстых слоев смазки, более надежно экранирующих инструмент. В сочетании с высокими скоростями прокатки это приводит к появлению режима гидродинамической подачи смазки, что снижает энергосиловые параметры деформации. Дополнительно можно ожидать уменьшения вредных последствий явления налипания алюминиевого сплава на валки.

### Литература

1. Арышенский Е.В., Панкратов М.А., Арышенский В.Ю., Беглов Э.Д. Изучение влияния композиции смазочных жидкостей на усилие прокатки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 3. – С. 11–13.

2. Арышенский Е.В., Яшин В.В., Латушкин И.А., Баев А.В. Исследование антифрикционных свойств прокатной смазки для алюминиевых сплавов методом предельного обжатия // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 3–1. – С. 15–18.

3. Логинов Ю.Н., Инатович Ю.В. Механизм образования дефектов на полосе при прокатке от налипаний на валке // Производство проката. – 2008. № 8. – С. 5-7.

4. Логинов Ю.Н. Налипание металла на валки при листовой прокатке // Производство проката. – 2006. № 10. – С. 9-13.

УДК 669.771

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ ДВУХФАЗНОЙ СТАЛИ

*Тарасов П.С.<sup>1</sup>, Голубчик Э.М.<sup>1</sup>, Тарасова К.А.<sup>1</sup>, Лукьянчиков Д.Ю.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

*<sup>2</sup>ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,  
г. Магнитогорск, Россия*

*[zed.8@mail.ru](mailto:zed.8@mail.ru)*

Автомобилестроение является одной из ключевых отраслей любой промышленно развитой страны, так как ее предприятия получают высокие доходы и создают значительную добавленную стоимость.

Современные требования к экологичности, топливной эффективности и безопасности автомобилей диктуют необходимость применения все более высокопрочных марок стали для снижения веса автомобиля. Наиболее распространенным типом стали, использование которого позволяет решить вышеупомянутые задачи, является так называемый класс DP (Dual Phase – двухфазных ферритно-мартенситных) сталей.

Открытие на территории Российской Федерации сборочных производств крупнейших мировых автоконцернов и модернизация отечественного автомобилестроения создают устойчивый спрос на высокопрочный прокат, в том числе из DP - сталей. Вследствие чего разработка технологий и освоение их производства в РФ может повысить степень локализации производства и конкурентоспособность отечественной металлопродукции, а также реализовать стратегию импортозамещения [1].

На свойства двухфазных сталей большое влияние оказывает содержание легирующих элементов и технология производства. Несмотря на то, что механизмы формирования сложного комплекса механических свойств являются в достаточной мере изученными в лабораторных условиях, остается весьма сложной задача достижения необходимого уровня свойств в условиях действующего массового производства[2-7].

Положительные результаты производства опытных партий металлопроката были достигнуты путем управления не только химическим составом, но и оперативной корректировкой сквозной технологии, что обеспечило получение требуемой двухфазной микроструктуры (рис. 1).

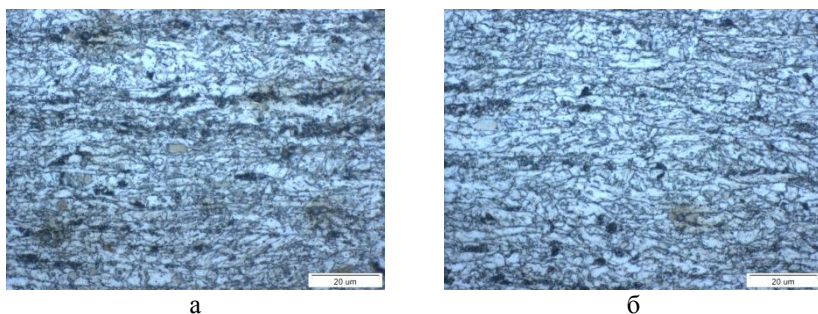


Рис. 1. Микроструктура металла пробы  $\times 1000$ :  
а) вдоль направления прокатки; б) поперек направления прокатки.

Практический и теоретический опыт производства холоднокатаной отожженной стали марки НСТ780Х был успешно применен при разработке технологии и опытном производстве горячеоцинкованной стали марки А368-А14 по WSS-M1-А368, а также холоднокатаной отожженной стали марки НСТ980Х. Кроме того, положительные результаты применения вновь разработанной технологии создали предпосылки для формули-

рования основных принципов для создания технологии производства прогрессивных марок стали с TRIP-эффектом (HCT780T по EN 10338).

В настоящее время ведется работа по расширению размерного и марочного сортамента, а также разработка новых технологий производства сталей используемых на сборочных линиях крупнейших отечественных и зарубежных автоконцернов.

### Литература

1. Нищик А.В., Ящук С.В., Бакланова О.Н., Родионова И.Г. Получение двухфазных ферритно-мартенситных сталей различных систем легирования в агрегатах непрерывного отжига // *Металлург.* 2016. № 3. С. 66-71.

2. Нищик А.В., Ящук С.В., Бакланова О.Н., Родионова И.Г. Влияние температурных режимов обработки в агрегате непрерывного отжига на механические свойства двухфазных ферритно-мартенситных сталей // *Металлург.* 2016. №6. С. 48-54.

3. Голубчик Э.М., Тарасов П.С. Оценка влияния химического состава на механические свойства металлопроката из высокопрочных двухфазных микролегированных сталей // *Обработка сплошных и слоистых материалов. Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. М.В. Чукина Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. №2 (Вып.45). С. 51-57.*

4. Голубчик Э.М., Тарасов П.С. Исследование влияния параметров дрессировки на механические свойства металлопроката из высокопрочных двухфазных микролегированных сталей / *Качество в обработке материалов. Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. №2 (6). С. 27-33.*

5. Голубчик Э.М., Тарасов П.С., Тарасова К.А., Лукьянчиков Д.Ю. Оценка влияния технологических параметров производства высокопрочных микролегированных двухфазных сталей в линии непрерывного действия на ВН-эффект // *Современные материалы, техника и технологии.* 2017. №1(9). С.71-80.

## ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В 3D ПОСТАНОВКЕ

*Замараева Ю.В., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
[suslowa.iuliya2016@yandex.ru](mailto:suslowa.iuliya2016@yandex.ru)*

При прогнозировании явлений, происходящих в операциях листовой штамповки, широкое распространение получило применение метода конечных элементов, что позволило проследить за перемещениями и деформациями металла на всем протяжении цикла обработки. Выявление зон в очаге деформации с реализацией высоких значений деформаций и напряжений позволяет оценить обстановку и принять обоснованные решения по улучшению ситуации.

Задачу листовой штамповки в данном случае решали методом конечных элементов. Следует отметить, что для моделирования деформации цилиндрических деталей чаще всего применяют осесимметричную постановку задачи, поскольку она требует меньше всего вычислительных ресурсов и наиболее проста в задании граничных условий [1]. При этом подразумевается, что компоненты тензоров, описывающих напряженно-деформированное состояние, не зависят от тангенциальной координаты. Однако в области листовой штамповки известно такое явление как гофрообразование. Возможность наличия гофр и складок в штамповке цилиндрического профиля не может быть предсказана при постановке осесимметричной задачи, поэтому было принято решение применить постановку объемной задачи.

Постановку задачи осуществили в программном комплексе QForm 7. В программном модуле QShare создали конечно-элементную модель инструментальной оснастки и заготовки. Материал заготовки – алюминиевый сплав АМг2М, температура заготовки 20°С. Для пуансона назначен гидравлический привод, для прижима в случае его использования – привод с усилием 0,2 кН. Матрица неподвижна. Коэффициент трения по Кулону  $\mu = 0,1$ . На рисунке показано распределение скорости деформации по объему детали.

В отличие от степени деформации, которая является накопленной величиной, скорость деформации описывает состояние мгновенного очага деформации. В начальный период очаг деформации расположен в месте радиуса скругления матрицы, на втором этапе выявляется два локальных максимума скорости деформации, что отмечалось в работе [2] их положение соответствует двум точкам перегиба заготовки. На третьем этапе появляются «островки» локализации скорости деформации с нали-



чем разрывов между ними. Эта локализация обусловлена появлением гофр или складок. На последнем этапе они разглаживаются пуансоном, но во внеконтактной зоне они остаются.

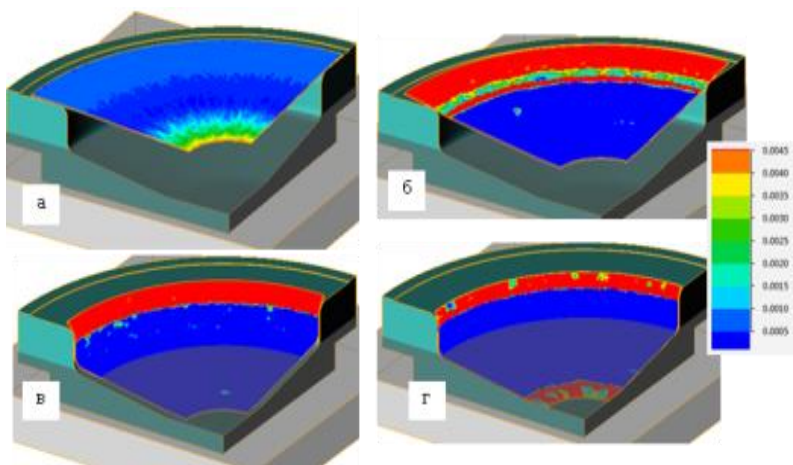


Рис. 1. Последовательность изменения поля скорости деформации по ходу штамповки с прижимом: а – локализация деформации у отверстия; б – локализация в двух местах перегиба; в – локализация у прижима; г – локализация у дна; справа цветовой ключ, 1/с

### Литература

1. Ершов А.А., Логинов Ю.Н. Изучение с помощью программы RAM-STAMP влияния состояния поставки материала на формуемость при штамповке. *Металлург.* 2014. № 3. С. 38-41.
2. Логинов Ю.Н., Каменецкий Б.И., Студенок Г.И. Моделирование деформированного состояния круглой пластины при вытяжке. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* 2006. № 3. С. 26-28.

УДК 669.017

**НОВОЕ НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА КАФЕДРЕ ОМД УРФУ**

*Толкушкин А.О.<sup>1</sup>, Богатов А.А.<sup>1</sup>, Князев С.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия*

*<sup>2</sup>ПАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов», г. Ревда, Россия  
a.o.tolkushkin@urfu.ru*

На кафедре ОМД УрФУ введен в действие стенд для механического испытания материалов на кручение, сопротивление деформации и пластичности, исследования процессов упрочнения и разупрочнения в зависимости от температуры, степени и скорости деформации в условиях однонаправленного и знакопеременного характера нагружения цилиндрических образцов.



Рис. 1. Стенд для механического испытания

В качестве силовозбуждающего устройства используется интегрированный сервопривод СПШ-20-34100, который через планетарный редуктор передает крутящий момент на подвижный захват. Исследуемый образец одним концом крепится в подвижном, а другим в неподвижном захвате. Программы нагружения задаются с ПК при помощи программного обеспечения «Мотомастер». Исследуемый образец может быть подвергнут нагреву. Нагрев может производиться, как перед, так и во время исследования. В качестве нагревателя используется машина сварочная контактная АСП-10. Вторичная обмотка трансформатора подключена к

неподвижному и к подвижному захватам. Включение нагрева производится нажатием и удержанием в нажатом состоянии кнопки, расположенной на лицевой стороне стенда. Величина тока нагрева задается переключателями, расположенными на левой стороне стенда. Контроль величины нагрева образца производится пирометром GM 1850.

Крутящий момент, соответствующий углу закручивания образца, считывается цифровым измерительным модулем ZET 7111, построенном на базе тензодатчика TCN-10к. Показания которого регистрируются ПК с помощью программного обеспечения «ZETLAB». Показания момента и угла закручивания соответствуют одному и тому же моменту времени при испытании. Затем осуществляется обработка экспериментальной информации для расчета сопротивления деформации, степени и скорости деформации, анализа процессов упрочнения и разупрочнения. Алгоритм и программа расчета указанных параметров выполнены с учетом влияния температурных полей, которые определяются путем компьютерного моделирования процесса испытания образцов. Пластичность материалов определяется в результате испытания образцов до разрушения.

Показатели напряженного состояния, относительное среднее нормальное напряжение  $\frac{\sigma}{T}$  и показатель Лоде  $\mu_{\sigma}$  при испытании образцов

на кручение равны нулю. Влияние знакопеременного характера деформации образцов на пластичность оценивается с помощью показателя  $a$ , входящего в модели накопления поврежденности металла при монотонной (1) и знакопеременной (2) деформации:

$$\omega = \int_0^{\Lambda_i} \frac{a\Lambda^{a-1}}{\Lambda_p^a} d\Lambda \quad (1)$$

$$\omega = \sum_{i=1}^n \int_0^{\Lambda_i} \frac{a\Lambda^{a-1}}{\Lambda_p^a} d\Lambda \quad (2)$$

где  $\Lambda = \tan \gamma$  – степень деформации сдвига,  $\Lambda_i$  – амплитуда пластической деформации,  $a = a_0^{1+0,238\frac{\sigma}{T}}$ ,  $\Lambda_p = \Lambda_{p_0} \exp\left(\lambda\frac{\sigma}{T}\right)$  – определяющие соотношения механики вязкого разрушения известные из аппроксимации опытных данных,  $n$  – число этапов знакопеременной деформации. Т.к. при кручении  $\frac{\sigma}{T} = 0$  и  $\mu_{\sigma} = 0$ , то  $a = a_0$  и  $\Lambda_p = \Lambda_{p_0}$ .

Управлением амплитудочастотными характеристиками возможно осуществлять физическое моделирование процессов обработки металлов

давлением, удовлетворяющих реальным технологическим процессам. Подбор амплитуды  $\Lambda_j$  и числа этапов знакопеременного кручения  $n$  осуществляется при помощи компьютерного моделирования.

### Литература

1. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с.

УДК 669.771

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОНЕЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ

*Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Константинов Д.В.*  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
[fekla\\_med@mail.ru](mailto:fekla_med@mail.ru)

В рамках развития металлургической промышленности, прокатного производства в частности, наблюдается активное освоение новых видов металлопродукции, при одновременном ужесточении качественных показателей. Перспективным направлением в прокатном производстве представляется сокращение технологических переделов с возможностью обеспечения конечных физико-механических свойств и геометрических параметров проката на предшествующих переделах.

Как вариант альтернативы холоднокатаному прокату рассматривается травленая, дрессированная горячекатаная полоса с заданным уровнем механических свойств, высокой точности изготовления по толщине и с пониженным уровнем дефектности поверхности. Области применения такой полосы являются производства с использованием операций холодной штамповки и вырубки деталей автомобилей, а также для формовки и сварки труб различного назначения [1 - 2].

Для формирования и управления характеристиками горячекатаных полос на стадии её финишной отделки широкое применение находят операции дрессировки и термической обработки. Операция докритического отжига способствует формированию равновесной однородной структуры, последующая дрессировка – формированию высокой точности, плоскостности, чистоты поверхности, устранению площадки текучести.

В настоящий момент проводится компьютерное конечно-элементное мультимасштабное моделирование процесса дрессировки с использованием программного комплекса Abaqus с целью изучения микротрансформаций, происходящих при одновременном варьировании параметров дрессировки и термообработки.

Проводимые исследования позволят выявить феноменологические особенности формирования технологических свойств ленты, а также предоставить рекомендации по оптимизации разработанного технологического процесса производства горячекатаной травленной дрессированной ленты.

### Литература

1. Голубчик Э.М., Медведева Е.М. Освоение инновационной технологии производства горячекатаной дрессированной ленты. Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 4-й Международной молодежной научно-технической конференции 21-22 сентября 2017 года, С. 59-62.

2. Медведева Е.М., Голубчик Э.М. Формирование свойств горячекатаной травленной ленты при дрессировке / Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции, Том I. – Старый Оскол, 2016. – С. 88-91

УДК 621.777

## РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ НОВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ\*

*Якивчук О.В., Довженко И.Н., Белоконова И.Н.  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия  
yakivchuk.olga@yandex.ru*

В рамках создания новых инновационных технологий для производства деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов с повышенным уровнем механических и эксплуатационных свойств предложены новые скандийсодержащие сплавы и методы их деформационной обработки.

Актуальность применения таких сплавов в авиакосмической технике, наземном и водном транспорте, строительстве и других отраслях народного хозяйства и бытовой техники обусловлена хорошими металлургическими и технологическими характеристиками: хорошие плавильные и литейные свойства, обрабатываемость всеми способами горячей и холодной пластической деформации.

---

\* работа выполнена под научным руководством проф., д.т.н. С.Б. Сидельникова

На современном этапе развития техники большое внимание уделяется изучению комплексного легирования переходными металлами (ПМ), такими как Sc и Zr, и их влияния на структуру и свойства деформируемых алюминиевых сплавов. Применение сплавов со скандием в настоящее время сдерживается их сравнительно высокой стоимостью. Увеличение объема выпуска и потребления полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием, будет непременно сопровождаться уменьшением их стоимости, что подчеркивает инновационный характер настоящей научно-исследовательской работы.

В рамках выполнения темы 03.G25.31.0265 «Разработка экономно легированных высокопрочных Al-Sc сплавов для применения в автомобильном транспорте и судоходстве» при реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, утвержденных постановлением правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218, был предложен сплав на основе системы Al-Mg, комплексно легированный ПМ, при условии снижения дорогостоящего скандия до 0,10-0,12%. Сплаву присвоено название P-1580 и в настоящее время на его химический состав подана заявка на патент. Для получения из него листовых полуфабрикатов с повышенным уровнем механических свойств проведен ряд научно-исследовательских работ [1-3].

Выполнено компьютерное моделирование процесса прокатки для промышленных крупногабаритных плоских слитков различного сечения толщиной 300 и 445 мм из нового сплава с использованием программного пакета "DEFORM 3D". Результаты моделирования использовались для проектирования промышленных технологий производства листов и плит из сплава P-1580 в условиях завода «АМР» (г. Белая Калитва). Разработаны технологии горячей и холодной прокатки листовых полуфабрикатов из этого сплава в лабораторных (1) и промышленных (2) условиях (см. табл.). Проведены металлографические исследования структуры и свойств полученных образцов проката в деформированном, отожженном и сварном состояниях. Полученные полуфабрикаты показали высокую устойчивость к межкристаллитной коррозии, хорошую свариваемость и высокие показатели прочностных и механических свойств, приведенных в таблице. Уровень прочностных свойств сопоставим с уровнем свойств полуфабрикатов из сплава 01570, в котором содержание скандия может достигать 0,34%.

Механические свойства	Толщина (мм) и состояние листовых полуфабрикатов					
	10, горячекатаное		3, холоднокатаное		3, отожженное	
	1	2	1	2	1	2
$\sigma_B$ , МПа	369	388	453	458	390	397
$\sigma_{0,2}$ , МПа	266	270	429	402	277	305
$\delta$ , %	16	17	5	6	14	14

Таким образом, разработанные состав сплава и режимы температурно-деформационной обработки позволяют получать полуфабрикаты с необходимым уровнем механических и эксплуатационных свойств.

### Литература

1. Dovzhenko I.N., Dovzhenko N.N., Sidelnikov S.B. and ect. 3D modelling of the large-capacity ingots of an Al–Mg system aluminium alloy doped with scandium rolling process // Non-ferrous Metals. – 2017. – V. 43. – Is. 2. – pp. 60-64.
2. Yakiviyuk O., Sidelnikov S., Baranov V. and ect. Study of strength properties of semi-finished products from economically alloyed high-strength aluminium-scandium alloys for application in automobile transport and ship-building // Open Engineering. – 2018. – V. 8. – pp. 69-76.
3. Yakiviyuk O., Sidelnikov S., Baranov V., Zenkin E. Physical modeling technological regimes of production deformed semi-finished products from experimental aluminium alloys alloyed by scandium // Materials Science Forum. – 2018. – V. 918. – pp. 54-62.

УДК 621.771.26

## **АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА**

*Уманский А.А.<sup>1</sup>, Головатенко А.В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный  
индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия  
<sup>2</sup>АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский  
металлургический комбинат»,  
г. Новокузнецк, Россия  
umanskii@bk.ru*

В настоящее время Россия занимает третье место в мире по протяженности железных дорог, что связано с географическими особенностями страны и преобладанием доли железнодорожного транспорта в общем объеме грузоперевозок. Значительная протяженность железных дорог закономерно обуславливает тот факт, что Россия является одним из ведущих производителей железнодорожных рельсов.

Анализ истории развития отечественного рельсового производства показывает, что к началу XXI века создалась ситуация значительного технологического отставания по сравнению с ведущими мировыми про-

изготовителями железнодорожных рельсов (Япония, Австрия) [1, 2], которое было ликвидировано в 2013 г. с запуском в эксплуатацию на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» первого в России универсального рельсобалочного стана и, затем, универсального рельсобалочного стана компанией «Мечел» на Челябинском металлургическом комбинате.

Рельсобалочный стан АО «ЕВРАЗ ЗСМК» имеет в своем составе две последовательно расположенные двухвалковые реверсивные обжимные клетки (BD1 и BD2) и смещенный относительно линии прокатки универсальный тандем-стан, состоящий из двух универсальных и одной вспомогательной двухвалковой клетки, а также отдельно расположенной чистой универсальной клетки. Основным поставщиком оборудования стана выступила компания «SMS Meer».

Основным сортаментом универсального рельсобалочного стана АО «ЕВРАЗ ЗСМК» являются железнодорожные рельсы широкой колеи (в том числе длинномерные – длиной до 100 м) рельсы типов Р65 и Р50, поставляемые в термоупрочненном и нетермоупрочненном состоянии. К текущему моменту также освоено производство ряда рельсовых профилей специального назначения: рельсов для путей промышленного железнодорожного транспорта (РП65, РП50), рельсов железнодорожных контррельсовых (РК50, РК65), остряковых ОР43, ОР50, ОР65) и усовиковых (УР65) рельсов.

В период запуска и начальной эксплуатации рассматриваемого универсального рельсобалочного стана проведен значительный комплекс работ по совершенствованию режимов прокатки рельсов, что связано с несовершенством контрактной калибровки, предоставленной компанией «SMS Meer». Производство железнодорожных рельсов с использованием контрактной калибровки приводило к значительным технологическим трудностям и снижению технико-экономических показателей работы цеха. В частности имел место изгиб переднего конца раската при прокатке в рельсовых калибрах второй обжимной клетки, что приводило к необходимости осуществления прокатки с «затравкой» раската и обуславливало образование дефектов на поверхности рельсов, «прокатных плен» на поверхности рельсов. Увеличение продолжительности прокатки во второй обжимной клетке и дополнительные простои по причине забуриваний раската приводили к снижению производительности стана.

С целью устранения указанных недостатков разработан новый режим прокатки железнодорожных рельсов, основными отличительными особенностями которого явились:

- применение во второй обжимной клетке (BD2) разрезного рельсового наклонного калибра с разбегами по диагонали взамен разрезного рельсового калибра закрытого типа;



- снижение количества проходов во второй обжимной клетке (BD2) за счет интенсификации режима обжатий в первой обжимной клетке (BD1).

В процессе разработки нового режима прокатки рельсов использованы современные методики моделирования течения металла и напряженно-деформированного состояния в объеме раската в ходе прокатки, а также разработанная с участием авторов методика расчета сопротивления пластической деформации рельсовых сталей [3, 4].

Внедрение разработанного режима деформации в обжимных клетках в производство позволило добиться снижения отбраковки готовых рельсов по дефектам поверхности на 0,5 %, уменьшить удельный расход прокатных валков клетки BD2 на 0,51 кг/т, снизить такт прокатки в обжимных клетках на 10 сек. и увеличить продолжительность межремонтного объема проката с 3,5 до 6,0 тыс. т. Экономический эффект составил порядка 98,58 млн. руб./год.

### Литература

1. Никитина Л.А. Состояние и перспективы развития производства проката в России и за рубежом. Ч. IV // Производство проката. – 2000. – №11. – С. 2–10.

2. Головатенко А.В., Уманский А.А., Дорофеев В.В. Основные тенденции развития рельсопрокатного производства в России и за рубежом // Металлургия: Технологии, инновации, качество: Труды XIX Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2015. – Ч. 1 – С. 10–16

3. Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадыков В.Н. Разработка теоретических основ определения энергосиловых параметров прокатки при освоении новых марок рельсовых сталей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60. – № 10. – С. 804–810.

4. Уманский А.А., Головатенко А.В., Кадыков В.Н., Думова Л.В. Разработка математической модели и методики расчета сопротивления деформации рельсовых сталей различного химического состава // Металлургия: Технологии, инновации, качество: Труды XIX Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2015. – Ч. 2. – С. 110–115.

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ НА ТОЛСТОЛИСТОВОМ ПРОКАТНОМ СТАНЕ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ И ШТАМПОВКИ МЕТАЛЛА**

*Песин И.А., Чукин М.В.*

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
Ilya33392@bk.ru*

Разработан принципиально новый совмещенный процесс прокатки-штамповки крупногабаритных тел с криволинейной поверхностью. В его основе положен принцип прокатки пакета, состоящего из пуансона, матрицы и расположенной между ними толстолистовой заготовки. На основе 3D моделирования найдены рациональные формы матриц и пуансонов, а также усовершенствованы конструкции пакетов, с точки зрения устойчивости и стабильности протекания процесса.

Целью работы было получение деталей крупногабаритных изделий с криволинейной поверхностью в условиях толстолиствого прокатного стана. При этом была решена следующая совокупность актуальных научно-технических задач:

1) Выбор и адаптация вязко-пластической математической модели для описания совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки крупногабаритных деталей с криволинейной поверхностью.

2) Численное и экспериментальное исследования совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки с изучением влияния различных параметров на геометрию и механические свойства крупногабаритных деталей с заданной кривизной.

3) Определение рациональных технологических схем и режимов совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки для получения крупногабаритных деталей с криволинейной поверхностью.

Для проверки нового совмещенного процесса прокатка-штамповка изготовили пакет из верхнего пуансона и нижней матрицы и листовой заготовки. Пуансон был снабжен кольцеобразным выступом, расширяющимся радиально внутрь и имеющим выпуклую поверхность. Нижняя матрица была выполнена в виде кольца толщиной 1,5 мм с верхним внутренним диаметром 160 мм. Между пуансоном и матрицей размещали листовую заготовку из свинца толщиной 6 мм, имеющую в горизонтальной плоскости форму круга диаметром 183 мм. Использование свинца в качестве материала заготовки позволяет моделировать при комнатной температуре горячую деформацию. Прокатку пакета осуществляли со скоростью от 25 до 100 мм/с на лабораторном стане 150 ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова». Совмещенный процесс прокатки и штамповки

осуществляли за один или несколько проходов (от 2 до 4) по прямой схеме. По результатам эксперимента оценивали точность получаемой геометрии изделия. Всего было получено 10 изделий. Кривизну готовых изделий проверяли специальными шаблонами. Отклонение составляло от 10 до 2% в зависимости от числа проходов. Чем больше количество проходов, тем отклонение было меньше.

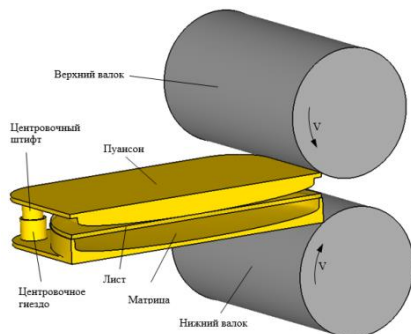


Рис. 1. Схема совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки

Разработаны и опробованы в лабораторных условиях методы коррекции технологии получения крупногабаритных деталей с криволинейной поверхностью для устранения выявленных недостатков. Изготовлены лабораторные образцы.

Разработанная технология производства деталей крупногабаритных тел с криволинейной поверхностью на толстолистовом прокатном стане позволяет, с одной стороны, существенно (не менее чем в 2 раза) снизить энергосиловые параметры процесса, а с другой – обеспечить производство длинномерных цельных крупногабаритных деталей без сварки.

*Работа выполнялась в рамках грантов по программе СТАРТ – 14-1 (2 очередь) и Старт – 16-2 (договоры №190ГС1/8745 от 25.12.2014 г. и №1491ГС2/8745 от 28.07.2016 г.).*

*Результаты работы рекомендованы к внедрению на толстолистовых прокатных станах 4500 и 2350 ПАО «ММК».*

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШВЕЛЛЕРОВ

*Устинова Е.И., Михайленко А.М., Шварц Д.Л.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
[ekatherinaustinova@gmail.com](mailto:ekatherinaustinova@gmail.com)*

Любой сортовой профиль проката можно получить, используя широкий спектр различных калибровок [1]. Практически значимым является вопрос выбора наилучшей, оптимальной калибровки из широкого множества возможных для данного прокатного стана.

На кафедре Обработки металлов давлением Уральского Федерального Университета разрабатывается универсальная двухэтапная "Концепция оптимальной калибровки", согласно которой, на первом этапе выбирается оптимальная схема калибровки, а на втором – выявляется оптимальное распределение обжатий по проходам [2, 3]. Структурная схема проведения такой оптимизации показана на рис. 1.

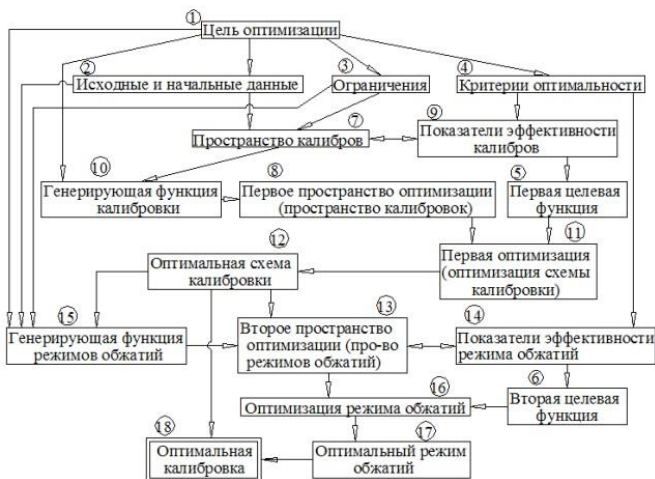


Рис. 1. Блок-схема двухэтапной оптимизации

В работе рассматривается одна из процедур общей задачи оптимизации калибровки валков, применяемой для прокатки швеллеров – выбор оптимальной схемы швеллерной калибровки.

На начальном этапе разработки было сформировано пространства швеллерных калибров [4]. Следующим этапом является формирование

пространства схем швеллерных калибровок, как пространства последующей оптимизации.

Исходя из анализа известных швеллерных калибровок, выявлены их основные типы и подтипы.

Для построения пространства схем швеллерных калибровок сформулирован алгоритм, позволяющий выявить все возможные схемы калибровок этого пространства, удовлетворяющие ограничениям конкретного прокатного стана. Для этого проведено обобщение схем швеллерных калибровок, известных из литературы, патентов и заводских атласов, что позволило выявить однозначную универсальную структурную схему.

Последовательность применения калибров в каждом из блоков и при переходе к следующему блоку устанавливается путем использования соответствующего графа связей калибров, описанных в [5], так же зависящих от типа калибровки.

Структурная схема алгоритма оптимизации схемы калибровки приведена на рис.2.

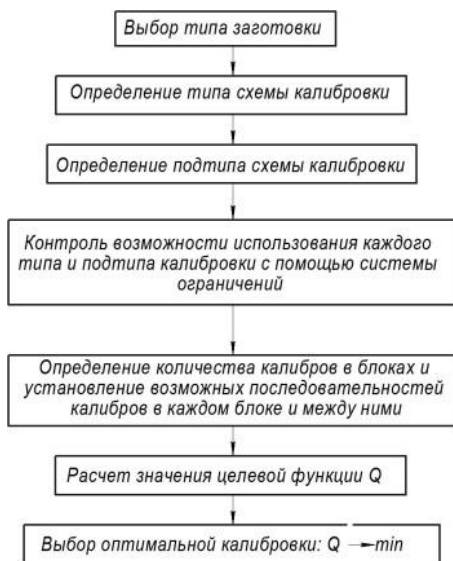


Рис. 2. Блок-схема алгоритма построения пространства схем швеллерных калибровок и выбора оптимальной схемы

### Литература

1. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатки валков. Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное – М.: Теплотехник, 2010. – 492 с.

2. Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Системный подход к оптимизации калибровки сортопрокатных валков // Производство проката. – 2016. – №17. – С. 29.

3. Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Классификация калибров для прокатки рельсов // Производство проката – 2017. – №4. – С. 19.

4. Михайленко А. М., Шварц Д. Л., Устинова Е. И. Оптимизация калибровок валков для прокатки швеллеров. Оптимизационная модель и пространство калибров // Труды XI Конгресса прокатчиков. – Магнитогорск, 2017. – Т.1. – С. 283–295.

5. Устинова Е. И., Михайленко А. М., Шварц Д. Л. Выбор оптимальной калибровки прокатных валков с целью улучшения структуры готового швеллера // Уральская школа молодых металлургов: материалы XVII Международной научно-технической уральской школы-семинара металлургов-молодых ученых. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – С. 660–664.

УДК 621.731.300.3

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МАЛОУТХОДНОЙ  
БЕЗУКЛОННОЙ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ  
ВОРОТНИКОВЫХ ФЛАНЦЕВ НА ОСНОВЕ  
КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЫ ДЕФОРМАЦИИ  
«РАЗДАЧА-ВЫДАВЛИВАНИЕ»**

*Стругов С.С., Иванов В.А.*

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский институт)», г. Челябинск, Россия  
Strugov\_s174@mail.ru*

В связи с тенденциями развития экономики Российской Федерации, основанной на добыче полезных ископаемых и их частичной переработке, необходимо строительство трубопроводов и инженерных сетей. Одним из ключевых составляющих трубопровода, обеспечивающее прочное и герметичное соединение, является фланец.

К фланцам предъявляются повышенные требования прочности и надежности, основанные на режимах работы в условиях высоких давлений и температур. Наиболее производительным методом получения заготовок для дальнейшей обработки фланцев является горячая объемная штамповка (далее ГОШ) [1]. ГОШ обеспечивает равномерную внутреннюю структуру, направление волокна и требуемую прочность. Наиболее распространена штамповка воротниковых фланцев на пневматических молотах, из-за их доступности и достаточно простого изготовления оснастки, которая формирует стоимость поковок. Однако при примене-

нии штамповки на молотах, при проектировании поковки необходимо назначать уклоны (напуски) величиной  $7^\circ$  на внешние поверхности и  $10^\circ$  на внутренние [2]. Это приводит к увеличению массы поковки, а, следовательно, и к увеличению стоимости.

При увеличении потребности в воротниковых фланцах после 1990-х годов, была разработана технология безуклонной малоотходной штамповки. Суть способа заключается в раздаче и частичном выдавливании стенок воротника в обрезном штампе [3]. В свою очередь в молотовом штампе фланец штампуется с уклонами в тело заготовки. Однако данный способ имеет ряд недостатков, связанный с нарушением геометрии поковки в связи с достаточной высокой силой выдавливания и раздачи, что приводит к необходимости дальнейшей правки. Так же данный способ требует высоких энергосиловых затрат, необходимых для «разрыва» перемычки. Это в свою очередь приводит к неравномерному оформлению торца воротника фланца, что отрицательно сказывается на качестве поковки и восприятию заказчика.

В связи с недостатками существующих способов, предложена новая технология безуклонной штамповки, повышающая качество и коэффициент использования стали. Данный метод разработан совместно с конструкторским отделом кузнечного завода «ЧТЗ-Урал-Трак». Суть данного метода заключается в предварительной прошивке перемычки поковки и последующим комбинированным процессом «раздачи-выдавливания» с последующей обрезкой облоя.

Основным направлением исследования является составление методик и рекомендаций для серийного использования технологии малоотходной безуклонной штамповки.

Направлением исследования технологии является изучение энергосиловых и кинематических параметров операции, являющимися основными для конструкторско-технологических отделов. Составление рекомендаций по проектировке поковок, обрезных штампов и составлению технологического процесса [4].

В целях уменьшения риска появления ошибки при проектировании было проведено моделирование процесса на базе программного комплекса DEFORM 3D в лаборатории суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ (НИУ). Результаты моделирования, а именно распределение средних напряжений, на базе программного пакета DEFORM 3D представлены на рис. 1.

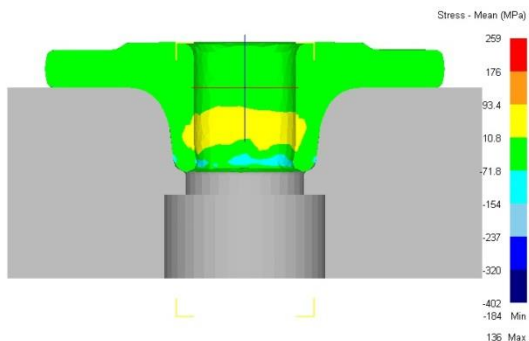


Рис. 1. Распределение средних напряжений в процессе деформации

DEFORM 3D реализует метод конечных элементов (МКЭ), что позволяет получать приемлемые результаты и на их основе рассматривать применимость процесса на практике, а так же проанализировать напряженно-деформируемое состояние металла в процессе штамповки.

### Литература

1. Бакулина А.А., Тихонов И.А., Тер-Матеосянц И.Т. Обзор российского рынка трубопроводной арматуры в 2014 году/ А.А. Бакулина, И.А. Тихонов, И.Т. Тер-Матеосянц. // Арматуростроение. – 2015. – №4. – с. 40–45.
2. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: в 4 т. Т. 2 / Семенов Е.И. – М.: Машиностроение, 1986 – 592 с.
3. Способ штамповки поковок фланцев воротниковых: пат. 2352431, Рос. Федерация: МПК В21К 23/04/ Б.Г. Каплунов, З.С. Павлович, А.В. Плаксин, В.М. Тяжельников; заявитель и патентообладатель: Южно-Уральский государственный университет. – № 20352421; заявл. 24.02.2010; опубл. 29.08.2011.
4. Стругов С.С., Иванов В.А., Таркаленко М.Д. Кинематическое состояние заготовки в процессе безуклонной горячей объемной штамповки воротниковых фланцев по комбинированной схеме «раздача-выдавливание» // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2018. - №5.



## **АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ВАРИАНТЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЛУЖЕНОЙ ЖЕСТИ В УСЛОВИЯХ ПАО «ММК»**

*Губанов С.А.*

*ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,  
г. Магнитогорск, Россия  
gubanov.sa@mmk.ru*

Рынок потребления белой жести в России является весьма стабильным, и находится на уровне 280-300 тыс. тонн в год. Доля жести производства ПАО ММК составляет порядка 40 %, остальное это импорт из Казахстана (КМК), Европы и Китая. Если по качественным характеристикам жечь ММК и КМК сопоставимы, то жечь таких производителей как Арселор, Россельштайн или Кошица обладает более высоким качеством, и к сожалению существует тенденция к уменьшению доли на рынке белой жести производства ММК. Данную тенденцию можно отследить по падению производства белой жести ПАО ММК с 210 тыс. тонн в год в 2005 году до 110 тыс. тонн в 2017. И в первую очередь такое снижение связано с повышением требований потребителей белой жести.

Требования к жести растут из-за производства новой современной продукции изготавливаемой из белой жести. К такой продукции можно отнести двухсоставные цельнотянутые банки и банки с крышками easu-oren, винтовые крышки twist-off, декоративную упаковку с качественной литографией, аэрозольные баллоны, и последняя тенденция это банки для напитков, изготавливаемые из очень тонкой жести двойной прокатки толщиной 0,10-0,11 мм, взамен алюминиевых банок.

Отличительной особенностью технологии производства ЭЖК на ПАО ММК является производство жести из горячекатаного подката двойной ширины. На ШСГП 2000 производится прокатка полос шириной 1335-1880 мм, затем полоса подвергается травлению на непрерывно-травильном агрегате (НТА) в ЛПЦ-5, после чего поступает на линию продольного роспуска (ЛПР) где производится симметричный или несимметричный продольный роспуск. Правая и левая половинки полосы поступают на 5-клетевой стан «1200», где производится прокатка на толщину 0,16-0,50 мм. Затем рулоны поступают либо в термическое отделение колпаковых печей (где жечь предварительно обезжиривается), либо в поток агрегата непрерывного отжига (АНО). Отоженные рулоны дрессируются на 2-клетевых станах и отправляются на агрегат электролитического лужения (АЭЛ). Преимущество использования горячекатаного подката двойной ширины заключается в повышении производительности стана горячей прокатки и непрерывно-травильного агрегата. Однако, при этом существует ряд проблем и одной из них является то,

что выпуклый профиль поперечного сечений после роспуска приводит к получению подката перед 5-клетевым станом с клиновидным профилем, что в свою очередь способствует получению таких дефектов как волнистость и коробоватость.

В качестве попытки получения более качественной ЭЖК, отвечающей требованиям современных стандартов (EN 10202, ГОСТ Р 52204), был предложен альтернативный технологический поток, который предполагает производство жести из подката однократной ширины, прокатанной на современном стане 2000 холодной прокатки, отожженной и продрессированной в линии АНО/ГЦ ЛПЦ-11. По вышеизложенной технологии было произведено 4 рулона ЭЖК и по результатам производства опытных партий произведен анализ: продольной разнотолщинности, разнотолщинности на участке длиной 1 м, плоскостности, механических свойств.

Наибольшую продольную разнотолщинность имеют рулоны жести, прокатанные на стане «1200» по обычной технологии из подката двойной ширины. Наименьшую продольную разнотолщинность имеют рулоны, прокатанные на стане «2000» ЛПЦ-11. Отклонение толщины по длине рулона уменьшается в 2 раза относительно жести, прокатанной на стане «1200». Среднее значение суммарных максимальных и минимальных отклонений толщины снижается до 4,0 %.

Наибольшую разнотолщинность на участке полосы длиной 1 м имеют рулоны жести, прокатанные на стане «1200». Разнотолщинность жести толщинами 0,32-0,36 мм составляет от 0,013 до 0,021 мм, среднее значение 0,0174 мм. Наименьшую разнотолщинность на участке полосы длиной 1 м имеют рулоны жести, прокатанные на стане «2000». Разнотолщинность жести толщиной 0,30 мм уменьшается на 63 %. Среднее значение разнотолщинности уменьшается с 0,0174 мм до 0,0064 мм.

Увеличение клиновидности профиля поперечного сечения подката приводит к ухудшению плоскостности жести. Наибольшее отклонение от плоскостности имеет жесь, произведенная по обычной технологии из подката двойной ширины. Отклонение от плоскостности от 1,5 до 4,5 мм, среднее значение 3,0 мм. Наилучшую плоскостность имеет жесь, прокатанная и продрессированная в ЛПЦ-11. Отклонение от плоскостности от 0,5 до 1,5 мм, среднее значение 0,7 мм.

Металл непрерывного отжига имеет меньший разброс значений механических свойств по рулону в сравнении с металлом колпакового отжига. Наиболее стабильные свойства по рулону получены при непрерывном отжиге в ЛПЦ-11.

Проделанная работа подтверждает безоговорочное преимущество современного оборудования и необходимость строительства нового комплекса по производству белой жести, так как на отечественном рынке белой жести складывается следующая картина: повышаются требования потребителей белой жести к геометрическим характеристикам и механическим свойствам, существует тенденция к утонению белой жести, остается не освоенной ниша производства жести двойной прокатки.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ФЛАНЦЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Салихьянов Д.Р.<sup>1,2</sup>, Ивлева Т.С.<sup>3</sup>, Хаматов Д.Д.<sup>1</sup>,  
Мыльников С.В.<sup>1</sup>, Грехов С.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт машиноведения Уральского отделения РАН»,  
г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ», г. Белгород, Россия  
salenhall@gmail.com

Современные программы компьютерного моделирования процессов кузнечно-штамповочного производства методом конечных элементов, такие как Q-Form, являются эффективным средством решения производственных задач [1]. Значительную долю кузнечно-штамповочного производства занимают штампованные фланцы (рис. 1) из стали 20 для нужд нефтедобывающей промышленности. Технологическая схема изготовления фланцев включает в себя: 1) нагрев до температуры 1180–1200 °С заготовки, в качестве которой используется прокат (ГОСТ 1050). Штампы подогреваются до температуры 150–250 °С; 2) осадка заготовки; 3) штамповка в окончательном штампе; 4) обрезка облоя.

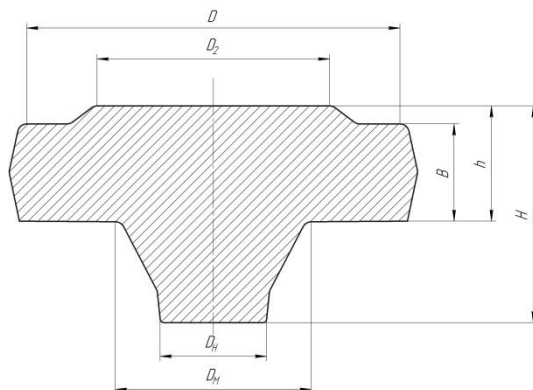


Рис. 1. Схема штампованной поковки «фланец»

Для трубопроводов разного назначения, в том числе для атомной промышленности было предложено изготавливать фланцы из стали 08X18N10T. Для предварительного анализа технологии, процесс штам-

повки фланцев из указанной стали был промоделирован с помощью программы Q-Forg. Исследовалась штамповка фланцев трех типоразмеров. В качестве исследуемых характеристик было изучено деформированное состояние (рис. 2.), напряженное состояние, кинематика течения, температурное поле.

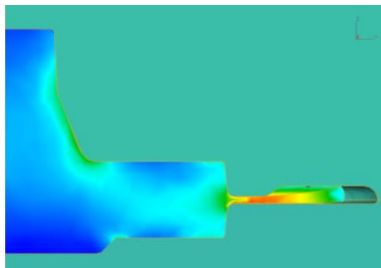


Рис. 2. Степень деформации сдвига при штамповке фланца

При анализе процесса не было выявлено образования дефектов, температурное поле к концу процесса штамповки было не ниже минимальной температуры окончания штамповки (900 °С для стали 08X18H10T). С целью проверки теоретического решения была успешно проведена экспериментальная штамповка поковки «фланец» из стали 08X18H10T (рис. 3).



Рис. 3. Штампованная поковка «Фланец» из стали 08X18H10T

### Литература

1. Воронцов С.А., Харисов И.Ж., Гладков Ю.А. Применение программы моделирования QForg на кузнечном заводе ПАО КАМАЗ // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2016. № 12.- с. 40 - 44.
2. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: справочник в 4-х т. Т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова. – 1986. – 592 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТОЛСТОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

*Новоселов А.Э., Песин А.М., Дрезун Э.М., Пустовойтов Д.О.  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия  
[novoselovartem@mail.ru](mailto:novoselovartem@mail.ru)*

Одной из важных проблем на судостроительных предприятиях является проблема тепловых трещин образующихся при приваривании различных конструкций к толстому листу. Если такая трещина затронет основной металл, то весь лист будет отбракован. Кроме этого постоянно повышаются требования к прочности и жесткости листов из судостроительной стали. В связи с этим работа, направленная, с одной стороны, на повышение жесткости толстого листа, а, с другой стороны, на предотвращение образования тепловых трещин на основном металле, является несомненно

Далее в качестве примера приведем результаты моделирования для стали AISI 1045, начальной и конечной толщинам листа 35 мм и 30 мм, ширине листа 2000 мм, диаметр рабочих валков 1200 мм, один из которых имел два одинаковых калибра в виде трапеций. Размеры нижнего основания варьировались от 120 мм до 140 мм. Угол наклона боковых граней калибров изменяли от 30 градусов до 65 градусов.

После моделирования полученного проката с ребрами жесткости исключается стадия наваривания дополнительных конструкций к основному металлу и получения тепловых трещин на стыке сварки за счет продольной прокатки с калиброванным валком.

Следующий случай моделирования при постоянном угле трапеции в 45 градусов и варьированием нижнего основания трапеции от 110...140 мм. Отношение усилия прокатки к моменту инерции показано на графике 2, как на нем показано при увеличении длины основания формы калибра следует рост усилия прокатки, за счёт увеличения площади контактной поверхности в локальном очаге деформации. При параметре в 140 мм модель будет обладать большим моментом изгиба за счёт большой площади трапеции по сравнению с другими параметрами. В связи с этим, локальное изменение толщины остается постоянным и равно 0,5 мм и увеличение усилия прокатки идет за счёт ширины площадки. В локальном очаге деформации с увеличением ширины калибра возрастают тормозящие силы трения, препятствующие течению металла, поэтому на преобладание усилия деформации увеличивается усилие прокатки. В итоге рассматривая фактор разницы длины нижнего основания трапеции получаем следующий вывод о том, что изгибающий момент инерции будет больше по сравнению с простым прокатом.

Во время моделирования рассмотрен параметр интенсивность деформации. Минимальное значение 0,0206 в начале полосы и конце полосы на поверхности ребер жесткости всё из-за воздействия металла на валки при начальном захвате, а также максимальное значение 0,516 на кромке полосы при захвате. Затем в процессе прокатки стабилизируется интенсивность по всему сечению металла. Из рисунка видно, что в локальном месте у ребра жесткости интенсивность однородна, что следует полной обработке металла по сечению в калиброванной площади. В следствии этого, прочностные свойства металла после прокатки в калибре повышаются и имеют однородность по всему сечению ребра жесткости, кроме начала и конца полосы. Именно этим способом исключается разнородность металла по сечению.

Из этого следуют выводы:

- прокатка с продольными ребрами жесткости позволяет снизить энергосиловые параметры на 59,7%, что благосклонно влияет на длительность работы инструмента и снижению рисков возникновения аварий в процессе прокатки;
- за счёт получения ребер жесткости увеличивается продольный момент инерции по сравнению с обычным прямолинейным листом;
- исключается стадия наваривания дополнительных металлических конструкций к основному листу за счет продольной прокатки с ребрами жесткости;
- сохраняется однородность структуры по всему объему готовой продукции;
- исключено появления дефектов таких, как тепловых трещин к основному металлу и неплотной сварки дополнительной конструкции к поверхности металла.

### **Литература**

1. Watanabe, I., Setoyama, D., Nagasako, N., Iwata, N., Nakanishi, K., 2012, Multiscale prediction of mechanical behavior of ferrite–pearlite steel with numerical material testing, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 89, 829–845.
2. Brands, S., Schroder, J., Balzani, D., Statistically similar reconstruction of dual-phase steel microstructures for engineering applications // Proc. CMM-2011 Computer Methods in Mechanics, Warsaw (CD ROM).
3. Brands, S., Schroder, J., Balzani, D. On the incorporation of microstructural information in dual phase steel simulations, Proc. 10th ICTP, eds, Hirt, G., Tekkaya, A.E., Aachen. – 2011. – 823–826.

## ИННОВАЦИОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОЙ ВАГОННОЙ ОСИ

*Крискович С.М., Романенко В.П.*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
kriskovich.sm@misis.ru*

В работе представлена разрабатываемая технология изготовления полых вагонных осей методами винтовой прошивки и радиальнойковки. Совмещение данных методов обработки металлов давлением позволило получить полые вагонные оси высокой точности, соответствующие требованиям, предъявляемым к сплошным осям.

В основе изготовления полых вагонных осей лежит задача облегчения неподрессоренной массы вагона благодаря удалению «балластного» центрального слоя оси, который практически не воспринимает нагрузок в процессе эксплуатации [1]. Кроме уменьшения массы вагонной оси достигается увеличение механических характеристик за счёт лучшего упрочнения полых изделий методами поверхностного упрочнения (в случае вагонных осей – накатки роликами) [2]. Также при винтовой прошивки макроструктура из продольной преобразуется в спиралевидную, более предпочтительную при циклическом характере работы полых вагонной оси [3].

Разрабатываемая технология была опробована на оборудовании АО «ВМЗ» - прошивной стан ТПА 73-270, и ПАО «Мотовилихинские заводы» - радиально-ковочная машина SXP-55. Была изготовлена опытная партия полых вагонных осей на основе сплошной оси РУ1Ш. По итогам проведённых механических испытаний подтверждено, что произведенные оси соответствуют необходимым требованиям, а по некоторым параметрам существенно их превышают [4].



Рис. 1. Внешний вид чистовых полых вагонных осей

## Литература

1. Степин П.А. Сопротивление материалов. М.: Лань, 2012, 220 с.
2. Школьник Л.М., Коваленко Ю.Е. и др. Полые оси и валы М.: Машиностроение, 1968
3. Романенко В.П., Степанов П.П., Гончарук А.В. Перспективная технология производства полых вагонных осей из полых заготовки // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2016. № 2. С. 27-34.
4. Романенко В.П., Степанов П.П., Крикович С.М. Производство полых вагонных осей методом винтовой прошивки и радиальной ковки // Металлург, 2017, №10, с. 44-48

УДК 621.774

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕДУЦИРОВАНИЯ ТРУБ В ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНАХ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

*Будников А.С., Сабуркин В.Д.*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
Fiar128@yandex.ru*

Исследование процесса редуцирования труб в трехвалковом стане винтовой прокатки позволит получить наиболее рациональные режимы, позволяющие осуществлять процесс прокатки в калибровочном стане на ТПА–160 [1]. Первоуральского новотрубного завода как по существующей технологии, так и по разработанной. Для осуществления исследования влияние углов подачи и наклона угла конусности входного участка валка [2] проведен численный эксперимент в разработанной конечно-элементной модели.

Проведены комплексные исследования процесса редуцирования труб с  $D/S$  равным 5, 7 и 10 на трехвалковом стане винтовой прокатки МИСиС 130Т с обжатием по диаметру 5 и 25 % [3]. Определены рациональные параметры задачи граничных условий для процесса калибровки труб диаметром 104 – 98 мм с обжатием по диаметру 1 – 2 % и скорости вращения валков 124 оборота в минуту. Осуществлена проверка адекватности модели по геометрическим параметрам труб. Максимальное расхождение между экспериментальными значениями и значениями модели по геометрическим параметрам не превышает 10% [4].

Для исследования совместного влияния угла наклона образующей входного участка валка, степени редуцирования и отношения диаметра к толщине стенки  $D/S$  исходной полых заготовки при редуцировании, раз-



работан факторный эксперимент основной задачей которого являются: исследование влияния угла подачи и калибровки валков на величину изменения толщины стенки и точность геометрических размеров прокатываемых труб.

На основании полученных, в ходе исследований, данных разработаны маршруты и технологические режимы прокатки труб муфтового сортамента размерами; 88,9x12,2 и 93,2x12,5 мм, а также особо толсто-стенного сортамента (с  $D/S \leq 5.0$ ) общего назначения размером 83,0x17,0-23,0; 89,0x18,0-28,0 и 95,0x19,0-28,0 мм на ТПА-160. Спроектированы калибровки валков 3-х валкового раскатного и калибровочного стана ТПА-160 для процесса редуцирования, с возможностью осуществлять раскатку и калибровку труб по существующей технологии.

### Литература

1. Романцев Б.А. Трубное производство: учеб. / Б.А. Романцев и др. – 2-е изд., исп. И доп. – М.: изд.дом «МИСиС» 2011. – 970 с.
2. Харитонов Е.А., Буров И.А., Романенко В.П., Вольшонок И.З. Совершенствование методики расчета геометрии очага деформации и калибровок валков станов радиально-сдвиговой прокатки при больших углах подачи // Известия Вузов «Черная металлургия» №3. 2010. С. 29–31
3. Харитонов Е.А., Романенко В.П., Будников А.С. Разработка методики расчета деформационных параметров при раскатке гильз в трехвалковом стане винтовой прокатки // Известия ВУЗов черная металлургия, 2016, №3. С 167 – 172.
4. Ершов С.В., Штода М.Н. Точность моделирования процессов обработки металлов давлением методом конечных элементов. // Изв. Вузов Черная металлургия, 2016, №4. С. 284–286.

УДК 621

### НАГРУЖЕНИЕ ЯЧЕЙСТОЙ СТРУКТУРЫ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ НЕРАВНООСНОМ ВЫПОЛНЕНИИ ЯЧЕЕК

*Грехов С.К., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
g.svyat@yandex.ru*

Применение аддитивных технологий позволяет создавать ячейстые структуры из различных материалов с заданной конфигурацией ячеек. В результате возникают дополнительные возможности по управлению механическими свойствами материала в целом, например, это касается таких характеристик, как модуль упругости, коэффициент Пуассона [1] и

др. Материалы такого типа, изготовленные из титановых сплавов, востребованы в медицинской технике в качестве имплантатов. При изготовлении структур, обладающих полной симметрией пор, например, в виде равномерно расположенных сфер, достигается изотропность изделия [2]. При этом возникает вопрос, как будут изменяться свойства изотропности при выполнении ячеек неравноосного вида. Одним из основных испытаний ячеистых материалов является измерение механических характеристик в условиях одноосного сжатия [3].

Испытание ячеистых сред на сжатие производится в соответствии со стандартом ISO 13314:2011. Для симуляции этого вида испытаний применили программный комплекс ABAQUS, реализующий метод конечных элементов. Применен вариант решения, использующий 582 конечных элемента. Деформируемый материал обладает свойствами титанового сплава Ti-6Al-4V, часто используемого в медицине наравне с чистым титаном. Рассматривается плоское деформированное состояние.

На рисунке показано распределение эквивалентных напряжений при нагружении в соответствии со стандартом ISO 13314:2011. Распределение эквивалентных напряжений показывает области концентрации удельных нагрузок. При использовании теорий прочности становится возможным определить опасные сечения. Как видно из рисунка, наибольший уровень напряжений возникает в местах локальных утонений поперечного сечения, примыкающих к каждой ячейке. В местах утолщений, наоборот, опасные зоны находятся в центре сечения.

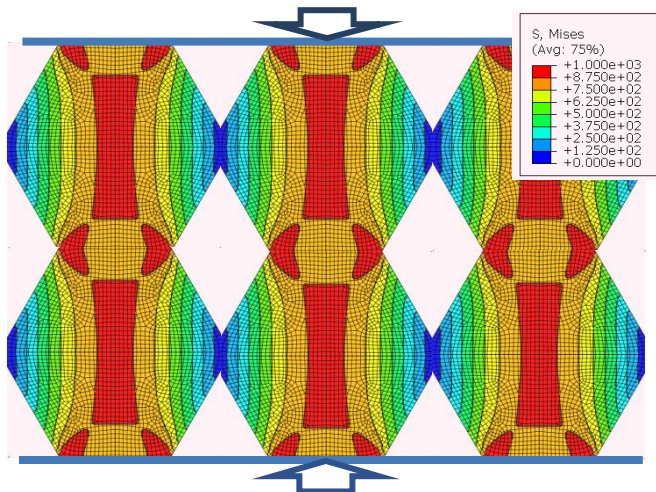


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в сечении титанового фрагмента при вертикальной нагрузке

В процессе выполнения расчетов выявлено, что при изготовлении высокопористых структур аддитивными методами необходимо учитывать конфигурацию ячеек. Равноосная конфигурация ячеек при их равномерном распределении обеспечит изотропные свойства. При неравноосной конфигурации ячеек свойства окажутся анизотропными. В частности, модуль упругости будет зависеть от степени вытянутости пор и ориентировки их осей симметрии в пространстве.

### Литература

1. Loginov, Yu.N., Golodnov, A.I., Stepanov, S.I., Kovalev, E.Yu. Determining the Young's modulus of a cellular titanium implant by FEM simulation. 2017 AIP Conference Proceedings 1915,030010
2. Loginov Y., Stepanov S., Khanykova C. Inhomogeneity of deformed state during compression testing of titanium implant. MATEC Web of Conferences: 13th International Scientific-Technical Conference Dynamic of Technical Systems, DTS 2017" 2017. P. 03009. DOI: 10.1051/mateconf/201713203009
3. Логинов Ю.Н., Попов А.А., Степанов С.И., Ковалев Е.Ю. Испытание на осадку пористого имплантата, полученного аддитивным методом из титанового сплава. Титан. 2017. № 2 (56). С.16-20.

УДК 621.771.23

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ТИПА MAGSTRONG W700

*Кузнецова А.С., Полецков П.П., Гуцина М.С., Никитенко О.А.,  
Мальков М.В., Емалеева Д.Г.  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
allakuznetsova.mgtu@mail.ru*

Одной из главных проблем развития современного машиностроения является улучшение технико-экономических показателей машин, механизмов на основе снижения их удельной металлоемкости, увеличении эксплуатационной надежности и долговечности [1]. В решении этой проблемы важная роль принадлежит высокопрочным конструкционным сталям типа MAGSTRONG W700 [2].

При производстве сталей типа MAGSTRONG W700 существенное влияние на себестоимость проката оказывают процентное содержание и стоимость легирующих добавок. С целью решения вопроса поиска экономически эффективных систем легирования, обеспечивающих заданный уровень механических свойств при наименьших затратах, разработана современная концепция создания химических композиций экономноле-

гированных сталей, заключающаяся в микролегировании сталей в сочетании с вариацией режимов термической обработки (закалка + отпуск).

В рамках данной концепции разработан экспериментальный химический состав новой экономнолегированной конструкционной стали типа MAGSTRONG W700, требующий дальнейшего поиска оптимальных режимов термической обработки, совокупно обеспечивающие достижение высоких прочностных и вязко-пластических свойств.

В связи с вышесказанным целью работы является исследование влияния температуры отпуска на механические свойства образцов горячекатаного листового проката из новой экономнолегированной конструкционной стали типа MAGSTRONG W700.

С применением оборудования лабораторного комплекса ООО «ИЦ Термодеформ-МГТУ» была произведена выплавка новой стали. Далее полученные слитки высотой 70 мм предварительно нагревали до 1200°C, температура окончания обжатия составляла от 930°C до 980°C. Слитки прокатывались до толщины 10 мм. Полученный раскат охлаждали на воздухе. Термическая обработка образцов проката заключалась в закалке до 930 °C и последующем отпуске.

В рамках эксперимента 10 образцов стали подвергали отпуску при различных температурах (табл.). Далее осуществлялось исследование влияния температуры отпуска на микроструктуру, твердость и ударную вязкость стали

Результаты твердости и ударной вязкости в зависимости от температуры отпуска стали

№ п/п	Температура отпуска, °C	KCV <sup>-60</sup> , Дж/см <sup>2</sup>			KCV <sup>-60</sup> , Дж/см <sup>2</sup> среднее	HBW
1	200	30	39	44	38	447
2	250	25	25	-	25	436
3	300	18	24	-	21	418
4	350	11	24	-	17,5	410
5	400	15	19	-	17	394
6	450	48	50	-	49	343
7	500	79	98	-	88,5	307
8	550	75	78	83	79	277
9	600	86	83	101	90	258
10	650	96	123	120	113	219

Результаты исследования показали, что повышение температуры отпуска от 200 до 650 °C снижает твердость. В температурном интервале от 250 до 400 °C отпуск ведет к снижению значений ударной вязкости KCV<sup>-60</sup>, что свидетельствует о развитии необратимой отпускной хрупкости.

По результатам исследования заключили, что для достижения максимальных значений ударной вязкости KCV<sup>60</sup> для данного типа стали оптимальная температура отпуска составляет 650 °С. Микроструктура стали при данной температуре идентифицирована как сорбит отпуска. В стали наблюдается большое количество карбидных частиц, форма которых приближается к сферической. Размер бывших мартенситных игл составляет 25-30 мкм.

На основании экспериментальных исследований выявлены закономерности изменения микроструктуры твердости и ударной вязкости в зависимости от температуры отпуска. Для экспериментальной экономнолегированной конструкционной стали типа MAGSTRONG W700 наиболее удовлетворительные результаты, обеспечивающие достижение высоких прочностных и вязко-пластических свойств, получены в сочетании с температурой закалки 930 °С и температурой отпуска 650 °С.

*Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России (договор 03.G25.31.0235).*

### **Литература**

1 Минэкономразвития России. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz> – 21.05.2018.

2 Каталог MAGSTRONG Высокопрочные и износостойкие свариваемые стали [http://www.mmk.ru/catalogs/metal\\_products/magstrong/#](http://www.mmk.ru/catalogs/metal_products/magstrong/#) – 21.05.2018.

УДК 669.36, 669-135

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭКСТРУЗИИ CONFORM ПРИМЕНЕНИЕМ ОБРЕЗКИ ОБЛОЯ ПО ВСЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ**

***Шимов Г.В., Завалин А.А.***

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
geosh@bk.ru*

В мировой практике трубы для атомной энергетики (трубы ТВЭЛов, теплообменные трубы парогенераторов, трубы для сепараторов подогревателей, генераторов) изготавливаются из коррозионностойких сталей, таких как AISI 321, AISI 304 и др. Основной причиной выхода из строя труб из марок стали этого класса является протекание коррозионных процессов под действием остаточных напряжений. Это приводит к

проявлению межкристаллитной коррозии (МКК) и коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) труб арматуры АЭС. Остаточные напряжения в трубах непосредственно влияют на стойкость труб против таких видов коррозии в агрессивной среде.

Обзор известных и применяемых способов измерения остаточных напряжений показал, что большинство методов нацелены на измерение микронапряжений, то есть напряжений 1 рода. Практически всеми «новыми» методами неразрушающего контроля остаточных напряжений в металлопродукции, такими как рентгеновские, ультразвуковые, оптические, магнитные и др., измеряют остаточные напряжения между атомами кристаллической решетки металла. Вместе с тем остаточные напряжения 2 рода, то есть межзеренные и субзеренные напряжения, и 3 рода, то есть макронапряжений, уравновешенные «в объеме всего тела» практически не могут быть зафиксированы способами неразрушающего контроля. Следует отметить, что именно напряжения 2 и 3 рода влияют на качество и точность производства труб на финишных операциях.

Для фиксации остаточных напряжений в трубах применяется метод «разрезки колец». Суть метода заключается в отрезке от трубы тонкого кольца, разрезке его по образующей и последующей фиксации упругого сжатия или раскрытия кольца в месте реза. Этим способом определяют тангенциальные остаточные напряжения в трубе. Недостатки этого способа очевидны и давно известны. Дело в том, что в момент отрезки кольца поле остаточных напряжений неизбежно меняется, (в том числе и тангенциальных) и в реальности измеряются остаточные напряжения в отдельно взятом кольце, которые могут не иметь ничего общего с напряжениями в исходной трубе.

В работе [1] описана расчетная методика определения остаточных напряжений, основанная на «энергетическом подходе» [2], которая также как и метод «разрезки колец» основана на методе «расчленения», но предполагает применение метода стравливания поверхностного слоя с трубы. После снятия поверхностного слоя и фиксации упругой релаксации по длине рассчитываются остаточные напряжения по всему сечению стенки трубы.

Для практической реализации и апробации предложенной методики необходимо разработать конструкцию установки для стравливания тонкого поверхностного слоя с трубы. Установка, предназначенная для проведения экспериментов по измерению продольных остаточных напряжений, должна обеспечивать высокую равномерность стравливания поверхностного слоя, иметь удобную процедуру заливки и слива электролита, а также она должна обеспечивать быструю и удобную установку и снятие образца. Кроме того установка должна обеспечивать безопасность работы для оператора и окружающих, поэтому конструкция должна быть устойчивой с целью не допустить опрокидывания ванны с электролитом. Еще одной

проблемой реализации способа является то, что в процессе травления продукты реакции не равномерно отводятся от поверхности. В верхней части образующиеся пузырьки беспрепятственно всплывают в электролите, а в нижней части образца образуется слой «прилипания» пузырьков, который нарушает нормальную кинетику процесса.

Для решения данной проблемы было применено непрерывное вращение образца в процессе травления в ванне с электролитом. Сложность конструктивных решений подвода крутящего момента к образцу обуславливается агрессивностью среды травления, а также необходимостью непрерывного подведения тока к образцу. Единственным возможным вариантом конструкции установки является подвод крутящего момента к образцу через гибкий привод вращения, при этом подведение тока через подшипник качения, установленный непосредственно на образце. На рис. 1 показан внешний вид проектируемой установки травления.

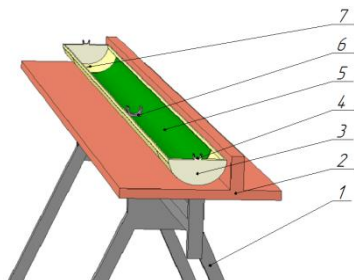


Рис. 1. Установка для стравливания поверхностного слоя и определения продольных остаточных напряжений на поверхности образца:

- 1 – станина; 2 – стол; 3 – травильная ванна;
- 4 – держатель гибкого привода; 5 – стальной лист (катод);
- 6 – фиксатор подшипника; 7 – сливное отверстие

На разрабатываемой установке применяются образцы труб длиной от 1 м до 2,5 м. В качестве электролита предполагается использовать раствор кислот, содержащий  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 86%,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 12% (в граммах) и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 2%. Ток на пару подшипник – стальной лист будет подаваться через выпрямитель электрического тока. Образцы труб предварительно измеряются, на них одевается подшипник, производится изоляция торцов с помощью полипропиленовых пробок.

Внешний вид сконструированной установки показан на рис. 2. Работа установки начинается с заполнения электролитом ванны, включения привода вращения. При этом необходимо убедиться, что образец вращается ровно по отношению к оси установки, нет сильных биений, нет утечек или брызг электролита. Если все элементы конструкции работают

корректно, то на подшипник и ванну устанавливаются зажимы с проводами, ведущими к источнику тока, засекается время травления и подается напряжение. Перед включением источника тока на нем выставляются требуемые значения напряжения и силы тока.

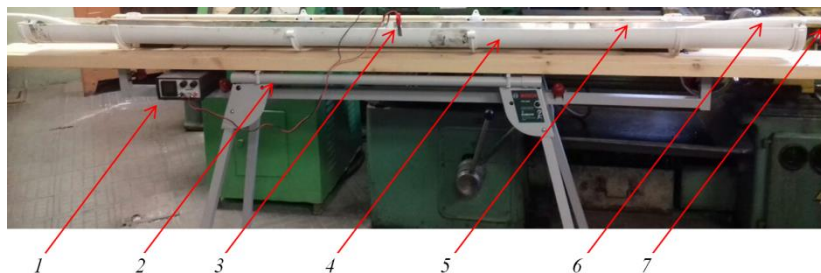


Рис. 2. Внешний вид установки травления:  
1 – источник тока; 2 – станина; 3 – контакты;  
4 – ванна; 5 – стальная лента; 6 – гибкий привод;  
7 – вал, ведущий к двигателю вращения

После окончания расчетного времени травления выключается источник тока, от подшипника и ванны отсоединяются контакты с проводами, от гибкого привода вращения отсоединяется двигатель и образец вместе с гибким приводом извлекается из установки. Затем необходимо обмыть весь образец от остатков электролита (может применяться водяное душирование) и просушить. После просушки от образца отсоединяются гибкие приводы, снимаются торцевые заглушки, подшипник и слой изолятора с торцов образца. Измерение длины образца после эксперимента осуществляется на измерительном стенде.

Таким образом, в работе описана конструкция установки травления и методика проведения эксперимента по снятию тонкого поверхностного слоя металла и фиксации упругой разгрузки трубы по длине. Величина упругой разгрузки необходима для расчета остаточных напряжений в тонком поверхностном слое, а также распределения остаточных напряжений в стенке трубы [1].

### Литература

1. Shimov, G. V., Rapid Method for Determining the Distribution of Residual Stresses in Pipes. *Materials Performance and Characterization*. Vol. 4, No. 7, 2018. <https://doi.org/10.1520/MPC20170050>

2. Патент РФ №2366912. Способ определения остаточных напряжений /Колмогоров Г.Л., Кузнецова Е.В. Пермский государственный техн. университет. Оpubл. 10.09.2009, БИ №25.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЛИБРОВКИ ИНСТРУМЕНТА НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБ

*Павлов Д.А., **Богатов А.А.**, Павлова Е.А., Владимиров А.В.  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
d.a.pavlov@urfu.ru*

Важной научно-технической проблемой является уменьшение разностенности и снижение объема брака труб. Описанная проблема актуальна для ПАО «Синарский трубный завод». На трубопрокатном агрегате ТПА-140 ПАО «СинТЗ» с автоматическим раскатным станом «тандем», который состоит из двух последовательно расположенных станов продольной прокатки (СПП-1 и СПП-2), раскатка осуществляется при сравнительно невысоких коэффициентах вытяжки. На СПП-1 коэффициент вытяжки равен  $\lambda=1,16 \div 1,5$ , а на СПП-2 –  $\lambda=1,07 \div 1,15$ . В процессе прокатки в СПП-1 происходит увеличение толщины стенки в выпусках калибра и образуются лампасы [1,2], что приводит к разностенности труб. Затем при прокатке в СПП-2 в области вершин калибров в результате встречного течения металла происходит образование зажимов. В результате формирования зажимов происходит образование дефекта «риска» на внутренней поверхности труб (рис. 1). Известно, что формоизменение металла в процессах обработки металлов давлением во многом зависит от калибровки инструмента. В этой связи актуальной задачей является исследование закономерностей течения металла при пластической обработке и разработка на их основе новых калибровок инструмента, которые обеспечивают снижение уровня брака, увеличение коэффициента вытяжки и повышение точности труб. В работе представлены результаты исследования влияния угла конусности оправки СПП-1 на формоизменение металла труб.



Рис. 1. Риска на внутренней поверхности труб

Исследование выполнено с помощью компьютерного моделирования в программе Deform. Трехмерная модель раскатного стана представ-

лена на рис. 2. Во всех вычислительных экспериментах диаметр и толщина стенки гильзы были соответственно равны  $D_r=159$  мм и  $S_r=10$  мм; диаметр и толщина стенки черновой трубы составляли –  $D_ч=149$  мм и  $S_ч=7$  мм. Угол конусности оправки принимали равным 6,8,10,12 и 14°. Для исследования формоизменения металла труб в вершинах и выпусках калибра был введен безразмерный параметр  $S_{вып}/S_{верш}$  ( $S_{вып}$  и  $S_{верш}$  - толщина стенки черновой трубы соответственно в выпуске и вершине калибра), который характеризует толщину стенки в выпуске и вершине калибра. В ходе исследований было установлено, что при  $S_{вып}/S_{верш}>1,8$  [3] происходит образование дефекта «риска» на внутренней поверхности труб.

Установлено, что с увеличением угла конусности от 6 до 14 градусов происходит увеличение безразмерного параметра от 1,32 до 1,49 (рис. 3).



Рис. 2. Трехмерная модель раскатного стана представлена



Рис. 3. Зависимость параметра  $S_{вып}/S_{верш}$  от угла конусности оправки

Увеличение безразмерного параметра  $S_{вып}/S_{верш}$  приводит к тому, что размер лампаса на поверхности труб увеличивается, возрастает разностенность труб, а также повышается вероятность образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб. Таким образом, для повышения точности труб при прокатке на автомат-стане необходимо вести прокатку на оправке с низкими углами конусности.

## Литература

1. Богатов А.А., Павлов Д.А., Павлова Е.А. Интенсификация процесса раскатки труб на короткой оправке на основе результатов компьютерного моделирования // *Металлург.* №10. 2016 г. С. 18-22.
2. Богатов А.А., Павлов Д.А., Павлова Е.А. МКЭ - моделирование нового способа прокатки труб на короткой оправке с натяжением // *Известия высших учебных заведений. Том 59 №1.* 2016 г. С. 39-41.
3. Богатов А. А., Павлов Д. А., Липнягов С. В., Суворов В. Н. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке//*Производство проката №8.* 2012. С. 37-39.

УДК 621.774

### **ВЛИЯНИЕ НАТЯЖЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДНЕЙ ВНЕШНЕЙ ЗОНЫ ПРИ ГОРЯЧЕЙ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ МЕДИ**

*Постыляков А.Ю., Логинов Ю.Н., Инатович Ю.В.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
a.i.postyliakov@urfu.ru*

В настоящее время акцент в технологиях изготовления медной катанки окончательно сместился в область совмещенных процессов литья-прокатки, доля CONTIROD® среди которых составляет около 30 % [1], что делает его весьма актуальным для изучения. Непрерывно-литая заготовка прямоугольного поперечного сечения размерами 120 × 70 мм подвергается прокатке на 14-ти клетьевом сортовом стане, в котором чередуются горизонтальные и вертикальные клетки. Технологический процесс завершают операции осветления, нанесения защитного покрытия и смотки катанки в бухты.

Ранее в работах [2, 3] методом конечно-элементного моделирования в программном комплексе DEFORM было подробно изучено напряженно-деформированное состояние в очаге деформации первой клетки стана при прокатке по регламентированному режиму, а также – при прокатке с задним натяжением [3], создаваемым уменьшением скорости поступательного движения полосы, относительно базового значения на 5, 10, 15 и 20 %. В тоже время, интерес для изучения представляет напряженно-деформированное состояние задней внешней зоны полосы перед входом в первую клетку стана при высоком натяжении, являющееся предметом настоящего исследования.

На графике (рис.1) приведено распределение продольных растягивающих напряжений  $\sigma_{xx}$  вдоль горизонтальной и вертикальной полуосей

заготовки для уровня натяжения в 20 %. Отсчет расстояния ведется от точки пересечения осей.

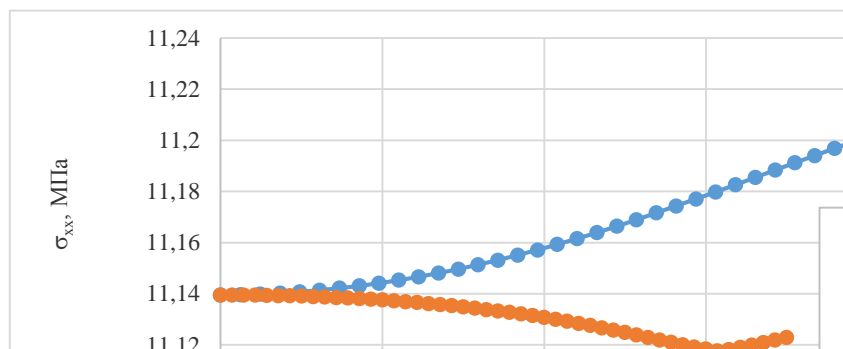


Рис. 1. Распределение продольных напряжений  $\sigma_{xx}$  вдоль горизонтальной и вертикальной полуосей заготовки для уровня натяжения в 20 %

Видно, что разница между наибольшим и наименьшим значением растягивающих напряжений  $\sigma_{xx}$  вдоль полуосей составляет 0,02 – 0,1 МПа, а максимальный перепад в сечении не превышает 0,12 МПа. Это позволяет говорить о достаточно равномерном характере их распределения в поперечном сечении заготовки. Незначительные наблюдаемые градиенты при этом можно объяснить неравномерностью пластического течения между областями заготовки, получающими принудительную вытяжку за счет областей, находящихся в непосредственном контакте с вальками. Среднее значение растягивающих напряжений равно 11,15 МПа, что сопоставимо с сопротивлением деформации меди М001 при малых степенях ( $\varepsilon \sim 0,005$ ) и скоростях ( $\xi \sim 0,007$  с<sup>-1</sup>) деформации [4]. Следовательно, можно сделать вывод об инициировании натяжением процессов пластической деформации в задней внешней зоне, что подтверждается нижеприведёнными картинками распределения  $\varepsilon$  и  $\xi$  (рис.2).

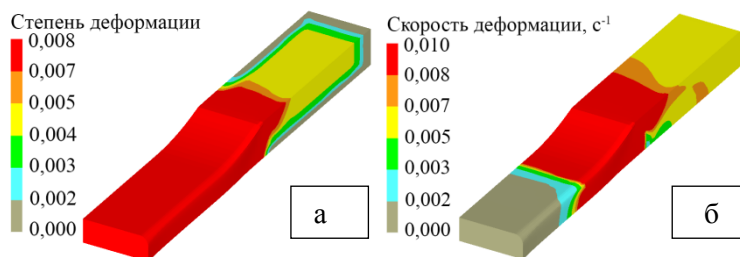


Рис. 2. Распределение:  
а) степени  $\varepsilon$ ; б) скорости  $\xi$  деформации в изометрии

Развитие обозначенных деформаций приводит к поперечной и высотной утяжке полосы на величину 0,1–0,15 и 0,35–0,4 мм соответственно.

Влияние натяжения на напряженно-деформированное состояние внешних зон на меньших сечениях в проходах промежуточной и чистой групп стана может являться предметом дальнейшего изучения.

### Литература

1. Белый Д. И. Современные технологии производства медной кантки для кабельной промышленности // Кабели и провода. – 2011. – № 5. – С. 29 – 33.
2. Логинов Ю. Н. Напряженно-деформированное состояние медной полосы при прокатке в прямоугольном калибре / Ю. Н. Логинов, А.Ю. Постыляков, Ю. В. Инанович // Цветные металлы. – 2015. – № 11. – С. 72 – 75.
3. Логинов Ю. Н. Анализ напряженно-деформированного состояния в черновых проходах непрерывной прокатки электротехнической меди / Ю.Н. Логинов, А. Ю. Постыляков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – № 2. – С. 68 – 73.
4. Логинов Ю. Н. Влияние натяжения между литейным агрегатом и прокатным станом на напряженное состояние металла / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Постыляков // Заготовительные производства в машиностроении (Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства). – 2015. – №3. – С. 26 – 32.
5. Prasad Y. V. R. K. Hot working guide: a compendium of processing maps / Y. V. R. K. Prasad, S. Sasidhara. – Ohio: ASM International, 1997. – 545 p.

УДК 621.778.1.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ

*Гулин А.Е., Полякова М.А.*

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия  
Walter\_chel@mail.ru*

Внимание ученых привлечено к проблеме разработки новых способов обработки проволоки, отличающихся от традиционных обеспечением большей производительности процессов, получения УМЗ изделий, формирования свойств, недостижимых для классических способов волочения. Показано, что, используя комбинирование различных простых видов деформирования (кручение, растяжение, сжатие, изгиб), можно увеличить коэффициент полезного действия процесса волочения, уменьшить материалоемкость оборудования, изменить схему напряженно-деформированного состояния на более благоприятную, при которой металл проявляет большую пластичность.

В отличие от традиционных процессов ОМД, где суммарная деформация ограничена размерами заготовок и готового изделия, суммарная деформация и длина изделия при знакопеременном изгибе практически не ограничены, а производительность процесса может быть достаточно высокой. различные схемы деформации оказывают специфическое влияние на структуру и механические свойства обрабатываемых металлов. В ряде случаев существует стремление к изменению комплекса механических свойств без изменения геометрии обрабатываемой заготовки. Это достижимо путем воздействия на микроструктуру обрабатываемой заготовки, т.к. при этом вдобавок к деформационному механизму упрочнения включается зернограничный механизм.

Исследование напряженно-деформированного состояния углеродистой проволоки при комбинированной пластической деформации [1, 2] показало снижение коэффициента равномерности как для деформированного состояния, так и для напряженного состояния при добавлении кручения к процессу волочения. Уменьшение показателя равномерности с увеличением скорости кручения проволоки свидетельствует об увеличении амплитуды между максимальными и минимальными значениями напряжений и деформаций по всему сечению очага деформации, а также подтверждает появление дополнительных касательных напряжений. Более того, анализ результатов компьютерного моделирования показал, что применение пластической деформации волочением с кручением приводит к уменьшению усилия волочения.

Экспериментальное исследование влияния технологических параметров метода комбинированной деформационной обработки проволоки волочением со знакопеременным изгибом с кручением на механические свойства углеродистой проволоки проводили для низко- и среднеуглеродистой марок стали при различных единичных обжатиях в волоках (рис. 1).

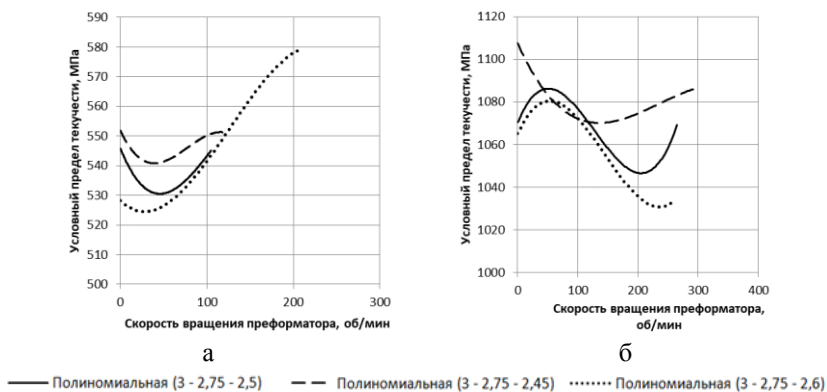


Рис. 1. Зависимость условного предела текучести проволоки от скорости скручивания проволоки: а – Ст3; б – Сталь 50

При скоростях вращения скручивающего блока близких к максимальным происходит повышение значения относительного сужения для всех значений обжатия во второй волоке. Наибольший прирост пластичности с 61,5 % до 70,5 % имеет маршрут с наибольшим обжатием во второй волоке, который составляет 14,6 % относительно волочения через две волокна с таким же распределением обжатий при обработке низкоуглеродистой стали. Одновременно с увеличением относительного сужения, как было описано выше, происходит сохранение временного сопротивления разрыву, что в целом свидетельствует о повышении комплекса механических характеристик.

### Литература

1. Пат. 2467816 RU. МПК В21С 1/04, В21С 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением с кручением. Чукин М. В., Полякова М. А., Голубчик Э. М., Рудаков В. П., Носков С. Е., Гулин А. Е. За-явл. 28.02.2011. Оpubл. 27.11.2012. Бюл. № 33.
2. Chukin M.V., Polyakova M.A., Gulin A.E. Influence of hybrid plastic deformation on the microstructure and mechanical properties of carbon-steel wire. Steel in Translation. 2016. Т. 46. № 8. С. 548-551.

УДК 621.774

## ВЛИЯНИЕ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ТРЕХВАЛКОВОГО ОБЖИМНОГО СТАНА НА ОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА ПО СЕЧЕНИЮ ЗАГОТОВКИ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ СТАДИЯХ ПРОКАТКИ

*Шангин И.Н., Ерпалов М.В.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
hoorsyan@mail.ru*

Под радиально-сдвиговой прокаткой (РСП) понимают процесс деформирования сплошных или полых заготовок на двух- или трехвалковых станах винтовой прокатки при повышенных значениях угла подачи. Процесс РСП обладает рядом преимуществ перед традиционными способами деформации. В отличие от обычных станов винтовой прокатки в станах РСП создаются условия благоприятные для интенсивной деформационной проработки и повышения плотности металла по всему сечению заготовки, что позволяет осуществлять прокатку непрерывно-литых заготовок без разрушения металла. Однако, опыт применения трехвалкового обжимного стана в линии ТПА-80 ПАО «СинТЗ» [1] свидетельствует о формировании концевых утяжин в нестационарных стадиях обжатия,

представляющие собой продольные удлинения поверхностных слоев металла относительно осевой зоны (рис.1, а). При последующей прошивке заготовок утяжины преобразуются в висячие полукольца (рис.1, б), которые после разрушения приводят к появлению дефектов в виде раковин-вдавов (рис.1, в).

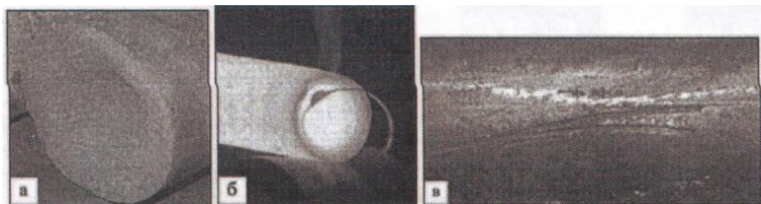


Рис. 1. Дефекты при производстве труб:

- а) утяжина на заготовке; б) кольцевое отслоение на гильзе;
- в) вмятина на наружной поверхности трубы

В работе поставлена задача проанализировать влияние калибровки валков обжимного стана на однородность деформации металла по сечению заготовки в нестационарных стадиях прокатки. Исследования выполнены с применением твердотельного моделирования для построения моделей валков, имеющих калибровку, представленную на рис.2, а также с применением метода конечных элементов, реализованного в программе Deform-3D. Модель рабочего валка, представленная на рис.2, а, соответствует применяемой в заводских условиях калибровке инструмента. Калибровка валков (рис. 2, б) позволяет обеспечить наиболее равномерный режим обжатий по всей длине очага деформации. Калибровка (рис.2, в) предназначена для создания интенсивного режима обжатий по диаметру заготовки и способствует наибольшей глубине проникновения деформации вглубь металла.

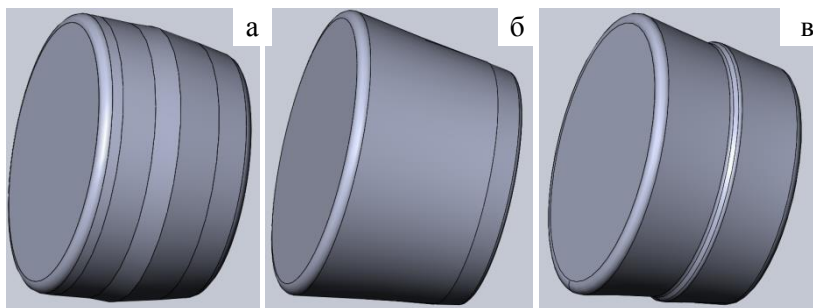


Рис. 2. Модели валка обжимного стана:

- а) в соответствии с заводской калибровкой; б) с конической калибровкой рабочей поверхности; в) с наличием гребня валка в сечении пережима



В качестве заготовки использовался круг диаметром 150 мм из стали марки 45 при температуре металла 1180°С. Задача решалась изотермической. Условия трения сформулированы по закону Зибеля, показатель трения  $\psi$  составил 0,9. Угол подачи был выбран равным 16°, а угол раскатки составил 12°.

В результате решения задач компьютерного моделирования было установлено, что наименьшая глубина утяжины соответствует случаю прокатки заготовок на валках с калибровкой рабочей поверхности, имеющей конус захвата, гребень валка, раскатной участок, параллельный оси прокатки и калибрующий участок на выходной стороне валка. Наличие гребня валка позволяет интенсифицировать проникновение деформации вглубь заготовки, способствуя тем самым уменьшению длины образующихся утяжин на 20% относительно применяемой в настоящее время калибровки инструмента и, следовательно, повышению качества готовой продукции. Условия первичного, вторичного захвата и устойчивости вращения заготовки выполнены. Кроме того, расчет энергосиловых параметров процесса обжатия заготовок с применением новой калибровки валков показал, что сила прокатки за счет меньшей площади контактной поверхности уменьшается на величину до 9%.

### Литература

1. Богатов А.А., Овчинников Д.В., Липнягов С.В. и др. Разработка математической модели и исследование процессов винтовой прокатки и прошивки заготовок // Производство проката. – 2013. – №7. – С. 28-33.

УДК 621.778.019

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ НА МЕЗОУРОВНЕ НА НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

*Столяров Ф.А., Барышников М.П., Бойко А.Б.,  
Носов Л.В., Лопатина Е.В.*  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия  
[stolyarov.f.a@yandex.ru](mailto:stolyarov.f.a@yandex.ru)

Исследование выполнено на примере процесса волочения стальной проволоки с неоднородностью структуры в виде неметаллических включений, как одной из наиболее жестких схем нагружения. С целью исследования влияния расположения неметаллических включений по поперечному сечению на поврежденность заготовки построены три модели:

- с равномерным расположением по сечению заготовки;
- в поверхностной области заготовки;
- в осевой области заготовки.

Моделирование волочения проволоки диаметром 9,98 мм из заготовки диаметром 15,5 мм (сталь марки 80) выполнено по маршруту в 6 переходов: 15,5-14,78-13,48-12,38-11,46-10,68-9,98. Геометрия волочильного инструмента выбрана в соответствии с ГОСТ 9453-75, полуугол рабочего конуса волоки равен  $6^\circ$ . Анализ параметров НДС осуществлялся на основании расчетов методом конечных элементов в программном комплексе SIMULIA ABAQUS<sup>®</sup>.

При моделировании процесса волочения стальной проволоки с равномерно расположенными недеформируемыми неметаллическими включениями происходит повышение максимальных значений интенсивности напряжений в непосредственной близости от неметаллических включений, что объясняется большим модулем упругости включения относительно материала проволоки. При суммарной деформации 58,54 % при протяжке через шестую волоку неметаллические включения препятствуют пластической деформации металла, что приводит к обрыву проволоки (рис.1).

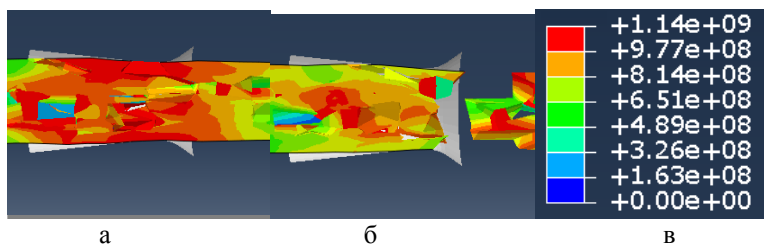


Рис. 1. Разрушение проволоки с равномерным расположением включений по сечению заготовки при волочении в шестой волоке (обжатие 58,54 %):  
 а – образование несплошности в осевой области;  
 б – обрыв проволоки; в – значения интенсивности напряжений, Па

При сосредоточении неметаллических включений в поверхностной области обрабатываемой заготовки происходит повышение значений интенсивности напряжений в данной области, что приводит к отслоению поверхностного слоя проволоки. Повышенное содержание неметаллических включений в осевой области по результатам моделирования, привело к образованию шейки. При этом разрушение инициируется в осевой части проволоки в области неметаллических включений, после чего трещина развивается в направлении к поверхности, что приводит к разрыву проволоки в четвертой волоке при суммарном обжатии 45,34 %. Степень поврежденности материала оценивалась по количественному значению показателя принятого критерия разрушения Ductile Damage.

Также в работе исследовано влияние типа неметаллических включений на НДС и значение показателя разрушения при волочении стальной проволоки. Определение типа и химического состава неметаллических включений в катанке проведено на растровом электронном микроскопе JSM-6490LV JEOL. Склонность к обрывности заготовки вполне для двух моделей катанки включения с равномерно расположенными включениями, составляющими 2 % от площади поперечного сечения:

- включения типа глобулярных оксидов ( $\text{SiO}_2$ );
- включения типа сульфидов ( $\text{MnS}$ ).

Пластичные включения типа сульфидов оказывают сравнительно меньшее влияние на увеличение показателя разрушения заготовки вследствие деформирования совместно с основным материалом. При наличии неметаллических включений типа сульфидов составляющих 2 % от площади поперечного сечения катанки показатель разрушения достигает значения 5,43 (рисунок 2). Неметаллические включения типа глобулярных оксидов не деформируются и являются дополнительными концентраторами напряжений, что способствует повышению показателя разрушения до 8,47 после волочения через шестую волоку.

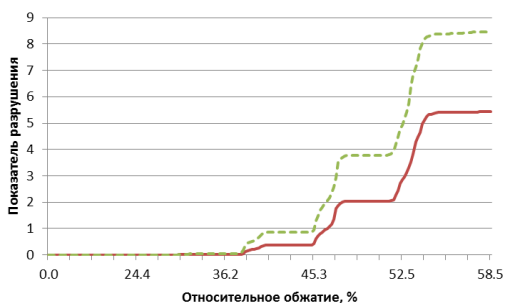


Рис. 2. Зависимость значений показателя разрушения от типа неметаллических включений:

- включения типа глобулярных оксидов;
- включения типа сульфидов

Для обеспечения устойчивости процесса волочения проволоки из стали марки 80 с содержанием 1 % неметаллических включений необходима протяжка через девять волок. В этом случае показатель разрушения снижается на 73,07 % с 3,49 до 0,94 и не превышает единицы (рисунок 8), что свидетельствует об отсутствии значительных структурных повреждений металла.

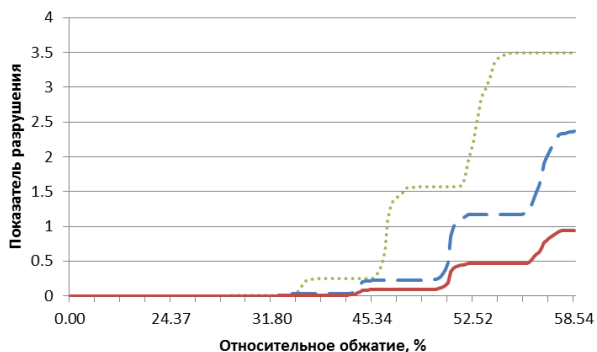


Рис.3. График зависимости значений показателя разрушения от кратности маршрута волочения:

- ..... действующий маршрут; — — скорректированный маршрут (7 волок);
- — скорректированный маршрут (9 волок)

В результате моделирования волочения по разработанному маршруту в девять протяжек, обрыва заготовки не происходит. Это объясняется меньшим показателем разрушения в результате снижения единичных обжатий в каждой волоке.

### Литература

1. Барышников, М.П. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 4. – С. 72-74.
2. Барышников, М.П. К вопросу выбора критериев разрушения при математическом моделировании процессов обработки давлением в современных программных комплексах / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко [и др.] // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: МГТУ. – 2014. – № 1 (40) – С. 48-55.
3. Барышников, М.П. Методы исследования механических характеристик металлов и сплавов в процессах обработки металлов давлением с учетом неоднородности структуры / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4. – С. 26-31.

.....

УДК 621.778

### ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРУЖИННОЙ ПРОВОЛОКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

*Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А.*

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
natalibox92@mail.ru*

На сегодняшний день рост «пружинного» рынка в России вызывает потребность бесперебойного обеспечения промышленных предприятий качественной проволокой как холоднотянутой, так и закаленно-отпущенной. По данным Ассоциации производителей пружин, 50% пружин, приобретаемых АвтоВАЗом, являются импортными [1], что говорит о слабой конкурентоспособности пружинной проволоки и пружин отечественного производства из-за недостаточного уровня качества продукции, длительных сроков изготовления и высокой цены. Пружинная проволока как один из ответственных видов металлических изделий должна обладать высокими прочностными и усталостными характеристиками, равномерными по длине, однородной микроструктурой. Последнее требование особенно значимо для закаленно-отпущенной пружинной проволоки, преимущественно используемой в автомобильной промышленности. Обеспечение требуемых свойств готовой проволоки определяется характеристиками исходной заготовки (катанки), качеством проведения технологических операций при изготовлении проволоки, а также парком термического и волоочильного оборудования.

Технология производства пружинной проволоки заключается в чередовании операций термической обработки (отжига, патентирования, закалки в масле и отпуска) и волочения (через монолитные волокна). Изготовление холоднотянутой проволоки возможно без проведения термической обработки (патентирования) в случае применения сорбитизированной катанки. Технология производства термически обработанной проволоки включает закалку с последующим отпуском проволоки готового размера. Целью ее проведения является обеспечение равномерных механических свойств (в том числе, высокого предела упругости) и однородной микроструктуры. При этом волочение является подготовительной операцией, формирующей мелкодисперсную ячеистую структуру металла. При последующем нагреве стали в печи обеспечивается получение мелкозернистого гомогенного аустенита (а значит и мартенсита).

Характеристики исходной заготовки: марка стали, чистота по неметаллическим включениям, дисперсность микроструктуры, отсутствие несовершенств макроструктуры, а также поверхностных дефектов – несомненно, определяет степень деформируемости металла, получение проволоки с требуемыми потребительскими свойствами [2].

Качественное проведение термической обработки (равномерный прогрев металла, получение требуемой микроструктуры, предотвращение образования обезуглероживания, трудноудаляемой окалины и т.д.) зависит от используемого оборудования и подбора соответствующих режимов обработки. Так, например, хорошо зарекомендовали себя колпаковые печи для отжига фирмы «Ebner» (США), патентировочные агрегаты фирмы «FIB» (Бельгия), «Wire Kogner» (Германия), установки для проведения закалки в масле и последующего отпуска в расплаве свинца фирм «FIB» (Бельгия), «Redyne» (Великобритания).

Особое внимание в технологической цепочке должно уделяться режимам холодной пластической деформации (волочения). Режимы волочения определяются суммарным и единичными обжатиями, геометрией канала волок. Существующие методики проектирования маршрутов волочения не учитывают характера напряженного состояния металла в очаге деформации. В настоящей работе представлены результаты экспериментальной проверки в производственных условиях маршрутов волочения проволоки диаметром 4,00 мм из стали марки 70, спроектированных по новой методике, приведенной в работе [3]. Данная методика основана на оценке вида напряженного состояния металла в очаге деформации в зависимости от рабочего полуугла волоки, единичных обжатий, а также определении энергетических затрат в процессе волочения. Проволока, изготовленная по усовершенствованным маршрутам, обладает более высокими пластическими свойствами (относительным сужением, числом перегибов и скручиваний), равномерной мелкодисперсной структурой по сравнению с проволокой, протянутой по традиционному режиму. Процесс волочения по новым маршрутам характеризуется меньшей энергоемкостью.

Для производства холоднотянутой и закаленно-отпущенной проволоки диаметром 4,00 мм выбраны рациональные маршруты волочения, способствующие формированию требуемых механических свойств и гомогенной микроструктуры готовой продукции при меньших затратах на ее производство. Методика позволяет проектировать режимы как при использовании волочильных станов магазинного типа, так и современных прямоточных машин.

## Литература

1. Белогур, В.П. Без пружины нет машины // Пружины, 2017. – № 2. – С. 1-4.

2. Сметнёва, Н.Ю., Харитонов, В.А. Состояние и перспективы развития производства пружинной проволоки / Н.Ю. Сметнёва, В.А. Харитонов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Б. Моллера. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2018. – Вып. 24. – С. 65-74.

3. Харитонов В.А. Усанов М.Ю. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей // Бюллетень научно-технической и экономической информации Черная металлургия». 2017. – № 8. – С. 92-95.

УДК 669.36, 669-135

### **ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭКСТРУЗИИ МЕДНЫХ ШИН СПОСОБОМ CONFORM**

*Ковин Д.С., Фоминых Р.В., Шимов Г.В.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
regina.fominyh@yandex.ru*

Установки непрерывной экструзии CONFORM с расширяющейся форкамерной матрицей (форкамерой) в настоящее время широко применяются для непрерывного прессования медных шин из непрерывнолитой заготовки UPCUST [1]. Несмотря на высокую производительность и технологичность линии непрерывной экструзии «Conform» готовые шины имеют дефекты по типу «внутренние расслоения», после термообработки на поверхности отпрессованной шины появляются дефекты типа «пузыри». Из производственного опыта установлено, что преимущественно локализация дефектов типа «расслоение» происходит под поверхностью шины. Предположительно «расслоения» являются следствием попадания в очаг деформации окисленной поверхности заготовки. Особенностью большинства сплавов цветных металлов является то, что в них почти не происходит заваривание несплошностей в ходе пластического деформирования, поэтому любая несплошность в литой заготовке, которая не заполнена недеформируемой средой, меняет свою форму в очаге деформации, вытягивается и утончается [2].

Из-за сложного характера течения металла при прессовании с форкамерой теоретически сложно определить, как видоизменяется форма дефекта заготовки в очаге деформации. С целью анализа течения металла в очаге деформации было проведено МКЭ-моделирование прессования медной шины размером 8x62 мм из заготовки диаметром 20 мм в программном комплексе DEFORM-3D. Чертежи и размеры инструмента со-

ответствовали реальным машины CONFORM фирмы Dalian Konform Technical Co. Ltd с диаметром экструзионного колеса 400 мм.

На рис. 1 показаны траектории течения металла в очаге деформации, обведены «мертвые» зоны. На рис. 1, а. красной стрелкой показана траектория движения частицы металла вдоль «мертвой» зоны по линии «среза». Анализ поля скоростей показал, что в мертвую зону попадает лишь незначительное количество металла – те частицы, которые движутся в контакте с верхней гранью форкамеры. Остальные же частицы, которые движутся вдоль верхней грани форкамеры, но не касаются поверхности инструмента, перемещаются вдоль линии среза. На рис. 1, б показаны траектории движения частиц металла, находящихся в контакте с башмаком (четверная красная стрелка). Стрелка утрированно показывает, как частицы металла с контакта, с башмаком при повороте на 90 градусов не в полном объеме переходят в контакт с верхней поверхностью форкамеры. Это связано с полем скоростей течения металла, поскольку в области, обозначенной овалом, скорость частиц близка к нулю и металл вынужден «огибать» эту область. Вследствие этого, большая часть металла с контакта «металл – башмак» затягивается в форкамеру и в дальнейшем переходит в пресс-изделие.

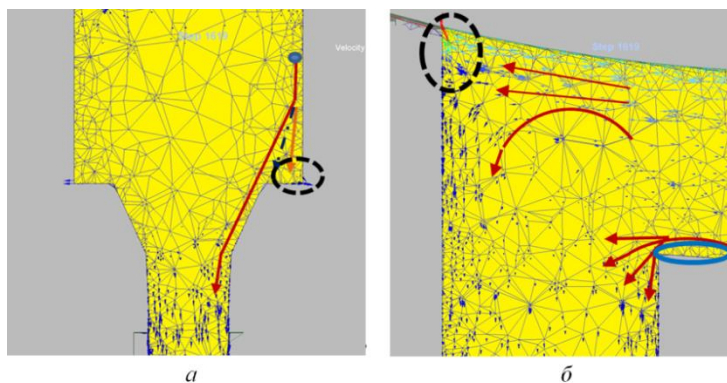


Рис. 1. Траектории течения металла в очаге деформации:

- а – траектория движения частиц металла вдоль мертвой зоны по линии среза к матрице;
- б – траектория движения частиц металла при переходе в форкамеру

В ходе моделирования установлено, что в желобе колеса имеются «мертвые» зоны, в которых могут скапливаться окислы, включения, грязь, и в дальнейшем загрязнять пресс-изделие. Анализируя траектории движения металла в форкамере, можно констатировать, что с высокой долей вероятности в случае перехода загрязнений из мертвой зоны в форкамеру, они проявятся именно под поверхностью готовой шины.



Результаты моделирования подтвердились в ходе выполнения промышленного эксперимента по изучению характера течения металла в очаге деформации и поиска причин появления вышеуказанных дефектов. Использовались латунные штифты, которые располагались в желобе колеса (на контакте металл-колесо), а также сверху заготовки (на контакте металл-башмак). После прессования заготовок с латунными штифтами анализировалась локализация латуни в готовой шине. Промышленный эксперимент показал, что в реальных условиях непрерывного прессования металл с контакта «заготовка-желоб колеса» может отрываться и затягиваться в форкамеру. Кроме того эксперимент показал, что металл с контакта металл-башмак переходит под верхнюю поверхность шины и дефекты заготовки могут локализоваться именно в этой области [3].

### Литература

1. Gorohov Y. V. DEFORM-3D modeling in continuous extrusion of copper busbars for installation conform with the pre-chamber matrix / Y. V. Gorohov [et al.] // J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2016, V. 9(6), P. 821-829.
2. Ожгихин И. В. Совершенствование технологического процесса непрерывного литья заготовок из кислородсодержащей меди с целью повышением качества катанки. Дис... канд. техн. наук. / И. В. Ожгихин. Екатеринбург: Урал. федер. ун-т, 2015, 143 с.
3. Шимов Г.В., Фоминых Р.В., Ефремова А.С., Ковин Д.С. Исследование траекторий течения непрерывнолитой меди при прессовании способом Conform. Цветные металлы. 2018. № 4. С. 79-85.

УДК 621

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ AISI1015 ПРИ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMUFACT.FORMING И БАЗЫ ДАННЫХ МАТЕРИАЛОВ MATILDA

*Арбуз А.С., Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А.  
РГП на ПХВ «Рудненский индустриальный институт»,  
г. Рудный, Казахстан  
zubra\_kz@mail.ru*

Радиально-сдвиговая прокатка, как один из видов поперечно-винтовой прокатки был разработан в НИТУ «МИСиС» [1-2]. Отличие от поперечно-винтовой прокатки, применяющейся, например, при прошивке труб, состоит в том, что идет прокатка сплошного прутка по трехвалковой схеме с большими значениями углов подачи, способствующими интенсифи-

кации сдвиговой деформации [4]. Радиально-сдвиговая прокатка позволяет получать даже ультрамелкозернистую структуру [1, 3], однако имеет проблемы с равномерностью структуры и свойств по сечению заготовки.

Конечно-элементная модель процесса была построена в программе Simufact.forming 14.0.2 (MSC.Software – Simufact Engineering GmbH, Германия) для условий стана радиально-сдвиговой СВП-08. Изучение эволюции микроструктуры было проведено с использованием специализированного модуля Simufact.forming Microstructure MatILDa с использованием базы данных микроструктуры MatILDa (GMS, Bernau), в которой для расчета эволюции микроструктуры используются данные напряженно-деформированного состояния, скорости деформации и температуры заготовки, полученные в ходе расчета процесса деформации в Simufact.forming, затем их дополняют данными физико-химических свойств и их поведения для данного материала и его структуры из базы данных, затем программа используя алгоритм Yada [4], вычисляет изменения в размере зерна.

Таким образом, в конечно-элементную модель были импортированы данные свойств стали AISI1015 (0,15-0,18% С, 0,3-0,6 % Mn). Исходный средний размер зерна был принят 30 мкм на основе экспериментальных данных [1]. Прочие параметры модели были следующие: начальный диаметр заготовки 30 мм, конечный диаметр (после прокатки) 27 мм, температура деформации 1000 °С, число конечных элементов 90 000, параметры трения и теплопередачи – рекомендованные для случая горячей прокатки стали. Сечение модели после расчета показано на рис.1.

Во время радиально-сдвиговой прокатки поверхностные слои заготовки за один проход подвергаются интенсивной деформации, достигающей до степени 2,95, при этом, зона получения высокой деформации порядка 1,5-2,9 расположена на расстоянии 0,5-1 радиуса заготовки. При этом, область образца на расстоянии 0-0,5 радиуса заготовки (осевая зона) получает незначительную эквивалентную деформацию не более 0,2.

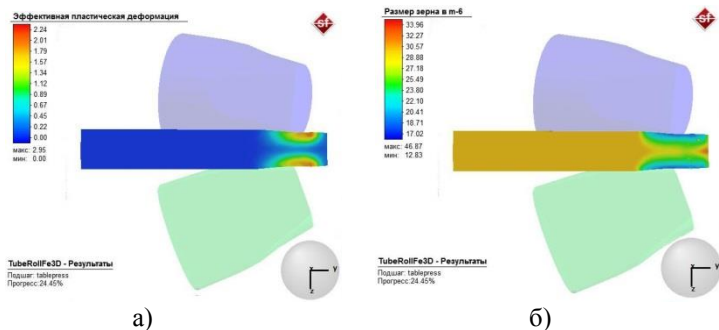


Рис. 1. Результаты расчета:

а) эффективная пластическая деформация, мм/мм; б) размер зерна, мкм

Изменение размера зерна, в общем, коррелирует с распределением эквивалентной деформации по сечению заготовки. В периферийной зоне измельчение достигает 12,8 мкм, при общем уровне в этой зоне порядка 20-22 мкм (измельчение на 27-33 %), что объясняется высокой степенью деформации в этой зоне. Осевая область заготовки практически не получает измельчения зерна (размер зерна не мельче 29 мкм). Также присутствуют области отмеченные ростом зерна до 33,96 мкм в месте утяжины. Это явление объясняется большей долей статической рекристаллизации в данном месте.

Таким образом, исследование эволюции микроструктуры стали за один проход горячей радиально-сдвиговой прокатки (обжатию 10%) показывает измельчение микроструктуры периферийных областей заготовки на 30%. Полученные данные, в целом, коррелируют с известными результатами экспериментальных исследований [1, 3, 5].

### Литература

1. Galkin S.P. Radial shear rolling as an optimal technology for lean production // *Steel in Translation*. – 2014. Vol. 1. № 44. –Р. 61-64.
2. Пат. № 2293619 Российская Федерация, МПК В21В 19/00. Способ винтовой прокатки / С.П. Галкин; НИТУ МИСиС – № 2006110612/02, заявл. 04.04.2006; опубл. 20.02.2007. Бюл. изобр., 2007, № 5.
3. Tsay K., Arbuz A., Gusseyunov N, Nemkaeva, R., Ospanov N., Krupenkin I. Refinement of the microstructure of steel by cross rolling // *J. Chem. Technol. Metall.* – 2016. Vol. 4. № 51. –Р. 385-392.
4. Yada H., Matsuzu N., Nakajima K., Watanabe K., Tokita H. *Trans. ISIJ* – 1983. №23. – Р. 100–109
5. Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Dyja H., Bajor T., Tsay K., Arbuz A., Gusseyunov N., Nemkaeva R. The effect of cross rolling on the microstructure of ferrous and non-ferrous metals and alloys // *Metalurgija* – 2017. Vol. 1-2. № 56. –Р. 199-202.

УДК 669

### **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ЛЕГКОГО СПЛАВА**

*Замараев В.А., Логинов Ю.Н.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
89634430235@mail.ru*

Многие сплавы легких металлов обладают пониженным уровнем пластичности, что заставляет изыскивать методы обработки, в которых этот недостаток удаётся подавить. В совместной работе Института физи-

ки металлов УрО РАН и Уральского федерального университета выполнен комплекс исследований, направленных на разработку новых способов деформации малопластичных материалов, включая процессы гидро-статической обработки титана и его сплавов [1].

Материалом для моделирования деформации в последнее время обычно служил магний и его сплавы. Эти материалы имеют низкий уровень пластичности при комнатной температуре особенно в литом состоянии [2], что частично объясняется типом их кристаллического строения – это гексагональная плотноупакованная решетка. В какой-то мере магний по этому свойству напоминает титан и его сплавы, находящиеся в состоянии альфа – фазы.

Для повышения пластичности материала применялось два технологических приема. Во-первых, это применение метода гидроэкструзии, здесь уровень сжимающих напряжений создается жидкостью высокого давления, окружающей со всех сторон заготовку. Возможно управление этим уровнем за счет воздействия на заготовку пуансоном, т.е. перевода типа процесса в гибридный вариант – частично это процесс гидроэкструзии и частично это процесс обычного прессования.

Второй прием, позволяющий повысить уровень напряжений сжатия: применение вспомогательных пластических деформируемых сред, осуществляющих подпор (противодавление) течению основного металла. Этот прием опробован в процессах кузнечной осадки и обратного выдавливания.

Принципиальная схема создания схемы с созданием дополнительного противодавления представлена на рисунке.

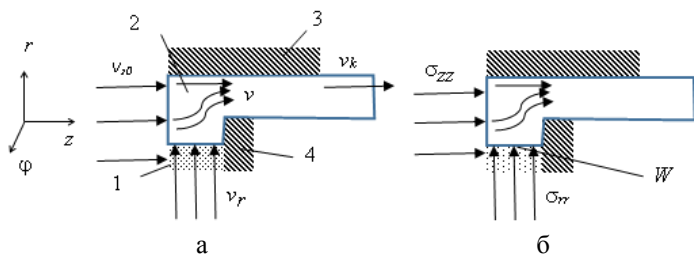


Рис. 1. Схемы кинематически возможных скоростей (а) и статически возможных напряжений (б) в системе координат  $rvz$  при выдавливании вспомогательного материала: 1 – магниевый образец; 2 – материал обоймы; 3 – стенка контейнера; 4 – рабочий поясok пуансона;  $W$  - граница между магниевым образцом и обоймой;  $v$  – вектор скорости перемещений;  $v_{z0}$  – скорость инструмента;  $v_k$  – скорость истечения;  $v_r$  – радиальная компонента вектора скорости перемещений

В предлагаемом методе дополнительные сжимающие напряжения на деформируемый материал 1 создаются за счет сил подпора, возника-

ющих при пластическом течении материала обоймы 2 в узкую щель, образованную стенкой контейнера 3 и рабочим пояском пунсона 4. В системе координат  $r \varphi z$  торец сборной заготовки перемещается со скоростью инструмента  $v_{z0}$ . При этом диаметр магниевой образцы увеличивается за счет уменьшения высоты, что следует из условия постоянства объема, поэтому компонента скорости  $v_r$  направлена к периферии. Совместное течение металла по осям  $z$  и  $r$  приводит к появлению векторного поля  $v$  и формированию скорости истечения металла на выходе  $v_k$ .

При такой кинематике процесса на выдавливаемый металл действуют напряжения  $\sigma_{zz}$  и  $\sigma_{rr}$ . Радиальные напряжения  $\sigma_{rr}$  являются дополнительными по отношению к схеме обычной осадки, их величина определяет уровень повышения пластичности металла.

Выполнена серия опытов с изменением конфигурации заготовок и инструмента, в том числе с созданием противодействия и без его приложения. Применяемое оборудование – промышленный пресс номинальным усилием 10 МН. Выявлено, что при отсутствии противодействия полученное полое изделие покрывается сеткой трещин, шероховатость поверхности повышена, что делает его не пригодным для использования. В опытах с созданием противодействия существенно снижается количество наблюдаемых трещин, улучшается качество поверхности, в том числе увеличивается чистота поверхности.

#### Литература

1. Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Влияние условий бокового подпора на пластичность магния при холодной осадке. Технология легких сплавов. 2012. № 1. С. 86-92.
2. Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Сапунжи В.В. Изучение упрочнения и разупрочнения магния с учетом анизотропии свойств. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 1999. № 6. С. 42-46.

УДК 621.778

### ЛАБОРАТОРНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВОЛОЧИЛЬНЫЙ СТАН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

*Фаизов С.С., Радионова Л.В.*

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский институт)», г. Челябинск, Россия  
faizovsergey@gmail.com*

Метизное производство занимает значительную долю металлургической отрасли. В основе метизного передела лежит процесс волочения проволоки в монолитной волоке. Этот процесс широко применим как для

рядовых марок сталей и сплавов, так и широко используется для получения проволоки специального назначения с особыми свойствами. В связи с этим для отработки и совершенствования технологии волочения проволоки в монолитных волоках необходимо иметь автоматизированное лабораторное оборудование, позволяющее осуществлять сбор данных по реализуемому процессу волочения, а именно усилие и скорость волочения для исследуемых типоразмеров проволоки, маршрутов волочения и физико-механических свойств сплавов [1].

Целью настоящей работы является разработка и изготовление однократного и трехкратного лабораторных волочильных станков, оснащенных тензодатчиками для измерения величины усилия волочения, величины противонапряжений и системой сбора данных, которые позволяли бы фиксировать полученную информацию и в последствии ее обрабатывать.

Для проектирования исследовательского оборудования было выбрано два типа волочильных станков, а именно однократный, как самый дешевый и простой в обслуживании вариант, и трехкратный стан прямоточного типа, как стан, позволяющий изучать процесс многократного волочения. Трехкратное исполнение стана в полной мере отражает принципы многократного процесса волочения, так как есть возможность анализировать процессы на первом, последнем и промежуточном барабанах.

В состав однократного волочильного стана входит отдающая фигурка, острый станок, однократный волочильный блок, шкаф автоматики и пульт управления станом (рис.1) [2].



Рис. 1. Однократный волочильный стан

На рис. 2 представлена 3D-модель разработанного трёхкратного прямоточного волочильного стана ВП-3/400 [3]. Стан состоит из трёх волочильных блоков (рис. 2 поз. 1) установленных последовательно и схожих по своему внешнему виду и конструкции. Благодаря унифицированности этих блоков такой стан обладает свойством модульности и при минимальном вмешательстве в конструкцию может быть модернизирован как в однократный волочильный стан, так и в многократный стан с требуемым числом тянущих барабанов. На каждом волочильном блоке располагаются волокодержатель (рис. 2 поз. 2) и измеритель натяжения (рис. 2 поз. 3).

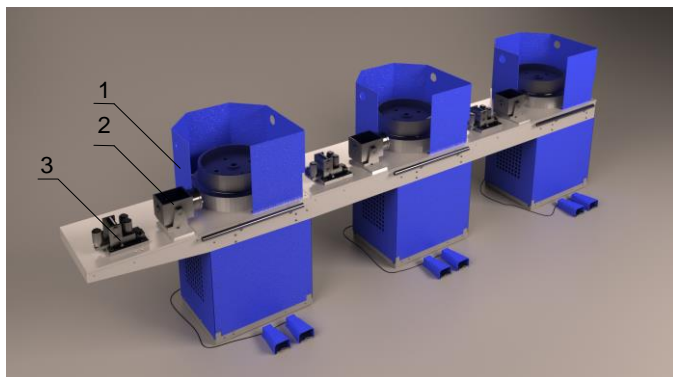


Рис. 2. Трехкратный прямоточный волочильный стан:

1 – волочильный блок; 2 – волокодержатель; 3 – измеритель натяжения

Таким образом, в Южно-Уральском государственном университете сконструированы и изготовлены однократный волочильный стан с системой сбора данных, который успешно смонтирован и запущен в эксплуатацию в Уральском политехническом колледже (г. Екатеринбург) и два трехкратных волочильных стана, один из которых установлен на кафедре Процессы и машины обработки металлов давлением ЮУрГУ, а второй был поставлен на экспорт, а именно в г. Навои Республики Узбекистан.

### Литература

1. Радионова Л.В. Современное состояние и перспективы развития волочильного производства стальной проволоки / Л.В. Радионова, А.А. Радионов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2013. – №1. – С. 3- 11.

2. Фаизов С.Р. Однократный волочильный стан для научно-исследовательских и учебных целей / Фаизов С.Р., Макаров А.В., Радионова Л.В. // *Научный потенциал молодежи и технический прогресс: Материалы I международной научно-практической конференции*. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 8-9.

3. Радионова Л.В. Автоматизированный лабораторный волочильный стан / Л.В. Радионова, С.Р. Фаизов, Р.А. Лисовский, Т.А. Лисовская // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2017. – Т.5, №2. – С. 68-73. DOI: 10.24892/RIIE/20170211

## **НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ**

*Усанов М.Ю.<sup>1</sup>, Харитонов В.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Филиал ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Белорецк, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
barracuda\_m@mail.ru*

Основным видом продукции метизного передела является проволока из углеродистых сталей такая как: пружинная, канатная, сварочная, проволока для армирования железобетонных конструкций и т.д. Поэтому повышение ее конкурентоспособности является актуальной задачей.

Конкурентоспособность зависит от многих факторов, но в основном от технологического процесса и оборудования. В технологическом процессе главную роль играют основные операции, т.е. способы обработки металлов давлением (ОМД) и термообработка. Однако операции термообработки в теории технологического наследования принято считать «технологическими барьерами». Поэтому эффективные технологические процессы изготовления проволоки должны проектироваться с минимально необходимым количеством промежуточных термообработок, а свойствообразование, наряду с обязательным формообразованием, должен обеспечивать применяемый способ ОМД, определяющий также и уровень технологического процесса [1].

Основным способом ОМД при производстве проволоки является волочение в монолитных волоках. Его главное преимущество – простой инструмент, теория, инфраструктура. Основные недостатки – это неравномерность деформации по сечению проволоки и прочность переднего конца. Причем неравномерность деформации по сечению проволоки усугубляется с увеличением диаметра проволоки, которые в настоящее время производят все больше и больше.

Применение роликовых волоки решает задачи повышения равномерности. При этом равномерность повышается с увеличением диаметра роликов, т.к. уменьшается величина приведенного угла. Однако конструктивная сложность самой роликовой волоки, по отношению к монолитной, и двоякость калибра, что при производстве круглой проволоки неизбежно приводит к деформации по схеме «круг - промежуточное фасонное сечение - круг».

Также рассмотрен способ волочения проволоки в роликовых волоках новой конструкции. Данный способ получил название радиально-сдвиговая протяжка (РСПр). Из-за характера течения при РСПр появляется возможность получить градиентную структуру в проволоке, т.е. измельченную структуру в поверхности проволоки с волокнистым внутренним, что повысит ее эксплуатационные характеристики [2].



В работе проведен анализ данных способов волочения, и выявлены особенности каждого из них. Показано, что при производстве углеродистой проволоки больших диаметров наиболее рационально применять модульно-комбинированные способы.

Предложена новая методика расчета и анализа маршрутов волочения, которая прошла промышленную апробацию на действующих предприятиях [3, 4]. В результате предложены ресурсосберегающие маршруты волочения, обеспечивающие при этом повышение качества проволоки больших диаметров.

### Литература

1. 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.

2. Усанов, М. Ю. Эффективность применения деформации кручения в способах производства наноструктурированной проволоки / М.Ю. Усанов, В.А. Харитонов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. (14). – № 4. – С. 66–71.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660119. Расчет режимов волочения углеродистой проволоки / В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов // Заявка № 2017617125. Дата поступления 18 июля 2017 г. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 14 сентября 2017 г.

4. Харитонов, В. А. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей / В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов // Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия". – 2017. – № 8. – С. 92-95.

УДК 621.77

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПРЕССОВКИ ВНУТРЕННИХ РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ

*Вахитов А.Р., Гун Е.И.*

*АО НПО «БелМаг», г. Магнитогорск, Россия  
vakhitov@belmag.ru*

При проектировании процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника (рис. 1) закономерно возникает вопрос о параметрах этого процесса, которые непосредственно влияют на формирование неразъемного соединения шарового пальца и корпуса наконечника. Таковыми параметрами являются усилие, реализуемое прессом, его перемещение и геометрия матрицы.

Соединение будет считаться наиболее оптимальным при одновременном выполнении двух нижеуказанных критериев:

- центр внутренней сферической поверхности сформированного корпуса совпадает с теоретическим положением центра сферы пальца;
- диаметр внутренней сферической поверхности сформированного корпуса равен внутреннему диаметру корпуса до деформации.

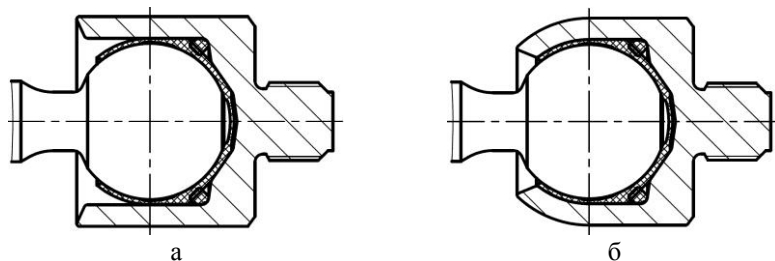


Рис. 1. Общий вид внутреннего рулевого наконечника:  
а) до опрессовки; б) после опрессовки

В случае одновременной реализации обоих критериев на физическом изделии, вкладыш наконечника будет равномерно обжат: нагрузка будет равномерно распределена по всей поверхности вкладыша со стороны сферических поверхностей пальца и корпуса. В этом случае на готовом изделии возможно выполнение ряда обязательных требований: значения момента сопротивления качанию пальца, момента страгивания при качании пальца, флуктуации момента сопротивления при качании, а также осевого зазора и осевой жесткости шарнира будут находиться в приемлемых с точки зрения потребителя интервалах [5].

Для достижения указанных критериев в процессе опрессовки наконечника необходимо обеспечить ряд параметров: пресс должен обеспечить необходимое усилие и перемещение, геометрия матрицы должна обеспечить требуемую форму сформированной части корпуса.

С целью определения указанных параметров без применения экспериментов на реальных объектах была разработана численная модель процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника на базе метода конечных элементов (рис. 2) [1].

Требуемое усилие прессы, его перемещение и геометрию матрицы предлагается определять по результатам моделирования процесса опрессовки методом конечных элементов по явной схеме интегрирования с учётом физической и геометрической нелинейности при рассмотрении 1/12 части шарнира в силу осевой симметрии задачи [1, 2].

Проведённые экспериментальные исследования позволили сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов разработанной математической модели с экспериментальными данными [3].

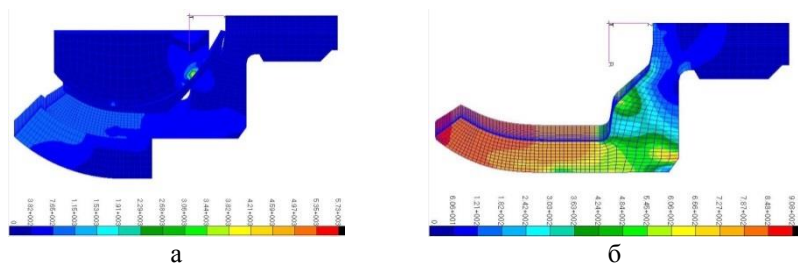


Рис. 2. Конечно-элементная сетка и результаты расчёта напряжённно деформированного состояния:

а) внутреннего рулевого наконечника; б) корпуса рулевого наконечника

Моделирование процесса опрессовки внутренних рулевых наконечников позволяет определять параметры технологического процесса с приемлемой степенью точности без проведения большого числа экспериментов на физических объектах [4, 6].

### Литература

1. Сальников В.В., Михайловский И.А., Гун И.Г. Моделирование процесса разрушение шарового шарнира передней подвески автомобиля при осевом нагружении // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – №2 (67). – С. 51-53.
2. Стенд для испытаний шаровых шарниров: пат. 2263889 Рос. Федерация: МПК G01M 13/00 (2000.01) / Михайловский И.А., Гун И.Г., Ясаков Ю.М., Лапчинский В.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО НПО «БелМаг». – № 2003137624/11; заявл. 29.12.2003; опубл. 10.11.2005, Бюл. №16. – 2 с.

УДК 621.793

### ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА, НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ К СТАНДАРТИЗАЦИИ

*Янсаетова М.И.<sup>1</sup>, Шехтман С.Р.<sup>1</sup>, Полякова М.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия  
milyausha.yansaitova@mail.ru

На современном этапе развития научно-технического прогресса, когда в повышении эффективности производства все большее значение

играет фактор «качество продукции», обеспечивающий ее конкурентоспособность, проблема повышения качества технологических процессов актуальна для любого предприятия.

Особенно остро вопрос повышения качества стоит при реализации новых высокоэффективных технологий. Одна из таких технологий - технология нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда.

Данная технология рассматривается в настоящее время как наиболее перспективная технология при производстве изделий авиационной техники. Качество формируемого покрытия зависит от структурного состояния исходного материала, способа и вида финишной обработки поверхности детали, технологических возможностей применяемого оборудования и эффективности воздействия плазмы на поверхность детали на всех технологических этапах обработки.

Однако имеющиеся проблемы сдерживают широкое применение технологии в производстве ответственных деталей авиационной техники.

Прежде всего, это проблема оптимизации технологии подготовки поверхности деталей перед нанесением покрытий.

Вторая проблема связана с необходимостью сохранения исходного комплекса механических свойств материала детали. Это делает необходимым разработку таких технологических режимов, которые не только не снижают, но в ряде случаев даже повышают служебные характеристики материала детали за счет создания на поверхности композиционной структуры.

Для эффективного решения этой проблемы необходимо создание основ метрологической системы оценки уровня эксплуатационных свойств и структурного состояния материалов, подвергнутых различным видам поверхностной обработки. Это позволит обеспечить воспроизводимость требуемых эксплуатационных характеристик покрытий и обеспечит стабильность свойств, получаемых при заданных режимах обработки.

Практика показала, отсутствие стандартизированной информации о качестве формируемого покрытия в конструкторско-технологической документации.

С целью повышения качества технологического процесса нанесения покрытий был более подробно рассмотрен вопрос качества покрытий, а также необходимый объем информации о покрытиях в конструкторско-технологической документации, достаточный для стабильной реализации технологического процесса и обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик.

На основе анализа классификации показателей качества поверхностного слоя с учетом особенностей реализации технологии нанесения покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда [1-3], была разработана классификация показателей качества данных покрытий, определяющих эксплуатационные свойства деталей с покрытиями.

Структура включает 3 группы показателей: показатели назначения, показатели технологичности и показатели физико-механических свойств.

Анализируя данную классификацию можно сделать вывод, что в рамках реализации технологического процесса невозможно проконтролировать все показатели качества. Основными причинами являются отсутствие методик выполнения измерений, значимости, достоверности, информативности по показателям качества покрытий. Действующие стандарты ГОСТ 9.301-86 и ГОСТ 9.302-88 не распространяются на покрытия, получаемые осаждением из вакуумно-дугового разряда. На сегодняшний день назрела острая необходимость в разработке нормативно-технического документа для покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда.

Анализ показателей качества покрытий, получаемых осаждением из плазмы вакуумно-дугового разряда показал, что можно рекомендовать к стандартизации следующие показатели качества покрытий: адгезия покрытий, исходная шероховатость, шероховатость покрытий, микротвердость, толщина покрытий.

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать и обосновать перечень показателей качества покрытий, рекомендованных к стандартизации. Дальнейшая разработка метрологического обеспечения реализации технологического процесса нанесения покрытий, включающая нормативно-технический документ, регламентирующий показатели качества покрытий, позволят повысить качество покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда.

### **Литература**

1. Андреев А.А. Износостойкие вакуумно-дуговые покрытия на основе титана в инструментальном производстве / А.А. Андреев, С.Н. Григорьев // СТИН. – 2006. - №2. – С.19-24.

2. Гун Г.С. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, Г.Ш. Рубин, А.А. Минаев, А.Б. Назайбеков, Х. Дыя // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. - №1. – С. 92-96.

3. Колесник М.А. Оценка эффективности процессов нанесения тонких пленок на изделия в вакууме с позиции менеджмента качества / М.А. Колесник, Л.Л. Колесник // Электронный журнал <http://technomag.edu.ru>. – 2011. – С. 1-14.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОЛТОВ ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

*Базыков А.Р.*

*ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия  
bazykov.ar@mmk-metiz.ru*

ОАО «ММК-МЕТИЗ» является одним из крупнейших производителей метизных изделий на территории Российской Федерации. Одним из видов выпускаемой продукции является железнодорожный крепеж, поставляемый как в адрес ОАО «РЖД», так и на экспорт. Долгое время он изготавливался в соответствии с требованиями государственных стандартов, разработанных еще во второй половине двадцатого века, и норм безопасности на железнодорожном транспорте.

В последние годы все чаще пересматриваются и вновь разрабатываются нормативные документы как на саму продукцию, так и определяющие ее характеристики. ОАО «РЖД» ставит целью повышение ресурсной стойкости рельсовых скреплений, в связи с чем ужесточаются требования предъявляемые к их элементам — болтам, гайкам, шурупам и т.д.. В 2015 году были введены в действие государственные стандарты на железнодорожный крепеж, опирающиеся на требования технического регламента таможенного союза, в которых устанавливался ряд новых требований к выпускаемой продукции.

В ГОСТ 11530-2014 «Болты для рельсовых стыков железнодорожного пути» были введены новые требования по ударной вязкости. Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться разрушению. Испытания данного параметра проводятся на маятниковом копре, на образцах выточенных из готовых болтов. Ужесточению подверглась схема испытаний (необходимость проведения испытаний при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и геометрические параметры образца (форма концентратора напряжений). Ударная вязкость болтов изготавливаемых по существующему технологическому процессу не соответствовала установленным характеристикам, в связи с чем была поставлена задача совершенствования технологии изготовления болтов для получения механических свойств.

Существующий технологический процесс изготовления болтов включает в себя следующие операции:

- нагрев металла до температур  $1050-1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- штамповка болтов с формированием овального подголовка;
- накатывание резьбы;

- термообработка.

В ходе анализа причин низкой ударной вязкости были выявлены следующие факторы, отрицательно влияющие на характеристику в рамках существующего технологического процесса изготовления болтов:

- структура игл видманштетта получаемая при горячей штамповке болтов и не устраняемая при их термообработке;
- качество и геометрические размеры испытательных образцов;
- наличие неметаллических включений в стали.

Для получения продукции, соответствующей требованиям государственного стандарта, был проведен ряд опытных работ:

- изготовлены болты с применением стали марки 35 разных поставщиков металла;

- внесены изменения в техническое соглашение на металлопрокат (добавление бора и хрома в качестве легирующих элементов, сужение допустимого диапазона углерода);

- отработаны и откорректированы различные режимы закалки и отпуска;

- проведена термообработка болтов на различных термоагрегатах;

- проведен анализ микроструктуры болтов в зависимости от режимов термообработки;

- разработан технологический процесс подготовки образцов для проведения испытаний ударной вязкости.

- разработан и промоделирован технологический процесс изготовления болтов методом холодной штамповки.

Важным фактором при проведении работ по обеспечению ударной вязкости являлось сохранение остальных механических свойств продукции - временного сопротивления разрыву, твердости.

Традиционно считается, что при изготовлении крупного крепежа и крепежа из трудно деформируемых сталей более эффективной является технология включающая горячую штамповку[1]. Однако, в данном случае применение горячей штамповки, а в частности нагрев заготовки до 1050-1150 °С, приводило к образованию структуры игл видманштетта на заготовках болтов. В последствии данная структура практически не устраняется при термообработке[2]. Для исключения данной проблемы было предложено использовать метод холодной штамповки.

Была разработана схема штамповки болтов по операциям, включающая в себя отрезку заготовки, редуцирование стержня и высадку головки за один переход, исходя из рассчитанного коэффициента высадки (отношения длины высаживаемой части к диаметру)[3]. С целью оценки возможности получения необходимой геометрии изделия, без проведения опытной штамповки, было проведено моделирование технологического процесса по операциям с применением программного комплекса Qform VX. При высадке головки наблюдается низкая устойчивость заготовки и

её продольный изгиб, приводящий к неравномерному течению металла (что подтверждает снижение коэффициента высадки из-за малого прилегания торцевой поверхности заготовки к пуансону[4]) и незаполнение элементов овального подголовка болта.

В продолжение работы схема технологического процесса по операциям была переработана и проведено повторное моделирование. Высадка головки была разбита на две операции для предотвращения продольного изгиба, что так же положительно скажется на стойкости технологического инструмента. Кроме того, это позволило перераспределить объем металла таким образом, что бы происходило полное заполнение овального подголовка болта. Анализируя результаты, можно сделать вывод о том, что изготовление болтов для рельсовых стыков теоретически возможно на имеющихся в ОАО «ММК-МЕТИЗ» холодновысадочных автоматах. На данный момент для изготовления болтов М27 на заводе используются четырехпозиционные автоматы, что даёт возможность при необходимости ввести дополнительную операцию, к примеру для образования фаски на торце болта.

Нужно отметить, что применение холодной штамповки улучшит качество изделий: даст возможность изготавливать болты с концевой фаской без использования фаскосъемных автоматов, повысит точность геометрических параметров болтов, позволит снизить расход резьбно-накатного инструмента.

В результате проведенных работ:

- удалось выработать рекомендации для дальнейшего совершенствования технологического процесса;
- с помощью методов конечных элементов усовершенствованная технологическая схема изготовления болтов методом холодной штамповки;
- проведен анализ энерго-силовых параметров процесса, по результатам которого распределено усилие по операциям, для повышения стойкости технологического инструмента.

### **Литература**

1. Кривошапов В.В, Железков О.С., Левченко П.Е, Кривошапов М.В, Гун И.Г. Горячая штамповка крепежных изделий. М.: Магнитогорск 1997 — 47 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. — М.: Москва «Металлургия», 1977 - 647 с.
3. Васильев С.П. Производство крепежных изделий. - М.: Москва «Металлургия», 1981 — 104 с.
4. Петриков В.Г., Власов А.П. Прогрессивные крепежные изделия. - М.: Москва «Машиностроение» , 1991 — 256 с.



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШТАМПО-СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДА**

*Торгонин К.С., Широков В.В.*

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский институт)», г. Челябинск, Россия  
w.w.schirokow@gmail.com*

Применение моделирования методом конечных элементов в металлургии, в том числе при производстве ШСДТ (штампо-сварных деталей трубопровода), является очень важным и, зачастую, необходимым этапом производства. Это помогает экономить предприятиям не только огромное количество денег, требуемых на производство оснастки, пробных партий, но и время, которое было бы потрачено на подгонку технологии.

Особенно эффективно применение моделирования методом конечных элементов на предприятиях, имеющих широкую номенклатуру выпускаемых деталей, в особенности, если эти детали имеют достаточно крупные размеры, в следствие чего, достаточно дорого и долго производить опытные партии и подбирать параметры технологических операций непосредственно в условиях производства. Как раз к таким относится ООО «ЭТЕРНО», продукцией которого являются:

- тройники штампосварные;
- отводы;
- переходы;
- днища;
- другая продукция, используемая в трубопроводах (опоры трубопровода, тройники разрезные и т.д.).

В ходе работы произведено моделирование процессов обработки металлов давлением для технологического процесса изготовления детали «тройник» в программном комплексе Deform 3D. Смоделированы следующие операции технологического процесса: охлаждение нагретой заготовки до нужной глубины, операция набора металла в зону отбортовки, вырезка отверстия под отбортовку, отбортовка ответвления тройника. С помощью моделирования подобраны необходимые параметры технологических операций, такие как: коэффициент обжима, высота охлаждения заготовки, высота выпуклости, размер отверстия для отбортовки.

В ходе моделирования был достигнут результат, удовлетворяющий требованиям технических условий.

В условиях предприятия была произведена исследуемая деталь по параметрам, определенным с помощью моделирования. Сделаны замеры полученного изделия.

Произведено сравнение результатов моделирования с результатами штамповки, сделаны выводы относительно точности полученных результатов и разработаны рекомендации по совершенствованию технологического процесса изготовления данного типоразмера детали.

### Литература

1. Семенов Е.И. Ковка и штамповка. Справочник под редакцией Е. И. Семенова, т. 2: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. М.: Машиностроение, 1986. – 592 с.
2. Семенов Е.И. Ковка и штамповка. Справочник под редакцией Е. И. Семенова, т. 4: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. М.: Машиностроение, 1986. – 544 с.
3. Лавриенко В.Ю. Компьютерное моделирование процессов холодной объемной штамповки / В.Ю. Лавриенко. - Москва: МГИУ, 2015. – 12 с.

УДК 621.979.134-73.043

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Деметрашвили И.С., Хоанг М.Ж.*  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
Irishka2910@yandex.ru

В настоящее время в металлообрабатывающей промышленности для изготовления холодной штамповкой цилиндрических заготовок диаметром от 5 до 50 мм из пластичных сталей и сплавов цветных металлов применяются тонкие ( $0,01 < \bar{H} < 0,1$ ), короткие ( $0,1 < \bar{H} < 1$ ) и длинные заготовки ( $\bar{H} > 1$ ) (где  $\bar{H}$  - относительная высота,  $\bar{H} = H/D$ ,  $H$  - высота,  $D$  - диаметр). Такие заготовки применяются в технологиях прямого, обратного и комбинированного выдавливания. Наиболее распространённой технологией их изготовления является вырубка из листа или полосы, осуществляемая на прессах. Главным недостатком традиционного процесса является значительная потеря металла в виде отходов, достигающая 30-45 %.

Актуальным является дальнейшее развитие технологии изготовления цилиндрических заготовок из квадратных или прямоугольных карточек, отрезанных от полосы (рис. 1,а) с последующей поперечной осадкой (рис. 1,б) [1].

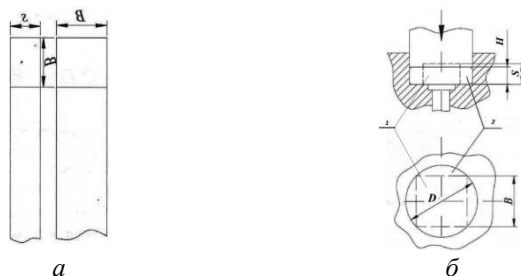


Рис. 1. Схема раскроя полосы (*а*) и осадки в цилиндрической матрице (*б*):

- 1 – прямоугольная карточка, отрезанная от полосы;
- 2 – осажённая цилиндрическая заготовка

Проведено имитационное моделирование в вычислительной системе QForm 3D [2]. Установлено, что на завершающей стадии поперечной осадки при формировании сегментной фаски удельные силы (давление) достигают предельных значений для инструментальных сталей, так как контакт пуансона с заготовкой происходит по всей ее плоскости [3].

В связи с этим, предлагается такой полуфабрикат подвергать прокатке в валках, где площадь контакта значительно меньше и, соответственно - давление ниже.

Существенно снизить силовые параметры, трудоемкость и себестоимость заготовительного производства возможно за счет разработки и внедрения инновационной технологии безотходного изготовления тонколистовых заготовок для объемной штамповкой отрезкой - поперечной осадкой - прокаткой с использованием пресса, прокатного стана и специальной технологической оснастки.

### Литература

- 1 Соловцов С.С. Производство точных заготовок отрезкой и вырубкой // КИПП-ОМД, 2005, № 9, с. 22-24.
- 2 [www.qform3d.ru](http://www.qform3d.ru)
- 3 Lisunets N.L., Smirnov O.M., Tsepina M.A. Simulation of the processes of aluminum alloys preforms and semifinished products manufacture under influence of technological heredity and phase transitions Materials Science Forum. 2008. T. 575-578. № PART 2. C. 1134-1138.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЯЖКИ ПОЛЫХ ГИЛЬЗ И ТРУБ В КАЛИБРАХ

*Труфанов С.А., Аникеенко А.С.  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет Московский институт  
стали и сплавов», г. Москва, Россия  
stttru@gmail.com*

Компьютерное моделирование находит широкое применение для виртуального исследования процессов прокатки, штамповки, прессования, волочения и др. [1, 2]. Этому способствует как быстрый рост вычислительной мощности современных ЭВМ, так и бурное развитие программных средств для расчета формоизменения металлов [3]. В настоящее время для анализа процессов ОМД большую популярность получил программный комплекс QForm 3D, работа которого основана на методе конечных элементов (МКЭ).

Для моделирования процесса протяжки заготовки (полый гильзы) последовательно установлены две двухвалковые клетки с холостыми роликами, оси роликов клеток расположены друг к другу под углом  $90^\circ$  (рис. 1). Материал – сталь 9ХВГ. При моделировании протяжки для обеспечения захвата первая клеть имеет овальный калибр, вторая клеть – круглый калибр.

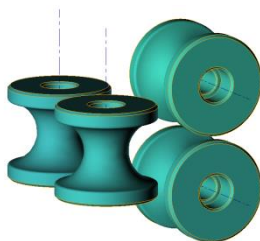


Рис. 1. Трехмерная модель расположения валков

После прошивки полая гильза, как правило, имеет на поверхности спиралевидный винтовой след высотой порядка  $0,5 \dots 0,7$  мм (рис. 2). Путем проталкивания полой гильзы через неприводные ролики диаметр гильзы уменьшается на 1 мм без изменения толщины стенки.

После моделирования было проведено измерение диаметра гильзы в трех сечениях согласно схеме на рисунке 3. Установлено, что протяжка способствует уменьшению продольной волнистости гильз и улучшению качества ее поверхности.

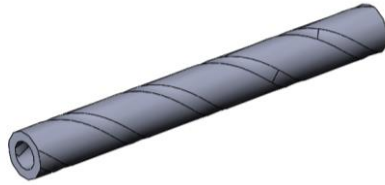


Рис. 2. Винтовой след на поверхности трубы

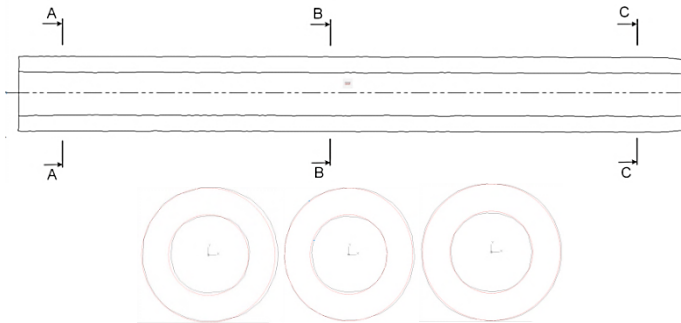


Рис. 3. Разрезы заготовки после прокатки через клети

Предложенный способ может быть использован для получения гильз и труб с повышенными требованиями к качеству наружной и внутренней поверхностей. Дальнейшее исследование влияния процесса протяжки заготовок с винтовым следом в калибрах планируется проводить в калибрах с оправкой.

### Литература

1. Galkin S.P., Romantsev B.A., Та D.X., Gamin Yu.V. Resource-saving technology for production of round bars from used shaft of rolling railroad stock // *Cherные Metally*. Issue 4. Pp. 20-27.
2. Гамин Ю.В., Романцев Б.А. Особенности процесса прошивки коротких заготовок малого диаметра на мини-стане винтовой прокатки // *Производство проката*. 2015. – № 11. – С. 25–31.
3. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. – Днепропетровск: «Системные технологии», 2005. – 448 с.

## ВЛИЯНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПОЛОСЫ НА ПОЛОЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ

*Пузанов М.П., Логинов Ю.Н., Хаматов Д.Д.  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Прези-  
дента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
puzanovmp@ya.ru*

Кинематика очага деформации при холодной прокатке стальных полос оказывает существенное влияние на стабильность технологического процесса, его энергоёмкость и качественные показатели проката. От соотношения зон отстаивания и опережения в очаге деформации зачастую зависит структурное состояние металла, чистота поверхности холоднокатаных полос, их плоскостность и разнотолщинность [1-3]. Прокат из кремнистых электротехнических сталей является сложным и ответственным видом металлопродукции. К нему предъявляются высокие требования отечественных и зарубежных стандартов по качеству поверхности, геометрическим характеристикам и микроструктурным параметрам. Оптимизация технологии обработки данных сплавов труднореализуема без результатов исследования влияния различных режимом прокатки на кинематику очага деформации, поэтому данная задача является актуальной.

В настоящей работе исследовано соотношение кинематических зон в очаге деформации при разных значениях переднего ( $T_1$ ) и заднего ( $T_0$ ) натяжений полосы путём отслеживания положения нейтрального сечения. Моделирование напряжённо-деформированного состояния (НДС) очага деформации производили методом конечных элементов (МКЭ) в пакете программ «DEFORM 3D». Осуществлена постановка задачи в трёх вариантах. Базовой задачей являлось моделирование процесса прокатки кремнистой стали по промышленным режимам, для чего принято: начальная толщина полосы  $h_0 = 0,50$  мм, конечная  $h_1 = 0,275$  мм ( $\varepsilon = 45\%$ ), коэффициент трения  $\mu = 0,11$  диаметр валков  $D = 70$  мм, заднее натяжение  $T_0 = 67,5$  кН, переднее  $T_1 = 70$  кН. В задаче №2 заднее натяжение было увеличено до  $T_0 = 90$  кН. Задача №3 являлась контрольной, в ней прокатку вели без натяжения.

При моделировании плоскость ZX соответствовала продольному сечению очага деформации, соответственно эпюра касательного напряжения  $\sigma_{ZX}$  позволяет определить положение нейтрального сечения из условия:  $\sigma_{ZX} = 0$ . На рисунке ниже представлены эпюры напряжения  $\sigma_{ZX}$  для трёх вариантов задачи в центральном по толщине слое полосы.

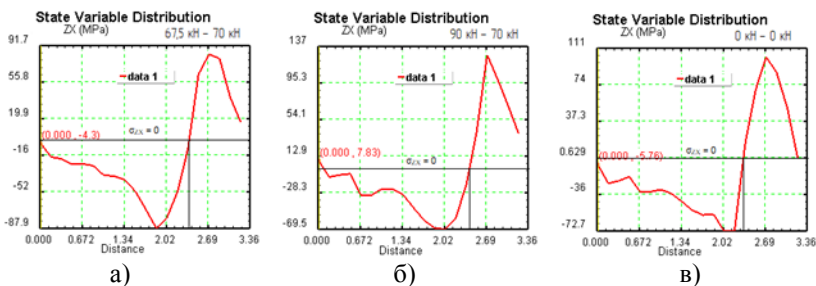


Рис. 1. Эпюры напряжения  $\sigma_{ZX}$  в центральном по толщине слое полосы при различных значениях натяжения:  
 а)  $T_0=67,5$  кН  $T_1=70$  кН, б)  $T_0=90$  кН  $T_1=70$  кН в)  $T_0=T_1=0$  кН

Как видно из рисунка, расчетные напряжения  $\sigma_{ZX}$  близки по своему значению к нулю до входа в очаг деформации, по ходу прокатки нарастают до определенной величины, затем уменьшаются до нуля, увеличиваются с обратным знаком и стремятся к нулевому значению на выходе из очага деформации. Расчет координаты по оси X, в которой выполняется условие  $\sigma_{ZX} = 0$ , выполнен при помощи функции «Point tracking» вдоль направления прокатки для трех слоев очага деформации по толщине: центрального ( $0h$ ), поверхностного ( $0,5h$ ), и равного четверти толщины ( $0,25h$ ). Таким образом, во всех задачах была определена протяженность зоны отставания  $l_{от}$  и зоны опережения  $l_{оп}$  по глубине очага деформации. Для каждого значения была рассчитана процентная доля от общей длины фактического очага деформации  $l$  (таблица).

Протяженность, мм (%), кинематических зон очага деформации в зависимости от натяжения и координаты по толщине очага деформации

Задача №	$T_0$ , кН	$T_1$ , кН	0,5h		0,25h		0h	
			$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$	$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$	$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$
1	67,5	70	2,041 (60,7)	1,319 (39,3)	2,311 (68,8)	1,049 (31,2)	2,385 (71,0)	0,975 (29,0)
2	90	70	2,143 (63,8)	1,217 (36,2)	2,446 (72,8)	0,914 (27,2)	2,433 (72,4)	0,927 (27,6)
3	0	0	2,079 (61,8)	1,281 (38,2)	2,365 (70,4)	0,995 (29,6)	2,348 (69,9)	1,012 (30,1)

Из таблицы видно, что полученное решение согласуется с известным уравнением Ю. М. Файнберга [4]. С увеличением заднего натяжения при прокатке величина нейтрального угла уменьшается, а зона отставания увеличивается. В задаче № 2 по сравнению с задачей №1 произошло увеличение заднего натяжения на 25 %, что привело к увеличению зоны отставания по всему сечению очага. Важно отметить, что увеличение зоны отставания в данном случае незначительно и в среднем составило 3 %. По-

лученный результат говорит о том, что для промышленного режима прокатки существует значительный резерв по увеличению заднего натяжения, что позволит снизить энергосиловые параметры деформации и повысить энергоёмкость процесса. Отмечено также, что длина зоны отставания в задаче №1 меньше, чем в контрольной задаче без натяжения. Это можно объяснить более сильным влиянием переднего натяжения.

### Литература

1. Гарбер Э. А., Шадрунова И. А., Кузнецов В. В. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос путем воздействия на положение нейтрального сечения в очаге деформации // Производство проката. 2003. № 2. С. 16-19.

2. Гарбер Э. А., Павлов С. И., Кожевникова И. А., Тимофеева М. А., Кузнецов В. В. Повышение качества поверхности листовой стали на основе новых решений в теории холодной прокатки // Вестник Череповецкого Государственного Университета. 2010. № 2. С. 116-126.

3. Кузнецов В.В., Славов В.И. Исследование влияния положения нейтрального сечения в очаге деформации при холодной прокатке на текстуру и свойства проката // Черная металлургия. 2008. № 1. С. 44-49.

4. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 280 с.

УДК 669.36, 669-135

## ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭКСТРУЗИИ CONFORM ПРИМЕНЕНИЕМ ОБРЕЗКИ ОБЛО ПО ВСЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ

*Ковин Д.С., Фоминых Р.В., Шимов Г.В.*

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
Wertlos@mail.ru*

Установки непрерывной экструзии CONFORM с расширяющейся форкамерной матрицей (форкамерой) в настоящее время широко применяются для непрерывного прессования медных шин из непрерывнолитой заготовки UPCUST [1]. Одной из проблем, возникающих при производстве медных прессованных профилей и шин на линии непрерывного прессования CONFORM, является присутствие дефектов типа «внутреннее расслоение». Эти дефекты могут возникать вследствие попадания в пресс-изделие окисленной поверхности заготовки. Эта гипотеза рассматривается и обосновывается в процессе промышленного эксперимента в работе [2].

Проблему «расслоений», к сожалению, не удастся полностью решить настройкой температурно-скоростных режимов прессования и ре-



гулировкой толщины облоя. Справедливо заметить, что классическая схема способа CONFORM предусматривает снятие облоя, то есть поверхностного слоя металла, только с нижней поверхности заготовки (прилегающей к колесу), а верхняя, как правило, затягивается в форкамеру. Даже если предположить, что вся окисленная и загрязненная поверхность заготовки с контакта «металл-колесо» обрезается в облой, то поверхность заготовки с контакта «металл-башмак» в любом случае переходит в пресс-изделие. Таким образом, если принять вышеуказанную гипотезу, становится очевидна необходимость удаления из процесса окисленной поверхности не только с нижней части заготовки, но и с верхней.

В статье [3] исследован эффект распрессовки заготовки в желобе колеса (рис. 1) и показана необходимость приближения формы и площади сечения желоба к форме и площади заготовки сразу после обжатия роликом.

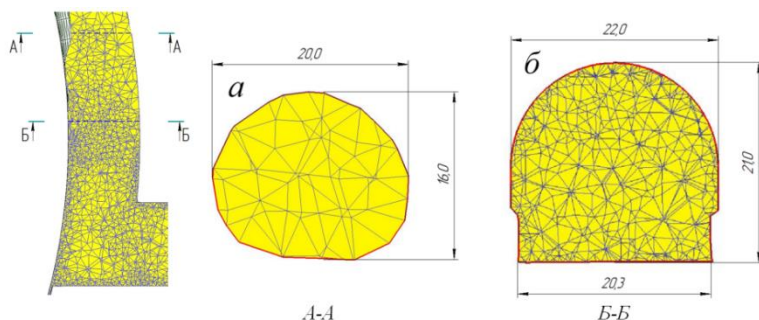


Рис. 1. Распрессовка заготовки перед переходом в форкамеру:  
*a* – сечение заготовки после обжатия роликом; *б* – сечение заготовки, распрессованной в желобе колеса

До распрессовки заготовка прижата к башмаку и имеется зазор между колесом и заготовкой (рис. 1, *a*). Эффект распрессовки приводит к тому, что заготовка «сминается», увеличивая свой периметр сечения и заполняя желоб колеса, поверхность заготовки разрывается и оксидная пленка «ломается». В дальнейшем, осколки этой оксидной пленки затягиваются в форкамеру и локализуются под поверхностью и в объеме пресс-изделия в виде «расслоений» [3].

Из практического опыта известно, что при прессовании данные дефекты фиксируются по всему объему шины, а закономерности их локализации не поддаются логичному теоретическому описанию. В работе [2] в ходе реального промышленного эксперимента подтверждается отсутствие каких-либо значительных закономерностей распределения поверхностных слоев заготовки в объеме металла после распрессовки.

Для снижения количества дефектов типа «расслоения» в пресс-изделиях предлагается два пути решения проблемы: первый – реализация схемы, предполагающей минимальную распрессовку заготовки в желобе колеса, второй – реализация схемы снятия облоя со всей поверхности заготовки.

Для реализации схемы «без распрессовки» было решено уменьшить высоту желоба путем увеличения толщины выступающей части башмака, закрывающей желоб. Таким образом, форма и площадь сечения заготовки после обжатия роликом практически стали совпадать с формой и площадью желоба, закрытого башмаком. Проблему снятия облоя с верхней части заготовки предложено решить путем добавления режущей кромки на внутренней поверхности башмака (рис. 2).

Для проверки предложенных решений было проведено МКЭ-моделирование процесса прессования медной шины размером 8x62 мм из заготовки диаметром 20 мм в программном комплексе DEFORM-3D. Чертежи и размеры инструмента соответствовали реальным машины CONFORM фирмы Dalian Konform Technical Co. Ltd с диаметром экструзионного колеса 400 мм.

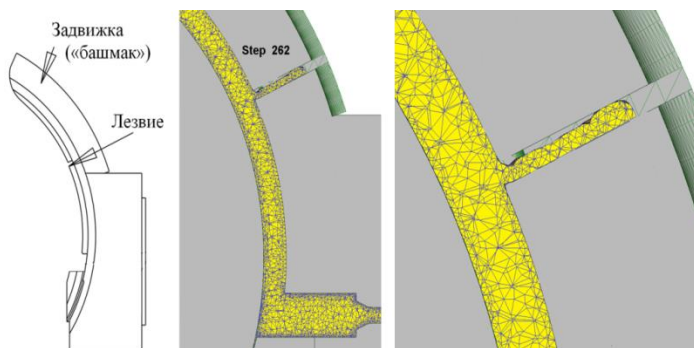


Рис. 2. Матричный узел с лезвием для снятия облоя с контакта «заготовка – башмак»

Рациональной можно считать схему снятия верхнего облоя до момента «распрессовки», то есть до момента, когда напряжения в очаге деформации увеличатся настолько, что металл начнет выдавливаться в облой, а не срезаться. Толщина снимаемого слоя регулируется геометрией и глубиной введения лезвия. Высота расположения лезвия зависит от геометрии канала и коэффициента трения.

Таким образом, в работе на компьютерной модели опробован способ снятия облоя с верхней поверхности заготовки. Способ позволяет значительно уменьшить процент попадания окисленной и дефектной поверхности заготовки в прессизделие на линии непрерывного прессования CONFORM. Предложенная в работе схема может позволить использовать в процессе CONFORM заготовку более низкого качества, имеющую за-

грязненный поверхностный слой, что в действующей классической схеме не допускается.

### Литература

1. Горохов Ю. В., Беляев С. В., Мочалин И. В., Усков И. В., Губанов И. Ю., Горохова Т. Ю., Храмов П. А. Моделирование в DEFORM-3D непрерывного прессования медных шин на установке Конформ с форкамерной матрицей. Журнал Сибирского федерального университета // Техника и технологии. 2016. № 9 (6). С. 821–829.

2. Шимов Г.В., Фоминых Р.В., Ефремова А.С., Ковин Д.С. Исследование траекторий течения непрерывнолитой меди при прессовании способом Conform. Цветные металлы. 2018. № 4. С. 79-85.

3. Shimov G.V., Bogatov A.A., Kovin D.S. FEM Simulation of Copper Busbar Pressing on the Continuous Extrusion Line "CONFORM". Solid State Phenomena. 2018. Vol. 278. pp. 158-165.

УДК 621.22.62-82

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТОГО НАСОСНОГО ПРИВОДА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА

*Байгузин М.Р., Пилипенко С.С., Потапенков А.П.*  
ФГБОУ ВПО «Норильский государственный индустриальный институт», г. Норильск, Россия  
E-mail: gekcozen\_n@mail.ru

Гидравлический привод машин имеет широкое распространение, благодаря своим преимуществам, к которым относятся надежность функционирования, возможность непосредственного получения поступательного движения и другие [1].

Важным достоинством насосного привода является его более высокий КПД (0,6...0,85). Другие преимущества – отсутствие постоянно высокого давления в системе, малые габариты, простое управление [1,2]. Широкое распространение гидравлический привод получил и в прессовых установках по обработке материалов давлением. В современных гидравлических прессах, распространённых в различных областях обработки материалов, как правило, используется маслонасосный привод. Для насосного привода установочная мощность насосов и электродвигателей определяется максимальной мощностью, развиваемой прессом, включающим максимальное усилие и подачу. Величина отдельных периодов движения траверсы пресса влияет на время работы пресса на максимальной нагрузке и на время холостого хода, при котором потребляемая мощность значительно меньше установочной мощности насоса. Так в прессах с большой длиной хода траверсы время холостого хода может составлять 50 % и более времени рабочего хода. Это приводит к недоис-

пользованию значительной установочной мощности насоса с электродвигателем, что является существенным недостатком насосного привода.

Для компенсации этого недостатка по возможности предусматривают кратковременную работу приводных электродвигателей насосов с перегрузкой, устанавливают насосы с несколькими ступенями давления и подачи, используют маховичный привод, снабжают привод мультипликатором и наполнительным баком.

Авторы предлагают повысить эксплуатационные показатели простого насосного привода с насосами постоянной подачи, сделав его редукторно-мультипликаторным [3]. Такой привод имеет равномерную загрузку насосов, меньшее рабочее давление насосов и как результат этого, меньшую установочную мощность приводных двигателей насосов. Указанный эффект имеет место как в одноцилиндровом так и многоцилиндровом приводе [3]. В первом случае при холостом ходе используется одинарный гидравлический редуктор, а при рабочем ходе – одинарный мультипликатор. Во втором варианте – сдвоенный редуктор и сдвоенный мультипликатор.

В работе рассмотрены два варианта перевода простого насосного привода в редукторно-мультипликаторный. Проведен анализ кинематических параметров.

### Литература

1. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов [Текст] / Н.С. Добринский. – М.: Машиностроение, 1975.-222с.
2. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов [Текст]. – М.: Машиностроение, 1991.-384с.
3. Разработка и исследование гидравлического редукторно-мультипликаторного привода металлургических машин [Текст] / А.П. Потапенков, С.С. Пилипенко, Ю.Г. Серебренников и др. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 2009. - №8. – с.54-59.

УДК 669

### ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ

*Мыльников С.В.<sup>1,2</sup>, Исхаков Р.Ф.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*ЗАО НПП «Машипром», г. Екатеринбург, Россия  
segav247@gmail.com*

На сегодняшний день в металлургической промышленности существуют традиционные процессы производства стальных труб, которые

при различных вариациях построения технологического процесса не пригодны для производства труб из цветных металлов и сплавов, ввиду проблемы ограниченного сортамента.

По существующей технологии, трубная заготовка, в виде полунепрерывнолитой заготовки сплошного сечения, прошивается в горизонтальном экструзионном прессе, а затем прессуется для последующей обработки в станах холодной прокатки труб или трубоволоочильных станах. Обзор применяемых технологических схем производства холоднодеформированных труб из цветных металлов и сплавов приведен в работе [1].

Для данной технологии требуется проведение промежуточных термообработок для восстановления пластичности. Для большинства сплавов меди необходим промежуточный рекристаллизационный отжиг после каждого прохода холодной деформации. Для минимального окисления поверхности изделия применяют печи с восстановительной азотородной атмосферой, что в свою очередь имеет достаточно высокую стоимость. Также необходимо оборудование для генерации защитной атмосферы, очистку и рециклинг, что в мелкосерийном производстве трудно окупаемо.

Для мелкосерийного производства подойдет новая технология производства труб, которая включает в себя совмещение прессования трубной заготовки на горизонтальном экструзионном прессе с редуционно-растяжной прокаткой. Схема и состав комплекса выглядит следующим образом: 1) полая заготовка под прессование формируется методом намораживания металла на кристаллизатор; 2) слиток подогрывается в индукционной печи, затем проходит через термос для выравнивания температуры по сечению; 3) производится прессование в трубную заготовку; 4) после прессования заготовка поступает в редуционно-растяжной стан без дополнительных нагревов; 5) производится ускоренное охлаждение в УКО в противопотоке воды; 6) калибровка размеров трубы в дополнительном волоочильном проходе.

Преимущества технологии с точки зрения энергосбережения и экологичности: 1) использование тепла литейного передела для горячей деформации на начальных этапах производства; 2) отсутствие потерь металла на мехобработку и обрезки захватом при многократном волочении; 3) отсутствие отжига в защитной атмосфере и кислотных ванн для травления.

В качестве показателей энергоэффективности производства труб по данной технологии приведем сравнение с типовой технологической схемой производства труб [2].

## Удельный расход энергии

Технологическая операция	Удельный расход энергии, кВт*ч/т	
	Типовая технология	Предлагаемая технология
Нагревательная печь	508	–
Прошивной пресс литой заготовки	30	–
Индукционный нагрев перед прессованием	610	400
Прессование на горизонтальном экструзионном прессе	42	42
Травление поверхности заготовки	26	–
Редукционно-растяжная прокатка	–	38
Волочение в холодном состоянии	40	5
Итого:	1256	485

Данное сокращение удельных затрат энергии при производстве труб частично решает вопросы энергосбережения, а отсутствие применения опасных и вредных стадий производства с образованием активных отходов, таких как кислотные растворы ванн травления, отходы операций фосфатирования и др., решает вопросы экологического характера.

### Литература

1. Зиновьев А.В., Колпашиников А.И. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашиников, П.И. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
2. Хензель, А. Оптимизация расхода энергии в процессах деформации / А. Хензель, Т. Шпитгель, М. Шпитгель и др. – М.: Металлургия, 1985. – 184 с.

УДК 669

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Константинов Д.В., Корчунов А.Г.  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
const\_dimon@mail.ru*

Сталь с перлитной структурой является классическим примером наноструктурированного металлического материала [1-5]. При этом главными свойствообразующими процессами в ходе волочения такой стали являются утонение цементитных пластин; изменение межпластиночного расстояния в перлитных колониях и металлографической текстуры; локализация микродеформации [6-9]. Вследствие высокой ответ-

ственности целевого назначения изделий из перлитной проволоки актуальным вопросом является учет указанных особенностей эволюции микроструктуры при проектировании технологий обработки таких сталей.

Был исследован процесс девятикратного волочения перлитной стали согласно следующему маршруту с суммарной степенью деформации ~88%:

$12,00^{24,6}$   $10,42^{23,69}$   $11^{22,5}$   $8,02^{21,67}$   $10^{20,0}$   $6,35^{20,8}$   $5,65^{19,8}$   $5,06^{19,1}$   $4,55^{18,8}$   $4,10$ .

Микроструктура патентированной заготовки перед волочением имеет ряд характерных участков (рис.1): А) с цементитными пластинами, параллельными относительно оси волочения; В) с цементитными пластинами, перпендикулярными относительно оси волочения; С) цементитные пластины располагаются под определенным углом относительно оси волочения; D) мелкодисперсные включения преимущественно эллипсоидной формы; Е) продолговатые, значительно искривленные пластины в областях скопления феррита. Для дальнейшего исследования были подготовлены следующие репрезентативные объемы (рис.2).

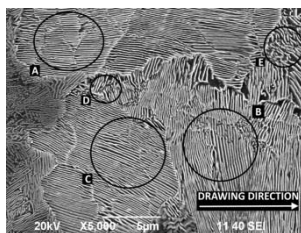


Рис. 1. Вид исходной микроструктуры стали после процесса патентирования

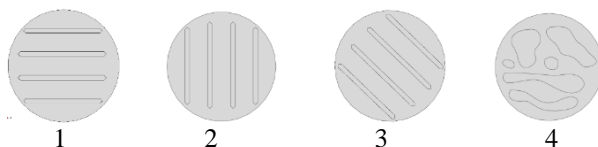


Рис. 2. Общий вид репрезентативных объемов:

- 1 – цементитные пластины параллельны оси волочения;
- 2 – цементитные пластины перпендикулярны оси волочения;
- 3 – цементитные пластины под углом  $45^\circ$  к оси волочения;
- 4 – мелкодисперсные цементитные участки

Установлено, что цементитные пластины, которые были параллельными оси волочения, испытывают максимальное утонение и изменение межпластиночного расстояния. Пластины цементита, которые были перпендикулярны оси волочения, наиболее подвержены разрушению. Однако установлено, что при определенных значениях межпластиночно-

го расстояния этот эффект может снижаться. В случае расположения перлитной колонии под углом к оси волочения наблюдалась их интенсивная переориентация относительно оси волочения. При этом наблюдались значительный изгиб цементитных пластин и их подверженность фрагментации.

### Литература

1. Hohenwarter A. Ultra-Strong and Damage Tolerant Metallic Bulk Materials: A Lesson from Nanostructured Pearlitic Steel Wires. *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6. DOI:10.1038/srep33228

2. Влияние толщины перлита на механические свойства, деформационное поведение и характеристики разрушения углеродистой стали / В.И. Изотов, В.А. Поздняков, Е.В. Лукьяненко и др.// *Физика металлов и металловедение*. – 2007. - Вып.103. - С.519-529.

3. Toribio J. Role of the Microstructure on the Mechanical Properties of Fully Pearlitic Eutectoid Steels. *Fracture and Structural Integrity related Issues*, 2014, vol. 30, pp. 424-430.

4. Tomota Y., Suzuki T., Kanie A. In Situ Neutron Diffraction of Heavily Drawn Steel Wires with Ultra-High Strength Under Tensile Loading. *Acta Mater.*, 2005, vol. 53, pp. 463-467.

5. Shibanuma K., Aihara S., Ohtsuka S. Observation and Quantification of Crack Nucleation in Ferrite-Cementite Steel. *ISIJ International*, 2014, Vol. 54, pp. 1719–1728.

6. Zelin M. Microstructure Evolution in Pearlitic Steels During Wire Drawing. *Acta Mater.*, 2002, vol. 50, pp. 4431-4447.

7. Suliga M., Kruzal R., Garstka T., Gazdowicz J. The Influence of Drawing Speed on Structure Changes in High Carbon Steel Wires. *METABK* 54, 2015, vol. 1, pp. 161-164.

8. Brandaleze E. Structural Evolution of Pearlite in Steels with Different Carbon Content under Drastic Deformation during Cold Drawing. *Procedia Materials Science*, 2015, vol. 8, pp. 1023 – 1030.

9. Gerstein G., Nürnberger F. Structural Evolution of Thin Lamellar Cementite During Cold Drawing of Eutectoid Steels. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 81, pp. 694 – 699.



## ВЫБОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУНТОВОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

*Петров И.М.<sup>1</sup>, Полякова М.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Филиал ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Белорецк, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

*petrov.mgtu@gmail.com*

На сегодняшний день актуальной задачей российской металлургической промышленности является повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции. Для решения данной задачи необходимо использовать передовые эффективные производственные процессы, позволяющие получать качественную продукцию, соответствующую мировому уровню при минимальных затратах [1].

Арматурная сталь является массово производимым видом металлургической промышленности поскольку в последнее время в России отмечен рост объемов строительства. В связи с этим возрастает необходимость в высококачественной арматурной стали [2]. Это предполагает производство и применение бунтовой арматуры в комплексе следующих свойств [3]:

1. Классы прочности 400, 500 и 600 Н/мм<sup>2</sup>.
2. Категории пластичности в соответствии с Eurocode 2 «А», «В» и «С».
3. Минимизация операций термической обработки за счет применения способов упрочнения арматурной стали, в особенности для категории «С».
4. Поставка преимущественно в бухтах рядной смотки.
5. В интервале диаметров от 4 до 10 мм номинальный размер через 0,5 мм, в интервале размеров от 10 до 16(18) мм – через 1,0 мм.
6. Форма и параметры периодического профиля должны обеспечивать высокие показатели сцепления и формироваться при горячей прокатке.
7. Обеспечение свариваемости арматурной стали не только благодаря низкому содержанию углерода, но и благодаря содержанию легирующих элементов.
8. Коррозионностойкость и морозоустойчивость арматуры.

В работе [4] приведены рекомендуемые способы упрочнения арматурной стали для различных категорий пластичности.

Категория «А» ( $Agt > 2,5\%$ ) – холодная обработка горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля в потоке производства со степенью деформации более 20%.

Категория «В» ( $Agt > 5,0\%$ ) – горячая прокатка с последующим контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана, холодная обработка горячекатаного проката периодического профиля в потоке производства со степенью деформации менее 5%.

Категория «С» ( $Agt > 7,5\%$ ) – горячая прокатка легированной стали без контролируемого охлаждения в потоке прокатного стана, холодная обработка горячекатаного проката периодического профиля в потоке производства со степенью деформации менее 5%.

Для производства конкурентоспособной арматурной стали целесообразно иметь возможность численно оценить разные варианты производственных процессов и выбрать из них наиболее рациональный. На сегодняшний день существует большое количество методов, позволяющих оценивать производственные процессы [5]. Существующие на сегодняшний день методы не всегда позволяют судить о многих показателях производственных процессов. Предлагаемая методика рассматривает конкурентоспособность производственного процесса как сумму трёх показателей:

$$I = \alpha_1 Q + \alpha_2 E + \alpha_3 C,$$

где  $Q$  – показатель прогрессивности и качества продукции;

$E$  – показатель прогрессивности применяемых технологий;

$C$  – показатель затрат на производство.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – коэффициенты весомости  $Q, E, C$ .

Показатели  $Q, E, C$  определяются как комплексные квалиметрические показатели.

### Литература

1. Харитонов В.А. Выбор конкурентоспособных производственных процессов изготовления бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров. // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. – 2016. – № 22. – С. 67–73.
2. Беленький Д.М. О прочностных возможностях арматурной стали / Д.М. Беленький, Н.Л. Вернези, Е.Е. Косенко. // Бетон и железобетон. – 2004. – № 3. – С. 17–21.
3. Дорохин П.С. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен / П.С. Дорохин, В.А. Харитонов. // Стройметалл. – 2012. – № 3. – С. 14–23.
4. Снимщиков С.В. Взгляд в будущее / С.В. Снимщиков, В.А. Харитонов, И.Н. Суриков, и др. // Стройметалл. – 2013. – № 5. – С. 7–13.
5. Харитонов В.А. Оценка эффективности производственного процесса изготовления бунтовой арматурной стали на основе системного подхода / В.А. Харитонов, И.М. Петров. // ФГБОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». – Магнитогорск, 2013. – 39 с.: ил. Библиогр. 49 назв. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 07.06.2013 № 160-В2013

## **ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ВОЛОЧЕНИЕ СО СДВИГОМ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА**

*Рааб А.Г.<sup>1</sup>, Полякова М.А.<sup>2</sup>, Рааб Г.И.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, Россия*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия  
agraab@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований и анализа перспективной схемы интенсивной пластической деформации, которая реализует условия немонотонного воздействия при сдвиговой деформации длинномерных металлических материалов [1]. В работе показана эффективность предлагаемого метода интенсивной пластической деформации для формирования градиентного ультрамелкозернистого состояния в длинномерных заготовках на примере технически чистого титана и продвижения его дальнейшего развития для возможных промышленных применений. Предлагаемый метод «Волочение со сдвигом» [2], совмещающий в очаге деформации схему сдвига и растяжения, весьма перспективен для получения УМЗ структур в длинномерных прутковых заготовках. Исследование построено на анализе деформированного состояния и характера течения материала, используя компьютерное моделирование и физический эксперимент на примере обработки прутка технически чистого титана. Основная цель исследования – выявление прикладного потенциала предлагаемого метода интенсивной пластической деформации.

В качестве материала исследования использовался технически чистый титан. В состоянии поставки материал характеризовался хорошо отожженной структурой зерна со средним диаметром зерна около 25 мкм. Исходные горячекатаные прутки диаметром 10 мм имеют предельную прочность на растяжение 345 МПа, предел текучести составляет 275 МПа и относительное удлинение до 20%.

Деформация длинномерных прутков методом «Волочение со сдвигом» осуществляется путем волочения через две составные волокна с эксцентричным рабочим каналом и одновременным вращением одной из волокон с заданной угловой скоростью. Образцы подвергали деформации с диаметра 10 мм до диаметра 8,5 мм при комнатной температуре за один проход.

Компьютерное моделирование метода «Волочение со сдвигом» проводили с использованием программного пакета «DEFORM-3D», специализированного для решения задач обработки металлов давлением. Материалом исследования служили технический титан. Температура обработки – комнатная.

Волочение со сдвигом позволяет обеспечить высокий уровень деформации и интенсивное измельчение исходной структуры в периферийных областях деформированных заготовок, за счет реализации крайне немонотонного характера деформации, обеспеченного одновременным воздействием в очаге деформации схем сдвига и растяжения.

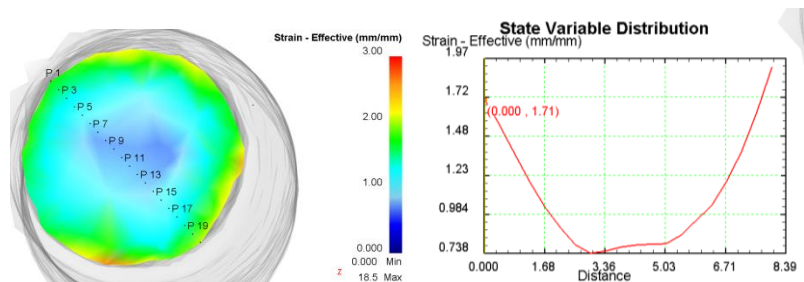


Рис. 1. Характер распределения деформации при волочении технически чистого титана при комнатной температуре

Исследование микроструктуры объемной заготовки технически чистого титана после термической обработки и ИПД «Волочением со сдвигом» представлены на рисунке 2. В поперечном сечении образца титана после деформации наблюдается явно неоднородное распределение зёрен по объёму прутка.

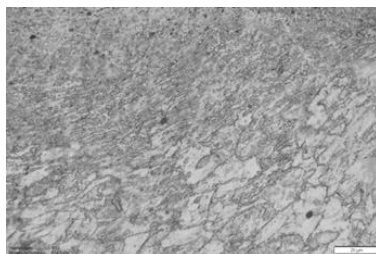


Рис. 2. Градиентная микроструктура образца технически чистого титана после «Волочения со сдвигом»

По результатам проведенных экспериментов определено, что использование схемы деформации реализуемой методом «Волочения со сдвигом» приводит к значительному, в 2- раза, повышению уровня накопленной деформации в периферийных областях заготовки после одного цикла обработки по сравнению с традиционным волочением в классических волоках.

При этом накопленный уровень деформации за один цикл обработки, в поперечном сечении заготовки, составляет от  $\epsilon=0.7$  до  $\epsilon=1.9$ .

Однако накопленная деформация имеет градиент распределения от минимального значения в центре заготовки до максимального на периферии.

### **Литература**

1. Utyashev, F. Z. Deformation Methods for Fabrication and Processing of Ultrafine-Grained and Nanostructured Materials / F.Z. Utyashev, G.I. Raab. - Ufa: Gilem, 2013. - 376 p.
2. Raab, G. I. Analysis of shear deformation scheme efficiency in plastic structure formation processes / G.I. Raab, A.G. Raab, V.G. Shibakov // *Metallurgija*. – 2015. – Vol. 54 (2). – P. 423-425.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Фундаментальные проблемы обработки металлов давлением в условиях смены технологического уклада .....</b>	<b>3</b>
<b>Бирюкова О.Д., Песин А.М., Пустовойтов Д.О.</b> Исследование деформированного состояния алюминиевых сплавов 1070, 2024 и 5083 при асимметричной и пакетной прокатке методом конечных элементов .....	3
<b>Трубесев Е.А., Салихьянов Д.Р.</b> Оценка износа молотовых штампов при горячей объемной штамповке с использованием компьютерного моделирования .....	5
<b>Самчук А.П.</b> Исследование реологических характеристик деформированных полуфабрикатов из малопластичных алюминиевых сплавов, полученных методами совмещенной обработки .....	7
<b>Думова Л.В., Уманский А.А., Головатенко А.В.</b> Экспериментальные исследования сопротивления пластической деформации хромистой рельсовой электростали .....	9
<b>Гущина М.С., Полецков П.П., Никитенко О.А., Алексеев Д.Ю., Мишуков М.В.</b> Исследование влияния никеля на структурно-фазовые превращения и свойства высокопрочной хладостойкой стали .....	11
<b>Панин Е.А., Найзабеков А.Б., Мухаметкалиев Б.С., Лежнев С.Н.</b> Изучение напряженно-деформированного состояния шаровой заготовки при прокатке её на шаропрокатном стане 30-60 .....	13
<b>Хаматов Д.Д., Логинов Ю.Н.</b> Снижение теплового воздействия на окружающую среду в прокатном производстве .....	15
<b>Макарова П.В., Анцупов В.П., Анцупов А.В., Анцупов А.В., Слободянский М.Г.</b> Методика прогнозирования ресурса валковых систем кварто .....	18
<b>Кондрашов С.А., Голубчик Э.М., Кондрашова Ю.Н.</b> Исследование технологических аспектов получения автолиствого проката повышенного качества в условиях стана 2500 холодной прокатки .....	21
<b>Фадеев В.А.</b> Анализ формоизменения листовой заготовки с учетом не полного контакта с рабочим инструментом .....	23
<b>Тухватулин И.Х., Потапов М.Г., Михайлов А.В.</b> Опыт производства центробежнолитых листопркатных валков для станов горячей прокатки в условиях ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков» .....	25

<b>Та Динь Суан, Гамин Ю.В.</b> Компьютерное моделирование процесса прокатки ступенчатых заготовок .....	27
<b>Пузанов М.П., Логинов Ю.Н.</b> Параметры нейтрального сечения при холодной листовой прокатке кремнистой стали .....	29
<b>Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Орлов В.В.</b> Исследование формы и размеров поперечного сечения плоской заготовки при осадке.....	31
<b>Водопьянова О.В., Непряхин С.О.</b> Влияние натяжения на энергосиловые параметры при сортовой прокатке.....	34
<b>Снегирёв И.В., Логинов Ю.Н.</b> Влияние кинематической вязкости смазочно-охлаждающей жидкости на усилие холодной прокатки алюминиевого сплава.....	36
<b>Тарасов П.С., Голубчик Э.М., Тарасова К.А., Лукьянчиков Д.Ю.</b> Исследование технологических аспектов производства высокопрочной двухфазной стали.....	37
<b>Замараева Ю.В., Логинов Ю.Н.</b> Оссимметричная задача листовой штамповки в 3d постановке.....	40
<b>Инновационные технологии и материалы обработки металлов давлением .....</b>	42
<b>Толкушкин А.О., Богатов А.А., Князев С.В.</b> Новое научное оборудование на кафедре ОМД УРФУ .....	42
<b>Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Константинов Д.В.</b> Исследование возможности управления конечными свойствами горячекатаной дроссированной ленты .....	44
<b>Якивбюк О.В., Довженко И.Н., Белоконова И.Н.</b> Разработка инновационной технологии горячей и холодной прокатки листовых полуфабрикатов из нового алюминиевого сплава, экономно легированного скандием .....	45
<b>Уманский А.А., Головатенко А.В.</b> Анализ и совершенствование режимов производства железнодорожных рельсов в условиях современного универсального рельсобалочного прокатного стана.....	47
<b>Песин И.А., Чукин М.В.</b> Новая технология производства крупногабаритных деталей с криволинейной поверхностью на толстолистовом прокатном стане на основе совмещенного процесса прокатки и штамповки металла .....	50

<b>Устинова Е.И., Михайленко А.М., Шварц Д.Л.</b>	
Выбор оптимальной схемы калибровки валков для прокатки швеллеров .....	52
<b>Стругов С.С., Иванов В.А.</b>	
Разработка технологии малоотходной безуклонной горячей объемной штамповки воротниковых фланцев на основе комбинированной схемы деформации «раздача-выдавливание» .....	54
<b>Губанов С.А.</b>	
Анализ текущего состояния производства и варианты повышения качества электролуженой жести в условиях ПАО «ММК» .....	57
<b>Салихьянов Д.Р., Ивлева Т.С., Хаматов Д.Д., Мыльников С.В., Грехов С.К.</b>	
Анализ технологии штамповки фланцев с применением средств компьютерного моделирования .....	59
<b>Новоселов А.Э., Песин А.М., Дрегун Э.М., Пустовойтов Д.О.</b>	
Повышение прочности толстолистового металла путем создания продольных ребер жесткости .....	61
<b>Крискович С.М., Романенко В.П.</b>	
Инновационный технологический процесс изготовления полой вагонной оси .....	63
<b>Будников А.С., Сабуркин В.Д.</b>	
Исследование процесса редуцирования труб в трехвалковых станах винтовой прокатки .....	64
<b>Грехов С.К., Логинов Ю.Н.</b>	
Нагружение ячеистой структуры из титанового сплава при неравноосном выполнении ячеек .....	65
<b>Кузнецова А.С., Полецков П.П., Гущина М.С., Никитенко О.А., Мальков М.В., Емалеева Д.Г.</b>	
Исследование влияния режимов термической обработки на механические свойства экономнолегированной стали типа MAGSTRONG W700 .....	67
<b>Шимов Г.В., Завалин А.А.</b>	
Оптимизация схемы непрерывной экструзии CONFORM применением обрезки облоя по всей поверхности заготовки .....	69
<b>Павлов Д.А., Богатов А.А., Павлова Е.А., Владимиров А.В.</b>	
Исследование влияния калибровки инструмента на формоизменение металла при прокатке труб .....	73
<b>Постыляков А.Ю., Логинов Ю.Н., Инатович Ю.В.</b>	
Влияние натяжения на напряженно-деформированное состояние задней внешней зоны при горячей сортовой прокатке меди .....	75



<b>Гулин А.Е., Полякова М.А.</b> Исследование особенностей комбинированной деформационной обработки проволоки на основе процесса волочения .....	77
<b>Шангин И.Н., Ерпалов М.В.</b> Влияние калибровки валков трехвалкового обжимного стана на однородность деформации металла по сечению заготовки в нестационарных стадиях прокатки .....	79
<b>Столяров Ф.А., Барышников М.П., Бойко А.Б., Носов Л.В., Лопатина Е.В.</b> Исследование влияния неоднородности структуры на мезоуровне на напряженно деформированное состояние при обработке давлением на примере процесса холодного волочения стальной проволоки .....	81
<b>Развитие теорий и технологий глубокой переработки металлов и сплавов .....</b>	<b>85</b>
<b>Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А.</b> Повышение конкурентоспособности пружинной проволоки совершенствованием технологии ее производства .....	85
<b>Ковин Д.С., Фоминых Р.В., Шимов Г.В.</b> Течение металла в очаге деформации при непрерывной экструзии медных шин способом CONFORM .....	87
<b>Арбуз А.С., Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А.</b> Исследование эволюции микроструктуры стали AISI1015 при радиально-сдвиговой прокатке с использованием программного комплекса SIMUFACT.FORMING и базы данных материалов MATILDA .....	89
<b>Замараев В.А., Логинов Ю.Н.</b> Физическое моделирование обратного выдавливания заготовки из легкого сплава .....	91
<b>Фаизов С.С., Радионова Л.В.</b> Лабораторный автоматизированный волочильный стан для исследования процесса волочения проволоки .....	93
<b>Усанов М.Ю., Харитонов В.А.</b> Направления повышения конкурентоспособности углеродистой проволоки больших диаметров .....	96
<b>Вахитов А.Р., Гун Е.И.</b> Моделирование процесса опрессовки внутренних рулевых наконечников .....	97

<b>Янсаитова М.И., Шехтман С.Р., Полякова М.А.</b> Повышение качества покрытий, получаемых осаждением из вакуумно-дугового разряда, на основе разработки показателей, рекомендованных к стандартизации .....	99
<b>Базыков А.Р.</b> Совершенствование технологии изготовления болтов для рельсовых стыков методом холодной штамповки с целью получения необходимых механических свойств.....	102
<b>Торголин К.С., Широков В.В.</b> Моделирование операций обработки давлением при производстве штампо-сварных деталей трубопровода .....	105
<b>Деметрашвили И.С., Хоанг М.Ж.</b> Совершенствование технологического процесса изготовления тонколистовых заготовок для объемной штамповки на основе моделирования.....	106
<b>Труфанов С.А., Аникеенко А.С.</b> Компьютерное моделирование процесса протяжки полых гильз и труб в калибрах .....	108
<b>Пузанов М.П., Логинов Ю.Н., Хаматов Д.Д.</b> Влияние натяжения полосы на положение нейтрального сечения при холодной прокатке кремнистой стали.....	110
<b>Ковин Д.С., Фоминых Р.В., Шимов Г.В.</b> Оптимизация схемы непрерывной экструзии CONFORM применением обрезки облоя по всей поверхности заготовки .....	112
<b>Байгузин М.Р., Пилипенко С.С., Потапенков А.П.</b> Совершенствование простого насосного привода гидравлического пресса .....	115
<b>Мыльников С.В., Исхаков Р.Ф.</b> Вариант технологии для мелкосерийного производства труб .....	116
<b>Константинов Д.В., Корчунов А.Г.</b> Исследование поведения микроструктуры перлитной стали при волочении на основе мультимасштабного моделирования ....	118
<b>Петров И.М., Полякова М.А.</b> Выбор конкурентоспособных производственных процессов изготовления бунтовой арматурной стали.....	121
<b>Рааб А.Г., Полякова М.А., Рааб Г.И.</b> Формирование градиентной структуры методом волочение со сдвигом на примере технического чистого титана .....	123

Научное издание

## **MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2018**

Материалы III международной  
молодежной научно-практической конференции

Под редакцией А.Г. Корчунова

Издается полностью в авторской редакции

Подписано в печать 31.05.2018. Рег. № 98-18. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. №1.  
Плоская печать. Усл.печ.л. 8,25. Тираж 100 экз. Заказ 204.



Издательский центр ФГБОУ ВО «МГУ им. Г.И. Носова»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГУ им. Г.И. Носова»