

ОБРАБОТКА СПЛОШНЫХ И СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

№ 1 (39) декабрь 2013 г.

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

Издается с октября 1970 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

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

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

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

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

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

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

Главный редактор:

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

Зам. главного редактора:

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

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

Технический редактор: *Л.В. Джерыкина*

© Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, 2013

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

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

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

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

Подписано к печати 30.12.13. Заказ 728. Тираж 500 экз. Цена свободная

PROCESSING OF SOLID AND LAMINATE MATERIALS

№1 (39) December 2013

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

Published since October, 1970

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

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

Members of editorial team:

A.A. Minaev - corresponding member of NAN of Ukraine, Honoured master of sciences and engineering of Ukraine, D.Sc. in engineering, prof, rector of Donetsk national technical university.

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

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

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

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

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

Editor-in-chief:

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

Deputy chief editor:

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

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

Technical editor: *L.V. Dgeryjkina*

© Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013

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

Editorship address:

455000, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38

Phone number: (3519) 29-85-26. Fax (3519) 29-85-26

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

Printed in the Printing NMSTU area. Signed for press 2013.12.30.

Order 728. Circulation 500 items. Free price

СОДЕРЖАНИЕ

Громов В.Е., Волков К.В., Иванов Ю.Ф., Райков С.В., Гришунин В.А., Коновалов С.В., Морозов К.В. Формирование структурно-фазовых состояний рельсовой стали электронно-пучковой обработкой.....	9
Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Аникина В.И., Rogовой А.А. Особенности формирования структуры и свойств при получении проволоки из стружковой смеси меди с цинком.....	15
Окулов Р.А., Паршин С.В. Определение степени влияния угла наклона обжимного участка рабочего инструмента на энергосиловые параметры процесса волочения профильных труб и на геометрию получаемой продукции.....	22
Чукин М.В., Песин А.М., Концева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю., Торбус Н. Экспериментальное исследование влияния деформации на микроструктуру и механические свойства биметалла (Ti-Ni).....	28
Бурмистрова Е.А., Шубин И.Г., Кургузов С.А., Мельник Н.И. Определение граничных условий эксперимента по определению критических напряжений сопротивления деформации.....	33
Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Методика расчета режимов деформации при радиально-сдвиговой протяжке.....	40
Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Напряженно-деформированное состояние переходной зоны биметаллического проката.....	43
Гурьянов Г.Н. Оптимальные углы волочения и возможность нулевого прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения.....	49
Столяров А.Ю., Мелихова Н.В. Оценка напряженного состояния латунного покрытия высокоуглеродистой проволоки при волочении.....	56
Курмачев Ю. Ф., Соколов Р. Е., Высотина А. А. Расчет продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов.....	60
Чукин М.В., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Медведева Е.М. Разработка инновационной технологии производства высокопрочных инварных сплавов нового поколения.....	65
Гурьянов Г.Н. К разработке эффективного процесса волочения с противонапряжением круглой сплошной заготовки через волокна с различной формой профиля рабочего канала.....	70

Бахматов Ю.Ф., Дранеко Н.В., Тимиргалеев К.Р., Лебедева И.Г.	
Конструирование оборудования технологической линии нанесения металлических покрытий из расплава, позиционированного в пространстве магнитным полем.....	77
Стеблянко В.Л., Асадуллина Г.З., Сафонова О.П., Пономарев А.П.	
Исследование процессов миграции токсичных элементов с внутренней поверхности металлической тары в консервированные продукты.....	80
Харитонов В.А.	
Повышение эффективности производства стальной проволоки волочением.....	82
Бахматов Ю.Ф., Пащенко К.Г., Абдулин Э.М., Ежов О.В., Смирнов Н.В.	
Технологические основы пластической обработки катанки в совмещенном процессе с воздействием ультразвуком.....	89
Блондинская Е.Б., Шубин И.Г.	
Исследование возможностей технологии комбинирования поперечно-винтовой прокатки и волочения при изготовлении длинномерных изделий на основе моделирования в программном комплексе DEFORM-3D.....	93
Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г.	
Анализ технологических схем волочения шестигранного профиля.....	96
Носков С.Е., Пудов Е.А., Ситниченко О.А., Шиморенко И.В.	
Отработка технологии изготовления заклепок с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ».....	102
Файзулина Р.В., Молева О.Н., Кашиникова Ю.А., Радюкевич Е.В.	
К вопросу о дефектах поверхности жести.....	106
Безукладников А.И., Паршин С.В.	
Разработка устройства для раздачи труб.....	109
Харитонов В.А., Таранин И.В.	
Изучение напряженного состояния и разрушения металла при производстве проволоки различными способами ОМД.....	112
Рефераты.....	121
Reports.....	127
Сведения об авторах.....	132
The information about the authors.....	135

CONTENTS

Gromov V.Ye., Volkov K.V., Ivanov Y.F., Raikov S.V., Grishunin V.A., Kononov S.V., Morosov K.V. Rail Steel Phase State Forming by Electron-Beam Processing.....	9
Zagirov N.N., Ivanov Ye.V., Anikina V.I., Rogovoi A.A. Features of Structure and Properties Forming in the Process of Wire Production from Turnings Mixture of Copper and Zinc.....	15
Okulov R.A., Parshin S.V. Determination of Work Tool Reducing Region Pitch Angle Influence on Power Input Parameters of Shaped Tube Drawing Process and on Finished Product Geometry.....	22
Chukin M.V., Pesin A.M., Kopceva N.V., Nikitenko O.A., Efimova Yu.Yu., Torbus N. The experimental research of deformation influence on a microstructure and mechanical properties of bimetal (Ti, Ni).....	28
Burmistrova E.A., Shubin I.G., Kurguzov S.A., Melnik N.I. Boundary Conditions Calculation of the Experiment Aimed at Determination of Critical Deformation Stress.....	33
Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Calculation of Deformation Pattern at Radial Displacement Drawing.....	40
Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Stress and Strain State of the Bimetal Rolled Stock Interface Region.....	43
Guryanov G.N. Optimal Drawing Angles and Feasibility of Zero Longitudinal Stress Increase Due to Back Tension Application.....	49
Stolyarov A.Yu., Melikhova N.V. Stress State Estimation of High Carbon Wire Brass Coating During Drawing.....	56
Kurmachev Yu.F., Sokolov R.Ye., Visotina A.A. Physical Profile Calculation of Reduction Area in the Process of Cold Deformed Bar Rolling of Aluminum Alloy Tubes.....	60
Chukin M.V., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Medvedeva E.M. Development of Innovative Technology for the New Generation High Strength Invar Alloys.....	65
Guryanov G.N. Development of Efficient Back-Tension Drawing Process for Solid Round Billets through Dies with Different Shapes of Die Channel.....	70
Bakhmatov Yu.F., Drapeko N.V., Timirgaleev K.R., Lebedeva I.G. Design of Production Line Facilities for Metal Coating from the Melt Oriented By Magnetic Field.....	77
Steblyanko V.L., Asadulina G.Z., Safonova O.P., Ponomarev A.P. The Study of Toxic Elements Migration from the Internal Surface of Cans into Canned Goods.....	80
Kharitonov V.A. Improvement of Steel Wire Production Efficiency Obtained by Drawing.....	82
Bakhmatov Yu.F., Patschenko K.G., Abdulin E.M., Ezhov O.V., Smirnov N.V. Technological Basics of Wire Rod Pressure Shaping in the Combined Process with Ultrasonic Exposure.....	89

Blondinskaya Ye.B., Shubin I.G.	
Helical Rolling and Drawing Modeling for Combination Rolling Mill Practice in the Process of Long Components Production.....	93
Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G.	
Technological Drawing Scheme Analysis of Hexagonal Section.....	96
Noskov S.E., Pudov E.A., Sitnichenko O.A., Shimorenko I.V.	
Production Process of Button Head Rivets 16X65 According to GOST 10299-80 at “MMK-METIZ” Production Facilities.....	102
Faizulina R.V., Moleva O.N., Kachnikova Yu.A., Radyukevich E.V.	
About tin plate surface defects.....	106
Bezukladnikov A.I., Parshin S.V.	
Development arrangement for pipe diameter enlarging.....	109
Haritonov V.A., Taranin I.V.	
Research of stress condition and destruction at the production of metal wire be different metall forming methods.....	112
Рефераты.....	121
Reports.....	127
Сведения об авторах.....	132
The information about the authors.....	135

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

**Громов В.Е.¹, Волков К.В.², Иванов Ю.Ф.³, Райков С.В.¹,
Гришунин В.А.², Коновалов С.В.¹, Морозов К.В.⁴**

¹ФНБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

г. Новокузнецк, Россия

²ОАО «Евраз Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,

г. Новокузнецк, Россия

³Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

⁴Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

Введение

Одним из перспективных методов целенаправленной модификации структурно-фазового состояния поверхностного слоя металлов и сплавов является электронно-пучковая обработка (ЭПО), обладающая большими возможностями для контроля количества подводимой энергии, создания большой площади воздействия концентрированного потока энергии на обрабатываемый материал, малыми коэффициентами отражения энергии, высокой концентрацией энергии в единице объема материала [1]. Принципиально важной особенностью модификации поверхностного слоя низкоэнергетическими высокоинтенсивными электронными пучками является отсутствие выраженной поверхности раздела между модифицированным слоем и объемом материала, что определяет хорошие демпфирующие свойства материала при механических и температурных внешних воздействиях, предотвращая преждевременное зарождение и распространение с поверхности в основной объем материала хрупких микротрещин, приводящих к разрушению.

Поскольку усталостное разрушение начинается преимущественно с поверхности, то упрочнение поверхностного слоя способно привести к повышению усталостных характеристик. Эта проблема особенно важна для рельсовой стали, поскольку формирование усталостных дефектов при эксплуатации является одной из основных причин выхода рельсов из строя.

Ранее в наших работах [2-7] было установлено, что ЭПО значительно повышает усталостный ресурс нержавеющей и рельсовой сталей. В настоящей работе выполнен сравнительный анализ при усталостном нагружении структурно-фазовых состояний рельсовой стали в исходном состоянии и после ЭПО и их эволюция при усталостном разрушении.

Материал и методы исследования

В качестве материала исследования использовалась рельсовая сталь Э76Ф, образцы из которой подвергались нагреву до 1173 К (2 ч) с последующим охлаждением с печью. Модификацию поверхностного слоя стали осуществляли высокоинтенсивным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия. Режим ЭПО: энергия электронов $eU = 18$ кэВ; длительность импульса воздействия пучка электронов $\tau = 50$ мкс; количество импульсов воздействия $N = 3$; частота следования импульсов $f = 0,3$ Гц; плотность энергии пучка электронов $E_S = 30$ Дж/см².

Исследования структурно-фазового состояния и дефектной субструктуры стали осуществляли на расстояниях 0, 10, 40, 100 мкм от поверхности ЭПО методами просвечивающей дифракционной (метод тонких фольг) электронной микроскопии. Для идентификации фаз применялся микродифракционный анализ с использованием темнопольной методики и

последующего индицирования микроэлектроннограмм [8-10]. Морфологию поверхности облучения и поверхность разрушения образцов исследовали методами сканирующей электронной микроскопии.

Как и в [2-7] усталостные испытания проводили на специальной установке по схеме циклического асимметричного консольного изгиба. Напряжение циклической нагрузки – 20 МПа, частота нагружения – 20 Гц, температура испытания – 296 К. При испытаниях определялось число циклов до полного разрушения образцов с размерами $8 \times 15 \times 145 \text{ мм}^3$ и концентратором напряжений в виде полукруглого выреза радиусом 10 мм.

Обсуждение полученных результатов

Термическая обработка стали привела к образованию поликристаллической структуры, представленной зернами структурно свободного феррита и зернами перлита преимущественно пластинчатой морфологии. В небольшом количестве в исследуемой стали присутствует, так называемый «псевдоперлит». Зерна феррита содержат дислокационную субструктуру в виде сеток, либо в виде хаотически расположенных дислокаций. Скалярная плотность дислокаций $\sim 4 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Вблизи границ и стыков границ зерен выявляются области с фрагментированной субструктурой; размеры фрагментов изменяются в пределах от 0,3 до 0,4 мкм. В зернах феррита обнаруживается полосовая субструктура и субзерна. Размеры субзерен изменяются в пределах от 0,45 до 0,75 мкм. В ферритных прослойках выявляется дислокационная субструктура преимущественно в виде хаотически распределенных дислокаций, скалярная плотность которых $\sim 2,8 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

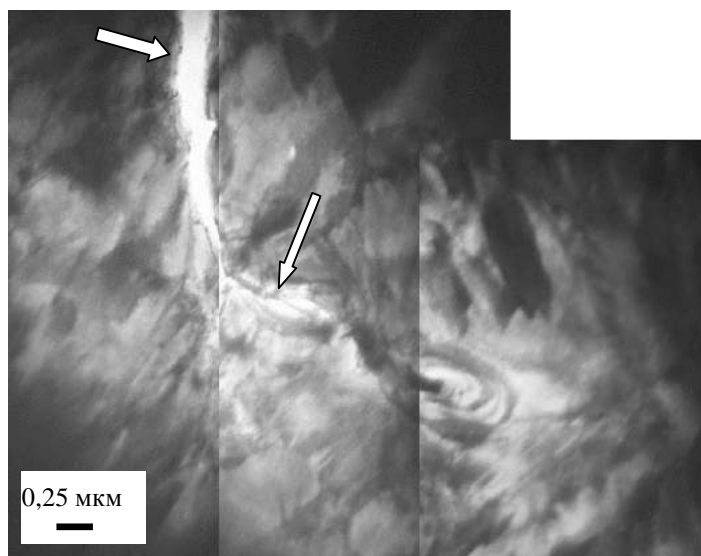
При облучении стали с $E_S = 30 \text{ Дж/см}^2$ в объеме зерен формируется многофазная структура ячеистой кристаллизации со средними размерами $427 \pm 20 \text{ нм}$. Основной поверхностного слоя является α -фаза, представленная мартенситом. Наряду с α -фазой обнаруживаются остаточный аустенит, цементит и графит.

При $E_S = 30 \text{ Дж/см}^2$ фиксируется устойчивое плавление поверхностного слоя стали. Анализ структурно-фазовых градиентов, формирующихся в стали при этом режиме обработки показал, что слой на расстоянии 10-15 мкм от поверхности облучения находится в зоне контакта жидкого и твердого состояния стали. Основной фазой исследуемого слоя является α -фаза. Особенностью структуры α -фазы, формирующейся в данном слое, является малый размер зерен, величина которых изменяется в пределах от 0,8 до 1,5 мкм.

В слое на глубине $\sim 40 \text{ мкм}$ от поверхности обработки формируется многофазная структура, представленная α - и γ - фазами, а также цементитом. Морфологическими разновидностями α -фазы являются, во-первых, зерна структурно свободного феррита, которые были выявлены и в структуре стали перед облучением электронным пучком; во-вторых, зерна, в которых прошло мартенситное превращение с образованием кристаллов пакетного мартенсита и кристаллов пластинчатого мартенсита.

Усталостное разрушение стали, наступившее после $\sim 2,15 \times 10^5$ циклов, сопровождается формированием подслоя толщиной $\sim 10 \text{ мкм}$, на границе раздела которого с основным объемом материала располагаются микропоры. Это обстоятельство позволяет предположить, что усталостное разрушение стали зарождается в подповерхностном слое. Деформация стали в условиях усталостного нагружения сопровождается структурно-фазовым преобразованием стали: (1) разрушением пластин цементита перлитных колоний, осуществляемым перерезанием движущимися дислокациями и растворением вследствие ухода атомов углерода из кристаллической решетки цементита на дислокации; (2) повторным выделением на дислокациях наноразмерных частиц цементита (деформационное старение стали); (3) формированием субзеренной структуры; (4) формированием внутренних полей напряжений, вследствие несовместности деформации соседних зерен и субзерен, α -фазы и частиц цементита. В наиболее полном объеме процессы деформационного преобразования стали протекают в слое, расположенном на глубине $\sim 10 \text{ мкм}$.

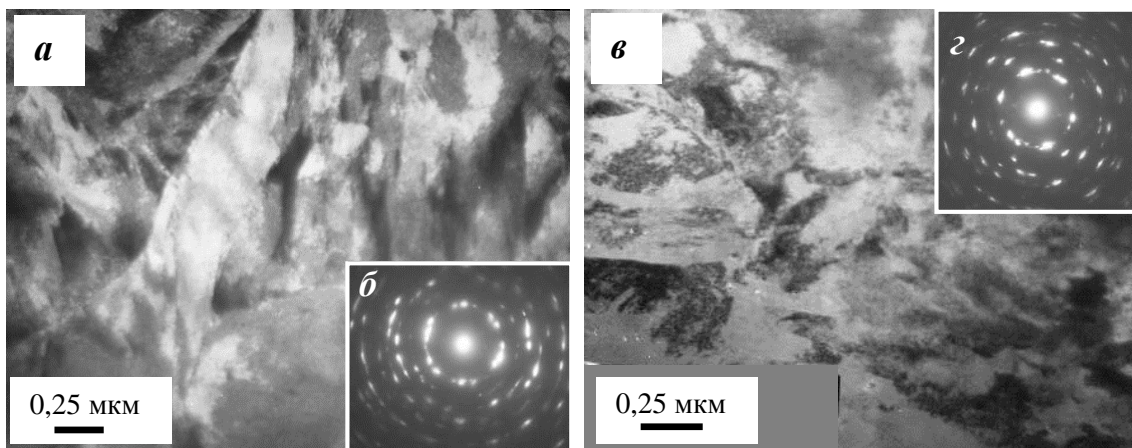
Электронно-пучковая обработка стали при плотности энергии пучка электронов 30 Дж/см^2 сопровождается формированием протяженного упрочненного слоя, концентратора напряжения в котором формируются в слое высокоскоростной кристаллизации. На это указывает цепочка пор, располагающихся в слое на глубине 6-8 мкм. Исследования структуры стали методом тонких фольг, расположенных на данной глубине, выявили высокий уровень внутренних полей напряжений, релаксация которых привела к формированию многочисленных микротрещин при утонении пластинки в процессе приготовления фольги (**рис. 1**).



**Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры слоя стали, асположенного на глубине ~ 10 мкм.
Стрелками указана микротрещина.
Образец разрушен после облучения электронным пучком при плотности энергии пучка 30 Дж/см^2**

Выявлено повышенное содержание микропор в переходном слое, расположенном на глубине от 30 до 40 мкм. Усталостные испытания стали сопровождаются отслаиванием тонкого (300...600 нм) поверхностного слоя (слоя, непосредственно подвергавшегося воздействию пучка электронов при облучении), свидетельствующим о формировании в нем высокого уровня внутренних напряжений. Источником трещин являются как поверхность облучения, так и переходный слой, отделяющий упрочненный, вследствие термического воздействия пучка электронов, от основного объема материала. Выполненные структурно-фазовые исследования выявили рост количества концентраторов напряжений в слое, примыкающем к поверхности облучения стали. В слое, расположенном на расстоянии ~ 10 мкм от поверхности облучения, выявлены микротрещины, что указывает на увеличение амплитуды внутренних напряжений по мере удаления от поверхности облучения и приближения к дну ванны расплава. Усталостные испытания стали не приводят к разрушению мартенситной структуры на глубине 40 мкм (**рис. 2**) и сопровождаются значимым преобразованием структуры пластинчатого перлита: выявлено растворение, разрезание и механическое разрушение пластин цементита; деформационное преобразование зерен «псевдоперлита» сопровождается формированием многофазного субмикро- и наноразмерного зеренно-субзеренного состояния на основе α -фазы.

После усталостных испытаний в слое на глубине ~ 100 мкм сохраняется структурно-фазовое состояние, подобное структурно-фазовому состоянию после облучения электронным пучком. Основным структурным элементом исследуемого слоя являются зерна перлита пластинчатой морфологии.



**Рис. 2. ПЭМ изображения структуры стали, облученной электронным пучком при плотности энергии пучка 30 Дж/см^2 и разрушенной в результате усталостных испытаний:
a, в – светлые поля; *б, г* – микроэлектронogramмы.
 Слой расположен на расстоянии $\sim 40 \text{ мкм}$ от поверхности облучения**

При сравнительном анализе закономерностей эволюции фазового состава и дефектной субструктуры поверхностного слоя стали (толщиной $\sim 10 \text{ мкм}$), содержащей пластинчатый перлит (исходное состояние) и наноразмерный мартенсит (после ЭПО с $E_S = 30 \text{ Дж/см}^2$), отмечено (см. таблицу), что:

1. Усталостное нагружение стали с перлитной структурой в *поверхностном слое* сопровождается увеличением скалярной плотности дислокаций, преобразованием дислокационной субструктуры, повышением степени неоднородности распределения дислокаций (увеличение плотности дислокаций у межфазных границ раздела феррит/цементит), увеличением степени дефектности пластин цементита (формирование границ с малоугловой разориентацией), многократным увеличением кривизны-кручения кристаллической решетки стали (амплитуды внутренних полей напряжений) и ростом количества концентраторов напряжений. В слое, расположенном на расстоянии $\sim 10 \text{ мкм}$ от лицевой поверхности образца, усталостное нагружение стали сопровождается разрушением пластин цементита перлитных колоний, осуществляемое по различным механизмам, и формированием в объеме зерна перлита фрагментированной субструктуры (размеры фрагментов $0,5 \dots 1,0 \text{ мкм}$); увеличением (относительно поверхностного слоя) амплитуды внутренних напряжений и плотности концентраторов напряжений, существенным снижением скалярной плотности дислокаций.

2. При усталостном разрушении стали, обработанной электронным пучком, в *поверхностном слое* наблюдается существенное увеличение (в ~ 2 раза) размерной неоднородности кристаллов пакетного мартенсита, рост количества концентраторов напряжений и увеличение амплитуды внутренних полей напряжений, миграция границ зерен (присутствие в исследуемом слое зерен с высоконеравновесными извилистыми границами), формирование в подповерхностном (на глубине $\sim 10 \text{ мкм}$) слое высоконапряженного состояния, характеризующегося наличием микротрещин и большого количества концентраторов напряжений.

Анализируя представленные в таблице результаты, можно констатировать следующее: (1) деформация приповерхностного слоя (слоя толщиной $\sim 10 \text{ мкм}$) перлита сопровождается увеличением суммарной плотности дислокаций (плотности дислокаций, сосредоточенных в границах фрагментов и распределенных по объему зерна), амплитуды внутренних полей напряжений и плотности концентраторов напряжений; (2) деформация приповерхностного слоя (слоя толщиной $\sim 10 \text{ мкм}$) с мартенситной наноразмерной структурой сопровождается

релаксацией дислокационной субструктуры, незначительным увеличением амплитуды внутренних полей напряжений и кратным увеличением плотности концентраторов напряжений.

Сопоставляя эволюцию структуры приповерхностного слоя стали (слоя толщиной ~10 мкм) с перлитной и мартенситной структурами в условиях усталостного нагружения можно заключить, что амплитуда внутренних полей напряжений и плотность концентраторов напряжений в зернах перлита выше, однако процесс трещинообразования в стали с упрочненным электронным пучком поверхностным слоем развивается интенсивнее.

Структурные характеристики стали в исходном состоянии и после усталостного разрушения

Состояние		$\langle \rho \rangle, 10^{10}, \text{см}^{-2}$	$h, \text{нм}$	$\eta, 10^3, \text{см}^{-2}$
Образцы перед усталостными испытаниями				
Перлит		2,8	235	0,7
Мартенсит	поверхность	10	90	0,11
	10 мкм от поверхности	10	64	0,15
Усталостно-разрушенные образцы				
Перлит	поверхность	4	65	1,2
	10 мкм от поверхности	1,4	50	1,5
Мартенсит	поверхность	10	73	1,1
	10 мкм от поверхности	10	67 (55)	1,4 (4,0)

Заключение

Показано, что облучение рельсовой стали высокоинтенсивным электронным пучком (с параметрами: энергия электронов - 18 кэВ, плотность энергии - 30 Дж/см², длительность воздействия - 50 мкс и частота следования - 0,3 с⁻¹ пучка электронов; количество импульсов воздействия - 3) сопровождается плавлением поверхностного слоя и формированием структуры ячеистой кристаллизации.

Установлено, что многоцикловые усталостные испытания исходной стали с перлитной структурой сопровождаются протеканием целого ряда субструктурных и деформационных преобразований, приводящих к разрушению.

Преимущественным местом формирования концентраторов напряжений в облученной электронным пучком стали является граница раздела слоя высокоскоростной кристаллизации и слоя термического влияния (дно ванны расплава). Выполнен сравнительный анализ закономерностей эволюции структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры поверхностного слоя, содержащего перлит (исходное состояние) и мартенсит (после ЭПО).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (Соглашение №14.В37.21.0071) и госзадания Минобрнауки № 2.4807.2011.

Список литературы

1. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов / В.А. Грибков, Ф.И. Григорьев, Б.А. Калинин, В.Л. Якушин. М.: Круглый стол, 2001. 528 с.
2. Формирование структурно-фазового состояния поверхностного слоя стали 08X18H10T при обработке высокоинтенсивным электронным пучком / Ю.Ф. Иванов, С.В. Горбунов, В.Е. Громов, С.В. Воробьев, С.В. Коновалов // *Материаловедение*. 2011. № 5. С. 43-47.
3. Физические основы повышения усталостной долговечности нержавеющей сталей / Ю.Ф. Иванов, С.В. Воробьев, С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Н.Н. Коваль. Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. 302 с.
4. Формирование поверхностных градиентных структурно-фазовых состояний при электронно-пучковой обработке нержавеющей стали / В.Е. Громов, С.В. Горбунов, Ю.Ф. Иванов, С.В. Воробьев, С.В. Коновалов // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2011. № 10. С. 62-67.
5. Формирование нанокристаллической структуры и усталостная долговечность нержавеющей стали / С.В. Воробьев, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, В.В. Сизов [и др.] // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2012. № 4. С. 51 – 53.
6. Структурно-масштабные уровни деформации стали 20X23H18, подвергнутой усталостному разрушению после электронно-пучковой обработки / Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов, В.В. Сизов [и др.] // *Физическая мезомеханика*. 2013. Т. 16. № 1. С. 85 – 90.
7. Эволюция структуры и фазового состава стали 20X13 в процессе упрочняющей электронно-пучковой обработки и последующего усталостного нагружения / Д.А. Бессонов, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 12. С. 19-23.
8. Энгеле Л., Клингеле Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение: Справочное изд. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1986. 232 с.
9. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973. 584 с.
10. Эндрюс К., Дайсон Д., Кноун С. Электронограммы и их интерпретация. М.: Мир, 1970. 256 с.

References

1. Perspective radiation-beam technologies of materials handling / V.A. Gribkov, F.I. Grigor'ev, B.A. Kalin, V.L. Iakyshin. M.: Krugliy stol, 2001. 528 p.
2. Forming of a structural and phase condition of a surface layer of steel 08X18H10T when handling by a high-intensity electron beam / Yu.F. Ivanov, S.V. Gorbunov, V.E. Gromov, S.V. Vorob'iov, S.V. Konovalov // *Material science*. 2011. № 5. P. 43-47.
3. Physical bases of increase of fatigue durability of stainless steels / Yu.F. Ivanov, S.V. Vorob'iov, S.V. Konovalov, V.E. Gromov, N.N. Koval. Novokuznetsk: Publishing house «Inter-Kuzbass», 2011. 302 p.
4. Forming of surface gradient structural and phase conditions in case of electron-beam treatment of stainless steel / V.E. Gromov, S.V. Gorbunov, Yu.F. Ivanov, S.V. Vorob'iov, S.V. Konovalov // *Surface. X-ray, synchrotron and neutron researches*. 2011. № 10. P. 62-67.
5. Forming of nanocrystal structure and fatigue durability of stainless steel / S.V. Vorob'iov, V.E. Gromov, Yu.F. Ivanov, V.V. Sizov [etc.] // *News of Higher Education Institutions. Ferrous metallurgy*. 2012. № 4. P. 51 – 53.
6. Structural and large-scale levels of deformation of the steel 20X23H18 subjected to fatigue failure after electron-beam treatment / Yu.F. Ivanov, V.E. Gromov, V.V. Sizov [etc.] // *Physical mesomechanics*. 2013. Т. 16. № 1. P. 85 – 90.

7. Evolution of structure and phase composition of steel 20X13 in the course of strengthening electron-beam treatment and the subsequent fatigue loading / D.A. Bessonov, Yu.F. Ivanov, V.E. Gromov [etc.] // Deformation and destruction of materials. 2011. № 12. P. 19-23.

8. Engele L., Klingele G. Raster electronic microscopy. Destruction: Reference edition. Tran. from Germ. M.: Metallurgy, 1986. 232 p.

9. Utevskiy L.M. Diffraction electronic microscopy in metallurgical science. M.: Metallurgy, 1973. 584 p.

10. Endryus K., Daison D., Knoun S. Electron-diffraction patterns and their interpretation. M.: Mir, 1970. 256 p.

УДК 621.771:621.777

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ ИЗ СТРУЖКОВОЙ СМЕСИ МЕДИ С ЦИНКОМ

Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Аникина В.И., Роговой А.А.

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

Одним из направлений развития технологий получения полуфабрикатов и изделий с применением в качестве исходного сырья сортных сыпучих стружковых отходов цветных металлов и сплавов, не предполагающих их переплав [1], является использование для их изготовления предварительно сформированных стружковых композиций определенного химического состава. Эти композиции в своем изначальном виде представляют собой механические стружковые смеси, выбор и процентное соотношение компонентов которых обусловлены, в первую очередь, механическими и эксплуатационными характеристиками получаемого конечного продукта, например, прутка или проволоки. При составлении их обязательно должны учитываться те возможные процессы и явления, которые могут протекать на границах разнородных частиц используемых металлов при их совместной пластической деформации.

Влияние большого числа факторов на сварку металлов давлением [2] не позволяет однозначно подходить к разработке технологии получения такого типа стружковых материалов. Однако основным моментом для процессов получения полуфабрикатов из механической смеси стружковых компонентов можно считать выполнение требований по снижению прочностных характеристик, как отдельных частиц стружки, так и всего брикета в целом, за счет применения операций, проводимых при повышенных температурах, соответствующих температуре горячей обработки. А также обеспечение в ходе деформирования необходимых условий по разрушению окисных пленок на поверхности частиц, способствующих интенсификации их схватывания за счет использования схем с повышенным уровнем сдвиговых деформаций. При этом, чем меньше пластичность окисных пленок, по сравнению с пластичностью основного металла, тем легче они разрушаются, создавая благоприятные условия для протекания на границах частиц стружки диффузионных процессов.

В работе за материал основы при составлении стружковой смеси бралась сортная сыпучая стружка меди марки М1, образующаяся при резке прессованных прутков на ленточной пиле. В качестве материала добавки была выбрана стружка примерно такого же типоразмера технического цинка марки Ц2. Предварительная обработка стружки обоих материалов не проводилась. Конкретной цели получения композиционной проволоки определенного функционального назначения не ставилось, поэтому ориентиром решено было взять один из сплавов системы медь-цинк, а именно простую (двойную) латунь Л90.

Конечным продуктом при выполнении работы была принята холоднотянутая проволока диаметром от 3 до 5 мм. Задача ставилась изучить основные особенности поведения мате-

риала при осуществлении ключевых технологических операций в ходе изготовления проволоки, выявить общие закономерности формирования её структуры, а также провести сопоставление уровня достигнутых механических характеристик с уровнем свойств продукции, получаемой традиционным способом из литой латуни Л90 [3].

Технологическая схема изготовления проволоки с использованием стружковой смеси, полученной механическим смешиванием компонентов в соотношении 90 % меди: 10 % цинка (по массе), а также наименование и параметры осуществления основных ее операций, приведены на схеме (рис. 1).

Как видно из приведенной схемы, технологический процесс изготовления стружковой проволоки можно условно разбить на два этапа:

- получения промежуточной заготовки для волочения, включающий стадии подготовки стружковой смеси к компактированию, прессования ее, нагрева полученных прессовок перед экструзией и горячую экструзию на пруток заданного диаметра;

- непосредственного получения проволоки, состоящий из многократно повторяющихся операций протягивания заготовки через волокна (фильеры), а также некоторых сопутствующих и вспомогательных операций.

На стадии осуществления горячей экструзии были опробованы два варианта, отличающиеся друг от друга только типом используемой матрицы (рис. 2), а следовательно, и характером истечения металла из матрицы.

Эффект дополнительного скручивания прутка по одному из вариантов достигался за счет нанесения на калибрующий участок матрицы нескольких неглубоких канавок в виде винтовых линий с определенным шагом и углом подъема φ , составляющем в нашем случае величину порядка 20° . Прутки после выдавливания через такую матрицу имели рифленую поверхность (рис. 3), а сообщаемую материалу дополнительную сдвиговую деформацию оценивали по формуле $\lambda = \text{tg } \varphi$.

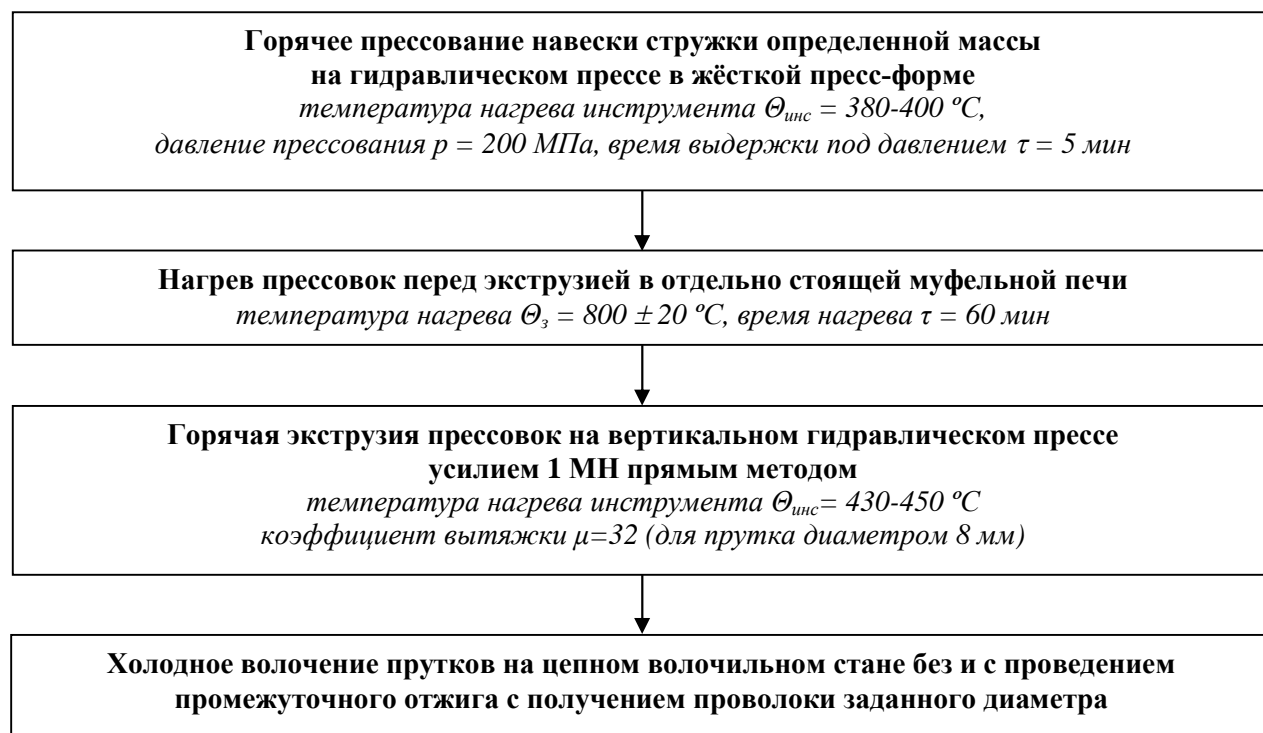


Рис. 1. Технологическая схема получения проволоки из стружковой смеси меди с цинком



Рис. 2. Типы матриц, используемые при получении прутков



Рис. 3. Внешний вид прутков после выдавливания через матрицу с винтовыми канавками

Как свидетельствуют результаты проведенных экспериментов, при волочении проволоки из прутков, полученных из стружковой смеси с использованием матриц обоих типов, в основном проявляются те же закономерности, что и при волочении прутков, изготовленных по обычной (слитковой) технологии [4]. При этом, поскольку рекомендаций по выбору оптимальных единичных и суммарных обжатий для волочения стружковых материалов в литературе нет, прежде всего, необходимо было выявить деформационные особенности волочения проволоки из исследуемого материала, а также установить характер изменения прочностных и пластических свойств её.

Волочение как гладкого, так и рифленого прутков производилось по одному маршруту, за исключением начального этапа, поскольку для сглаживания рифлений на поверхности одного из них требовались 2 дополнительных калибрующих прохода. Единичное обжатие за проход составляло порядка 20–30 %. При этом после протяжки прутков до диаметра 6 мм их делили на две части, одну из которых отжигали при температуре 600 °С в течение одного

часа, а вторую - термообработке не подвергали. Далее обе части дотягивали до конечного диаметра 3,3 мм. Параллельно для построения необходимых зависимостей на определённых диаметрах осуществлялся отбор фрагментов проволоки, которые в дальнейшем подвергали растяжению до разрыва на универсальной испытательной машине.

Путем обработки полученных данных рассчитывали механические характеристики материала проволоки после холодного деформирования с определенной степенью деформации, которые в виде экспериментальных точек, отражающих обобщенные зависимости $\sigma_B = f(\varepsilon_\Sigma)$ и $\delta = f(\varepsilon_\Sigma)$, приведены на **рис. 4**. Здесь же для сравнения сплошными линиями нанесены указанные зависимости для случая волочения проволоки, исходным материалом для изготовления которой служил пруток, полученный из литой заготовки латуни Л90. Под показателем ε_Σ подразумевалось суммарное обжатие проволоки либо с исходного диаметра прутка перед волочением, либо с диаметра, на котором производился промежуточный отжиг. Для расчета в каждом из случаев использовали формулу

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{d_0^2 - d_i^2}{d_0^2} \cdot 100\% .$$

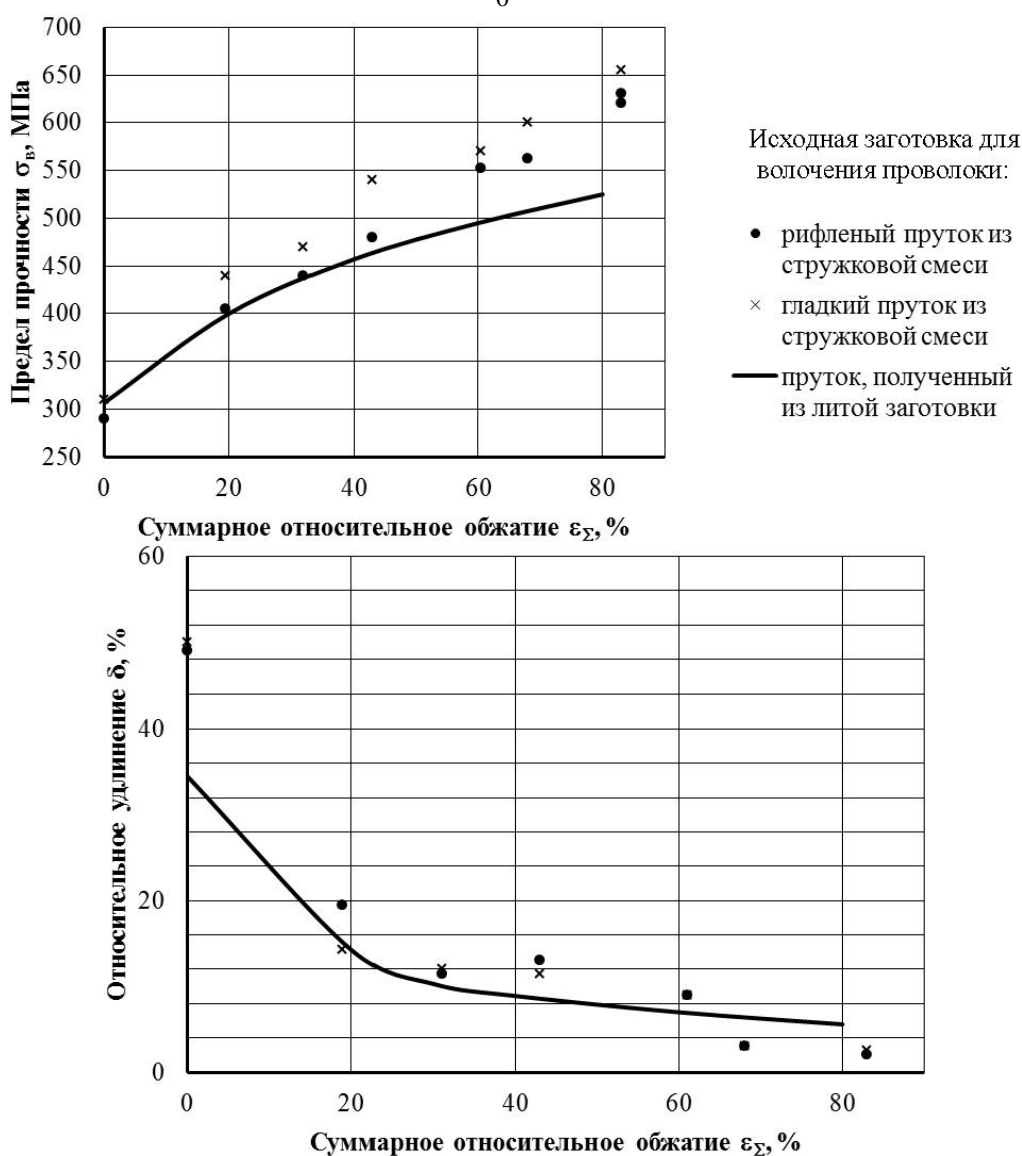


Рис. 4. Механические характеристики полученной с разной величиной относительного обжатия проволоки из стружковой смеси меди с цинком в сравнении со свойствами проволоки из латуни Л90, изготовленной по традиционной технологии

Из представленных на **рис. 4** данных следует, что в целом характер изменения механических характеристик проволоки, полученной из стружковой смеси, практически не отличается от того, что свойственен холодной обработке компактного материала. Особенность заключается только в том, что при суммарном относительном обжати, превышающем 50 %, интенсивность упрочнения стружковой проволоки выражена в большей степени, чем компактной. При этом до указанной степени деформации прочностные свойства (σ_b) проволоки находятся практически на одном уровне, а пластические (δ) – чуть выше у стружковой.

Сообщение на этапе экструзии материалу дополнительных сдвиговых деформаций за счет скручивания прутка приводит к устойчивому повышению прочностных характеристик стружковой проволоки, которое составляет стабильно от 8 до 10 %. Пластические характеристики при этом почти не изменяются.

Одновременно с проведением испытаний образцов проволоки на растяжение были выполнены металлографические исследования полученных прутков и проволоки, целью которых являлось выявление особенностей формирования их структуры после осуществления отдельных этапов реализации общей технологической схемы. Данные исследования проводились с использованием микроскопа NEOFOT-32.

Можно отметить, что уже начиная с диаметра 7 мм после волочения с небольшим обжатием $\varepsilon = 22\%$, материал прутка получается достаточно однородным без какого-либо присутствия пор или несплошностей (**рис. 5**).

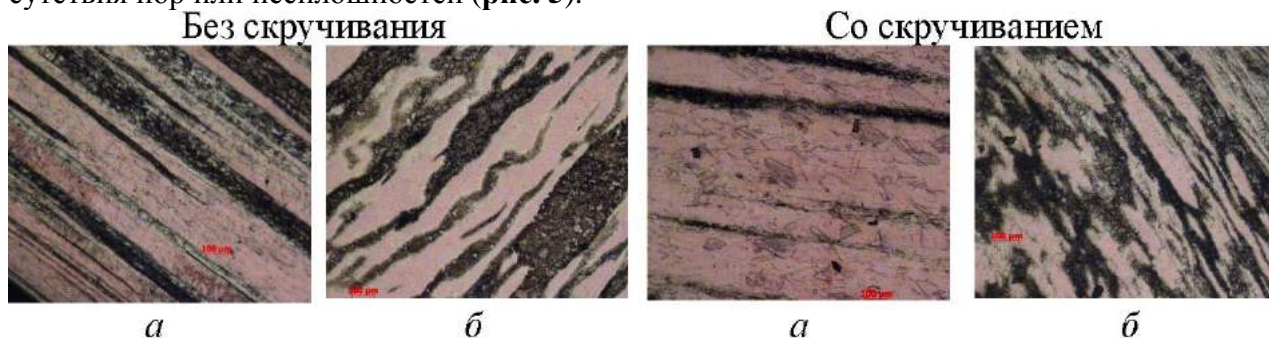


Рис. 5. Микроструктуры прутков диаметром 7 мм в продольном (а) и поперечном (б) направлениях после осуществления экструзии с использованием разных матриц и волочения с обжатием 22 %, $\times 160$

При этом в результате протекания диффузионных процессов на границе между частицами стружки меди и цинка, на фотографиях структур можно различить как ярко выраженные чередующиеся медные и цинковые области, так и отдельные латунные участки, площадь которых заметно увеличивается при наложении дополнительных сдвиговых деформаций. В продольном сечении наблюдается устойчивое вытягивание зерен в направлении выдавливания, сопровождающееся образованием двойников, с более плотной упаковкой частиц на периферии прутка по сравнению с центром. Это связано с объективной некоторой неоднородностью распределения деформации, характерной как для операции горячей экструзии, так и для последующего холодного волочения. Проведение отжига на $\varnothing 6$ мм интенсифицирует образование α -твердого раствора цинка в меди, что выражается еще в большем появлении латунных областей с границами в виде мелких правильно ограниченных кристалликов (**рис. 6**), а также способствует протеканию рекристаллизационных процессов, обеспечивающих частичное снятие наклепа и остаточных напряжений после холодной обработки.

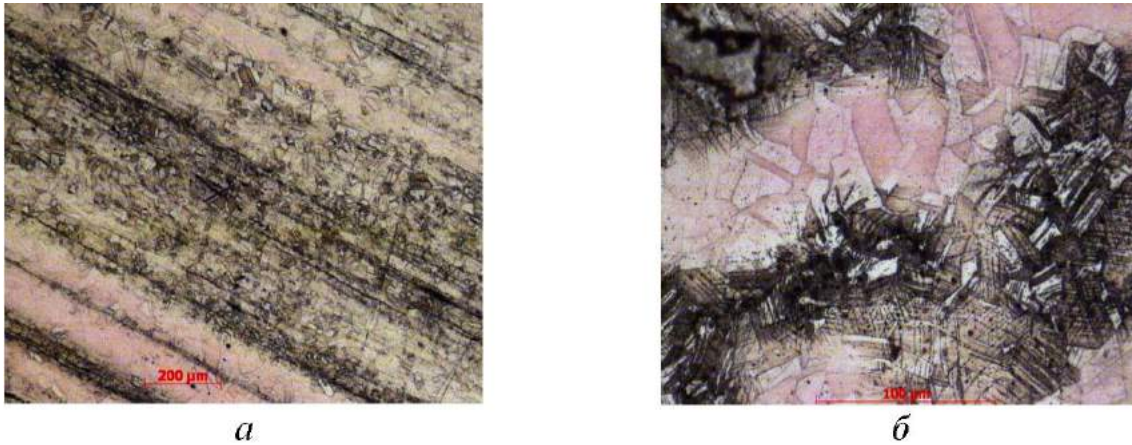
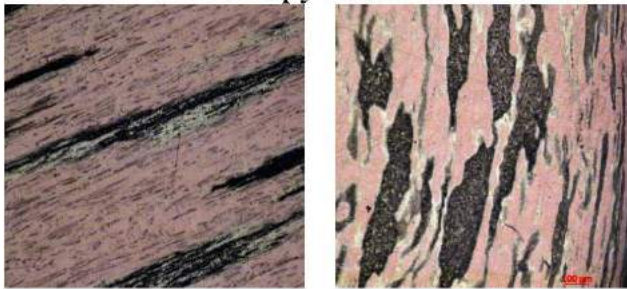


Рис. 6. Микроструктура отожженного прутка диаметром 6 мм в продольном (*a*, $\times 320$) и поперечном (*б*, $\times 800$) направлениях после осуществления экструзии со скручиванием и волочения с обжатием 44 %

В зависимости от того, проводился или нет промежуточный отжиг, структурные составляющие тянутой проволоки диаметром 4 мм носят также свои особые характерные черты (рис. 7).

Без отжига

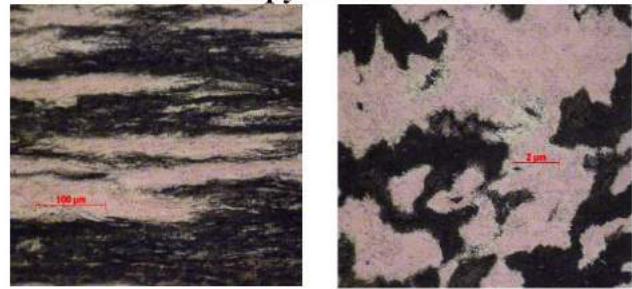
без скручивания



a

б

со скручиванием

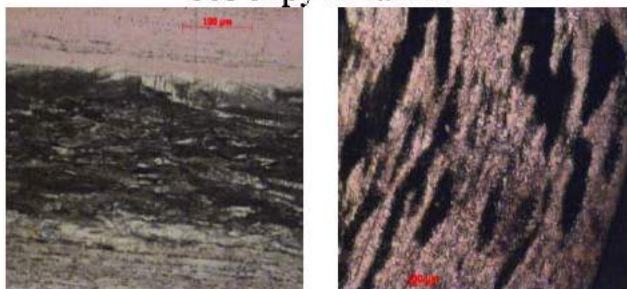


a

б

С промежуточным отжигом

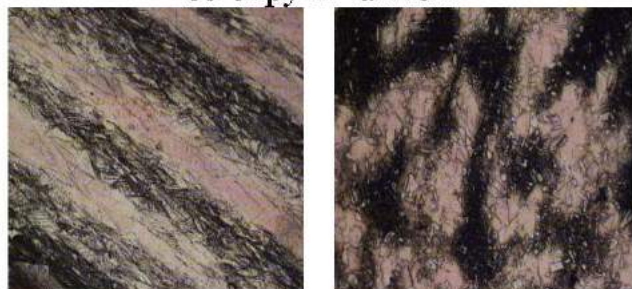
без скручивания



a

б

со скручиванием



a

б

Рис. 7. Микроструктуры холоднотянутой проволоки диаметром 4 мм в продольном (*a*) и поперечном (*б*) направлениях, полученной из гладких и рифленых прутков без и с проведением промежуточного отжига, $\times 160$

Обобщая все вышеизложенное, можно сделать следующие выводы. Проволока, изготовленная из стружковой смеси состава 90 % меди + 10 % цинка (по массе), имеет, как и следовало ожидать, более высокий уровень механических характеристик по сравнению с проволокой, полученной из одной стружки меди [5]. Превышение по временному сопротивлению разрыву, независимо от величины суммарного относительного обжатия, стабильно составляет 20–30 %, а по относительному удлинению изменяется с 2–2,5 раз при $\varepsilon_{\Sigma} = 44$ % и до 1,2–1,3 раза при $\varepsilon_{\Sigma} = 61$ %. Кроме того, значения $\sigma_{\text{в}}$ стружковой проволоки превосходят при тех же степенях деформации уровень прочностных свойств холоднодеформированной продукции из латуни Л90 в среднем на 10–15 %, а значение δ – уровень пластических свойств продукции – примерно на 30–50 %. При этом по прочности верхние пределы этого роста приходятся на проволоку, полученную по схеме с дополнительным скручиванием прутка при горячей экструзии, в то время как по пластичности эта зависимость в большей степени все-таки обратная. Заметим, что по данным, содержащимся в справочной литературе [3], прочностные характеристики холоднодеформированных изделий из компактной латуни Л90 превосходят указанные характеристики изделий из компактной меди в среднем на 20–25 %, а пластические характеристики выше у латуни Л90 в среднем на 15–20 %.

Список литературы

1. Биронт В.С., Аникина В.И., Загиров Н.Н. Материаловедение. Формирование структуры нового класса стружковых материалов. ГУЦМиЗ. Красноярск, 2005. 80 с.
2. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
3. Медные сплавы. Марки, свойства, применение: Справочник / Ю.Н. Райков, Г.В. Ашихмин, В.П. Полухин, А.С. Гуляев. Под общей ред. Ю.Н. Райкова. М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2011. 456 с.
4. Брабец В.И. Проволока из тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1984. 296 с.
5. Загиров Н.Н., Сидельников С.Б. Получение изделий и полуфабрикатов на основе переработки сыпучих отходов меди и ее сплавов // Материалы междунар. НПК «Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов». Екатеринбург: УрО РАН, 2006. С. 240-250.

References

1. Biront V.S., Anikina V.I., Zagirov N.N. Materials science. Forming of structure of a new class chipping materials. GUTCMiZ. Krasnoyarsk, 2005. 80 p.
2. Karakozov E.S. Welding of metals by pressure. M.: Machine building, 1986. 280 p.
3. Copper alloys. Brands, properties, application: Reference book / Yu.N. Raikov, G.V. Ashikhmin, V.P. Poluhin, A.S. Gulyaev. Under general edition Yu.N. Raikova. M.: JSC «Institut Tsvetmetobrabotka», 2011. 456 p.
4. Brabets V.I. Wire from heavy non-ferrous metals and alloys. M.: Metallurgy, 1984. 296 p.
5. Zagirov N.N., Sidelnikov S.B. Product receipt and semifinished products on the basis of conversion of loose waste of copper and its alloys // Materials of intern. NPK «Features of handling and application of products from heavy non-ferrous metals». Ekaterinburg: UrB RAS, 2006. P. 240-250.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ОБЖИМНОГО УЧАСТКА РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ И НА ГЕОМЕТРИЮ ПОЛУЧАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Окулов Р.А., Паршин С.В.

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

В трубном производстве важным является определение еще на стадии проектирования влияния различных параметров на форму получаемой продукции. Кроме того, требуется установить, какое воздействие оказывает параметр на сам процесс, его энергосиловые характеристики. Несмотря на развитие техники и технологий, а также на то, что до настоящего времени множество ученых проделали большое количество обширных исследовательских работ, начиная от работ, изучающих основы теории обработки металлов давлением [1] и заканчивая работами, погруженными в проблемы определения поведения процесса волочения профильной трубной продукции [2], до сих пор остается актуальным поиск ответов на вопрос о влиянии различных параметров на процесс и качество продукции. Предшественникам не удалось в полной мере найти ответы на существующие вопросы.

В данной работе ставится актуальная задача – определить, как зависят форма трубы и энергосиловые характеристики самого процесса производства при волочении профильных труб от угла наклона обжимного участка волокна. Ответ на этот вопрос позволит дать ценные рекомендации производителям данной продукции и поможет избежать ряда нежелательных последствий.

Исследование роли угла наклона выполнили с использованием программного обеспечения с целью определения искомых величин. Для определения интересующих параметров труб воспользовались, как, например, в работе [3] программным пакетом DEFORM-3D, который использует в процессе расчета конечно элементные модели.

Определим, как зависит ряд параметров от угла наклона обжимного участка волокна. Искомые параметры условно делятся на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства. Среди геометрических параметров исследовали толщины стенки в центре грани, наружный прогиб граней, площадь поперечного сечения после обработки и вытяжку. Исследуемые геометрические параметры представлены на **рис. 1**. Среди энергосиловых параметров процесса изучили усилие волочения, работу усилия волочения, единицу массы смещаемого материала, энергоёмкость волочения.

За исследуемый процесс обработки приняли холодное безоправочное волочение профильной трубы из заготовки круглого сечения. После обработке поперечное сечение трубы принимает форму шестигранника с размером «под ключ» 10 мм (диаметр вписанной окружности шестигранника). Скорость волочения 100 мм/с. Волочение производилось без протяжки. Заготовка представляет собой круглую бесшовную холоднодеформированную трубу, наружным диаметром $D = 12$ мм, толщиной стенки $S = 1$ мм.

Для получения интересующего профиля трубы, заготовку круглого сечения протягивали в один переход через рабочий инструмент. Рабочий инструмент представляет собой волоочильную фильеру с обжимным участком, в виде усеченной пирамиды. Размер элемента сетки разбиения равняется 0,14 мм. За материал заготовки приняли сталь 10 в соответствии с техническими условиями по ГОСТ 8734, материал по ГОСТ 8733.

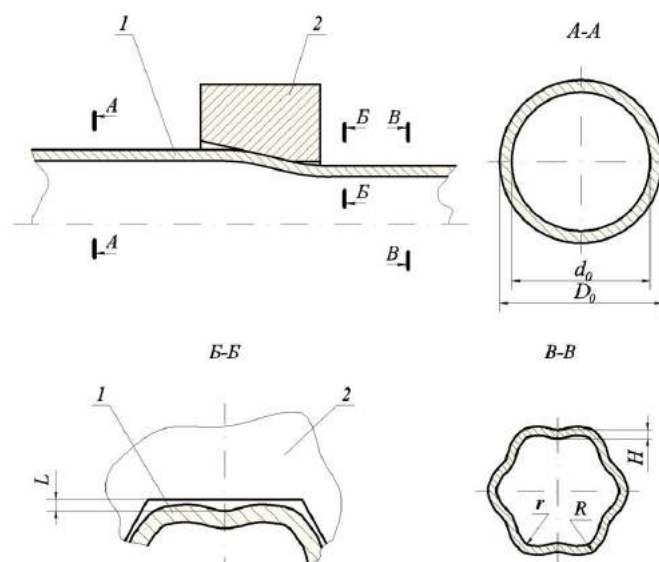


Рис. 1. Схема процесса профилирования трубы:
1 – обрабатываемая труба; 2 – волочильная фильера;
 D_0, d_0 – наружный и внутренний диаметры заготовки;
 L – наружный прогиб грани трубы; H – толщина стенки грани;
 R, r – наружный и внутренний радиусы незаполнения

Закон упрочнения для изучаемых материалов задается формулой [4]

$$\sigma = \sigma_{0,2} + g\Lambda^b,$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; g и b – эмпирические коэффициенты.

Для стали 10 приняли $\sigma_{0,2} = 280$ МПа; $g = 261,3$ МПа и $b = 0,632$. Угол наклона варьировался в диапазоне от 2 до 35°, с шагом в 1°.

Искомые параметры разделили на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства.

Предметом исследования геометрических параметров формы труб, являлись: H – толщина стенки в центре грани, мм; L – наружный прогиб граней, мм; S_a – площадь поперечного сечения после обработки, мм²; μ – вытяжка, рассчитывается по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{S_a},$$

где S_0 – площадь поперечного сечения заготовки до обработки, мм²;

$$S_0 = (D_0^2 - d_0^2) \frac{\pi}{4}.$$

Предметом исследования энергосиловых параметров процесса обработки труб, являлись: P – усилие волочения, Н; W – работа усилия волочения, Дж; m – единица массы смещаемого материала, кг; E – энергоёмкость процесса волочения, Дж/кг. Численное значение величины энергоёмкости определяют [5]

$$E = \frac{W}{m}$$

Работа усилия волочения определена как:

$$W = Pl\mu,$$

где l – единица перемещения при устоявшемся процессе, m .

Единица массы смещаемого материала определена

$$m = (S_0 - S_a)l\mu\rho,$$

где ρ – плотность обрабатываемого материала, $кг/м^3$.

Для того, чтобы результаты, получаемые в результате проведения математического эксперимента, были более точными, найдены средние значения пяти параллельно проведенных экспериментов.

Результаты усреднены и на их основании построены зависимости, представленные на **рис. 2-7**. На **рис. 2** представлена зависимость толщины стенки H от угла наклона. Зависимость обратная, при значении угла 21° толщина стенки трубы до обработки равна значению после обработки. При меньшем значении угла толщина стенки после обработки больше, чем у заготовки, и наоборот.

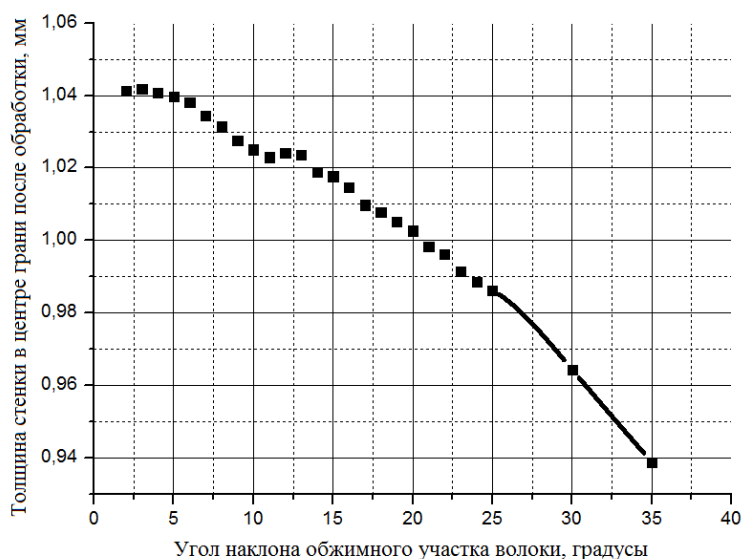


Рис. 2. Изменение толщины стенки

На наружный прогиб стенки трубы в центре грани L угол наклона влияет по прямой зависимости, как видно на **рис. 3**.

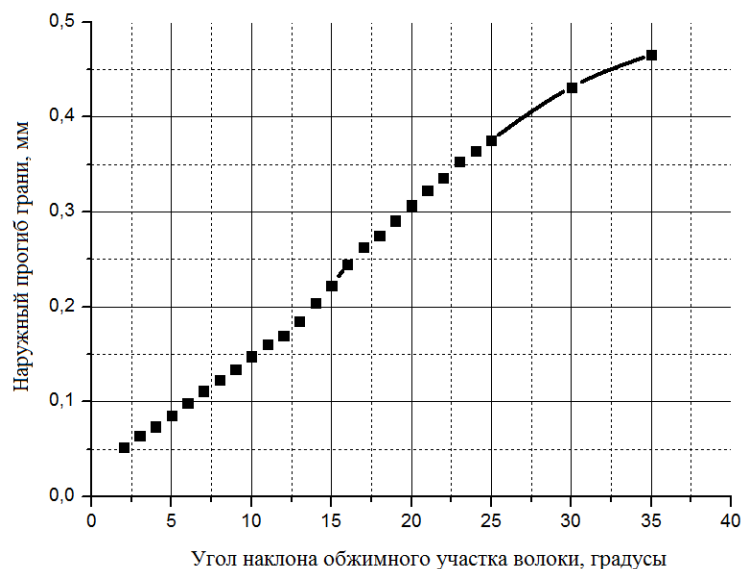


Рис. 3. Изменение наружного прогиба грани

На **рис. 4** видно, что при значении угла наклона равном 9° , зависимость вытяжки μ прямая и возрастает по линейному закону. Зависимость площади поперечного сечения после обработки S_a выглядит соответственно, но зависимость обратная зависимости вытяжки μ .

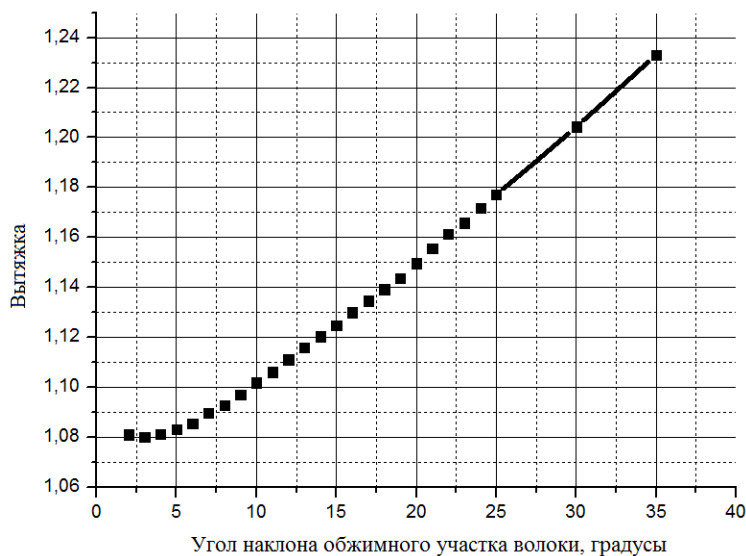


Рис. 4. Зависимость вытяжки

Как представлено на **рис. 5**, с ростом наклона обжимного участка усилие волочения P возрастает, но по достижению определённого угла, так как зависимость имеет экстремум, следовательно, существует оптимальное значение угла наклона обжимного участка, при котором на процесс волочения требуется меньшее значение усилия волочения. Но как станет ясным далее, это не означает, что процесс производства при этом значении угла менее энергоёмкий. График зависимости работы усилия волочения W выглядит аналогично.

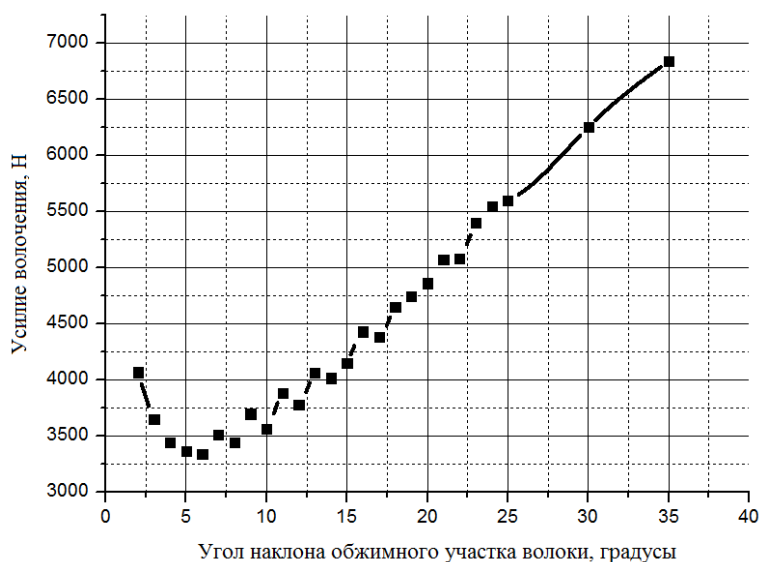


Рис. 5. Зависимость усилия волочения

Смещаемая масса на погонный метр m увеличивается с увеличением наклона, зависимость представлена на **рис. 6** и имеет экстремум.

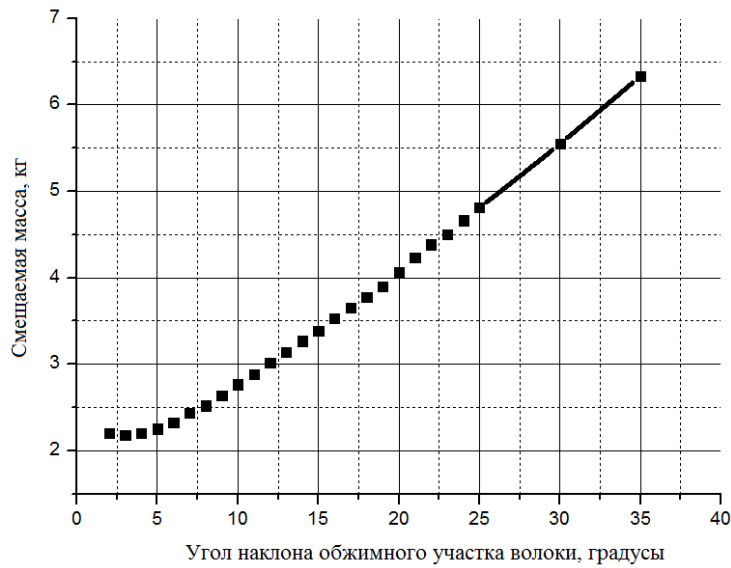


Рис. 6. Зависимость смещаемой массы

Энергоемкость процесса на погонный метр E с увеличением угла волокна снижается, несмотря на то, что усилие волочения возрастает (рис. 7).

После теоретического эксперимента провели практический. За параметры исследуемого процесса приняли те же, что при постановке теоретического эксперимента. Волочили трубу с углом наклона рабочей поверхности волокна, составляющем 12°

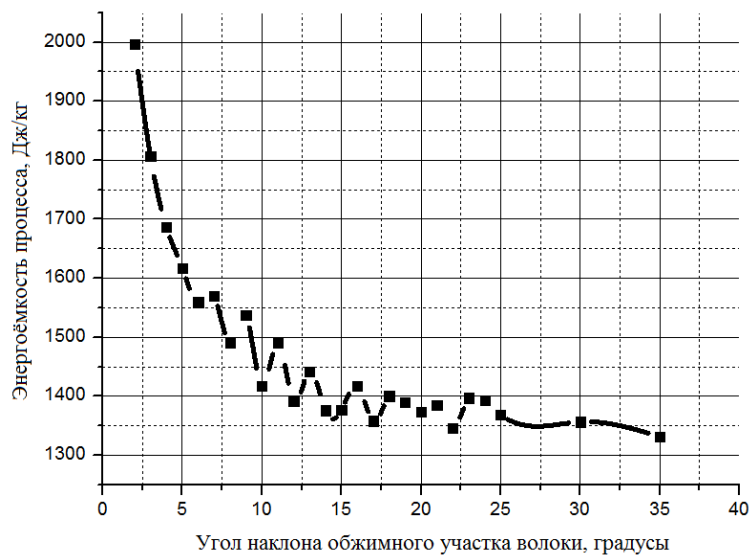


Рис. 7. Зависимость энергоемкости

В результате эксперимента были измерены геометрические и энергосиловые параметры процесса, а затем сравнены с результатами теоретической работы. Результаты анализа представлены в таблице.

Сравнение теоретических и практических данных

Параметр	Значение из эксперимента		Отклонение, %	
	Теоретическое	Практическое	Относительное	Абсолютное
H , мм	1,0235	1,0242	1,001	0,068
L , мм	0,1648	0,1699	1,031	3,002
S , мм ²	30,9707	31,1021	1,004	0,422
μ	1,1158	1,1111	0,996	-0,423
P , Н	4063,2	3980	0,980	-2,090
W , Дж	4533,641	4422,178	0,975	-2,521
m , кг	3,14539	3,01738	0,959	-4,242
E , Дж/кг	1441,895	1465,569	1,016	1,615

Результаты теоретического и практического эксперимента сходятся в допустимых пределах отклонений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что теоретическая часть исследования соответствует реальному процессу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы было установлено влияние угла наклона обжимного участка волокна на форму труб и энергосиловые параметры процесса. Было установлено, что у зависимости усилия волочения есть экстремум и при использовании в процессе производства волокна с соответствующим значением, можно снизить усилие волочения, но также было продемонстрировано, что при этом значении угла, энергоёмкость процесса не является оптимальной. Также установлено, что угол волокна в значительной степени влияет и на геометрические параметры. Следовательно, можно сделать вывод о том, что в результате износа рабочего инструмента, угол наклона меняется, что влияет на процесс и качество продукции в значительной степени.

Проведена экспериментальная проверка математического эксперимента процесса волочения профильной трубы. Статистическая обработка результатов не выявила значимых различий в расчетных и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Теория волочения. Перлин И.Л., Ерманок М.З. М.: Изд-во «Металлургия», 1971, 2-е изд. 448 с.
2. Производство профильных труб / В.Н. Данченко, В.В. Сергеев, Э.В. Никулин. М.: Интернет Инжиниринг, 2003. 224 с.
3. Некоторые технологические возможности роликового волочения труб / Г.А. Орлов, Е.Н. Вагапов, Д.Ю. Чернышов, Д.А. Попов // Производство проката. 2012. № 4. С. 28-31.
4. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1984. 144 с.
5. Окулов Р.А., Паршин В.С., Карамышев А.П. Энергоёмкость обработки заклепочной проволоки из дюралюминия волочением и радиальным обжатием // Вестник машиностроения. 2012. № 9. С. 80-81.

References

1. Theory of drawing. Perlin I.L., Ermanok M.Z. Publishing house «Metallurgy», M., 1971, 2-d edit., 448 p.
2. Production of profile pipes. Danchenko V.N., Sergeev V.V., Nikulin Ie.V. M.: Internet Injining, 2003. 224 p.

3. Orlov G.A., Vagapov E.N., Chernyjshev D.Yu., Popov D.A. Some technological capabilities of roller drawing of pipes // Mill products production. 2012. № 4. P. 28-31;

4. Bogatov A.A., Migirickiy O.I., Smirnov S.V. Resource of plasticity of metals in case of metal forming by pressure. M.: Metallurgy, 1984. 144 p.

5. Okulov R.A., Parshin V.S., Karamyjshev A.P. Energy intensity of handling of a rivet wire from duralumin by drawing and radial sinking // Vestnik of mechanical engineering. 2012. № 9. P. 80-81.

УДК 621.771.23.016.3-419.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИМЕТАЛЛА

Чукин М.В.¹, Песин А.М.¹, Копцева Н.В.¹,
Никитенко О.А.¹, Ефимова Ю.Ю.¹, Торбус Н.²

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

² Ченстоховский технический университет, г. Ченстохова, Польша

Экспериментальное исследование влияния обжатия на микроструктуру и механические свойства биметалла проводили на лабораторном прокатном стане-кварто (**рис. 1**) в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет).

Диаметры рабочих и опорных валков стана составляли $\varnothing 60$ и 250 мм, соответственно; скорость прокатки – $0,5$ м/с.



Рис. 1. Общий вид лабораторного стана-кварто и пульта управления

Образцы (**рис. 2**), полученные методом сварки взрывом, прокатывали на стане по различным режимам (**рис. 3**).



Рис. 2. Вид образца со стороны боковой кромки

Анализ результатов работ с использованием металлографических исследований с применением сканирующей электронной микроскопии, выполнения микрорентгеноспектрального анализа, проведения испытаний твердости и математического моделирования позволяет сформулировать следующие закономерности изменения структуры и свойств при совместной пластической деформации биметаллических листов Ti-Ni в процессе прокатки.

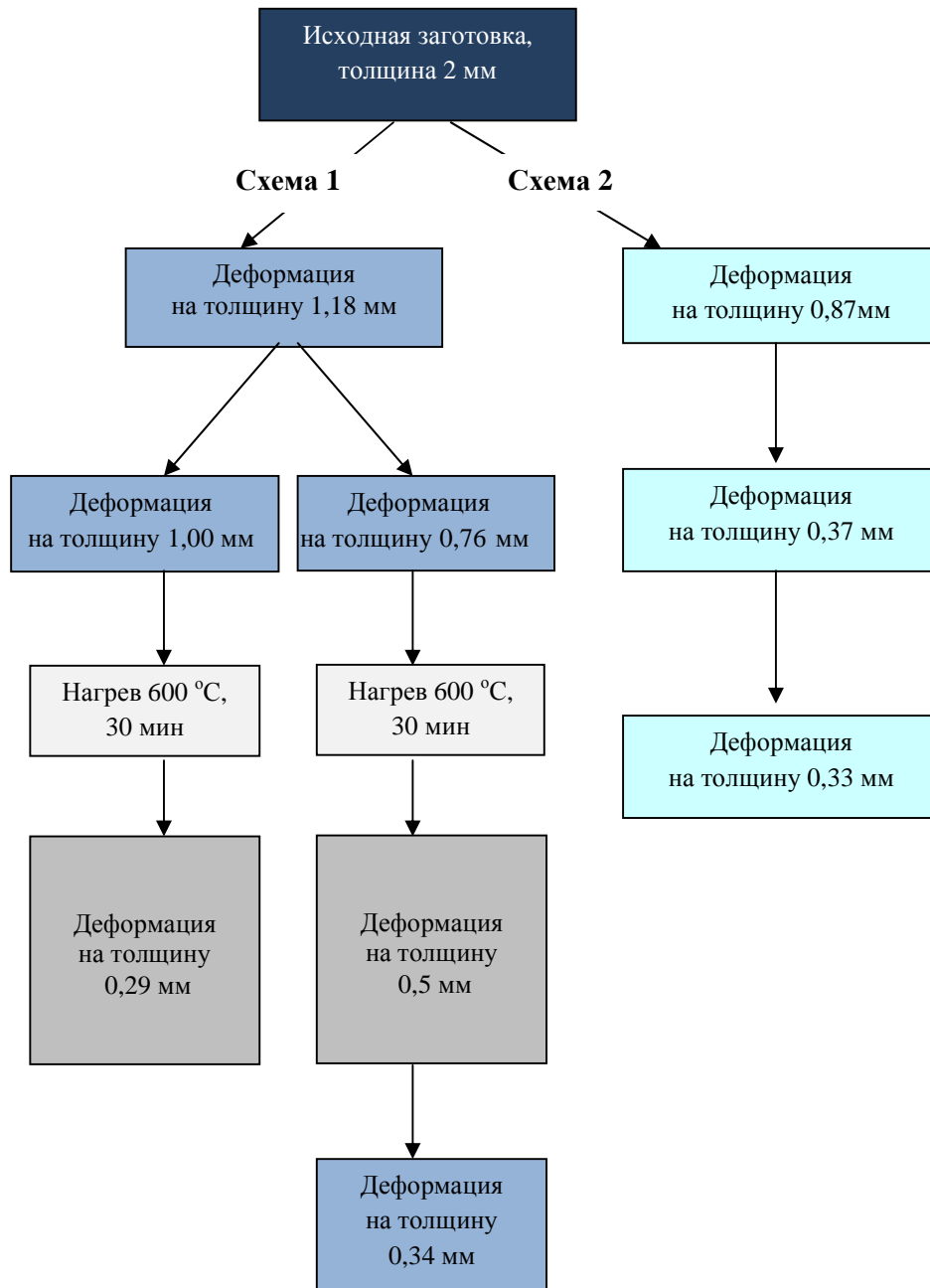


Рис. 3. Режимы обработки биметаллического листа Ti-Ni

В исходном состоянии структура биметаллической заготовки Ti-Ni, полученной сваркой взрывом, характеризуется наличием волнообразной межслойной границы с переходной зоной взаимной диффузии шириной 4 мкм. При этом структура титана представляет собой преимущественно равноосные зерна, заполненные двойниками, которые в разных участках имеют различную ориентацию. Это указывает на то, что при сварке взрывом в титане были активизированы разные плоскости двойникования. Вблизи межслойной границы в титане имеется зона протяженностью около 200-250 мкм с волокнистой структурой, характерной

для деформированного состояния материала. Структура никеля представляет собой примерно равноосные зерна без присутствия двойников.

В процессе холодной прокатки исходной биметаллической заготовки с обжа-тием 40-60 % происходит спрямление межслойной границы раздела и по мере увеличения степени деформации она постепенно становится практически прямолинейной. Переходная зона взаимной диффузии элементов сохраняется, однако толщина ее несколько уменьшается – примерно до 2-2,5 мкм. При этом наблюдается диффузия титана в слой никеля, где он в небольших количествах (до 1,5-2 %) обнаруживается на расстоянии до 5 мкм от межслойной границы.

При холодной пластической деформации исходной биметаллической заготовки с обжа-тием 40 % происходит формирование деформационных полос и измельчение (фрагментация) зерен, которые начинаются от межслойной границы и при увеличении степени деформации распространяются вглубь слоя. В результате возникает ультрамелкозернистая (УМЗ) структура с размером фрагментов 240-1250 нм. В титановом слое деформационное измельчение наблюдается уже при небольших степенях деформации – 15 %, а в никеле оно не обнаружено и при более высоких степенях деформации. Это различие в структурных превращениях титана и никеля при их совместной пластической деформации объясняется, очевидно, более высоким уровнем напряжений титана в исходной заготовке.

По мере увеличения степени деформации формирование ультрамелких зерен на меж-лойной границе наблюдается более четко и особенно хорошо различается в режиме упруго отраженных электронов (рис. 4, а, б). При этом УМЗ структура обнаруживается не только в центральных областях титанового, но и никелевого слоя (рис. 4, в, г). Размер формирующихся фрагментов УМЗ структуры находится в пределах от 240 до 1250 нм.

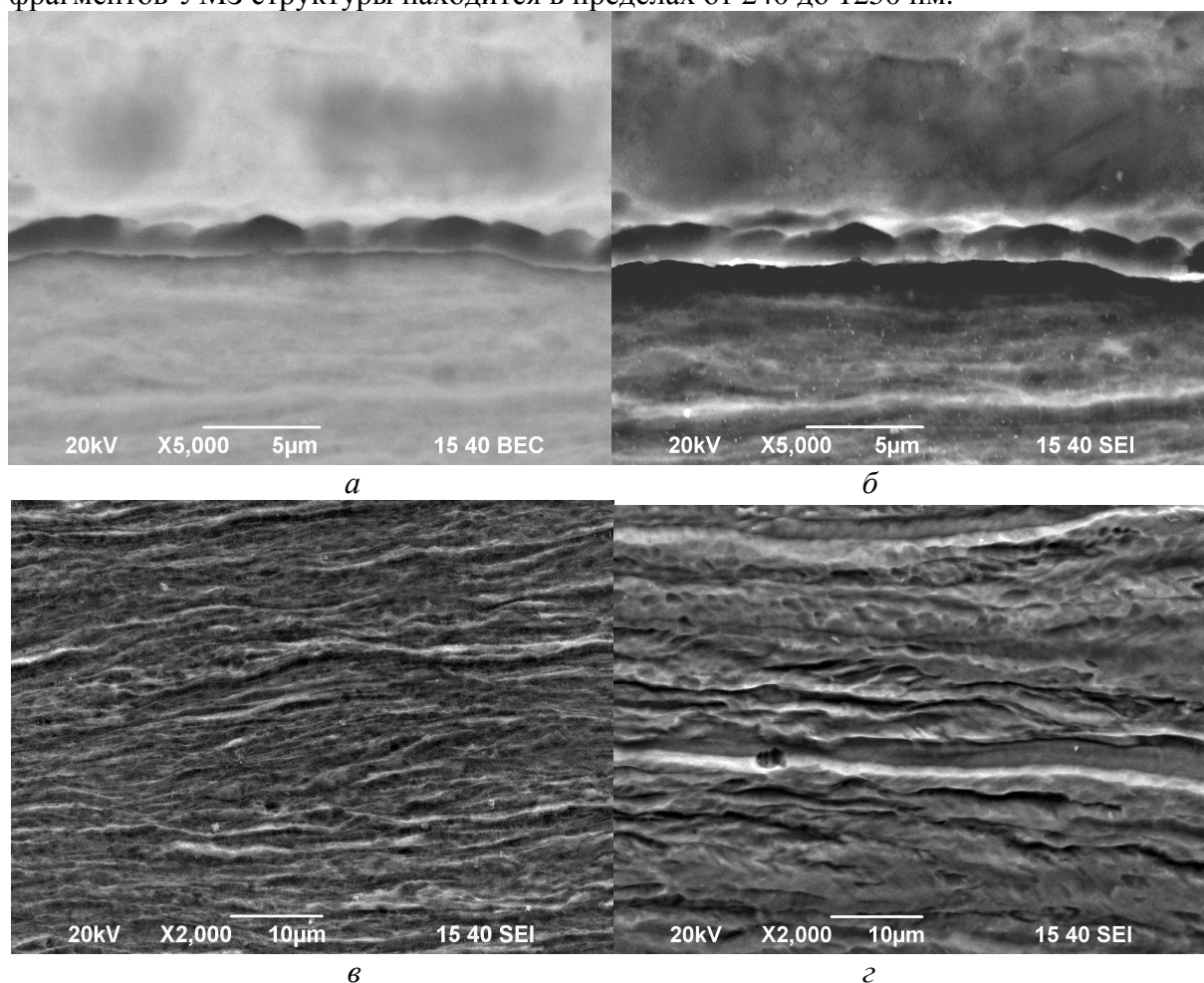


Рис. 4. Формирование УМЗ структуры вблизи межслойной границы (а, б) и в центральной области титанового (в) и никелевого слоя (г)

В процессе отжига холоднодеформированного металла при температуре 600 °С диффузионная подвижность атомов на межслойной границе биметаллической заготовки возрастает, что приводит к формированию на ней слоя интерметаллидного соединения NiTi. При этом диффузия титана в никель идет с большей скоростью, чем диффузия никеля в титан, в результате чего интерметаллидный слой состоит из двух зон, незначительно отличающихся (на 1-2 %) по содержанию никеля и титана. Чем больше суммарная относительная деформация, тем больше скорость диффузионных процессов, поэтому после суммарного обжата 60 % толщина слоя при отжиге несколько больше (~ 2 мкм) по сравнению с толщиной слоя (~ 1,5 мкм) после суммарного обжата 50 % .

При отжиге в титановом слое протекает рекристаллизация, в результате которой образуется равноосная структура с размером зерна меньше (номер 10-11), чем в исходном состоянии (номер 8-9).

В никеле полной рекристаллизации не происходит. При последующей холодной пластической деформации отожженный интерметаллидный слой на межслойной границе биметаллического листа утоняется и дробится, разделяясь на фрагменты. Однако, благодаря высокой пластичности никеля, заметного нарушения сплошности не происходит, поскольку при деформации никель «обтекает» фрагменты интерметаллида.

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

Список литературы

1. Asymmetric rolling: theory and technology / A.M. Pesin, V.M. Salganik, H. Dyja, D.N. Chikishev, D.O. Pustovoitov, A. Kawalek // HUTNIK - WIADOMOŚCI HUTNICZE. 2012. № 5. С. 358-363.
2. Чукин М.В., Копцева Н.В., Никитенко О.А. Использование программного продукта Thixomet PRO для количественного анализа ультрамелкозернистой структуры низко- и среднеуглеродистой стали, подвергнутой равноканальному угловому прессованию // Металловедение и термическая обработка. 2012. № 8. С. 12-17.
3. Количественный анализ микроструктуры заготовок из ультрамелкозернистой стали марок 20 и 45, полученных методом равноканального углового прессования / А.И. Мешкова, О.А. Никитенко, Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2011. № 1. С. 153-156.
4. Копцева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю. Изменение структуры и свойств в процессе равноканального углового прессования углеродистой конструкционной стали с тонкопластинчатым строением перлита в исходной структуре // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2010. Т. 1. № 1. С. 63-67.
5. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников, О.А. Никитенко // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 7. С. 11-16.
6. Исследование особенностей структурообразования в процессе интенсивной пластической деформации углеродистых конструкционных сталей / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, А.Г. Корчунов, Д.Г. Емалеева, О.А. Никитенко // Черные металлы. 2011. № 7-8. С. 25-28.
7. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 3. С. 84-86.

8. Клопотов А.А., Потекаев А.И., Козлов Э.В. и др. Кристаллогеометрические и кристаллохимические закономерности образования бинарных и тройных соединений на основе титана / под общей ред. А.И. Потекаева. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 312 с.

9. Никитенко О.А., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю. Количественный анализ микроструктуры углеродистых конструкционных сталей марок 20 и 45, наноструктурированных методом равноканального углового прессования // Обработка сплошных и слоистых материалов. Вып. 36: межвуз сб. науч. тр. / Под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 138-145.

10. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. № 10. С. 84-87.

References:

1. Pesin A.M., Salganik V.M., Dyja H., Chikishev D.N., Pustovoitov D.O., Kawalek A. Asymmetric rolling: theory and technology // HUTNIK - WIADOMOŚCI HUTNICZE. 2012. № 5. С. 358-363.

2. Chukin M.V., Kopceva N.V., Nikitenko O.A. Use of a software product of Thixomet PRO for the quantitative analysis of ultra-fine grain structure lowly - and the medium carbon steel subjected to equal channel angular pressing // Metal Science and heat treatment. 2012. № 8. P. 12-17.

3. Meshkova A.I., Nikitenko O.A., Efimova Yu.Yu., Kopceva N.V. The quantitative analysis of a microstructure of billets from ultra-fine grain grade of steel 20 and 45 received by a method of equal channel angular pressing // Actual problems of the modern science, technics and education. 2011. № 1. P. 153-156.

4. Kopceva N.V., Nikitenko O.A., Efimova Yu.Yu. Change of structure and properties in the equal-channel angular pressing of carbon structural steel with a thin-plate pearlite in the initial structure // Actual problems of the modern science, technics and education. 2010. Т. 1. № 1. P. 63-67.

5. Kopceva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryjshnikov M.P., Nikitenko O.A. Formation of structure and mechanical properties of carbon structural steel in the nanostructuring process by a equal-channel angular pressing // Deformation and rupture of materials 2011. № 7. P. 11-16.

6. Chukin M.V., Kopceva N.V., Korchunov A.G., Emaleeva D.G., Nikitenko O.A. Research of structurization features in the course of intensive plastic deformation of carbon constructional steels // Ferrous metals. 2011. № 7-8. P. 25-28.

7. Gun G.S., Chukin M.V., Emaleeva D.G., Kopceva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryjshnikov M.P. Research of formation of submicrocrystalline structure of a blanket of a steel wire for the purpose to increase its mechanical properties level // Vestnik of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2007. № 3. P. 84-86.

8. Klopotov A.A., Potekaev A.I., Kozlov E.V. and etc. Crystallogeometrical and crystallochemical regularities of formation of binary and triple connections on the basis of titanium / under the general edition of A.I. Potekaev. Tomsk: Publishing house of Tomsk polytechnical university, 2011. 312 p.

9. Nikitenko O.A., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu. Microstructure quantitative analysis of carbon structural steel grades 20 and 45 nanostructured by equal-channel angular pressing // Solid and laminated materials treatment. Vol. 36: Interuniversity collection of scientific papers / Edited by M.V. Chukin FSBEI HPE Magnitogorsk: "NMSTU", 2010. Pp. 138-145.

10. Protypology - the new development stage of metalware production standardization / G.Sh. Rubin, M.A. Polyakova, M.V. Chukin, G.S. Gun // Steel. 2013. No. 10. Pp. 84-87.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ

Бурмистрова Е.А., Шубин И.Г., Кургузов С.А., Мельник Н.И.

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

Одной из основных проблем при производстве горячекатаного листа для труб, с которой столкнулись металлурги, является трещина. Отбраковка продукции по данному дефекту поверхности составляет около 60 % [1, 2].

Для выявления истинных причин появления данного дефекта произведен анализ основных технологических параметров, влияющих на его образование. В условиях производства штрипса для трубопроводов существенное влияние оказывают такие факторы как:

- дефекты сталеплавильного передела;
- особенности химического состава производимых сталей;
- дефекты огневой зачистки;
- неравномерный нагрев в методических печах;
- режимы обжатий [3].

Данную проблему необходимо рассматривать не с точки зрения выплавки, доводки, разливки или подготовки поверхности металла к горячей прокатке, а с точки зрения нагрева и непосредственно прокатки на ШСГП (широкополосный стан горячей прокатки).

Основным фактором при нагреве и прокатке металла, оказывающим влияние на образование новых (критерий разрушения), и поведение уже имеющихся трещин (критерий прочности) в теории разрушения, является интенсивность напряжений, которые по достижению критической величины переходит от стабильного состояния к разрушению [4, 5, 6].

В настоящее время критерии разрушения изучены достаточно хорошо, однако критерии прочности требуют более глубокого изучения, они основываются на различных исходных положениях, применяемых к условиям обработки металла давлением с имеющимися трещинами. Типовой подход механики заключается во введении некоторых критериев разрушения, включающих характеристики напряженного состояния [7, 8]. Например, широко известный критерий Кокрофта-Лефома (1) включает в себя максимальное главное растягивающее напряжение, интенсивность напряжений и интенсивность деформаций:

$$C = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma_{\max}}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon}. \quad (1)$$

Однако при расчетах интенсивности напряжения по данной методике не учитывалось, что в металле всегда имеются несплошности, неметаллические включения и внутренние трещины, которые невозможно выявить, и в процессе прокатки они выкатываются в трещину на поверхности готового раската [4, 5, 6].

С целью изучения сопротивления деформации металла с имеющейся трещиной необходимо экспериментальное исследование, которое позволит построить математическую модель зависимости между разницей температуры по сечению металла при прокатке, скоростей прокатки, режимами обжатий в черновой группе клетей и углом трещины к направлению прокатки. Исследование основывалось на режимах нагрева в методических печах и режимах прокатки в черновой группе клетей стана 2000 ОАО «ММК».

Для проведения такого рода исследований, определения числа опытов, граничных условий их проведения и построения математической интерполяционной модели искомого результата воспользуемся методами оптимального планирования эксперимента.

На первом этапе исследования необходимо определиться с базой проведения исследования. В промышленных условиях проведение такого эксперимента неосуществимо из-за отсутствия технической возможности оборудования варьировать факторами, а также из-за больших финансовых затрат на проведение такого рода исследований. В связи с вышеизложенным, было принято решение исследовать сопротивление деформации металла с трещиной на установке, предназначенной для физического моделирования процессов ОМД Gleeble – 3500.

Установки Gleeble-3500 изготавливаются в модульном исполнении. К основному силовому блоку для выполнения различных поставленных задач подсоединяется модуль для выполнения деформации сжатием и растяжением.

Отбор и подготовка проб для испытаний производится от слябовой заготовки стали марки 17Г1С-У, согласно требованиям, предъявляемым к комплексу Gleeble-3500.

Нагрев образцов производится прямым пропусканием электрического тока, что при мощности сварочного трансформатора 75 (кВА) обеспечивает максимальную скорость нагрева до 12000 °С/с. Температура, скорость охлаждения контролируются термопарой, приваренной к образцу на прилагаемой к комплексу установке. Возможна одновременная запись температуры в 4-х точках рабочей части образца, причем, одна из термопар является управляющей. Система управления температурой обеспечивает колебание температуры при нагреве со скоростью 1000 °С/с не более 5-6 °С и поддержание заданной температуры испытания с точностью ±1 °С [9].

Максимальная скорость охлаждения, достигнутая при испытаниях комплекса Gleeble-3800 (в г. Санкт–Петербург) на образцах толщиной 6 мм, составляет 8500 °С/с. Испытания проводятся при температурах от комнатной до температуры плавления.

Для записи усилий используют тензодатчики, а для записи деформаций – датчики перемещений подвижной траверсы. Модуль для испытаний на растяжение и сжатие снабжен высокочувствительными измерителями продольной и поперечной деформации, а также dilatометром, которые позволяют выполнять высокоточные измерения перемещений и определять температуры фазовых превращений в заданном диапазоне скоростей нагревания и охлаждения полос пластической деформации или без нее.

Следующим этапом при планировании эксперимента является выбор плана эксперимента. Для уменьшения числа опытов и построения адекватной модели был выбран план второго порядка Хартли [10], где параметром оптимизации выступает сопротивление деформации металла с трещиной (y) (2). План состоит из ядра, звездных точек и опытов в центре плана.

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq R} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq R} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq R} b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

где y – параметр оптимизации; b - коэффициенты регрессии; R – число факторов.

Дальнейшим шагом является анализ литературных данных и выявление основных факторов, влияющих на интенсивность напряжений:

1. температура металла по сечению при прокатке - X1;
2. обжатия % - X2;
3. скорость прокатки - X3;
4. угол трещины к направлению прокатки - X4.

В соответствии с числом факторов и с целью сокращения уровней варьирования факторами были выбраны характеристики и вспомогательные константы для данного плана, представленные в **табл. 1** и **2**, соответственно.

Таблица 1

Характеристика выбранного плана Хартли

Номер плана	Число факторов, R	Область эксперимента	Ядро плана	Число опытов в ядре, N_1	Звездное плечо, α	Число звездных точек, R_1	Число опытов в центре, n_0	Общее число опытов, N
6	4	куб	2^{4-1} $1 \equiv x_1 x_2 x_3$	8	1	8	4	20

Таблица 2

Вспомогательные константы для плана Хартли №6

Номер плана	R	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8
6	4	0,12143	0,03571	0,5000	-0,10714	0,1000	0,125	0,500	0,625

Выбор уровней варьирования факторов также основывается на анализе проведенных ранее исследований. Так, например, учитывается разность температур по сечению металла после методической печи и прокатки металла в черновой группе клетей стана 2000 ОАО «ММК» [11], режимы обжатий в черновой группе клетей данного стана, скорость прокатки и угол наклона трещины к направлению прокатки (табл. 3).

Таблица 3

Уровни варьирования факторов

Факторы	Верхний	Основной	Нижний	Интервал
t°, C	1250	1100	950	150
$\varepsilon, \%$	146	80,5	15	65,5
$V, м/с$	5	3,125	1,25	1,875
$\alpha_{mp}, град$	90	45	0	45

Ядром выбранного плана Хартли является полуреплика 2^{4-1} с определяющим контрастом $1 \equiv x_1 x_2 x_3$. Поэтому оценки коэффициентов $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{23}$ закоррелированы между собой, коэффициенты $b_4, b_{41}, b_{24}, b_{34}$ не зависят друг от друга и остальных коэффициентов. Матрица плана приведена в табл. 4.

Для построения матрицы эксперимента воспользовались условными обозначениями уровней варьирования факторов:

- 1 – условное обозначение для нижнего уровня;
- +1 – условное обозначение для верхнего уровня;
- 0 – основной уровень.

Матрица планирования плана Хартли

	Номер опыта	Планирование					Расчет										Параметр	
		X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_{17}	X_{13}	X_{14}	X_{23}	X_{24}	X_{34}	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{42}	Из опыта	Расчет по уравнению
Полуреплика 2^{4+1}	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	2	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+		
	3	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+		
	4	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+		
	5	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+		
	6	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+		
	7	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+		
	8	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+		
Звездные точки	9	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	-	-
	10	+	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0		
	11	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0		
	12	+	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0		
	13	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0		
	14	+	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0		
	15	+	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+		
	16	+	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+		
Центр плана	17	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	18	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	19	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	20	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

При обработке данных после проведения эксперимента воспользовались нижеследующей методикой:

Для оценки коэффициентов b_0 и b_y воспользовались формулой (3) во всех случаях; коэффициенты b_i и b_{ij} , для факторов, не входящих в трехбуквенное соотношение определяющего контраста, считаем по формулам (4), (5). Для оценки коэффициентов b_i и b_{ji} для факторов, входящих в трехбуквенное соотношение определяющего контраста $1 \equiv x_i x_j x_k$, вычисляем по формулам (6), (7).

$$b_0 = d_1 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u - d_2 \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^N x_{iy}^2 \bar{y}, \quad (3)$$

$$B_i = d_i \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u, \quad (4)$$

$$B_{ij} = d_6 \sum_{u=1}^N (x_i x_j) y_u, \quad (5)$$

$$b_i = d_7 \left[\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u - \sum_{u=1}^N (x_j x_b)_u y_u \right], \quad (6)$$

$$b_{ji}^* = d_8 \sum_{u=1}^N (x_j x_b) y_u - d_7 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u. \quad (7)$$

После этого определили погрешность коэффициентов уравнения регрессии по формуле

$$S_{(y)}^2 = \frac{1}{n-1} \sum (y_j - \bar{y}_j). \quad (8)$$

Дисперсии и ковариации коэффициентов с помощью вспомогательных констант оценили по формулам (9, 10, 11, 12):

$$S_{b_0}^2 = d_1 S_y^2, \quad (9)$$

$$S_{b_u}^2 = (d_3 + d_4) S_y^2, \quad (10)$$

$$S_{b_0}^2 = d_5 S_y^2, \quad (11)$$

$$S_{b_y}^2 = d_6 S_y^2. \quad (12)$$

Число степеней свободы, с которыми определены коэффициенты регрессии, вычислили по формуле

$$f_1 = n - 1, \quad (13)$$

где n – число опытов в центре плана.

Для нашего эксперимента $f_1 = 3$ и коэффициент Стьюдента для данного числа степеней свободы к достоверности 0,95 по таблицам [9] равен:

$$t_{95}(3) = 3,182.$$

Доверительные интервалы для данных коэффициентов регрессии рассчитываем по формулам:

$$Db_0 = S_{b_0} t_{95}(3), \quad (14)$$

$$Db_u = S_{b_u} t_{95}(3), \quad (15)$$

$$Db_0 = S_{b_0} t_{95}(3), \quad (16)$$

$$Db_y = S_{b_y} t_{95}(3). \quad (17)$$

Отсюда выявляем значимость коэффициентов регрессии, сравнивая значения коэффициентов регрессии и доверительных интервалов, если доверительный интервал больше, чем коэффициент регрессии, то коэффициент незначим.

В зависимости от значимости или незначимости коэффициентов строим регрессионную модель.

Далее, после получения уравнения регрессии проводим проверку адекватности модели. Для этого необходимо вычислить дисперсию неадекватности по формуле

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{упрас.})}{f_2}, \quad (18)$$

где $y_{упрас.}$ и $y_{иэкс}$ – значения отклика в i -м опыте, соответственно, рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально; f_2 – число степеней свободы

$$f_2 = N - R_7^1, \quad (19)$$

где R_7^1 – число оставленных коэффициентов в уравнении регрессии (включая b_0); N – число опытов плана.

Гипотезу об адекватности линейного уравнения, построенного по результатам полного или дробного факторного эксперимента, проверяем по t -критерию

$$t^{расч.} = \frac{|b_0 - y_0| \sqrt{N}}{S_y}, \quad (20)$$

где N – число опытов в плане; S_y – среднеквадратичная ошибка опыта; $t^{расч.} \leq t_{xf_1}^{табл.}$, при этом условии математическая модель адекватна.

Вывод: Постановка и проведение лабораторного эксперимента, адаптированного к промышленным условиям стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» по изучению сопротивлению деформации металла с имеющейся трещиной позволило построить математическую модель зависимости критической величины сопротивления деформации от градиента температур по сечению металла, скорости прокатки, режимах обжатий в черновой группе клетей данного стана и углом трещины к направлению прокатки.

Список литературы

1. Салганик В.М., Песин А.М., Пустовойтов Д.О. // Известия вузов. Черная металлургия. 2010. № 3. С 22-24.
2. Бурмистрова Е.А., Шубин И.Г. Квалиметрические методы оценки качества трубной стали в условиях ОАО «ММК // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 37. С. 78-87.
3. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
4. Иванова, В.С. и др. Усталость и хрупкость металлических материалов. М.: Наука, 1968. 180 с.

5. Лазовский, Е.П., Ушаков С.Н., Юрина Д.В. и др. Изучение причин образования дефекта «плен» из-за неметаллических включений сляба на прокате // Сталь. 2009. № 10. С. 26-28.
6. Пустовойтов Д.О. Совершенствование широкополосной прокатки трубных сталей на основе моделирования поведения поверхностных трещин непрерывно-литого сляба / Пустовойтов Денис Олегович: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05. Магнитогорск. 2010. 18 с.
7. Колбасников, Н.Г. Исследование и моделирование структуры и свойств металлических материалов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. 39 с.
8. Красовский Г.И., Филоретов Г.Ф. Планирование эксперимента. Мн.: Изд-во БГУ, 1982. 302 с.
9. Создание искусственных дефектов «плен» и «светлая полоса» на холоднокатаной листовой стали марки 08Ю / Н.И. Мельник, В.Л. Корнилов, А.А. Шишов, Е.А. Бурмистрова // Обработка сплошных и слоистых материалов. Вып. № 35: Межвуз сб. науч. тр. / Под ред М.В. Чукина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2008. С. 185-192.
10. ТИ 101-П-ГЛ10-374-2010 Горячая прокатка полос на стане «2000» ОАО «ММК».
11. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 33-35.
12. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 67-69.
13. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. Международный научно-технический и производственный журнал. Декабрь 2013. №4(34). С. 106-112.
14. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. № 10. С. 84-87.

References

1. Salganik V.M., Pesin A.M., Pustovoitov D.O. // News of Higher Education Institutions. Ferrous metallurgy. 2010. № 3. P 22-24.
2. Burmistrova E.A., Shubin I.G. Qualimetric methods for assessing the pipe steel quality at JSC "Iron and Steel Works" // Solid and laminated materials treatment. Vol. 37: Interuniversity collection of scientific papers / Edited by M.V. Chukin FSBEI HPE Magnitogorsk: "NMSTU", 2011. Pp. 78-87.
3. Cherepanov G.P. Mechanics of brittle destruction. M.: Science, 1974. 640 p.
4. Ivanova V.S. and etc. Fatigue and brittleness of metal materials. M.: Science, 1968. 180 p.
5. Lazovskiy E.P., Ushakov S.N., Yurina D.V. and etc. Studying of the reasons of formation the defect of "shell" on mill product because of nonmetallic inclusions of a slab // Steel. 2009. № 10. P. 26-28.
6. Pustovoitov D.O. Improvement of wide-range rolling pipe steels on the basis of behavior modeling of surface crack of a continuous and cast slab / Pustovoitov Denis Olegovich: synopsis of a thesis ... PhD in Technical Sciences: 05.16.05. Magnitogorsk. 2010. 18 p.
7. Kolbasnikov N.G. Research and modeling of structure and properties of metal materials. СПб.: Publishing house СПбГПУ, 2009. 39 p.
8. Krasovskiy G.I., Filoretov G.F. Experiment planning. Мн.: Publishing house БГУ, 1982. 302 p.
9. Creation of artificial defects of "shell" and "light strip" on cold-rolled steel sheet of brand 08Yu / N.I. Melnik, V.L. Kornilov, A.A. Shishov, E.A. Burmistrova // Handling of void-free and

layered materials. Edition № 35: interuniversity collection of scientific works / Under edition M.V. Chikin. Magnitogorsk: SEE of HPE «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov», 2008. P. 185-192.

10. TI 101-II-ГЛ10-374-2010. Hot rolling of strips on a camp "2000" JSC MMK.

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

12. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 67-69.

13. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. Quality management in Metalware production // Metallurgical processes and equipment. International scientific-technical and production journal. December 2013. No. 4(34). Pp. 106-112

14. Prototyping - the new development stage of metalware production standardization / G.Sh. Rubin, M.A. Polyakova, M.V. Chukin, G.S. Gun // Steel. 2013. No. 10. Pp. 84-87.

УДК 621.778

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОТЯЖКЕ

Харитонов В.А., Усанов М.Ю.

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

Радиально-сдвиговая протяжка (РСПр) - способ получения проволоки радиально-сдвиговой деформацией, который осуществляется приложением к проволоке (катанке) переднего тянущего усилия без ее скручивания [1]. Радиально-сдвиговая протяжка представляет собой кассету с 3-мя неприводными роликами, расположенными под углом 120° друг к другу, с углами подачи $\beta > 16^\circ$. Каждый ролик имеет рабочий конус и калибрующий пояс.

Известно, что при волочении проволоки в монолитных волокнах из среднеуглеродистой стали, имеющей межпластинчатую феррито-цементитную структуру (сорбит), межпластинчатое расстояние пропорционально отношению диаметров проволоки до (d_0) и после (d) волочения. Это соотношение выражается в следующем виде [2]:

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

где S_0 – межпластинчатое расстояние на начальном диаметре проволоки; S - межпластинчатое расстояние на конечном диаметре проволоки.

Соотношение (1) дает экспоненциальную зависимость между S и интегральной деформацией удлинения e :

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

Истинная величина деформации при радиально-сдвиговой прокатке определяется согласно [3] по изменению угла между образующей поверхности проволоки и плоскостью поперечного сечения. При этом логарифмическая деформация скручивания представляет собой логарифм отношения этого исходного углового размера (90°) к конечному: $e_k = \ln(90^\circ/\gamma)$, где

γ — угол подъема винтовой линии. А величина накопленной деформации определяется по формуле [4]:

$$e = 2 \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) + \ln \left(\frac{90}{\gamma} \right) \quad (3)$$

При РСПр, кроме линейной деформации вытяжки, дополнительное измельчение происходит за счет скручивания структуры металла. Зная угол подъема винтовой линии (γ), исходное межпластинчатое расстояние (S_0), начальный (d_0) и конечный диаметры проволоки (d), из (2) и (3) можно определить межпластинчатое расстояние на готовом диаметре (S)

$$S = \frac{\sqrt{10 \cdot \gamma}}{30} \cdot \frac{S_0 \cdot d}{d_0}, \quad (4)$$

В процессе моделирования в программном комплексе Deform 3d [5], было установлено, что управлять углом подъема винтовой линии в процессе радиально-сдвиговой протяжки за один проход можно, изменяя величину вытяжки (рис. 1) и угол конической части роликов (рис. 2).

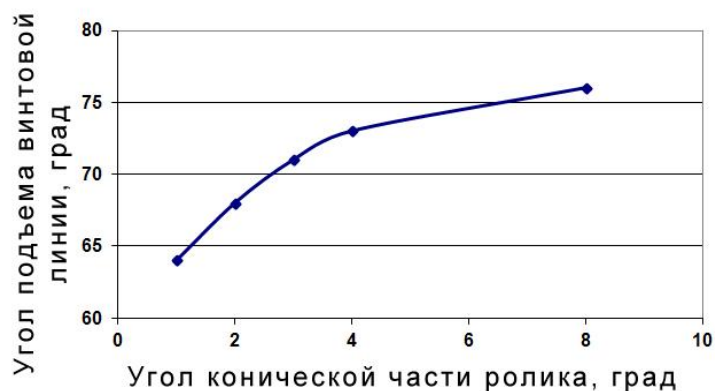


Рис. 1. Зависимость угла подъема винтовой линии от угла конической части ролика

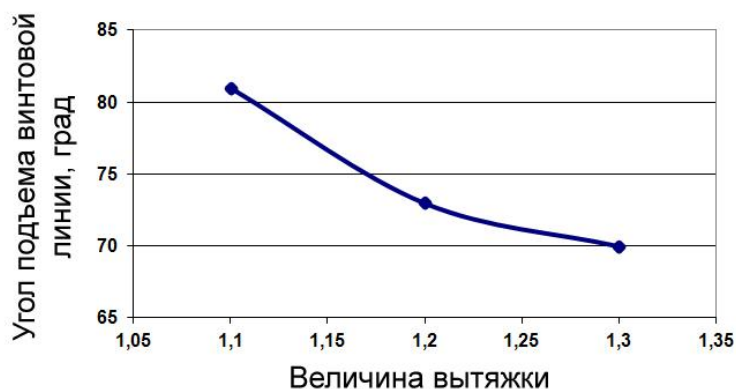


Рис. 2. Зависимость угла подъема винтовой линии от величины вытяжки

Из **рис. 1 и 2** видно, что угол подъема винтовой линии увеличивается (т.е. скручивание больше) с уменьшением конической части ролика и увеличением величины вытяжки.

В программном комплексе Deform 3d смоделировали протяжку заготовки из стали марки 80 по следующему маршруту: 16,00→14,25→12,85→ 11,73→10,80→10,00 мм. Расчеты приведены для роликовой кассеты с диаметром роликов 32 мм, толщиной роликов 24 мм, повернутых на угол подачи 24 град, углом конической части 4 град и цилиндрической частью длиной 5 мм. После каждой протяжки замерялся угол скручивания (**рис. 3**).

В табличном редакторе Microsoft Excel 2007, проведена аппроксимация данных зависимости угла подъема винтовой линии от суммарной величины вытяжки. При этом получена полиномиальная линия тренда второй степени (см. **рис. 3**).

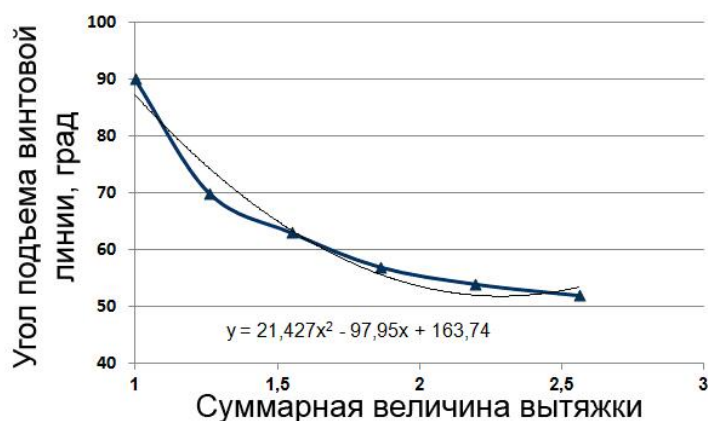


Рис. 3. Аппроксимация зависимости угла подъема винтовой линии от суммарной величины вытяжки

Линия тренда описывается уравнением:

$$y = 21,427x^2 - 97,95x + 163,74, \quad (5)$$

где y - угол подъема винтовой линии; x – величина вытяжки.

Анализ полученных данных, показывает, что при волочении в монолитной волоке заготовки из стали марки 80 с межпластинчатым расстоянием 200 мкм по маршруту 16,00→14,25→12,85→11,73→10,80→10,00 мм, получим на готовом размере межпластинчатое расстояние 125 мкм. Накопленная степень деформации составит 0,94.

Если обработать ту же заготовку радиально-сдвиговой протяжкой, то на готовом размере получим межпластинчатое расстояние 96 мкм, накопленная степень деформации составит 1,46.

Линия тренда (5), полученная по графику на **рис. 3**, позволяет определить величину подъема винтовой линии до вытяжек 2,5. Данная кривая будет постоянной для определенной конструкции волоки радиально-сдвиговой протяжки. Таким образом, можно решать как прямую задачу, так и обратную.

Например, если известен начальный диаметр и величина межпластинчатого расстояния проволоки, то можно определить, какой размер зерна получится на готовом размере проволоки. Или, точно зная диаметр и необходимый размер межпластинчатого расстояния на готовой проволоке, можно определить требования к исходной заготовке.

По полученным данным, видно, что наиболее целесообразно применять радиально-сдвиговую протяжку в первых двух проходах перед волочением.

Список литературы

1. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки / В.А. Харитонов, А.Ю. Манякин, М.В. Чукин, Ю.А. Дремин, М.А. Тикеев, М.Ю. Усанов: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.
2. Битков В.В. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 343 с.
3. Патент РФ №2038175 МПК В21В1/02, В21В19/00, опубл. БИ 27.06.1995.
4. Иванов М.Б., Пенкин А.В. и др. Теплая поперечно-винтовая прокатка в валках конической формы как метод интенсивной пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 9. С. 13-18.
5. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование формирования структуры высокоуглеродистой проволоки в процессе радиально-сдвиговой протяжки // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 66-74.

References

1. Improvement of deformation modes and the tool in case of a round wire drawing / V.A. Haritonov, A.Yu. Manyakin, M.V. Chukin, Yu.A. Dremin, M.A. Tikeev, M.Yu. Usanov: monograph. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2011. 174 p.
2. Bitkov V.V. Technology and machinery for wire production. Yekaterinburg: Ural department of the RAS, 2004. 343 p.
3. Patent of RF №2038175 МПК В21В1/02, В21В19/00, it is published BI 27.06.1995.
4. Ivanov M.B., Penin A.V. and etc. Warm cross rolling in rolls of the conical shape as a method of intensive plastic deformation // Deformation and rupture of materials. 2010. № 9. P. 13-18.
5. Haritonov V.A., Usanov M.Yu. Modeling of structure formation of a high-carbon wire in the process of radial and shift broach // Processing of continuous and laminate materials: interuniversity collection of scientific works / under edit. prof. M.V. Chukin. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2012. Edit. 38. P. 66-74.

УДК 621.7

НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОКАТА

Богатов А.А., Салихьянов Д.Р.

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

Введение

В настоящее время условия эксплуатации изделий металлургического производства предъявляют все более жесткие требования к эксплуатационным характеристикам. Практика показывает, что в монометаллических изделиях (изделиях из одного материала) не удается объединить необходимые служебные характеристики, такие как: высокая прочность, коррозионная стойкость, износостойкость, высокая электропроводность и т.д. Одним из наиболее эффективных решений является применение композиционных и биметаллических материалов. Применение их взамен традиционных монометаллических материалов позволяет до-

стичь значительного увеличения эксплуатационного ресурса и экономии дорогостоящих материалов.

Наиболее распространенным способом производства является способ обработки давлением, в частности листовая прокатка. Однако производство слоистых биметаллических листов существенно отличается от производства монометаллических. Большое внимание уделяется задачам получения заданного соотношения слоев в готовом изделии и обеспечения прочного соединения компонентов биметалла. Для расчета формоизменения слоев биметалла при пластической деформации существуют решения методом верхней оценки, методики расчета формоизменения на компьютере [1]. В то же время, одними из главных характеристик, определяющих качество биметалла, являются прочностные характеристики (предел прочности на срез и на отрыв) и их стабильность по всей площади поверхности раздела компонентов. Именно поэтому подготовке контактных (соединяемых) поверхностей следует уделить особое внимание. Однако совокупность физико-химических процессов, протекающих при сближении и совместной деформации соединяемых поверхностей не позволяет однозначно сформулировать рекомендации по подготовке контактных поверхностей к совместной деформации, режимам деформации и получить аналитические зависимости от основных параметров процесса. Поэтому целью работы является анализ процессов, протекающих в переходной зоне биметаллического изделия и формулировка выводов относительно режимов обработки биметаллического проката.

Исследование механизма образования соединения компонентов биметалла при прокатке

Сложность и взаимосвязанность протекающих процессов в переходной зоне биметалла при совместной деформации не позволяет сделать однозначный вывод о природе протекающих процессов. Многочисленными исследованиями с различных позиций были установлены несколько механизмов образования соединения [1-9, 14-15], однако эти теории дают лишь описание процесса образования соединения слоев на качественном уровне. В настоящее время известны диффузионная, дислокационная, энергетическая, электронная, пленочная, механическая модель схватывания. В последнее время наибольшее распространение получают теории, описывающие процесс образования соединения компонентов биметалла как многостадийный [10-13]. Наиболее часто образование соединения представляется как процесс, протекающий в три стадии: 1) механическое взаимодействие контактируемых слоев, обжатие неровностей, разрушение оксидных пленок и появление локальных узлов схватывания; 2) превращение отдельных узлов схватывания в мостики сцепления, появление вблизи границы раздела зон с повышенной концентрацией вакансий, дислокаций; 3) превращение мостиков сцепления в межслойную границу в результате протекания диффузионных процессов. Однако, конкретные технологические вопросы, связанные с получением прочного соединения остаются открытыми и на практике определение оптимальных параметров процесса производят экспериментальным путем.

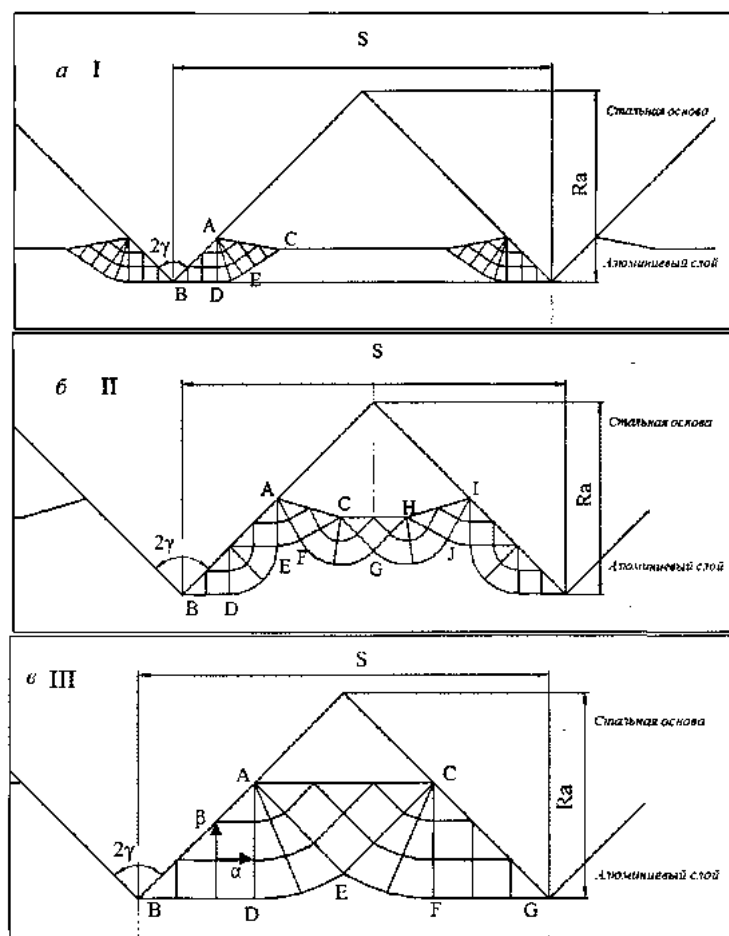
В работе процесс рассмотрен на примере производства стале-алюминиевого проката (низколегированная сталь - алюминиевый сплав АД31), который характеризуется коррозионной стойкостью, достаточной прочностью с низкой плотностью и хорошей пластичностью и нашел применение в судостроительной, химической, пищевой промышленности, в строительстве и бытовой технике. Технология производства включает в себя зачистку соединяемых поверхностей проволочными щетками и абразивными кругами, нагрев алюминиевых заготовок до температуры горячей обработки, сборку пакета и совместную деформацию пакета без деформации стальной основы с последующей термообработкой [2]. Недостатком технологии является недостаточная прочность соединения слоев.

Процесс образования соединения слоев представлен как процесс взаимодействия микровыступов профиля шероховатости стальной поверхности, как более прочной, с поверхностью алюминиевого слоя. При совместной деформации алюминиевый слой заполняет поло-

сти профиля стальной поверхности. Стоит отметить, что в большинстве работ игнорируется учет профиля шероховатости поверхности (форма и размеры), хотя микрогеометрия контактной поверхности, особенно твердой составляющей, определяет напряженно - деформированное состояние переходной зоны, степень заполнения полостей микрогеометрии более твердой составляющей, фактическую площадь контакта компонентов биметалла и, в конечном счете, прочностные характеристики переходной зоны, их стабильность на всей поверхности раздела. Фактическая площадь контакта влияет на полноту протекания диффузионных процессов, а напряженно - деформированное состояние более мягкой составляющей определяет прочность переходной зоны: наличие остаточных напряжений, величины накопленной степени деформации и поврежденности металла [16].

Процесс заполнения алюминиевым слоем (более мягкой составляющей) полостей микрогеометрии стального слоя более твердой составляющей) схематично показан на **рис. 1 (а, б, в)** в виде трех последовательных стадий. На схеме изображена сетка линий скольжения, которая была построена для мягкой компоненты. В соответствии с используемым методом линий скольжения течение металла принято плоским (коэффициент Луде $\nu_0 = 0$).

На первой стадии происходит внедрение микровыступов стали в слой алюминия, с вдавливанием алюминия из-под выступов стали (см. **рис. 1, а**). Далее происходит стадия заполнения алюминием полостей между выступами за счет вдавливания твердой стальной основы в поверхность алюминия (см. **рис. 1, б**). При заполнении полостей мягкая компонента постепенно наклепывается, происходит накопление степени деформации Λ и достигается некоторый предел заполнения полости (см. **рис. 1, в**). Дальнейшее течение алюминиевого слоя в полости профиля стальной поверхности затруднено и происходит деформация всего объема алюминиевого слоя.



**Рис. 1. Поле линий скольжения при соединении слоев биметалла пластической деформацией:
Ra – средняя высота неровностей; - средний шаг выступов профиля**

Следующим основным этапом работы стал компьютерный анализ процесса совместной деформации разнородных материалов с помощью программного пакета Deform - 3D. В поставленной задаче стальная основа выступает в качестве инструмента, в качестве алюминиевого слоя выбран материал АД31. Угол при вершине равен 60° .

Анализ процесса деформации позволяет составить представление о характере течения алюминиевого слоя в процессе совместной деформации и построить кинематическое поле скоростей для разных стадий заполнения полостей профиля стальной поверхности алюминиевым слоем. На первой стадии (**рис. 2, а**) происходит внедрение выступов профиля стальной поверхности в слой алюминия. Изображенные векторы скоростей представляют собой линии скольжения. Вторая стадия (**рис. 2, б**) характеризуется активным заполнением алюминием полостей стального профиля, после чего достигается предел заполнения полостей профиля (**рис. 2, в**) и, при дальнейшей деформации, происходит деформация по всей толщине пакета (**рис. 2, г**) и объемное течение металла составляющих пакета.

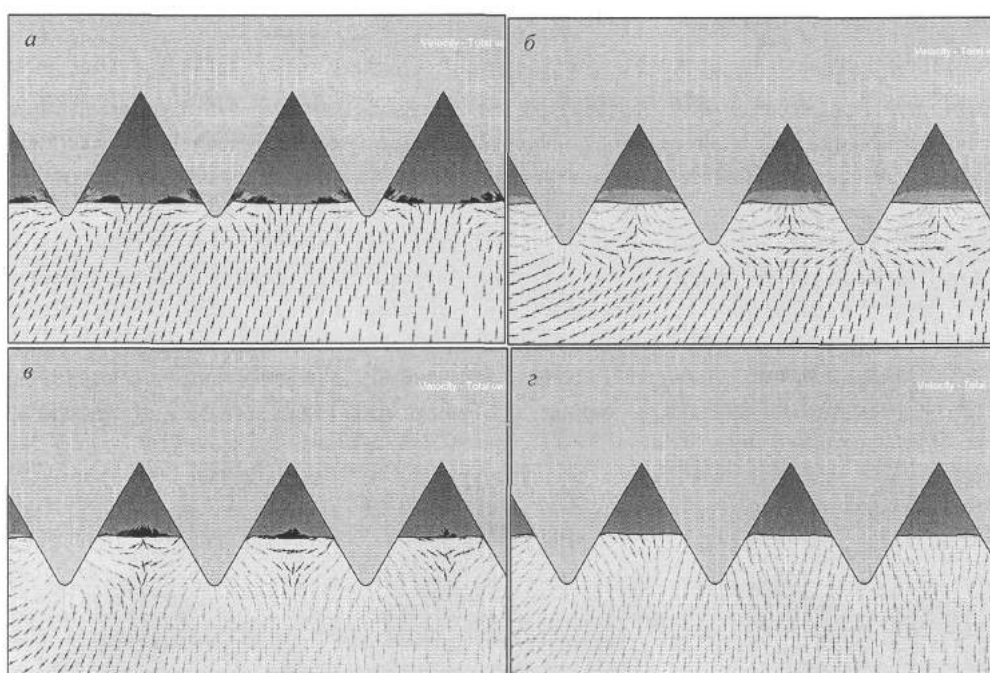


Рис. 2. Стадии течения мягкой компоненты в промежуточной зоне биметалла в процессе прокатки

На четвертой, завершающей стадии было изучено напряженно-деформированное состояние алюминия в зоне полостей профиля стальной поверхности. На **рис. 3** представлена схема расположения изучаемых точек на мягкой составляющей, заполнившей полость твердой составляющей. Все данные сведены в общей таблице.

Напряженно - деформированное состояние оценивалось по двум основным критериям: относительное среднее нормальное напряжение τ и степень деформации сдвига Λ . Чем меньше показатель напряженного состояния σ/T , тем выше пластичность металла, поэтому рекомендуется создавать условия, обеспечивающее более низкое σ/T .

Также с помощью средств измерения Deform - 3D было вычислено, что максимальная глубина, на которую удалось внедриться выступающим частям профиля- 40 % относительно высоты зубьев в принятой схеме совместной деформации. Величина внедрения является количественной характеристикой позволяющей оценить фактическую площадь контакта поверхностей.

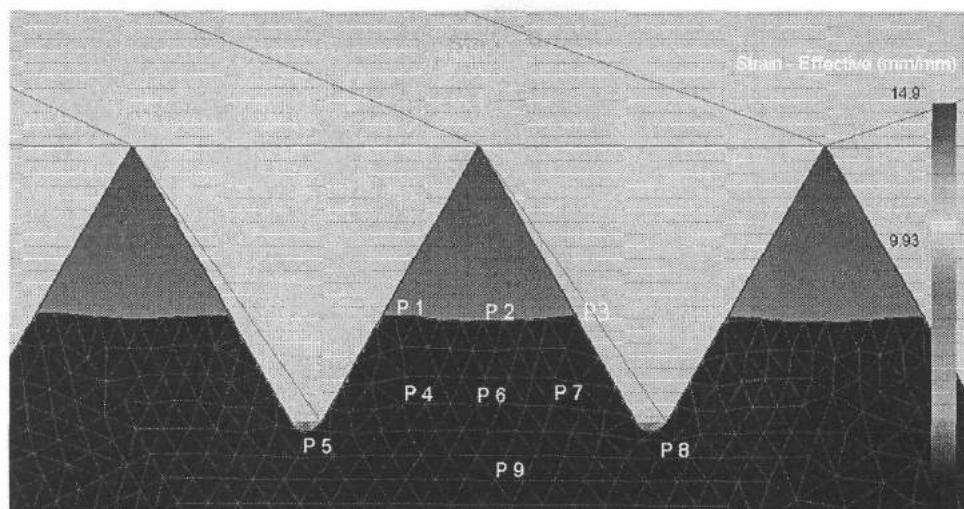


Рис. 3. Схема расположения изучаемых точек

Показатели напряженно - деформированного состояния в промежуточной зоне

№ точки	Показатель напряженного состояния σ/T	Степень деформации Λ
1	-1,36	0,55
2	-1,03	0,18
3	-1,09	0,52
4	-1,95	0,27
5	-3,25	0,40
6	-1,41	0,11
7	-1,78	0,29
8	-2,85	0,10
9	-1,98	0,01

Результаты исследований

Как показали исследования, механические свойства переходной зоны во многом определяются напряженно - деформированным состоянием материалов (особенно более мягкой компоненты биметалла) в результате взаимодействия профилей микрогеометрии соединяемых тел. Правильная подготовка контактных поверхностей, позволит обеспечить максимально возможные прочностные характеристики для конкретного типа биметалла. А знание природы протекающих процессов в процессе образования соединения позволит подобрать оптимальные условия подготовки поверхностей и проведения режимов обжатия.

Список литературы

1. Производство слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев и др. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 496 с: ил.
2. Биметаллический прокат / П.Ф. Засуха, В.Д. Кортиков, О.Б. Бухвалов, А.А. Ершов. М.: Изд-во «Металлургия», 1971. 264 с.

3. Астров Е. И. Плакированные многослойные металлы. М.: Metallurgy, 1965. 239 с.
4. Диффузионная сварка материалов. Справочник / В.П. Антонов, В.А. Бачиы, Е.В. Закорин и др. М.: Машиностроение, 1981. 271 с.
5. Щеголев В.А., Колмогоров В.Л. К вопросу схватывания разнородных металлов // Теория и практика производства метизов. Межвуз. сб. Свердловск: УПИ, 1983. С. 9 -17.
6. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов // Диффузионная сварка материалов. М.: Машиностроение, 1976. 312 с.
7. Семенов Н. П. Схватывание металлов. М.: Машгиз, 1958. 280 с.
8. Самсонов Е.В., Бурьшна А.Л., Евтушенко О.В. Электронный механизм диффузионной сварки // Автоматическая сварка. 1966. № 10. С. 30 - 34.
9. Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. Учебное пособие для вузов. М.: Metallurgy , 1987. 352 с.
10. Красулин Ю.Л., Шоршоров М.Х. О механизме образования соединения разнородных материалов в твердом состоянии // Физика и химия обработки материалов в твердом состоянии. 1967. № 1. С. 82 - 89.
11. Красулин Ю.Л. Взаимодействие металла с полупроводником в твердой фазе. М.: Наука, 1971. 119 с.
12. Шоршоров М.Х., Дрюндин С.С. Кинетика соединения металлов в твердой фазе // Физика и химия обработки материалов. 1981. № 1. С. 75 - 85.
13. Лозинский М.Е., Тананов А.И. О механизме образования и строении переходной зоны в биметалле СтЗ + Х18Н10Т // Машиностроение. 1967. № 3. С. 85-93.
14. The nature of the Metal-Metal Bond in Bimetallic Surfaces. Jose A. Rodriguez, D. Wayne Goodman. Science, New series, vol. 257, № 572, 897 - 903.
15. A new model for diffusion bonding and its application to duplex alloys. N. Orhan, M. Aksoy, M. Eroglu. Material Science and engineering A271, 458 - 468.
16. Богатов А. А., Салихьянов Д. Р. Разработка и исследование модели схватывания при производстве биметаллического проката сталь - алюминий // XIV International scientific conference "New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering and production engineering" \ Vol. 1. Series: Monograph № 31, Czestochowa. 2013. p. 295 - 300.

References

1. Production of layer composite materials / A.G. Kobelev and etc. М.: Internet Inginiring, 2002. 496 p: pic.
2. Bimetallic rolled products / P.F. Zasuha, V.D. Kortikov, O.B. Buhvalov, A.A. Ershov. М.: Publishing house «Metallurgy», 1971. 264 p.
3. Astrov E.I. The plated multi-layer metals. М.: Metallurgy, 1965. 239 p.
4. Diffusion welding of materials. Guide / V.P. Antonov, V.A. Bachiyy, E.V. Zakorin and etc. М.: Engineering, 1981. 271 p.
5. Schegolev V.A., Kolmogorov V.L. To a question about a gripe of dissimilar metals // Theory and practice of hardware production. Interuniversity collector Sverdlovsk: [УПИ], 1983. P. 9 - 17.
6. Kazakov N.F. Diffusion welding of materials // Diffusion welding of materials. М.: Engineering, 1976. 312 с.
7. Semenov N.P. Gripe of metals. М.: Mashgiz, 1958. 280 p.
8. Samsonov E.V., Buryjshna A.L., Evtushenko O.V. Electronic mechanism of diffusion welding // Automatic welding. 1966. № 10. P. 30 - 34.
9. Arkulis G.E., Dorogobid V.G. Theory of plasticity. Study letter for HPE. М.: Metallurgy , 1987. 352 p.

10. Krasulin Yu.L., Shorshorov M.H. About the mechanism of formation dissimilar materials connection in a solid stage // Physics and chemistry of materials processing in a solid stage. 1967. № 1. P. 82 - 89.

11. Krasulin Yu.L. Metal interaction with the semiconductor in a solid phase. M.: Science, 1971. 119 p.

12. Shorshorov M.H., Drundin S.S. Kinetics of metals connection in a solid phase // Physics and chemistry of materials processing. 1981. № 1. P. 75 - 85.

13. Lozinskiy M.E., Tananov A.I. About the mechanism of formation and a structure of the transition zone in bimetal St3 + X18H10T // Engineering. 1967. № 3. P. 85-93.

14. The nature of the Metal-Metal Bond in Bimetallic Surfaces. Jose A. Rodriguez, D. Wayne Goodman. Science, New series, vol. 257, № 572, 897 - 903.

15. A new model for diffusion bonding and its application to duplex alloys. N. Orhan, M. Aksoy, M. Eroglu. Material Science and engineering A271, 458 - 468.

16. Bogatov A. A., Salihyanov D.R. Development and research of a gripe model in case of production of bimetallic rolled product steel - aluminum // XIV International scientific conference "New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering and production engineering" \ Vol. 1. Series: Monograph № 31, Czestochowa. 2013. p. 295 - 300.

УДК 621.778

ОПТИМАЛЬНЫЕ УГЛЫ ВОЛОЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТЬ НУЛЕВОГО ПРИРОСТА ОСЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОТИВОНАТЯЖЕНИЯ

Гурьянов Г.Н.

ООО «Феникс+», г. Белорецк, Россия

На основе приведённых уравнений в работе* выполнили расчёты осевого напряжения в зависимости от угла α_0 наклона образующей на входе очага пластической деформации для заготовки с пределом текучести $\sigma_{s0} = 1000$ МПа и коэффициенте упрочнения $k = 0,25$ (углеродистая сталь после патентирования) и для заготовки из стали марки 12X18H10T, имеющую кривую упрочнения [5*] $\sigma_{Si} = 511\mu^{1,37}$.

Зависимости построены при напряжении противонатяжения 0, 250 и 500 МПа, коэффициентах вытяжки 1,5 и трения 0,05 и 0,25 (**рис. 1**). Зона оптимальных углов смещается в сторону их увеличения с ростом коэффициента трения и снижением напряжения противонатяжения для всех трёх форм профиля канала.

При действии противонатяжения оптимальные углы $\alpha_{0\text{опт}}$ меньше для нержавеющей стали, так как для неё больше величина отношения σ_{q0}/σ_{s0} значений напряжения противонатяжения и исходного предела текучести заготовки, чем для углеродистой стали.

*
Статья в настоящем издании Г.Н. Гурьянова «К разработке эффективного процесса волочения с противонатяжением круглой сплошной заготовки через волокни с различной формой профиля рабочего канала волокни»

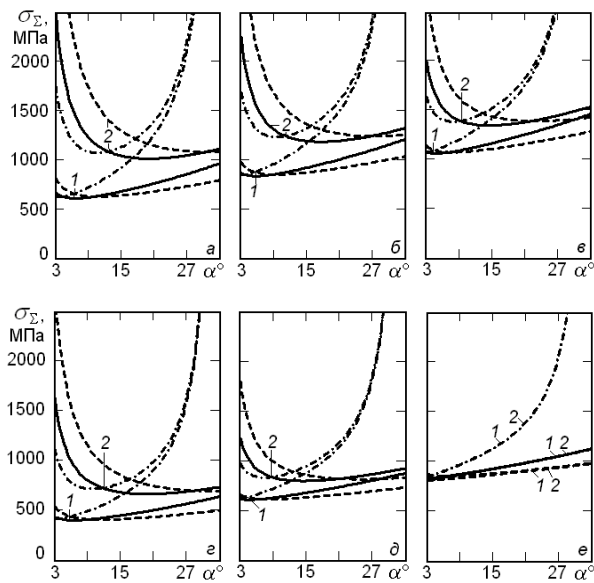


Рис. 1. Зависимость полного напряжения от величины угла α на входе рабочего канала при коэффициенте вытяжки 1,5:
 $a - в$ – углеродистая сталь; $г - е$ – нержавеющая сталь;
 $a, г - \sigma_{q0} = 0$; $б, д - \sigma_{q0} = 250$ МПа; $в, е - \sigma_{q0} = 500$ МПа;
1 - $f = 0,05$; 2 - $f = 0,25$;

сплошные линии – конический канал; штриховые линии – выпуклая форма канала (6*); штрих - пунктирные – вогнутая форма канала (7*);
(*) – формула и её номер приведены в следующей статье автора

Область оптимальных углов относительно узкая для вогнутого профиля и находится ближе к оси ординат. Кривые для выпуклого канала пологие и имеют минимум при более высоких значениях угла α_0 , чем значения $\alpha_{0\text{опт}}$ при конической и вогнутой формах профиля. При напряжении противонапряжения 500 МПа, которое близко к пределу текучести нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т ($\sigma_{s0} = 511$ МПа), кривые для зависимостей напряжения волочения при коэффициенте трения 0,05 и 0,25 практически слились (е), а оптимальные значения угла $\alpha_{0\text{опт}}$ меньше 3° . Влияние степени обжатия на величину угла $\alpha_{0\text{опт}}$ для вогнутого канала сложное, поэтому результаты расчётов представили в **табл. 1 и 2**.

В **табл. 1, 2** даны кроме оптимального угла $\alpha_{0\text{опт}}$ значения полного осевого напряжения σ_Σ , запаса прочности $\Delta\sigma$ и прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения $\Delta\sigma_q$ при вычисленном оптимальном значении угла α . Коэффициент трения 0,05 и 0,15, величина напряжения противонапряжения принята равной 0 и 250 МПа. Значения коэффициента вытяжки указаны в таблицах.

С ростом коэффициента вытяжки значения угла $\alpha_{0\text{опт}}$ увеличиваются для конического и выпуклого каналов при отсутствии и наличии противонапряжения. Для вогнутого канала величина $\alpha_{0\text{опт}}$ повышается до некоторого значения коэффициента вытяжки (для представленных данных это значение 1,35), а затем начинает снижаться с ростом обжатия. Это вызвано тем, что при вогнутом профиле с ростом вытяжки интенсивнее возрастает прирост осевого напряжения на деформацию сдвига металла на выходе рабочей зоны из-за большей величины угла α образующей канала на его выходе при фиксированном значении α_0 .

Таблица 1

Результаты расчёта оптимального угла $\alpha_{0\text{опт}}$, напряжения волочения σ_{Σ} , запаса прочности $\Delta\sigma$ и прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения $\Delta\sigma_q$ при волочении углеродистой заготовки

σ_{q0} , МПа	f	Профиль	Расчётные параметры: $\alpha_{0\text{опт}}$, град; σ_{Σ} , $\Delta\sigma$, $\Delta\sigma_q$, МПа			
			$\mu = 1,15$	$\mu = 1,25$	$\mu = 1,35$	$\mu = 1,50$
			0	0,05	1	5,4; 292; 744; 0
		2	6,6; 294; 742; 0	9,2; 426; 631; 0	11,6; 547; 530; 0	14,9; 725; 382; 0
		3	4,4; 293; 742; 0	5,0; 425; 632; 0	5,1; 546; 532; 0	5,1; 712; 395; 0
250	0,05	1	4,7; 522; 514; 228	5,9; 645; 413; 222	6,9; 755; 323; 218	8,0; 905; 202; 212
		2	5,7; 523; 512; 228	8,0; 650; 407; 221	10,0; 766; 312; 216	13,0; 926; 180; 208
		3	3,8; 523; 513; 228	4,3; 649; 408; 222	4,5; 764; 314; 216	4,5; 923; 183; 209
0	0,15	1	9,4; 401; 635; 0	11,8; 560; 498; 0	13,6; 698; 379; 0	15,7; 882; 224; 0
		2	11,3; 405; 631; 0	15,7; 571; 486; 0	19,6; 722; 356; 0	24,8; 931; 176; 0
		3	7,6; 404; 632; 0	8,5; 569; 488; 0	8,7; 718; 359; 0	8,5; 925; 185; 0
250	0,15	1	8,1; 616; 419; 213	10,2; 765; 292; 202	11,8; 897; 181; 194	13,7; 1071; 35; 184
		2	9,8; 619; 416; 212	13,6; 775; 282; 201	17,1; 916; 161; 190	21,8; 1112; -5,3; 176
		3	6,6; 619; 417; 212	7,4; 774; 284; 201	7,6; 913; 164; 191	7,5; 1107; 0; 177

Примечание. В столбце «профиль» единица определяет значения параметров в строках для конического канала, 2 – выпуклого канала; 3 – вогнутого профиля

**Результаты расчёта оптимального угла $\alpha_{0\text{опт}}$,
напряжения волочения σ_{Σ} , запаса прочности $\Delta\sigma$ и прироста осевого напряжения от
приложения противонапряжения $\Delta\sigma_q$ при волочении нержавеющей заготовки**

σ_{q0} , МПа	f	Профиль	Расчётные параметры: $\alpha_{0\text{опт}}$, град; σ_{Σ} , $\Delta\sigma$, $\Delta\sigma_q$, МПа			
			$\mu = 1,15$	$\mu = 1,25$	$\mu = 1,35$	$\mu = 1,50$
0	0,05	1	5,4; 161; 457; 0	6,8; 245; 449; 0	7,9; 326; 444; 0	9,1; 450; 441; 0
		2	6,6; 162; 457; 0	9,4; 247; 447; 0	12,0; 331; 440; 0	15,8; 460; 431; 0
		3	4,4; 163; 456; 0	4,8; 249; 445; 0	4,9; 336; 435; 0	4,7; 470; 421; 0
250	0,05	1	3,9; 388; 231; 222	4,9; 463; 231; 212	5,6; 537; 233; 203	6,5; 651; 240; 191
		2	4,7; 388; 230; 221	6,7; 464; 229; 211	8,6; 541; 230; 202	11,5; 657; 233; 187
		3	3,1; 389; 231; 221	3,5; 466; 228; 210	3,5; 544; 227; 200	3,4; 665; 226; 184
0	0,15	1	9,4; 222; 397; 0	11,7; 326; 368; 0	13,5; 427; 344; 0	15,5; 576; 314; 0
		2	11,4; 223; 395; 0	16,0; 330; 363; 0	20,3; 436; 335; 0	26,3; 596; 294; 0
		3	7,5; 224; 394; 0	8,2; 334; 360; 0	8,3; 444; 327; 0	7,9; 614; 277; 0
250	0,15	1	6,7; 431; 188; 201	8,4; 521; 173; 184	9,7; 609; 162; 169	11,2; 741; 149; 147
		2	8,2; 432; 187; 200	11,6; 524; 170; 182	14,7; 615; 156; 166	19,4; 754; 137; 140
		3	5,4; 433; 186; 200	5,9; 527; 167; 181	6,0; 621; 150; 163	5,8; 766; 124; 134

Данные табл. 1, 2 позволяют сделать вывод, что для конической и выпуклой форм канала приложение противонапряжения привело к снижению разницы значений угла $\alpha_{0\text{опт}}$ и полного напряжения σ_{Σ} при коэффициенте вытяжки 1,15 и 1,50. А увеличение коэффициента трения действует в обратном направлении – усиливает эту разницу значений для $\alpha_{0\text{опт}}$ и σ_{Σ} .

Для вогнутого канала различие значений напряжения σ_{Σ} также уменьшается, хотя противонапряжение не повлияло на стабильность величины $\alpha_{0\text{опт}}$ при изменении степени деформации заготовки. Расчёты показали, что с увеличением коэффициента упрочнения величина угла $\alpha_{0\text{опт}}$ повышается при выпуклом канале и уменьшается при вогнутой и конической формах профиля. При коническом канале уменьшение $\alpha_{0\text{опт}}$ незначительное. При отсутствии противонапряжения величина исходного предела текучести не влияет на значения оптимального угла волочения. Но при фиксированной величине напряжения противонапряжения рост предела текучести σ_{s0} вызывает повышение $\alpha_{0\text{опт}}$. При действии противонапряжения относительно слабое влияние коэффициента упрочнения на величину $\alpha_{0\text{опт}}$ сохраняется.

У углеродистой и нержавеющей сталей значительно отличаются значения исходного предела текучести и коэффициента упрочнения. Поэтому при отсутствии противонапряжения для нержавеющей стали значения $\alpha_{0\text{опт}}$ больше при выпуклом канале и меньше при вогнутой и конической формах профиля. При коническом канале значения $\alpha_{0\text{опт}}$ для углеродистой и нержавеющей сталей незначительно отличаются при малых и средних степенях деформации ($\mu \leq 1,35$). Так как величина предела текучести σ_{s0} для нержавеющей стали почти в два раза меньше, чем у углеродистой, то приложение противонапряжения вызвало более заметное снижение величины $\alpha_{0\text{опт}}$ у менее прочной стали.

Представленные данные (рис. 2) позволяют сравнить различие значений напряжения волочения для разных форм рабочего канала в зависимости от угла α_0 при волочении заготовки из углеродистой и нержавеющей сталей. Значения постоянных σ_{s0} и k для углеродистой и нержавеющей сталей оставили без изменения. Напряжение противонапряжения σ_{q0} равно 0, 250 и 500 МПа.

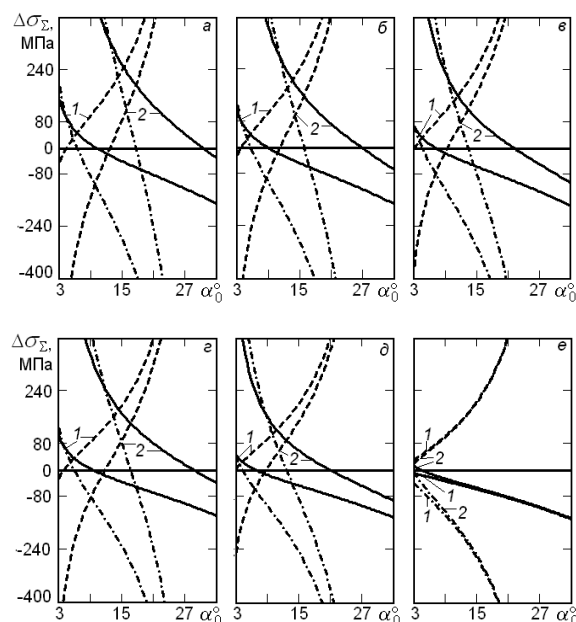


Рис. 2. Зависимости разности $\Delta\sigma_{\Sigma}$ значений полного напряжения для трёх форм рабочего канала от угла α_0 при коэффициенте вытяжки 1,5:
 $a - в$ – углеродистая сталь; $г - e$ – нержавеющая сталь;
 $a, г - \sigma_{q0} = 0$; $б, д - \sigma_{q0} = 250$ МПа; $в, e - \sigma_{q0} = 500$ МПа;
1 - $f = 0,025$; 2 - $f = 0,25$; сплошные линии – разность (8*);
штриховые линии – разность (9*); штрих - пунктирные – разность (10*)

Разности значений напряжения $\Delta\sigma_{\Sigma}$ имеют сложную зависимость от угла α_0 . Однако имеются общие закономерности для обеих сталей. Расстояние между парой линий для конкретной разности (две линии с одинаковым стилем) с коэффициентами трения 0,025 и 0,25 уменьшается с ростом угла α_0 и напряжения противонапряжения σ_{q0} . То есть форма профиля и величина коэффициента трения меньше влияют на напряжение волочения. С увеличением напряжения противонапряжения снижается величина угла наклона линий к оси абсцисс. В этом случае линии для разностей $\Delta\sigma_{\Sigma 1}$ (сплошные) и $\Delta\sigma_{\Sigma 3}$ (штрих - пунктирные) сдвигаются влево и вниз, а линии для разностей $\Delta\sigma_{\Sigma 2}$ (штриховые) – влево и вверх. Особенно заметно перемещение линий 2 при коэффициенте трения 0,25 и их участков, лежащих в интервале значений угла α_0 до 15 - ти град.

Отмеченное влияние противонапряжения более заметно для нержавеющей стали, так как она имеет значительно меньший предел текучести σ_{s0} , чем углеродистая сталь. Поскольку большинство линий пересекают нулевую ординату, то существует диапазон значений угла α_0 , при которых имеет преимущество одна из сравниваемых форм канала для обеспечения меньшего усилия волочения. При высоком для нержавеющей стали напряжении противонапряжения 500 МПа явное преимущество показывает выпуклый профиль при обоих значениях коэффициента трения и при $\alpha_0 > 6^\circ$ (e). Но при этом напряжении противонапряжения при волочении углеродистой заготовки (e) преимущество выпуклого профиля обеспечивается только в отношении конического канала, когда коэффициент трения 0,25 (сплошная линия 2), и в отношении вогнутого канала при коэффициенте трения 0,025 и $\alpha_0 > 9^\circ$ (штрих - пунктирная 1).

На рис. 3 приведены зависимости прироста $\Delta\sigma_q$ осевого напряжения от коэффициента трения для заготовки из углеродистой и нержавеющей стали при напряжении противонапряжения 100 и 250 МПа. Коэффициент вытяжки 1,5, а значения угла α_0 - 6; 9 и 18°.

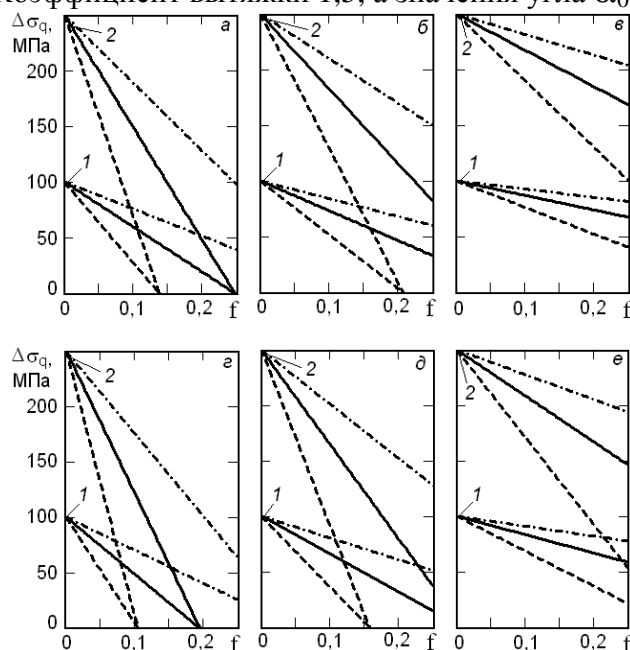


Рис. 3. Зависимость прироста $\Delta\sigma_q$ осевого напряжения от коэффициента трения:

a - в – углеродистая сталь; г - е – нержавеющая сталь;

а, г - $\alpha_0 = 6^\circ$; б, д - $\alpha_0 = 9^\circ$; в, е - $\alpha_0 = 18^\circ$;

1 - $\sigma_{q0} = 100$ МПа; 2 - $\sigma_{q0} = 250$ МПа;

сплошные линии – конический канал; штриховые – выпуклая форма канала (7); штрих - пунктирные – вогнутая форма канала (8*)*

У углеродистой стали меньше коэффициент упрочнения, поэтому нулевой прирост достигается при более высоких значениях коэффициента трения. Расчёты запаса прочности для этой стали при коэффициенте f_0 показали, что напряжение волочения превышает предел текучести при заданном коэффициенте вытяжки 1,5. Если величина угла α_0 равна 6° , то прирост $\Delta\sigma_q$ для нержавеющей стали равен нулю при коэффициенте трения $f_0 = 0,105$ для выпуклого канала и при $f_0 = 0,195$ для конического канала (см. рис. 3, з). Для обеих форм канала напряжение волочения меньше конечного предела текучести 891 МПа при заданных значениях напряжения противонапряжения. При $\alpha_0 = 9^\circ$ (см. рис. 3, д) нулевой прирост возможен только для выпуклого канала при коэффициенте трения 0,158. При этом значении угла α_0 напряжение волочения меньше предела текучести. Например, при $\sigma_{q0} = 250$ МПа осевое напряжение равно 840 МПа, т.е. запас прочности незначительный ($\Delta\sigma = 51$ МПа). Когда величина угла $\alpha = 18^\circ$ (см. рис. 3, е), то нулевой прирост возможен для выпуклого канала при коэффициенте трения f_0 0,315, и напряжение волочения σ_Σ близко к пределу текучести σ_{sk} . Например, напряжение волочения равно 890 МПа при $\sigma_{q0} = 100$ МПа. Зависимости (см. рис. 3) показывают, что нулевое значение прироста достигается при одном значении коэффициента трения и разных значениях напряжения противонапряжения. Это следует из формулы (12*) для канала с произвольной формой профиля канала и из формул (16*) для конического канала.

В заключение следует отметить, что величина угла α наклона образующей на выходе очага пластической деформации при вогнутой форме профиля больше, чем при выпуклой и конической формах. Поэтому требуется более протяжённая переходная зоны для снижения угла α до нулевого значения для плавного перехода поверхности рабочего канала в цилиндрическую поверхность калибрующего пояса. В результате образуется, так называемый «сигмоидальный» профиль рабочего канала [2*]. В переходной зоне происходит дополнительный прирост осевого напряжения. Волоки с чисто вогнутым рабочим каналом на практике не применяются по причинам сложности изготовления и отсутствия преимущества в стойкости [2*]. Вогнутая деформирующая поверхность используется в сочетании с другими формами профиля рабочего канала.

Выводы

С увеличением напряжения противонапряжения снижается влияние формы рабочего канала на величину полного осевого напряжения. Обратное действие оказывает рост значений коэффициентов вытяжки и трения. Величина оптимального угла на входе рабочего канала уменьшается с ростом напряжения противонапряжения при конической и криволинейной формах профиля. Протяжённость зоны оптимальных значений угла волочения в начале очага пластической деформации шире для выпуклой формы рабочего канала, и она смещена в сторону их увеличения.

Впервые в теории волочения расчётным методом показана возможность нулевого и отрицательного прироста напряжения волочения от приложения противонапряжения при обеспечении некоторого запаса прочности переднего конца заготовки, что подтверждает результаты эксперимента И.Л. Тарнавского и других исследователей [1*]. Аналитические зависимости для расчёта осевого напряжения и его прироста от действия противонапряжения, полученные из условия, что деформируемый материал имеет реологию жёстко-пластического тела, не включают величину коэффициента упрочнения. Однако расчёты показали, что наступление нулевого прироста осевого напряжения от противонапряжения при некотором запасе прочности переднего конца проволоки зависит от интенсивности упрочнения протягиваемого материала. Поэтому при жёстко-пластической модели упрочнения Мизеса, которую применяют при расчёте напряжённого состояния инженерным методом, методами линий сколь-

жения, верхней оценки, сопротивления материалов пластическим деформациям и баланса работ, невозможно расчётными методами обосновать реализацию нулевого прироста осевого напряжения от действия противонапряжения. Об этом свидетельствуют результаты соответствующих расчётов [1*, 2*, 5*]. На практике реализация нулевого прироста для большинства материалов невозможна из-за обрыва переднего конца проволоки или нецелесообразна по ряду причин. Однако учёт особенностей процесса волочения с противонапряжением позволяет повысить эффективность его применения для разгрузки волоки от радиальной силы и повышения эксплуатационной стойкости волочильного инструмента, снижения температуры волочения, неоднородности физико-механических свойств деформированного металла и уровня остаточных напряжений в поперечном сечении.

УДК 621.771.23:621.778.09

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛАТУННОГО ПОКРЫТИЯ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

Столяров А.Ю.¹, Мелихова Н.В.²

¹ООО «Специальные технологии», г. Магнитогорск, Россия

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

Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик автомобильных шин металлокорд, широко применяемый при их изготовлении, наряду с другими характеристиками, должен иметь высокую прочность связи с резиной (адгезия к резине). Для чего металлокорд свивают из латунированной высокоуглеродистой проволоки. Латунное покрытие наносится на патентованную проволоку-заготовку, которая затем подвергается мокрому волочению на многократных волочильных машинах со скольжением на готовый размер под свивку.

При этом толщина латунного покрытия на проволоке должна быть рациональной, т.к. с одной стороны, с увеличением толщины покрытия адгезия снижается [1], а с другой стороны, слишком тонкое покрытие приводит к нарушению его сплошности. Следует также учитывать экономические факторы, т.к. при нанесении латунного покрытия используются дорогостоящие материалы (медь и цинк анодные) и сложные технологические процессы осаждения металлов из комплексных электролитов, и увеличение толщины покрытия вызывает дополнительные затраты.

При волочении уменьшение толщины покрытия происходит пропорционально изменению диаметра проволоки, а также происходят потери латунного покрытия (съём) в волоках и на тяговых устройствах волочильных машин [2].

При расчёте параметров толщины латунного покрытия на патентованной заготовке необходимо учитывать съём латунного покрытия, который при нормальных условиях должен составлять 10-15 %. Величина съёма латунного покрытия зависит от величины суммарной деформации, геометрии и шероховатости поверхности рабочего канала волочильного инструмента, а также величины скольжения проволоки на тянущих устройствах волочильного стана. Опытным путём установлено, что съём латунного покрытия зависит ещё и от его начальной толщины [1-4].

Таким образом, вопрос формирования рациональной толщины латунного покрытия на патентованной заготовке в зависимости от условий волочения и требований к готовому металлокорду является актуальным.

На сегодняшний день в литературе вопросу волочения проволоки с латунным покрытием под металлокорд уделено мало внимания. Объясняется это тем, что с позиций теории совместной пластической деформации разных материалов (СПДРМ) [5] аналитически исследовать данный процесс затруднительно, поскольку латунное покрытие довольно тонкое, его

толщина сопоставима высотой микронеровностей деформируемой основы. Из-за наличия микронеровностей стальной основы при волочении возникает слой дополнительных сдвиговых деформаций [6]. Это приводит к образованию очагов локализации деформации латуни, образованию в нём дополнительных напряжений, что, в свою очередь, меняет характер течения латуни и требует проведения дополнительных исследований.

Данных по влиянию параметров волочения и толщины латунного покрытия на его потери не достаточно. Так, например, в работе [3] на основании экспериментальных данных показано, что при снижении рабочего угла волочильного инструмента с 14° до 10° съём латуни уменьшается, при этом не исследовано, как сказывается на съёме латунного покрытия дальнейшее уменьшение угла волочильного инструмента. В работе [7] рекомендована начальная толщина латунного покрытия, гарантирующая отсутствие его обратного течения. Показано, что при уменьшении угла минимальная начальная толщина покрытия уменьшается, но ничего не говорится о максимально допустимой толщине. Практикой же волочения латунированной проволоки под металлокорд установлено, что снижение угла рабочей зоны волочильного инструмента до $8 - 10^\circ$, а также повышение начальной толщины латунного покрытия приводит к его повышенному съёму при волочении.

В связи с чем, возникает необходимость проведения дополнительных исследований характера течения латунного покрытия в очаге деформации при волочении латунированной проволоки под металлокорд, а также оценки влияния его начальной толщины и параметров волочения на деформацию латуни.

Для поставленной задачи был проведен компьютерный эксперимент по моделированию процесса волочения проволоки с латунным покрытием в программной среде DEFORM-2D по методике, представленной в работах [6, 8], т.е. для определения показателей деформации при волочении на заготовке учитывалась фактическая шероховатость поверхности. При этом был добавлен слой латунного покрытия (рис. 1). Материал основы – стальная высокопрочная проволока с содержанием углерода 0,76 %, материал покрытия – латунь с содержанием меди 63 % и цинка 37 %. Физико-механические свойства материалов для моделирования были взяты из результатов тестовых испытаний, отношение толщины покрытия к диаметру основы – 0,007, полуугол волочильного инструмента – 6° , величина единичной деформации 22 %, коэффициент трения для «мокрого» волочения - 0,2.

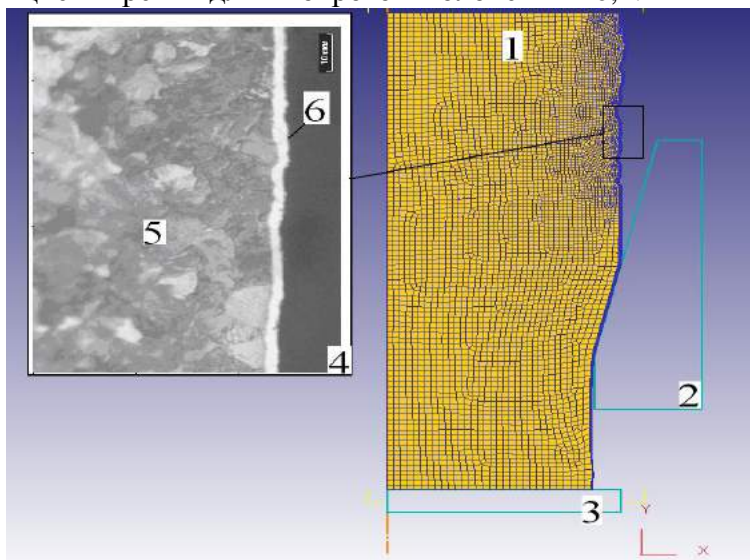
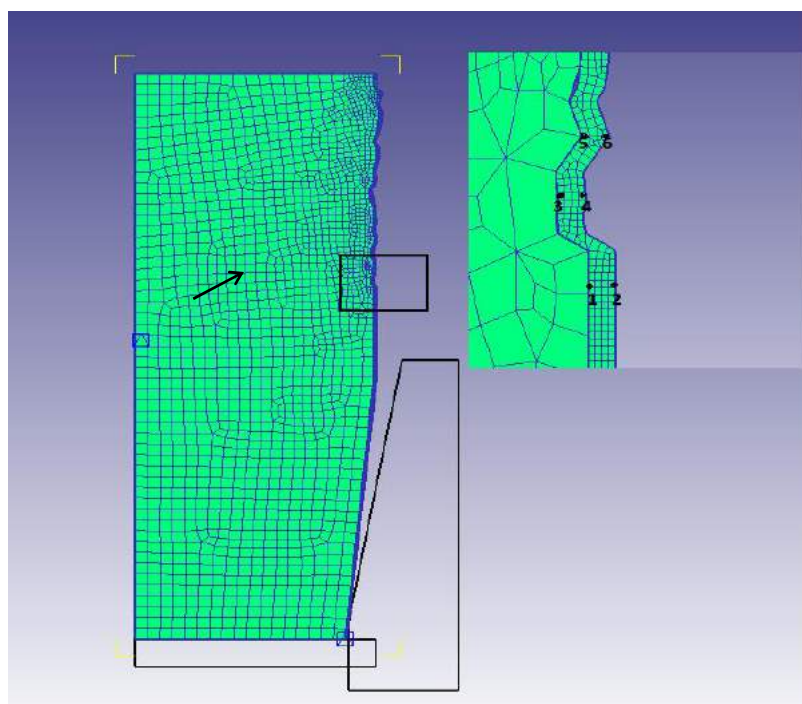


Рис. 1. Исходные данные для моделирования процесса волочения проволоки с тонким латунным покрытием:
1 - проволока; 2 - волочильный инструмент; 3 - тянущее устройство;
4 - фотография элемента поверхности проволоки 5
с латунным покрытием 6

Был исследован характер изменения толщины латунного покрытия при волочении тонкой проволоки под металлокорд и показано, что течение металла покрытия происходит от пиков микронеровностей профиля во впадины. Повышение толщины латунного покрытия не приводит к повышению его сплошности при волочении высокоуглеродистой проволоки под металлокорд, поскольку сдвиговая составляющая деформации покрытия при волочении увеличивается во впадинах микронеровностей профиля, т.е. в тех местах, где толщина покрытия выше. Обратного течения металла покрытия при моделировании обнаружено не было, что свидетельствует о трибологическом механизме износа (съёма) латунного покрытия [8].

Данная работа посвящена исследованию напряженного состояния в слое латунного покрытия при волочении в монолитной волоке. Связано это с тем, что именно напряженное состояние определяет сопротивление деформации и деформируемость (предельную степень деформации до разрушения) металла. Расчетная схема приведена на **рис. 2**. Расчет проводился для точек, расположенных: 1) по линии раздела: «основной металл–латунное покрытие» (тт. 1, 3, 5); 2) на контактной поверхности: «латунное покрытие–рабочая поверхность волоки» (тт. 2, 4, 6). При этом расчет проводился для зоны покрытия без микронеровностей (тт. 1, 2), для покрытия, находящегося во впадине микронеровности (тт. 3, 4) и покрытия, находящегося на вершине микронеровности (тт. 5, 6).



**Рис. 2. Расчетная схема:
1 и 2 точки, взятые без учёта микронеровностей профиля основы;
точки 3 и 4 - во впадинах профиля; точки 5 и 6 - на пиках микронеровностей**

Проводился расчет продольных, радиальных и средних (гидростатических) напряжений. Результаты расчета приведены в **таблице**.

Результаты расчета напряженного состояния в латунном покрытии

Напряжения, Н/мм ²	Значения напряжений в точках на контакте основы и покрытия			Значения напряжений в точках контакта покрытия и волоочильного инструмента		
	1	3	5	2	4	6
Продольные	-98	71	-71	-97	12	-11
Радиальные	-126	-84	-68	-128	1	-84
Средние	-130	39	-80	-131	6	-50

Анализ полученных результатов показывает следующее:

- без учёта микронеровностей профиля продольные, радиальные и средние напряжения принимают максимальное значение, причём с отрицательным знаком, т.е. все напряжения сжимающие;

- во впадинах профиля в точках 3 и 4 продольные напряжения становятся растягивающими, а средние напряжения принимают положительное значение;

- во впадинах профиля разница между напряжениями, возникающими на поверхности раздела «основа – покрытие» и «покрытие – инструмент» максимальная.

Таким образом, во впадине микронеровности действуют продольные растягивающие напряжения, причем максимальные их значения приходятся на линию раздела «основной металл–покрытие», что может вызвать разрушение латунного покрытия в этом месте и его последующее отслоение. С ростом толщины латунного покрытия его доленое влияние увеличивается, что приводит к росту съёма латуни.

Список литературы

1. Кравцов А.А., Леднева А.А., Макуха О.А. Адгезия резины к металлокорду // Метизы. 2005. 1(08). С. 65-68.
2. Райз М.Ш., Красик А.Е. Выбор режимов обжати при изготовлении латунированной проволоки // Новые технологические процессы и оборудование в метизном производстве: тем. сб. науч. тр. М.: Металлургия, 1986. С. 44-47.
3. Крымчанский И.И., Катыльков Г.Н., Гонтарь Д.В. Влияние параметров волок на съём покрытия при волочении латунированной проволоки и качество металлокорда // Литьё и металлургия. 1999. № 3. С 39-41
4. Алексеев Ю.Г., Кувалдин Н.А. Металлокорд для автомобильных шин. М.: Металлургия, 1992. 192 с.
5. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. М.: Металлургия, 1964. 271 с.
6. Столяров А.Ю., Харитонов А.В. Определение глубины слоя дополнительной сдвиговой деформации при волочении тонкой проволоки // Сталь. 2012. № 12. С. 45-47.
7. Налимова М.В. Совершенствование технологии волочения проволоки с покрытием с целью экономии металла, улучшения сплошности и прочности сцепления: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.03.05 / Налимова Марина Викторовна. Магнитогорск. 2004. 19 с.
8. Столяров А.Ю. Особенности процесса волочения тонкой высокопрочной проволоки с латунным покрытием под металлокорд / А.Ю. Столяров, В.А. Харитонов // Материалы VIII Междунар. техн. конф. «Техника и технология: новые перспективы развития». М.: Спутник+, 2013. С. 91-96.

References

1. Adhesion of rubber to metal cord / A.A. Kravcov, A.A. Ledneva, O.A. Makuha // *Metal-ware*. 2005. № 1(08). P.65-68.
2. Raiz M.Sh., Krasik A.E. Choice of drafting schedule in case of production of a brass plated wire // *New technical processes and the equipment in hardware production: thematic collection of scientific works* M.: Metallurgy, 1986. P. 44-47.
3. Kryjmchanskiy I.I., Katyjlkov G.N., Gontar D.V. The influence of parameters of drawing die on surface pick-off in case brass plated wire drawing and a quality of a metal cord // *Casting and metallurgy*. 1999. №3. P. 39-41
4. Alekseev Yu.G., Kuvaldin N.A. Metal cord for car tires. M.: Metallurgy, 1992. 192 p.
5. Arkulis G.E. Joint plastic flow of different metals. M.: Metallurgy, 1964. 271 p.
6. Stolyarov A.Yu., Kharitonov A.V. Determination of a layer depth of additional shearing deformation when a thin wire drawing // *Steel*. 2012. № 12. p. 45-47.
7. Nalimova M.V. Improvement of technology of a covered wire drawing for the purpose of economy of metal, improvement of a uniformity and strength of adhesion: synopsis of a thesis ... PhD in Engineering: 05.03.05 / Nalimova Marina Viktorovna. Magnitogorsk. 2004. 19 p.
8. Stolyarov A.Yu. Special features of process of a thin high-strength wire drawing with a brass covering under a metal cord / A.Yu. Stolyarov, V.A. Kharitonov // *Materials of the VIII International technical conference. «Engineering and technology: new prospects of development»*. M.: Sputnik+. , 2013. P. 91-96.

УДК 621.777: 621.777.22

РАСЧЕТ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЗОНЫ ОБЖАТИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Курмачев Ю. Ф., Соколов Р. Е., Высотина А. А.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,

Холоднокатанные трубы из цветных металлов и сплавов занимают важное место в современной промышленности. Трубы из алюминиевых сплавов широко применяются в качестве изделий ответственного назначения в авиационной и космической технике.

Следует отметить, что процесс проектирования инструментальной оснастки при разработке технологии холодной прокатки труб (ХПТ) сопряжен с проведением большого объема вычислений, связанных с определением продольного профиля ручья калибра.

На сегодняшний день из технической литературы [1, 2] известен ряд методик расчета калибровок инструмента станов ХПТ, наиболее распространенными из которых являются: НИТИ-НТЗ, МИСиС и УралНИТИ. Данные методики широко применяются в производстве стальных и титановых труб. Однако они не предполагают точного аналитического решения поставленной задачи из-за принятия ряда допущений при постановке задачи.

В связи с этим, актуальной становится задача по разработке методики точного расчета продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов по заданной функции изменения степени деформации.

Введем следующие обозначения:

L – длина обжимной зоны;

$D(x)$ – диаметр трубы в точке x ;

D – диаметр заготовки;

d – диаметр готовой трубы;

$t(x)$ – толщина стенки трубы;

$do(x)$ – диаметр оправки;

$F(x)$ – площадь поперечного сечения трубы;

$F_0 = F(0)$ – площадь поперечного сечения заготовки;

$F_1 = F(L)$ – площадь поперечного сечения готовой трубы;

μ – суммарная вытяжка, равная отношению $\frac{F_0}{F_1}$;

$\varepsilon(x)$ – относительная частная деформация;

m – подача заготовки.

Профиль обжимной зоны ручья калибра определяется изменением площади поперечного сечения, диаметра и толщины стенки трубы по длине зоны обжатия. Оправка, заданная известной функцией (линейной – коническая, либо нелинейной – так называемая «фигурная»), позволяет свести характеристику профиля обжатия лишь к изменению площади поперечного сечения, так как, зная диаметр оправки $do(x)$ и площадь сечения трубы $F(x)$ в точке x , получаем толщину стенки

$$t(x) = -\frac{do(x)}{2} + \sqrt{\frac{do^2(x)}{4} + \frac{F(x)}{\pi}}, \quad (1)$$

тогда диаметр трубы

$$D(x) = do(x) + 2 \cdot t(x).$$

Поэтому рассмотрим проектирование продольного профиля обжимной зоны, определяемого законом изменения площади сечения трубы (см. **рисунок**).

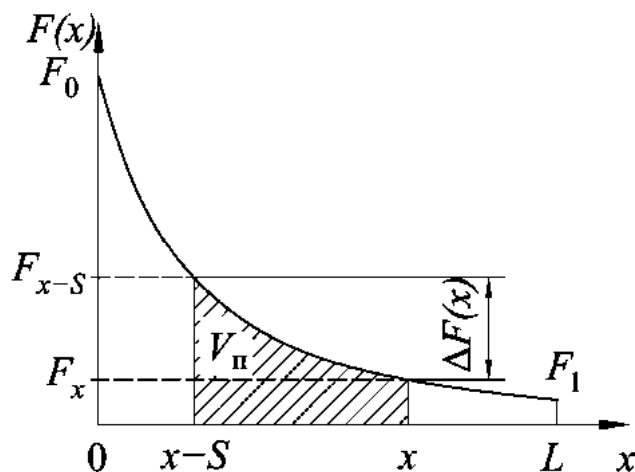


Схема изменения площади поперечного сечения трубы по длине очага деформации при холодной прокатке

Выделим поперечное сечение трубы зоны обжатия в точке x от начала зоны. На расстоянии $S(x)$ влево от сечения в точке x выделим сечение в точке $x - S(x)$. Объем металла, находящийся между этими двумя сечениями, величина постоянная и равна объему подачи заготовки

$$V = \int_{x-S(x)}^x F(t) dt. \quad (2)$$

Степень деформации в точке x определим как отношение абсолютной величины деформации к площади исходного сечения на участке $[x - S(x); x]$

$$\varepsilon(x) = \frac{F(x - S(x)) - F(x)}{F(x - S(x))}. \quad (3)$$

Пусть степень частной деформации $\varepsilon(x)$ по длине зоны обжатия задана и соответствует функции изменения ресурса пластичности обрабатываемого металла.

Начальные значения степени деформации заданы:

$$\varepsilon(0) = \varepsilon_0, \quad \varepsilon(L) = \varepsilon_1.$$

Таким образом, получена система двух уравнений с двумя неизвестными функциями $S(x)$ и $F(x)$:

$$\begin{cases} \int_{x-S(x)}^x F(t) dt = V, \\ \frac{F(x - S(x)) - F(x)}{F(x - S(x))} = \varepsilon(x). \end{cases}$$

Первое уравнение есть интегральное уравнение Вольтерра I рода с единичным ядром, второе – функциональное.

Интегральное уравнение вида

$$\int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} \Phi(\tau) d\tau = \eta(x)$$

дифференцируется по пределам интегрирования следующим образом:

$$\Phi(\varphi_2(x)) \cdot \varphi_2'(x) - \Phi(\varphi_1(x)) \cdot \varphi_1'(x) = \eta'(x).$$

Воспользовавшись приведенным правилом, дифференцируем интегральное уравнение системы:

$$F(x) \cdot x' - F(x - S(x)) \cdot (x - S(x))' = 0.$$

Отсюда

$$F(x - S(x)) - F(x) = S'(x) \cdot F(x - S(x)).$$

Разделив обе части полученного уравнения на $F(x - S(x))$, получим

$$S'(x) = \frac{F(x - S(x)) - F(x)}{F(x - S(x))}.$$

Правая часть полученного уравнения есть не что иное, как функция степени деформации $\varepsilon(x)$, и тем самым представляет собой второе уравнение системы. отсюда получаем простое выражение функции смещения $S(x)$ для любой точки обжимной зоны в виде интеграла

$$S(x) = \int \varepsilon(x) dx + C. \quad (4)$$

Константа C определяется начальными значениями степени деформации и заданным суммарным смещением $S(L)$. Площадь сечения трубы на расстоянии длины смещения определится как

$$F(x - S(x)) = \frac{F(x)}{1 - \varepsilon(x)}. \quad (5)$$

Итак, продольный профиль зоны обжатия при периодической прокатке определяется заданной функцией относительной степени деформации.

Суммарная вытяжка при прокатке труб из алюминиевых сплавов не должна превышать трех единиц, то есть $\mu \leq 3$ (при превышении этого значения на основании опытных данных исчерпывается ресурс пластичности, и металл разрушается). Следовательно, при заданных размерах готовой трубы суммарное смещение, определяющее производительность стана, $S(L) = \mu \cdot m \leq 3m$, то есть фактически определяется величиной подачи m . (Заметим, что $S(L) \cdot F_1 = V$, то есть объему подачи металла.) При выбранной подаче m и площади сечения готовой трубы F_1 определяются предварительные размеры заготовки, размеры зоны редуцирования, обжимной зоны, калибрующих участков по стенке и диаметру.

Рассмотрим конкретные примеры функций, определяющих степень деформации $\varepsilon(x)$.

1. Степень относительной деформации изменяется линейно:

$$\varepsilon(x) = ax + b.$$

Тогда

$$b = \varepsilon_0, \quad a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{L}.$$

По формуле (4) получаем функцию смещения

$$S(x) = \frac{ax^2}{2} + bx + C.$$

Константа

$$C = S(L) - \frac{aL^2}{2} - bL.$$

Далее по формулам (4) и (5) последовательно производим расчет частных смещений и площадей, а, значит толщину стенки и диаметра трубы от конечной точки L к началу обжимной зоны.

2. Степень относительной деформации изменяется по гиперболическому закону:

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{ax + b}.$$

Тогда

$$b = \frac{1}{\varepsilon_0}, \quad a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 L}.$$

По формуле (4) получаем функцию смещения

$$S(x) = \frac{1}{a} \ln(ax + b) + C.$$

Константа

$$C = S(L) - \frac{1}{a} \ln(aL + b).$$

Также далее по формулам (4) и (5) последовательно производим расчет частных смещений и площадей, а, значит толщину стенки и диаметра трубы от конечной точки L к началу обжимной зоны.

В результате расчетов получим $n + 1$ точек на обжимной зоне. Количество точек на обжимной зоне равно дробности деформации. В полученных точках вычисляются значения площадей F_i поперечного сечения трубы, толщины стенки t_i и диаметров D_i . Искомые непрерывные функции изменения площади поперечного сечения трубы $F(x)$ и ее диаметра $D(x)$ представляются полиномами Лагранжа степени n (на единицу меньше количества полученных точек).

Интерполяционной формулой Лагранжа называется многочлен

$$\Lambda(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x),$$

где базисные полиномы $l_i(x)$ определяются по формуле

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

и обладают следующими свойствами:

- 1) являются многочленами степени n ;
- 2) $l_i(x_i) = 1$;
- 3) $l_i(x_j) = 0$ при $j \neq i$.

Многочлен Лагранжа $\Lambda(x)$, как линейная комбинация базисных полиномов $l_i(x)$ может иметь степень не больше n , и $\Lambda(x_i) = y_i$.

В нашем случае данными для полиномов Лагранжа являются пары чисел $(x_i; F_i)$, $(x_i; D_i)$, $(x_i; t_i)$, $i = \overline{0, n}$. Так как искомые функции изменения площади поперечного сечения, диаметра и стенки трубы являются монотонно убывающими функциями, то погрешность интерполяции равна нулю.

Таким образом, получены аналитические функции изменения площади поперечного сечения, диаметра и стенки трубы на продольном профиле зоны обжатия.

Список литературы:

1. Тетерин П. К. Теория периодической прокатки. М., "Металлургия", 1978.
2. Орлов Г.А. Элементы теории прокатки труб: Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 66 с.
3. Yuri F. Kurmachev, Ruslan E. Sokolov, Denis S. Voroshilov, Vadim M. Bespalov, Vladimir V. Moscvichev. The analytical dependence of the filling billets value to a given relative degree of deformation during cold rolling of tubes // Journal of Siberian Federal University. 2012. № 5 (7). С. 731-736.

References

1. Teterin P. K. Theory of the periodic rolling, M., "Metallurgy". 1978.
2. Orlov G. A. Elements of the theory of pipes rolling: Study letter / G. A. Orlov. Ekaterinburg: SEI HPE УГТУ-УПИ, 2004. 66 P.
3. Yuri F. Kurmachev, Ruslan E. Sokolov, Denis S. Voroshilov, Vadim M. Bespalov, Vladimir V. Moscvichev. The analytical dependence of the filling billets value to a given relative degree of deformation during cold rolling of tubes // Journal of Siberian Federal University/ 2012 5 (7). P. 731-736.

УДК 669.018.58.017

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Чукин М.В., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Медведева Е.М.

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

Среди важнейших стратегических направлений дальнейшего развития, как в России, так и за ее пределами, является всестороннее внедрение последних инновационных достижений. В связи с этим, возникает острая необходимость разработки как новых материалов, так и технологий их изготовления. В настоящее время все большую востребованность приобретают многофункциональные сплавы, обладающие широким спектром физико-механических, эксплуатационных, технологических и потребительских свойств.

Одним из примеров таких материалов могут служить прецизионные материалы, в частности, специальные железоникелевые сплавы (инвары), основной отличительной особенностью которых является низкая величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР). В то же время существующие на сегодняшний день «традиционные» инварные композиции (инвар 36, ковар (никосил), сейлинг-аллой и др.) при наличии аномально низких значениях основной характеристики ТКЛР, обладают неудовлетворительным уровнем других дополнительных параметров, как, например, низкой механической прочностью (см. таблицу).

Таким образом, достаточно актуальной является проблема разработки инварных сплавов, имеющих одновременное сочетание низких значений ТКЛР и повышенных механических свойств. Учитывая специфику применения подобного рода материалов, на сегодняшний день не решен вопрос малотоннажности производства таких многофункциональных сплавов.

Учеными ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» совместно со специалистами ОАО «Мотовилихинские заводы» реализуется комплексный проект по организации малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения [1, 2].

За основу создания инновационных сплавов выбраны два типа высокопрочных сплавов инварного класса. К сплавам первого типа отнесены материалы, имеющие минимальное тепловое расширение $\text{ТКЛР} \leq 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ в широком диапазоне рабочих температур ($-70 \div +100 \text{ }^\circ\text{C}$), высокую твердость и низкую температуру начала мартенситного превращения (ниже $-80 \text{ }^\circ\text{C}$). Сплавы второго типа имеют коэффициент теплового расширения, близкий к керамике, кремнию и стеклам. ТКЛР этих сплавов находится в диапазоне $(2,0-7,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при одновременно высоких прочностных свойствах ($\sigma_{\text{в}} \geq 800 \text{ Н/мм}^2$).

В результате реализации проекта будет обеспечено производство длинномерных прутков преимущественно круглого и квадратного поперечного сечений с диаметром или стороной квадрата 6...20 мм из многофункциональных сплавов, имеющих комбинацию уникальных физико-механических и эксплуатационных свойств высокого уровня.

В качестве основной концепции повышения прочностных параметров вновь создаваемых инварных материалов принята стратегия введения в Fe-Ni композиции небольших количеств углерода, кобальта, молибдена, а также микролегирование карбидообразующими элементами, такими, например, как V, Ti.

Такой подход обусловлен следующими обстоятельствами. При создании многофункциональных сплавов системы Fe-Ni-C, обладающих высокой механической прочностью и добротностью, необходимо обеспечить формирование мелкодисперсных упрочняющих фаз (карбидов), а также обеспечить закрепление дислокаций [3, 4]. При этом эффективным способом, позволяющим закрепить дислокации в материалах, как раз является введение в них атомов примесей внедрения, которые обладают высокой энергией связи с дислокациями, а также добавок элементов, образующих с внедренными атомами соединения. Именно поэтому в качестве примеси внедрения может быть использован углерод. Согласно имеющимся литературным данным, углерод закрепляет дислокации при сравнительно низких температурах $\sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Кроме того, согласно современным представлениям введение атомов углерода в аустенитные железо-никелевые сплавы приводит к повышению их прочности за счет твердорастворного упрочнения. В результате пластической деформации таких углеродсодержащих сплавов происходит и деформационное упрочнение. Введение карбидообразующих элементов в углеродсодержащие железо-никелевые сплавы также позволяет повысить уровень механических свойств за счет карбидного упрочнения без существенного снижения инварных характеристик [5, 6] (см. таблицу).

В рамках проводимых исследований был разработан следующий состав высокопрочных инварных композиций (32НК, 32Н4К, 32Н5К, 34НУФ, 33Н3К и т.д.):

- для сплавов первого типа на основе Fe-Ni-C - Fe-(30÷34)Ni-(0,1÷0,2)C-Co;
- для сплавов второго типа - Fe-(31÷34)Ni-Co-(0,4÷0,7)C-V.

При этом возможны вариации содержания указанных элементов.

При разработке базовой технологии производства наноструктурированных заготовок из исследуемых многофункциональных сплавов приняты подходы, разработанные на кафедре машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», основанные на применении принципов технологической наследственности [7]. Основу технологии составляют операции выплавки сплавов выбранного состава в вакуумной индукционной печи, многократной термомеханической обработки кристаллизованного слитка, а также наноструктурирования перелесной заготовки с последующей термической обработкой заготовки конечных размеров. При этом комплекс операций термообработки включает нагрев до температур выше $900 \text{ }^\circ\text{C}$, закалку образцов с различной скоростью охлаждения, последующее их старение, а также низкотемпературный стабилизирующий отпуск.

Проведенные предварительные исследования позволили выявить основные влияющие факторы, определяющие изменчивость физико-механических свойств разрабатываемых сплавов и подтвердили возможность обеспечения в разрабатываемых многофункциональных сплавах инварного класса высоких прочностных свойств $\sigma_{\text{в}} \approx 800 - 1100 \text{ МПа}$ при одновременно очень низких значениях теплового расширения $\text{ТКЛР} \leq 2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (рис. 1, 2).

Механические свойства известных инварных сплавов

Марка, назначение	Страна, фирма	Свойства			Недостатки
		ТКЛР ₂₀₋₁₀₀ , 10 ⁻⁶ К ⁻¹	Предел текуче- сти $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Времен- ное сопро- тивление σ_B , Н/мм ²	
Инвар 36	США «Карпенгер стил дивижн»	1,2	280	460	Высокий ТКЛР
HS 36	Великобритания «Телкон метлз»	≤ 1,0	240	500	Высокий ТКЛР, высокая мартенситная точка M _S = -70 ÷ -100 °С
	Великобритания «Ввиф Левик»	0,8	240	500	
Суперинвар	Япония «Сумитомо токусюкиндзоку»	≤ 1,0	-	-	Высокий ТКЛР, высокая мартенситная точка
Fe-Ni-Co сеалинг аллой	США ASTM-P15-77	~ 5,5	350	570	Низкая прочность, высокая мартенситная точка M _S = -70 ÷ -100 °С
Терло	Великобритания «Драйвер Харрис»	~ 5,0	240	540	
KV – 1	Япония «Сумитомо токусюкиндзо- ку»	~ 5,0	-	500	
Ковар (никосил)	США «Карпенгер стил дивижн»	~ 5,0	350	530	
Патент DE 102006062782	Германия Thyssenkrupp VDM GMBH	~ 4,56 ~ 6,02	486 351	531 385	Низкая прочность
35НКТ	СССР	3,5-4,0	800	1000	Высокий ТКЛР, низкая проч- ность, высокая температура M _n
Патент 42004459	США 42004459, 1983	4,5-9,9	770	-	Высокий ТКЛР, низкая прочность
Заявка № 61-183443	Япония «Дайто»	3,5	430	740	
Патент № 148892	ГДР	> 3,0	120	1000	Высокий ТКЛР, сплав содержит высокотоксич- ный бериллий, (осложняет выплавку и передел)
Патент № 1428127	Великобритания	~ 5,0	-	до 920	Высокий ТКЛР
Патент 2154692	Россия	~ 3,0		1100	Нестабильность ТКЛР, низкая технологичность
Патент 19944578	Германия Thyssenkrupp VDM GMBH	> 4,0	604	659	Высокий ТКЛР, низкая прочность
Патент WO 2009/133945	Япония CANON KABUSHIKI RAISHA	> 3,0	-	~389 HV	Высокий ТКЛР

Получение таких инновационных материалов и изделий из них в условиях крупного металлургического предприятия открывает широкие перспективы по развитию на качественно новом уровне наукоемких отраслей промышленности, включая высокотехнологичные производства.

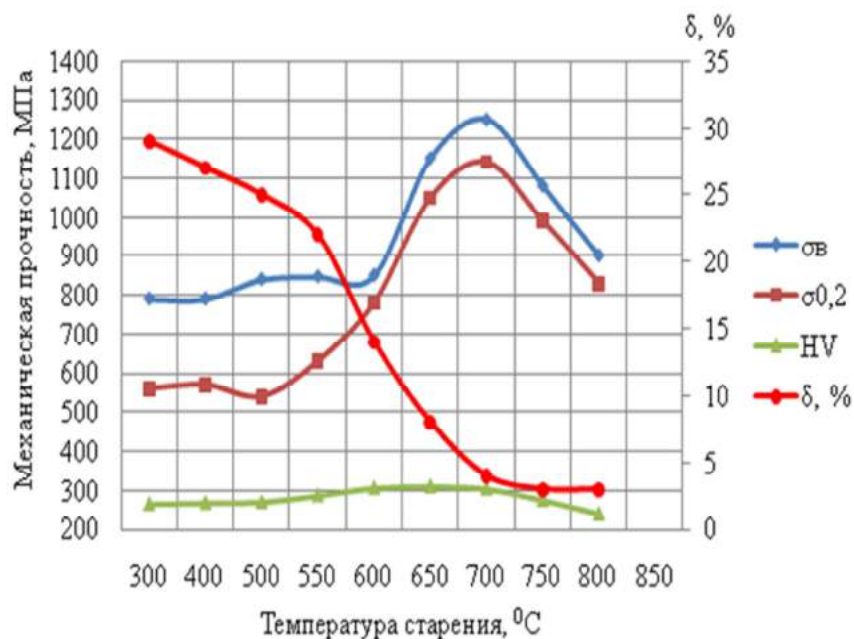


Рис. 1. Изменение механических свойств сплава 34НУФ при различных температурах отжига

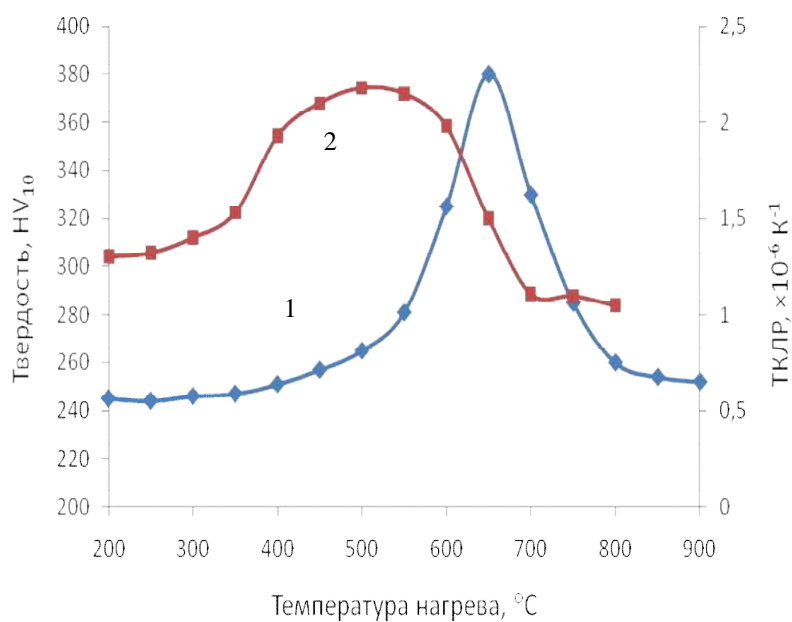


Рис. 2. Изменение ТКЛР (1) и твердости (2) в зависимости от температуры отжига сплава Fe-32Ni-0,6C-1,6V

Список литературы

1. Освоение новых технологий производства многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин,

Э.М. Голубчик, Ю.Л. Родионов, Н.Ю. Бухвалов // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. № 3. С. 47-52.

2. Реализация проекта малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / М.В. Чукин, Г.С. Гун, Э.М. Голубчик, А.С. Кузнецова, Н.Ю. Бухвалов // XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering». A collective monograph edited by prof. dr hab inz. Henrek Dyja, dr hab. inz. Anna Kawalek, prof. PCz. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24.Polish. Czestochowa. 2013. С. 374-379.

3. Anatoliy N. Titenko, Lesya D. Demchenko. Superelastic Deformation in Polycrystalline Fe-Ni-Co-Ti-Cu Alloys /*Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.21, Issue 12, December, 2012. p. 2525-2529.

4. Влияние структуры стареющих инваров с метастабильным аустенитом на частотную зависимость магнитной проницаемости / А.И. Уваров, В.А. Сандовский, Н.Ф. Вильданова, Е.И. Ануфриева // *Металлы*. 2008. № 4. С. 92-99.

5. Литейные сплавы Fe-Ni-Co-C инварного класса для рабочих температур до 200-300 °С / В.И. Чесменский, И.В. Кончаковский, С.В. Грачев, С.В. Рабинович, М.Д. Харчук // *Известия вузов "Нефть и газ"*. 2007. № 4. С. 78-80.

6. Прецизионный литейный сплав инварного класса для рабочих температур до 500 °С / В.И. Чесменский, И.В. Кончаковский, С.В. Грачев, А.В. Майоров, П.С. Кучин // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2010. № 10. С. 50-53.

7. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова, А.Е. Гулин, Э.М. Голубчик // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова*. 2012. № 4. С. 61-65.

References

1. Kolokolcev V.M., Chukin M.V, Golubchik E.M., Rodionov Yu.L., Buhvalov N.Yu. Development of production new technologies of multipurpose alloys of an invarny class with the increased service properties // *Metallurgical processes and equipment*. 2013. № 3. P. 47-52.

2. Chukin M.V., Gun G.S., Golubchik E.M., Kuznetcova A.S., Buhvalov N.Yu. Project implementation of low-tonnage production of the nanostructured preforms from multifunctional alloys with special properties // XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering». A collective monograph edited by prof. dr hab inz. Henrek Dyja, dr hab. inz. Anna Kawalek, prof. PCz. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24.Polish. Czestochowa. 2013. P. 374-379.

3. Anatoliy N. Titenko, Lesya D. Demchenko. Superelastic Deformation in Polycrystalline Fe-Ni-Co-Ti-Cu Alloys /*Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.21, Issue 12, December, 2012. pp. 2525-2529.

4. Uvarov A.I., Sandovskiy V.A., Vildanova N.F., Anufrieva E.I. Influence of structure of aging invars with metastable austenite on frequency dependence of magnetic permeability // *Metals*. 2008. № 4. P. 92-99.

5. Chesmenskiy V.I., Konchakovskiy I.V., Grachev S.V., Rabinovich S.V., Harchuk M.D. Casting Fe-Ni-Co-C alloys of an invarny class for working temperatures to 200-300 °С // *News of Higher Education Institutions "Neft i gaz"*. 2007. № 4. P. 78-80.

6. Chesmenskiy V.I., Konchakovskiy I.V., Grachev S.V., Mayorov A.V., Kuchin P.S. Precision casting alloy of an invarny class for working temperatures to 500 °С // *Metallurgical science and heat treatment of metals*. 2010. № 10. P. 50-53.

7. Chukin M.V., Korchunov A.G., Polyakova M.A., Gulin A.E., Golubchik E.M. The analysis of a method of continuous deformation nanostructuring a wire with use of the concept of technological inheritance // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2012. № 4. P. 61-65.

К РАЗРАБОТКЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ С ПРОТИВОНАТЯЖЕНИЕМ КРУГЛОЙ СПЛОШНОЙ ЗАГОТОВКИ ЧЕРЕЗ ВОЛОКИ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕГО КАНАЛА

Гурьянов Г.Н.

ООО «Феникс+», г. Белорецк

Противонатяжение влияет на основные показатели процесса деформирования и эффективность волочения. В настоящее время недостаточно данных о характере зависимостей полного осевого напряжения σ_{Σ} , запаса прочности тянущего конца заготовки и оптимального угла волочения $\alpha_{\text{опт}}$ от коэффициентов вытяжки, трения и деформационного упрочнения протягиваемого материала при криволинейной форме рабочего канала волокна и действию противонатяжения [1-6]. Всесторонние исследования процесса волочения проволоки с противонатяжением выполнены автором работы [1], где даётся обоснование возможности снижения напряжения волочения от приложения противонатяжения на основании результатов экспериментальных исследований, полученных отечественными и зарубежными учёными. Однако расчёты, выполненные И.Л. Тарнавским по его же формуле, показали только увеличение силы волочения от приложения противонатяжения [1].

Цель работы: определить характер зависимостей полного осевого напряжения, запаса прочности и прироста осевого напряжения от приложения противонатяжения при волочении через волокна с различной формой профиля рабочего канала.

Для расчёта осевого напряжения при переменном значении угла наклона образующей рабочего канала волокна α предложено уравнение [7, 8]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{s0} \cdot \int_1^{\mu} \mu^{k-1} (1 + f(1 - \sigma_q / \sigma_{s0}) \cdot \text{ctg} \alpha(\mu)) \cdot d\mu + \sigma_{z\alpha}(\alpha(\mu)) + \sigma_q, \quad (1)$$

где σ_{s0} - предел текучести металла на входе волокна; $\mu = (r_0 / r_k)^2$ - коэффициент вытяжки в проходе волочения; r_0, r_k - радиус проволоки до и после обжатия; k - коэффициент упрочнения; σ_q - напряжение противонатяжения; $\alpha(\mu)$ - зависимость угла α от коэффициента вытяжки. Функция $\alpha(\mu)$ задаёт форму профиля рабочего канала. Прирост осевого напряжения на осуществление пластической деформации и преодоление контактного трения определяет интеграл уравнения (1). Второе слагаемое этого уравнения выражает прирост осевого напряжения от деформации сдвига металла на входе и выходе очага деформации [7, 8]:

$$\sigma_{z\alpha} = \frac{2\sigma_{s0}(\text{tg} \alpha_0 + \mu^k \text{tg} \alpha_1)}{3\sqrt{3}}, \quad (2)$$

где α_0, α_1 - величина угла образующей канала соответственно на его входе и выходе. При выводе формул (1) и (2) была принята степенная зависимость предела текучести в проходе волочения от коэффициента вытяжки [5]:

$$\sigma_{sk} = \sigma_{s0} \cdot \mu^k, \quad (3)$$

где σ_{sk} - предел текучести на выходе очага пластической деформации.

Прирост осевого напряжения от противонатяжения определяется разностью напряжения при действии и отсутствии противонатяжения

$$\Delta\sigma_q = \sigma_{\Sigma}(\sigma_q) - \sigma_{\Sigma}(\sigma_q = 0). \quad (4)$$

Абсолютный запас прочности при коэффициенте вытяжки μ рассчитывали по формуле

$$\Delta\sigma = \sigma_{s0} \mu^k - \sigma_{\Sigma}. \quad (5)$$

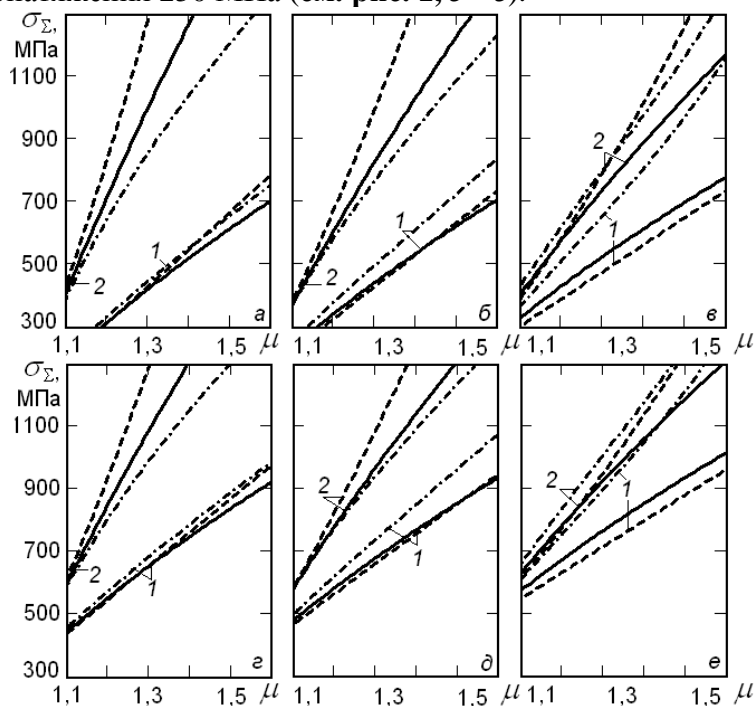
Выполнили расчёт полного осевого напряжения σ_{Σ} при постоянном и переменном значении угла α вдоль рабочего канала. Криволинейная форма канала задана уравнениями:

$$\alpha = \alpha_0 / (\mu^2 + \mu - 1), \quad (6)$$

$$\alpha = \alpha_0 (\mu^2 + \mu - 1). \quad (7)$$

На входе очага пластической деформации ($\mu = 1$) величина угла образующей профиля равна α_0 для обеих зависимостей (6) и (7). С ростом коэффициента вытяжки угол α уменьшается согласно равенству (6), и образуется выпуклый профиль. Если коэффициент вытяжки равен 1,5, то на выходе рабочего канала величина угла α меньше в 2,75 раз, чем на входе. Второе равенство (7) определяет вогнутую форму канала, так как угол α увеличивается в направлении волочения. При той же величине коэффициента вытяжки значения угла α в конце очага пластической деформации больше в 2,75 раз, чем на его входе. Для конического канала величина угла α постоянная вдоль всей его длины.

На **рис. 1** даны зависимости полного напряжения волочения от коэффициента вытяжки в интервале его изменения от 1,1 до 1,6 при исходном пределе текучести заготовки $\sigma_{s0} = 1000$ МПа и коэффициенте упрочнения $k = 0,25$ (3). Угол наклона α_0 образующей рабочего канала на входе очага пластической деформации равен 6; 9 и 16 град. Коэффициент трения 0,025 и 0,25. Волочение осуществляется без противонапряжения (см. **рис. 1, а – в**) и с напряжением противонапряжения 250 МПа (см. **рис. 1, г – е**).



**Рис. 1. Зависимость полного напряжения от коэффициента вытяжки при исходном пределе текучести $\sigma_{s0} = 1000$ МПа и коэффициенте упрочнения $k = 0,25$:
(а – в) - $\sigma_{q0} = 0$; (г – е) - $\sigma_{q0} = 250$ МПа;
а, г - $\alpha_0 = 6^\circ$; б, д - $\alpha_0 = 9^\circ$; в, е - $\alpha_0 = 16^\circ$; 1 - $f = 0,025$; 2 - $f = 0,25$;
сплошные линии - конический канал; штриховые линии - выпуклая форма канала (7); штрих - пунктирные - вогнутая форма канала (8)**

Данные **рис. 1** показывают сложную зависимость полного осевого напряжения от коэффициентов вытяжки и трения для разных форм рабочего канала. Кривые зависимостей расходятся с увеличением степени деформации. То есть с ростом вытяжки μ усиливается роль формы канала и коэффициента трения на величину напряжения волочения. Но при

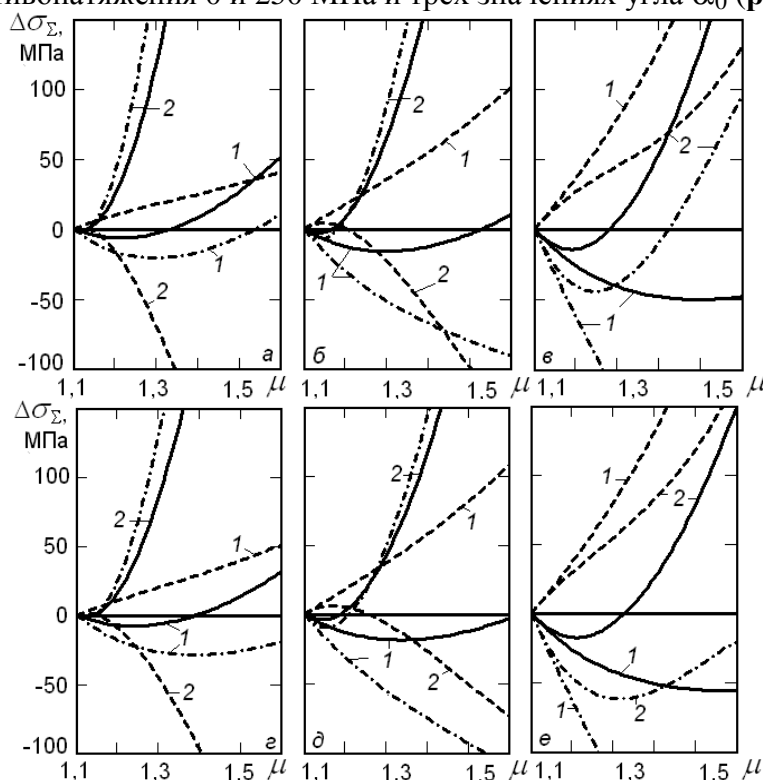
определённой степени деформации некоторые кривые пересекаются не только для разных форм, но и разных значений коэффициента трения (e). В целом кривые 1 при коэффициенте трения 0,025 лежат ниже. При $\alpha_0 = 6$ и 9° (см. рис. 1, а, б, г, д) для выпуклого профиля (пунктирные кривые) осевые напряжения больше особенно при высоких обжатиях, чем аналогичные напряжения при коническом (сплошные) и вогнутом (штрих пунктирные линии) канале. Напряжение для вогнутого канала значительно выше при $\alpha_0 = 16^\circ$ и действии противонапряжения (e) во всём диапазоне изменения коэффициента вытяжки. Для достоверного сравнения значений напряжения для разных форм канала построены зависимости

$$\Delta\sigma_{\Sigma 1} = \sigma_{\Sigma \Pi} - \sigma_{\Sigma k}; \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_{\Sigma 2} = \sigma_{\Sigma U} - \sigma_{\Sigma k}; \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_{\Sigma 3} = \sigma_{\Sigma \Pi} - \sigma_{\Sigma U}, \quad (10)$$

где $\sigma_{\Sigma \Pi}$, $\sigma_{\Sigma U}$, $\sigma_{\Sigma k}$ - полное напряжение соответственно при выпуклой, вогнутой и конической формах профиля канала. Для этого построены зависимости разностей $\Delta\sigma_{\Sigma}$ (8) – (10) при напряжении противонапряжения 0 и 250 МПа и трёх значениях угла α_0 (рис. 2).



**Рис. 2. Зависимости разностей значений полного напряжения для трёх форм рабочего канала от коэффициента вытяжки при исходном пределе текучести $\sigma_{s0} = 1000$ МПа и коэффициенте упрочнения $k = 0,25$:
 (а – в) - $\sigma_{q0} = 0$; (г - е) - $\sigma_{q0} = 250$ МПа; а, г - $\alpha_0 = 6^\circ$; б, д - $\alpha_0 = 9^\circ$; в, е - $\alpha_0 = 16^\circ$;
 1 - $f = 0,025$; 2 - $f = 0,25$; сплошные линии - разность (8);
 штриховые линии – разность (9); штрих - пунктирные - разность (10)**

Большая часть кривых (см. рис. 2) пересекают нулевую ординату. То есть, во всём интервале изменения коэффициента вытяжки один из сравниваемых профилей не имеет явного преимущества перед другим в обеспечении меньшего напряжения волочения. При выпуклом профиле даже при $\alpha_0 = 6^\circ$ и отсутствии противонапряжения (см. рис. 2, а) напряжение воло-

чения меньше при коэффициенте $f = 0,025$ (штрих - пунктирная 1), чем напряжение при использовании вогнутого профиля. Для этих значений угла α_0 (см. рис. 2, а, з) вогнутый канал имеет преимущества перед коническим почти во всём диапазоне изменения коэффициента вытяжки при $f = 0,25$ (штриховая 2). Но при малом коэффициенте трения 0,025 конический канал обеспечивает меньшее напряжение, чем вогнутый профиль (штриховая 1).

Увеличение напряжения противонапряжения снижает преимущество вогнутого профиля. Напряжение волочения меньше при выпуклой и конической формах канала, чем напряжение при вогнутом профиле, если величина угла $\alpha_0 = 16^\circ$ (см. рис. 2, в, е).

Выполнили расчёт запаса прочности $\Delta\sigma$ (5) и прироста осевого напряжения $\Delta\sigma_q$ от противонапряжения (4) для заготовки с исходным пределом текучести 1000 МПа и коэффициентом упрочнения $k = 0,25$ и $0,90$ при $\alpha_0 = 6$ и 9° (рис. 3). Напряжение противонапряжения 500 МПа.

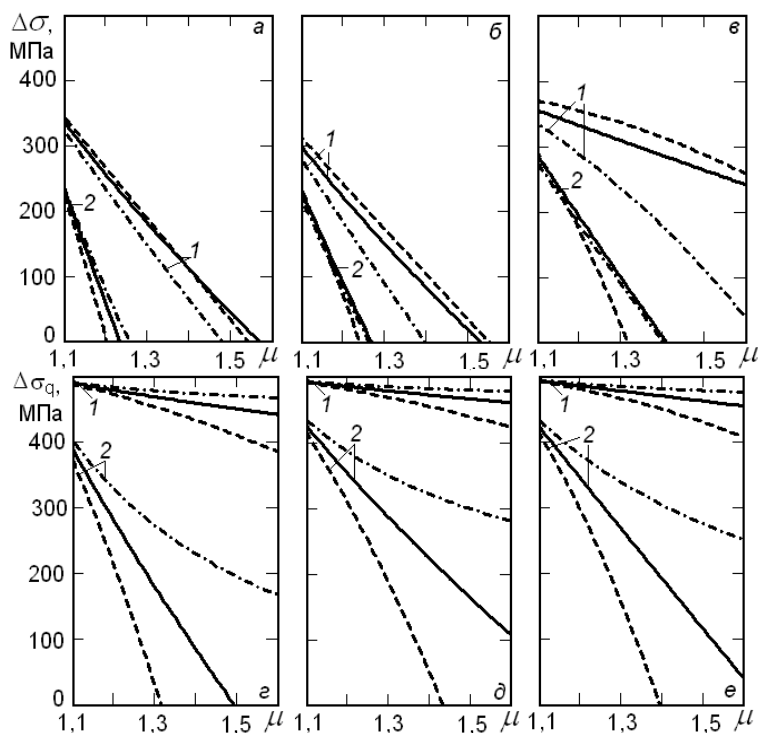


Рис. 3. Зависимости запаса прочности (а - в) и прироста осевого напряжения от противонапряжения (г - е) для разных форм рабочего канала от коэффициента вытяжки при напряжении противонапряжения 500 МПа:
а, з - $\alpha_0 = 6^\circ$, $k = 0,25$; б, д - $\alpha_0 = 9^\circ$, $k = 0,25$; в, е - $\alpha_0 = 9^\circ$, $k = 0,90$; 1 - $f = 0,025$;
2 - $f = 0,25$; сплошные линии - конический канал;
штриховые линии - выпуклый канал (б);
штрих - пунктирные - вогнутый канал (7)

Пересечение линии графика для запаса прочности с осью абсцисс определяет величину коэффициента предельной вытяжки $\mu_{пр}$, при которой наступает внеконтактная деформация заготовки или её разрушение (см. рис. 3, а - в). Точка пересечения кривой для прироста осевого напряжения $\Delta\sigma_q$ с абсциссой фиксирует величину коэффициента вытяжки μ_0 при нулевом его приросте (см. рис. 3, г - е). Правее этой точки лежат значения μ , при которых противонапряжение вызывает уменьшение полного напряжения волочения. Реализация нулевого прироста напряжения возможна, если выполняется условие $\mu_0 \leq \mu_{пр}$. В противном случае наступает обрыв заготовки от чрезмерного напряжения волочения. При $\alpha_0 = 6^\circ$ (см. рис. 3, з) нулевой прирост теоретически возможен для выпуклого (штриховая линия) и конического (сплошная) профиля при коэффициенте трения 0,25. А при $\alpha_0 = 9^\circ$ (д) прирост $\Delta\sigma_q$ равен и

меньше нуля только при выпуклом канале. Однако сопоставление соответствующих значений μ_0 и $\mu_{пр}$ показывает, что не выполняется условие $\mu_0 \leq \mu_{пр}$ при $\alpha_0 = 6^\circ$ и 9° и коэффициенте упрочнения 0,25 и 0,90.

Из зависимостей (см. рис. 3, а – в) следует увеличение коэффициента предельной вытяжки $\mu_{пр}$ для выпуклого конуса при обоих значениях коэффициента трения при росте угла α_0 от величины 6 до 9° . Для конического канала повышение коэффициента $\mu_{пр}$ наблюдается при $f = 0,25$ и уменьшение его при малом коэффициенте трения 0,025. Величина $\mu_{пр}$ снизилась от увеличения угла α_0 для вогнутого канала при заданных значениях коэффициента f . Повышение коэффициента упрочнения (в) вызвало рост запаса прочности независимо от формы рабочего канала и значений коэффициента трения.

Прирост осевого напряжения от приложения противонапряжения $\Delta\sigma_q$ уменьшается с ростом коэффициента вытяжки (см. рис. 3, з - е). При заданных значениях угла α_0 более интенсивное снижение прироста $\Delta\sigma_q$ наблюдается при выпуклой и конической формах канала. С увеличением коэффициентов трения и упрочнения, снижением угла α_0 также уменьшается величина прироста $\Delta\sigma_q$.

Наиболее часто для расчёта прироста осевого напряжения от действия противонапряжения используется формула [1, 3, 4]

$$\Delta\sigma_q = \sigma_q / \mu^{f/tg\alpha} \quad (11)$$

Сравним значения прироста по известной формуле (12) и предложенной (4). Для этого формулу (4) представим в преобразованном виде

$$\Delta\sigma_q = \sigma_q - \sigma_q \int_1^{\mu^*} (f\mu^{k-1} / tg\alpha) \cdot d\mu. \quad (12)$$

Параметры f и α не вынесли за знак интеграла (12), так как они могут зависеть от коэффициента вытяжки. При коническом рабочем канале и постоянной величине коэффициента трения в очаге пластической деформации из формулы (12) получили аналитическую зависимость

$$\Delta\sigma_q = \sigma_q \left[1 - \frac{f(\mu^k - 1)}{k \cdot tg\alpha} \right]. \quad (13)$$

Выражение (13) включает коэффициент упрочнения k для принятой степенной зависимости предела текучести от коэффициента вытяжки. В известной формуле (11) этого коэффициента нет, так как она получена из допущения, что в очаге деформации обрабатываемый материал проявляет свойства идеального жёстко-пластического тела с усреднённым пределом текучести σ_s . Пусть обрабатываемый материал не упрочняется в очаге деформации ($k = 0$). Тогда уравнение (13) можно упростить

$$\Delta\sigma_q = \sigma_q (1 - f \cdot \ln \mu / tg\alpha) \approx \sigma_q (1 - f\varepsilon / \alpha), \quad (14)$$

где $\varepsilon = \ln \mu$ - логарифмическое обжатие или логарифмическая вытяжка.

В работе [2] получено приближённое равенство $(1/\mu)^{f/tg\alpha} \approx 1 - f \cdot \ln \mu / tg\alpha$ при допущении, что $\mu \leq 1,3$ и $f/tg\alpha < 1$. Используя это приближённое равенство, И.Л. Перлин получил упрощённую формулу для расчёта осевого напряжения с учётом напряжения противонапряжения σ_q [2]

$$\sigma_z = \ln \mu (\sigma_s + f \cdot ctg\alpha_n (\sigma_s - \sigma_q)) + \sigma_q, \quad (15)$$

где α_n – приведённый угол волоки. Если для расчёта осевого напряжения применять формулу Зибеля и его прирост от приложения противонапряжения согласно полученной формуле (14), то осевое напряжение определится уравнением

$$\sigma_z = \sigma_s \text{Ln}\mu(1 + f \cdot \text{ctg}\alpha) + \sigma_q - \sigma_q f \cdot \text{Ln}\mu \cdot \text{ctg}\alpha. \quad (16)$$

Упрощённая формула И.Л. Перлина (15) и модифицированное уравнение (16), включающее формулу Зибеля и новое выражение (14), полностью совпадают, если отсутствует калибрующий пояс (α_п = α). Область применения уравнения (12) шире, чем его частных форм - формул (13) и (14). Близость формул (15) и (16) даёт основание для вывода, что новые зависимости (12) - (14) не противоречат известному уравнению (11). Также необходимо сделать более важное для теории волочения заключение: **из уравнения (1) следуют не только формулы для расчёта прироста осевого напряжения от действия противонапряжения (12) - (14), но и можно получить формулу Зибеля и другие аналитические зависимости.** В рамках данной статьи вторая часть этого заключения здесь не рассматривается.

На **рис. 4** даны зависимости прироста осевого напряжения от противонапряжения, рассчитанного по известной формуле (11) и полученным зависимостям (13) и (14). При использовании формулы (13) приняли коэффициент упрочнения 0,90. Значения параметров деформации указаны в описании (**см. рис. 4**).

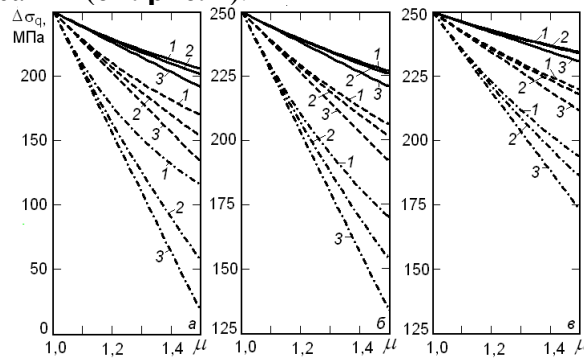


Рис. 4. Зависимость прироста осевого напряжения $\Delta\sigma_q$ для конического канала от коэффициента вытяжки при напряжении противонапряжения σ_{q0} 250 МПа:

***a* - $\alpha_0 = 3^\circ$; *б* - $\alpha_0 = 6^\circ$; *в* - $\alpha_0 = 9^\circ$; 1 - расчёт по формуле (11);**

2 - расчёт по формуле (14); 3 - расчёт по формуле (13) при $k = 0,90$;

сплошные линии - $f = 0,025$; штриховые линии - $f = 0,05$; штрих - пунктирные - $f = 0,10$

По известной формуле (11) интенсивность снижения прироста $\Delta\sigma_q$ становится ниже с ростом степени деформации заготовки (**см. рис. 4**). Это выражено при высоком коэффициенте трения 0,10. При любом сочетании значений параметров μ , f и α_0 прирост по этой формуле больше нуля. Качественно формулы (11), (13) и (14) одинаково отражают влияние коэффициентов вытяжки и трения, а также угла α_0 на прирост напряжения $\Delta\sigma_q$. Расхождение значений напряжения по трём формулам усиливается с увеличением обжатия и коэффициента трения. Кривые 2 и 3 построены соответственно при отсутствии упрочнения и при коэффициенте упрочнения 0,90, и они также расходятся с ростом обжатия заготовки. То есть усиливается влияние значения коэффициента k на снижение прироста $\Delta\sigma_q$. Анализ результатов расчётов показал несущественное различие прироста напряжения по трём формулам, если коэффициент вытяжки не более 1,3, а величина угла α_0 - не менее 6° .

Из зависимостей (13) и (14) следуют формулы для определения значений коэффициентов вытяжки и трения, при которых прирост осевого напряжения от действия противонапряжения равен нулю:

$$\mu_0 = (1 + k \cdot \text{tg}\alpha / f)^{1/k}; \mu_0 = e^{\text{tg}\alpha / f} \approx e^{\alpha / f}, \quad (17)$$

$$f_0 = k \cdot \text{tg}\alpha / (\mu^k - 1); f_0 = \text{tg}\alpha / \text{Ln}\mu \approx \alpha / \varepsilon. \quad (18)$$

Из формул (17) следует уменьшение степени деформации в проходе волочения с ростом коэффициентов трения и упрочнения и снижением величины угла α , при которой от-

существует прирост напряжения. Чем больше коэффициенты вытяжки и упрочнения и меньше угол волочения, тем при более низких значениях коэффициента трения реализуется нулевой прирост осевого напряжения от действия противонапряжения (18).

Выводы

По предложенному уравнению, включающему определённый интеграл, рассчитаны значения полного осевого напряжения при волочении через рабочий канал волокни с различной формой профиля. *В широком диапазоне изменения коэффициентов вытяжки и трения отсутствует явное преимущество одной из формы профиля канала волокни перед другими формами.*

Предложены аналитические формулы (13) и (14) для расчёта прироста осевого напряжения от действия противонапряжения соответственно для жёстко-пластического и упрочняющегося жёстко-пластического материала при волочении через конический канал. Определены зависимости для расчёта коэффициентов вытяжки и трения, при которых прирост осевого напряжения от приложения противонапряжения равен нулю. Значения прироста осевого напряжения по известной формуле (11) и предлагаемым зависимостям существенно не отличаются, когда коэффициент вытяжки меньше 1,3 и угол $\alpha_0 > 6^\circ$. Показана связь упрощённой формулы И.Л. Перлина (15) и комбинированного уравнения (16), включающего формулу Зибеля и предложенную зависимость (14) для расчёта прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения.

Прирост осевого напряжения от противонапряжения снижается с увеличением коэффициентов вытяжки, трения и деформационного упрочнения, а также с уменьшением угла волочения и самого напряжения противонапряжения. *При выборе формы рабочего канала твёрдосплавного вкладыша волокни должны учитывать фактические на практике значения основных параметров деформирования.*

Список литературы

1. Тарнавский А.Л. Эффективность волочения с противонапряжением. М.: Metallurgizdat, 1959. 152 с.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Metallurgiya, 1971. 447 с.
3. Зыков Ю.С. Определение максимально допустимых вытяжек при волочении // Сталь. 1998. № 4. С. 54 - 55.
4. Осадчий В.Я., Воронцов А. Л. Формула для расчёта напряжения круглых сплошных профилей // Производство проката. 2001. № 6. С. 3 - 8.
5. Гурьянов Г.Н. Расчёт, анализ напряжений, деформаций и запаса прочности при холодном волочении проволоки: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 358 с.
6. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1968. 503 с.
7. Гурьянов Г.Н. Вариационный метод поиска рациональной геометрии рабочего канала волокни для волочения круглого сплошного профиля // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 7. С. 35 - 40.
8. Гурьянов Г.Н. К оценке эффективности применения противонапряжения при волочении круглого сплошного профиля // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 12. С. 30 – 38.

References

1. Tarnavskiy A.L. Efficiency of back-tension drawing. M.: Metallurgizdat, 1959. 152 p.
2. Perlin I.L., Ermanok M.Z. Theory of drawing. M.: Metallurgy, 1971. 447 p.

3. Zyjkov Yu.S. Determination of the maximum allowable drawing-down in case of drawing // Steel. 1998. № 4. P. 54 - 55.
4. Osadchiy V.Ya., Vorontcov A. L. Formula for stress calculation of terete solid section // Mill products production. 2001. № 6. P. 3 - 8.
5. Guryanov G.N. Calculation, the analysis of stress, deformations and margin of safety in case of cold drawing of a wire: Monograph. Magnotogorsk: SEI HPE «MSTU», 2008. 358 p.
6. Tomsen Ie., Yang Ch., Kobayashi Sh. Mechanics of plastic deformations when handling metals. M.: Mechanical engineering, 1968. 503 p.
7. Guryanov G.N. Variation method of search of rational geometry of the working channel drawing-down for terete solid section drawing// Blank production in mechanical engineering. 2011. № 7. P. 35 - 40.
8. Guryanov G.N. To an efficiency evaluation of application of a back-tension in case of a terete solid section drawing // Blank production in mechanical engineering. 2012. № 12. P. 30 – 38.

УДК621.79; 669.36

КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАСПЛАВА, ПОЗИЦИОНИРОВАННОГО В ПРОСТРАНСТВЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Бахматов Ю.Ф., Драпеко Н.В., Тимиргалеев К.Р., Лебедева И.Г.
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Разрабатываемая технология нанесения покрытий из расплава на металлоизделия, не деформирующиеся в процессе обработки, требует обеспечения транспортировки последних ниже зеркала ванны расплавленного металла. Это условие в предлагаемой технологии обеспечивается созданием рабочей среды, состоящей из расплава и погруженных в них ферромагнитных элементов. [1]. В свою очередь, на эту среду оказывает силовое воздействие внешнее магнитное поле, создаваемое внешним источником, действие которого совместно с гравитационным полем позиционирует ферромагнитные частицы в пространстве.

Перед погружением частиц в расплав поверхность последних обрабатывается для обеспечения ее смачивания расплавом за счет сил поверхностного натяжения. Поэтому она позиционируется в пространстве совместно с ферромагнитными частицами. Для этого силового воздействия необходимо создать источник магнитного поля и канал для его подведения (магнитопровод) [2]. В технике существуют два способа создания магнитных полей. Это постоянные магниты и электромагниты. От их конструкции зависит конструкция всей технологической установки, в целом. На ферромагнитную частицу, помещенную в магнитное поле, действует сила пропорциональная объему частицы V (т.е. массе), магнитной восприимчивости χ_m и напряженности магнитного поля H . Это соотношение имеет вид:

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

Во внешнем магнитном поле частицы, вследствие магнитной коагуляции, образуют конгломерат-цепочки частиц, вдоль которых происходит уменьшение градиента H . Кроме этого, на длину цепочек, а значит и на массу рабочей среды, поднятой выше зеркала ванны расплава, влияет вязкость последнего, а она, в свою очередь, определяется температурой.

Важнейшим вопросом конструирования технологической установки является выбор источника магнитного поля (индуктора). Оно может быть создано постоянными магнитами (ИПМ), электромагнитами (ЭМИ) и комбинированными источниками [3]. Магнитотвердые

материалы ИПМ характеризуются остаточной магнитной индукцией B_r и магнитной энергией W , имеющей размерность $[кДж/м^3]$. Как видно, работоспособность ИПМ зависит от объема магнита. Схематично ИПМ представлен на **рис. 1**.

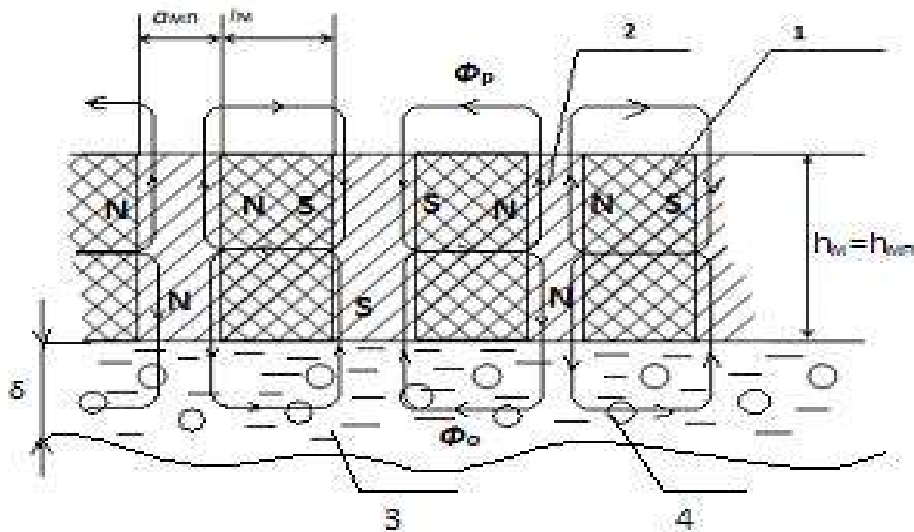


Рис. 1. Схема оперативного блока с ИПМ:
 Φ_0 и Φ_p - основной поток и поток рассеяния;
 l_M и h_M - длина и высота магнита; $a_{MП}$ и $h_{MП}$ - то же для магнитопровода;
 δ - немагнитный зазор, определяемый толщиной адгезионного слоя
 расплава 1 на ферромагнитном элементе 2

Основным недостатком ИПМ является низкий температурный диапазон, определяемый точкой Кюри (около 200 °С) и ограниченный набор форм магнитов. Это предполагает создание циркуляционного охлаждения ИМП и усложняет конструкцию установки из-за увеличения количества потоков рассеяния Φ_p . Конструкция оперативного блока технологической установки на ЭМИ схематично представлена на **рис. 2**.

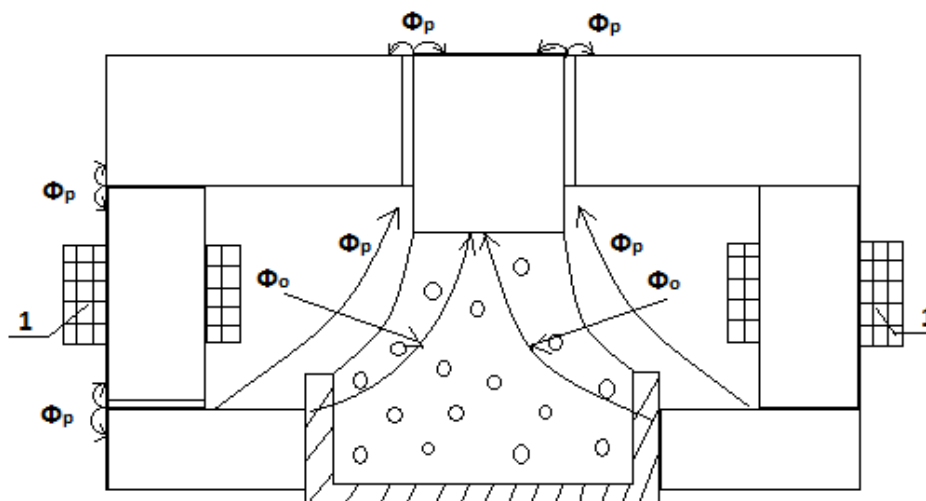


Рис. 2. Схема оперативного блока с ЭМИ:
 1 - катушки электромагнита;
 Φ_0 и Φ_p - основной поток и поток рассеяния, соответственно

Катушка может быть одна на центральном магнитопроводе, как представлено на **рис. 3**. В этом случае упрощается система охлаждения. Использование ЭМИ упрощает конструкцию установки, но требует дополнительного устройства электропитания катушек и их охлаждения.

Кроме того, присутствие в питающем напряжении высших гармоник приводит к потерям в магнитопроводах, вызванных токами Фуко. Экспериментальный вариант установки представлен на **рис. 3**.

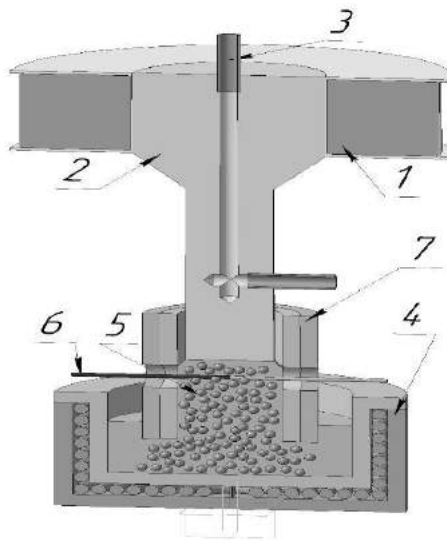


Рис. 3. Схема технологической установки на ЭМИ:
1 – катушка; 2 - основной магнитопровод; 3 - канал для охлаждения;
4-ванна; 5- расплав и ферромагнитные элементы;
6 –изделие; 7- защитный стакан

На рис. 3 отсутствуют замыкающие магнитопроводы.

Список литературы

1. Бахматов Ю.Ф., Бахматов И.Ю. Устройство для нанесения покрытия на изделия из вещества, находящегося в жидкой фазе. Патент на полезную модель № 114686.

2. Бахматов Ю.Ф., Драпеко Н.В., Тимиргалеев К.Р. Технология нанесения металлических покрытий из расплава на длинномерные металлоизделия с совмещенными операциями очистки и стимулированной кристаллизацией // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 247-251.

3. Бахматов Ю.Ф., Драпеко Н.В., Тимиргалеев К.Р. Технологические перспективы нанесения протекторных металлических покрытий на стальные конструкции из расплава, позиционированного в пространстве магнитным полем // Материалы междунар. науч.-практич. конф. «Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса» (3-4 сентября, 2013 г. Верхняя Пыжма). Екатеринбург: Уральский рабочий.. 2013. С. 150.

References

1. Bahmatov Yu.F., Bahmatov I.Yu. The device for covering products from the substance which is in a liquid phase. Useful model patent № 114686.

2. Bahmatov Yu.F., Drapenko N.V., Timirgaleev K.R. Technology of metal covering from liquid melt on lengthy hardware with the compound operations of cleaning and stimulated crystallization // Modeling and development of metal forming processes: international collection of scientific works. / under edition V.M. Salganik. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov, 2012. P. 247-251.

3. Bahmatov Yu.F., Drapenko N.V., Timirgaleev K.R. Technological prospects of metal sacrificial coatings on steel constructions from the liquid melt positioned in space by a magnetic field // Materials of the international scientific and practical conference. «Creation of highly effective productions at the mining and metallurgical complex entities» (On September 3-4, 2013. Verhnyaya Pyzhma). Ekaterinburg – Ural worker. 2013. P. 150.

УДК 664.8.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТАРЫ В КОНСЕРВИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ

Стеблянко В.Л., Асадуллина Г.З., Сафонова О.П., Пономарев А.П.

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

Металл остается одним из важнейших упаковочных материалов для пищевых продуктов. Свойственные металлам прочность и светонепроницаемость обеспечивают высокий уровень защиты пищевых продуктов на протяжении очень больших промежутков времени. Однако металлическая упаковка имеет и свои недостатки. Одним из таких существенных недостатков является миграция токсичных элементов из металлического материала в упаковываемый продукт.

В Российской Федерации безопасность тары, предназначенной для контакта с пищевыми продуктами и средами, определяется в соответствии с существующими Гигиенические нормативами ГН 2.3.3.972-00 «Гигиена питания. Тара, посуда, упаковка, оборудование и другие виды продукции, контактирующие с пищевыми продуктами» [1] - по показателям, имеющим гигиеническое и эпидемиологическое значение. Это означает, что металлическая тара, контактирующая с пищевыми продуктами, подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе в уполномоченных или аккредитованных организациях или учреждениях государственной санитарно-эпидемиологической службы на территории России.

Санитарно-химические исследования проводят химико-аналитическими методами. Их цель – выявить, какие химические соединения и в каких количествах могут переходить из материала в контактирующие с ними пищевые продукты. Перечень контролируемых веществ для консервной тары приведен в техническом регламенте на металлическую тару, в государственных стандартах на консервные банки [2] и гигиенических нормативах. Наличие этих веществ в пищевом продукте определяют чаще всего на модельных средах (дистиллированной воде, слабых растворах кислот и др.), имитирующих свойства предполагаемого ассортимента пищевых продуктов при температурно-временных режимах, воспроизводящих реальные условия эксплуатации изделий. Сами пищевые продукты малопригодны для проведения подобных исследований, поскольку они являются сложной системой, в которой трудно или невозможно определить микроколичества отдельных химических соединений, входящих в их состав.

Целью работы является оценка соответствия металлической консервной тары санитарно-эпидемиологическим нормам по величине миграции ионов токсичных металлов в рыбные, мясные и молочные консервы.

Существуют различные методы определения миграции металлов: фотометрический, атомно-абсорбционный, колориметрический, полярографический, метод тонкослойной хроматографии. В данной работе при определении миграции ионов железа и олова был применен фотометрический метод, который основан на взаимодействии этих ионов с сульфосали-

циловой кислотой в щелочной среде с образованием окрашенного в желтый цвет комплексного соединения.

Испытания проводили со следующими модельными средами [2]: 3 %-ный раствор молочной кислоты, 0,3 %-ный раствор молочной кислоты, 3 %-ный раствор поваренной соли, 2 %-ный раствор винной кислоты, белковая жидкость № 1, 3 %-ный раствор уксусной кислоты, 0,3 %-ный раствор молочной кислоты, вода дистиллированная. В испытаниях использовались банки с неповрежденным и активированным (поврежденным) покрытием.

Содержание железа и олова определяли с помощью построения градуировочного графика зависимости оптической плотности от массовой концентрации. Для построения градуировочного графика были приготовлены серии стандартных растворов с точно известной массовой концентрацией железа и олова. Чтобы перевести эти элементы в окрашенное комплексное соединение, поочередно добавляли по 1 мл растворов хлорида аммония, сульфосалициловой кислоты и аммиака. При этом окраска раствора с добавлением последнего реагента становилась желто-оранжевой, что свидетельствовало о содержании железа в пробе. О содержании ионов олова судили по образованию в водно-этанольных растворах комплексного соединения олова с кверцетином, окрашенного в желтый цвет. На фотоэлектроколориметре измеряли оптическую плотность по отношению к дистиллированной воде и строили градуировочные графики зависимости оптической плотности от содержания элементов в растворе. Затем в мерную колбу вместимостью 50 см³ помещали аликвотный объем подготовленных вытяжек, равный 1 – 5 см³, и вливали поочередно растворы хлористого аммония, сульфосалициловой кислоты, аммиака, для определения олова также использовали раствор кверцетина. Оптическую плотность исследуемых растворов измеряли по отношению к раствору сравнения. Если подготовленные к фотометрированию растворы содержали осадок или величина их оптической плотности превышала величину оптической плотности раствора сравнения, испытание повторяли, используя меньший аликвотный объем вытяжки либо строя дополнительный градуировочный график с применением другого светофильтра для растворов сравнения с большей массовой концентрацией.

По результатам проведенных опытов было установлено, что имеет место миграция ионов железа и олова с внутренней поверхности жестяных банок. Миграция железа и олова с активированной поверхности в 2 – 4 раза выше, чем с неактивированной. Токсичные элементы мигрируют менее интенсивно в банках с неактивированной поверхностью, содержащих 3 %-ный раствор поваренной соли и дистиллированную воду, более интенсивно – в банках с активированной поверхностью, содержащих 0,3 %-ный раствор молочной кислоты. Полученные в результате опытов значения существенно превышают показатели санитарно-гигиенических норм [1]: 0,3 мг/дм³ - для железа и 2 мг/дм³ - для олова.

Важно отметить, что миграция олова с активированной поверхности ниже, чем с неактивированной. Это объясняется тем, что при оголенной стальной основе банки перенапряжение на железе (аноде) выше, поэтому превалирует процесс растворения железа. Когда же внутреннее покрытие не нарушено, необходимо предварительное растворение поверхностного слоя олова до толщины, через которую железо могло бы растворяться и мигрировать в модельную среду. В случае банок с лаковым покрытием такие процессы практически исключены, поэтому железо и олово могут мигрировать только через дефекты, царапины, полученные при производстве, транспортировке и технологических процессах, связанных с производством консервов, и через конструкционные элементы (закаточные швы, крепления).

Для определения ионов цинка и свинца использовалась качественная реакция с раствором дитизона в хлороформе. При наличии ионов цинка и свинца раствор становится красным, что связано с образованием комплексного соединения. Наиболее интенсивно окрасился 3%-ный раствор молочной кислоты, наименее – 3%-ный раствор поваренной соли.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что с внутренней поверхности металлической тары протекает миграция опасных ионов железа, олова, цинка, свинца. Причём, в некоторых модельных средах эта миграция значительна. Наиболее агрессивной средой является молочная кислота, наименее – поваренная соль. Кислая среда спо-

способствует большей миграции ионов железа, олова, цинка, свинца, поэтому кислые консервы (маринованные, фруктовые и др.) не фасуются в банки без лакового покрытия. В обычных банках из белой жести (без лака) может реализовываться только сгущённое молоко и иногда мясные консервы при условии максимальной толщины оловянного покрытия.

Список литературы

1. ГН 2.3.3.972-00. Гигиена питания. Тара, посуда, упаковка, оборудование и другие виды продукции, контактирующие с пищевыми продуктами. Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами [Текст]. Введ. 01.08.00.
2. ГОСТ 5981-88 Банки металлические для консервов. Технические условия [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 2000.

References

1. GN 2.3.3.972-00. Food hygiene. A tare, a ware, a package, an equipment and other types of production contacting to foodstuff. Maximum permissible amounts of the chemicals which are selecting from materials, contacting to foodstuff [Text]. Introduction. 01.08.00.
2. GOST 5981-88 Metal cans for preserves. Specifications [Text]. M.: Publishing house of standarts, 2000.

УДК 621.778.1-426

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ВОЛОЧЕНИЕМ

Харитонов В.А.

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

Стальная проволока и изделия из неё (канаты, пружины, металлическая сетка и т.п.) являются основной, как по объёму, так и по значению продукцией метизного передела черной металлургии, и находят массовое применение практически во всех отраслях промышленности.

Её конкурентоспособность, определяемая принципом получения продукции с заданными свойствами при невысоких производственных расходах, обеспечивается в реализуемом для изготовления проволоки производственном процессе.

Производственный процесс, как система, включает в себя технологический процесс и операторы: основные и обобщенные. Основные, к которым относятся люди (специалисты) и технические системы (технологическое оборудование), обеспечивают реализацию процесса. Обобщенные операторы: внутренние и внешние условия, специальная информация, управления их регулирования, влияют на эффективность процесса [1].

Свойства проволоки и затраты на её изготовление определяются уровнем требований действующей нормативно-технической документации к готовой продукции, показателями качества и стоимостью катанки-заготовки. Однако решающее влияние оказывают уровень применяемого технологического процесса и характеристики оборудования, используемого для реализации технологического процесса. При этом технические возможности оборудования и реализуемые технологические режимы должны находиться в соответствии друг с другом. Поэтому для реализации новых технологических процессов необходимо проектировать новое оборудование, а при использовании оборудования с более высокими техническими характеристиками, чем применяемое, технологический процесс должен быть, как минимум, модернизирован.

Выбор варианта технологического процесса должен осуществляться, исходя из важнейших показателей его эффективности: производительности, себестоимости и качества производимой продукции. Главным же направлением перспективного технологического проектирования и создания эффективных технологических процессов в металлургии следует считать создание новых технологических систем, основанных на малооперационной, ... и безотходной технологии, и обеспечивающих многократный рост производительности труда и существенное улучшение качества продукции и других показателей производства [2].

Главной основной частью технологического процесса является рабочий ход (основная операция), который представляет собой законченную часть операции, непосредственно связанную с изменением формы, размеров, структуры свойств, состояния или положения в пространстве предмета труда (в соответствии с назначением технологического процесса) [2].

В применяемых в настоящее время в проволочном производстве технологических процессах изготовления проволоки основными операциями, обеспечивающими получение проволоки необходимых размеров с требуемыми физико-механическими свойствами, являются способы обработки металлов давлением и термическая обработка. Последняя обеспечивает получение необходимой структуры, а в сочетании с химическим составом стали - свойств заготовки и готовой проволоки, а также восстановление деформируемости передельной проволоки. Однако операции термообработки в теории технологического наследования принято считать «технологическими барьерами», которые ликвидируют полностью или частично наследственные связи, действовавшие в технологическом процессе до появления указанных барьеров, и процесс изготовления начинается как бы заново [3]. Кроме того, термическая обработка увеличивает время цикла обработки и повышает затраты на изготовление проволоки. Поэтому эффективные технологические процессы изготовления проволоки должны проектироваться с минимально необходимым количеством промежуточных термообработок, а свойствообразование, наряду с обязательным формообразованием, должны обеспечивать применяемые способы ОМД, определяющие также и уровень технологического процесса.

Впервые общую оценку способов ОМД выполнил известный отечественный ученый Губкин С.И. в работе [4], отметив, что «Каждый процесс пластической деформации определяется следующими тремя основными факторами, а именно: механической схемой деформации; температурно-скоростным режимом и неравномерностью распределения деформаций. Эти факторы определяют: сопротивление деформации (затраты энергии на деформацию); пластичность (способность металла к необратимому изменению формы); структуру; физико-механические свойства. Механическая схема деформации зависит от выбранного процесса деформации и определяется схемами главных напряжений (СГН) и деформаций (СГД). СГН влияет на сопротивление и способность к необратимому изменению формы. СГД, а также величина ее показателей (величина главной деформации и соотношение между величинами главных деформаций) влияет на величину зерна, форму и распределение включений, на расположение и форму волокна, текстуру и механические свойства. СГН связана с вопросами, решением которых занимается механика пластических сред, СГД – с вопросами металловедения. Установление температурно-скоростного режима связано, главным образом, с вопросами металловедения, а анализ неравномерности распределений напряжений и деформаций в деформируемом теле – с вопросами механики пластических сред.

В развитии этой работы на основе анализа известных публикаций и результатов собственных исследований нами предложена [5] технологическая классификация способов ОМД, основными признаками которой являются:

1. способ подвода энергии в очаг деформации;
2. механическая схема деформации;
3. очаг деформации, с разбивкой на подэлементы; структура очага деформации; поверхностный фактор; масштабный фактор; схема пластического течения; контактное трение;
4. температурно-скоростные условия;
5. количество и сложность вспомогательных операций, необходимых для реализации способа;

6. технологический инструмент.
7. технологическое оборудование.

Исторически сложилось так, что основным способом ОМД при изготовлении проволоки стало волочение в монолитной волоке. Причиной этого, на наш взгляд, является простота инструмента: конструкционная, технологическая, эксплуатационная. Малый объем и форма рабочего элемента монолитной волоки обеспечивают возможность использования для его изготовления дорогостоящих, но высококачественных материалов, включая естественный алмаз. В настоящее время волочение достаточно хорошо изучено теоретически, обеспечено эффективным высокопроизводительным оборудованием, спроектированным с учетом особенностей процесса волочения и способствующим устранению его недостатков. В промышленных масштабах изготавливаются волочильный инструмент и технологические смазки. Отработаны режимы и обеспечены современным оборудованием подпроцессы термической обработки, подготовки поверхности металла к волочению и т.п. Повышению эффективности процесса волочения способствовало также и улучшение качества катанки по геометрическим параметрам, химсоставу, макро- и микроструктуре, физико-механическим свойствам, составу и количеству окалина и т.п., обеспеченное модернизацией сталеплавильного и прокатного переделов черной металлургии, произошедшей в последние десятилетия. Все это позволило улучшить качество проволоки, повысить производительность процесса. Однако волочение в монолитных волоках остается многоциклическим, многооперационным, длительным по времени, а следовательно, и дорогостоящим процессом. Кроме того, «родовые» признаки волочения: способ подвода энергии, относительно короткий очаг деформации, симметричная схема деформации, монотонность течения металла не позволяют управлять структурообразованием и обеспечить, тем самым, получение проволоки с высокими значениями показателей прочности и пластичности.

Следует отметить, что при производстве «тонкой» проволоки (диаметром менее 2,0 мм) альтернативного волочению в монолитной волоке промышленного способа не существует. Поэтому модернизация способа волочения в этом варианте должна идти по уже известным направлениям, однако основными её этапами должно быть решение вопросов деформации поверхностных слоев проволоки и температурно-скоростных условий, определяющих локализацию деформации сжатия и параметры нагрева и охлаждения проволоки с ростом скорости волочения что же касается готовой проволоки больших диаметров и передельной проволоки, то для повышения качества проволоки и снижения затрат следует расширять промышленное внедрение уже имеющихся альтернативных способов и разрабатывать новые.

Причем, учитывая распространенность на метизных заводах волочения, наличие оборудования и другой инфраструктуры, а также обученного обслуживающего персонала, в качестве альтернативного решения следует рассматривать замену инструмента, а не самого способа.

Исходя из этого, известной альтернативой монолитной волоке является волока роликоточная. В настоящее время вместе с импортным волочильным оборудованием на отечественных заводах появились и роликоточные волоки различных конструкций, изготовленные на ведущих мировых фирмах – производителях волочильного оборудования и инструмента. Причем могут поставляться специализированные волочильные машины, оснащенные роликоточными волоками. Или же роликоточные волоки могут поставляться отдельно и устанавливаться без особых технических сложностей на действующих волочильных машинах.

Применение роликоточных волок вместо традиционных монолитных позволяет снизить величину трения из-за перехода на активно-реактивный характер действия трения вместо реактивного при волочении в монолитной волоке, снизить усилие волочения, обеспечивая тем самым снижение уровня растягивающих напряжений, действующих в очаге деформации, повышение вытяжек и снижение энергозатрат. Деформация в роликоточных волоках более равномерна, что способствует повышению физико-механических свойств проволоки. Применение роликоточных волок упрощает и удешевляет подготовку поверхности проволоки к волочению, снижает разогрев проволоки и интенсифицирует её охлаждение. Однако точность геометри-

ческих размеров проволоки, протянутой в роликовой волоке, по сравнению с монолитной волококой, ниже. Хотя этот недостаток сравнительно просто устранить, применив калибрующее волочение в монолитной волоке (или волоках).

Более серьезной проблемой является то, что практически не меняя характер течения металла, роликовое волочение на порядок, если не больше, усложняет инструмент. Причем значительно усложняется конструкция деформирующих роликов, растет их масса, что при условии использования тех же материалов, что и при изготовлении вставок монолитных волок, значительно повышает их стоимость, а при использовании более дешевых материалов – снижает стойкость. При роликовом волочении (во всяком случае на применяемых конструкциях волок) деформацию круглой заготовки в круглую проволоку можно осуществлять только в сдвоенном калибре по системе «круг - промежуточное фасонное сечение-круг», что в два раза увеличивает количество деформирующих роликов. Соответственно, значительно усложняется и конструкция самой роликовой волоки. Практически каждый комплект валков устанавливается в отдельном корпусе, а конструкция собственно роликовой волоки образуется путем соединения двух корпусов. Значительно растет масса роликовых волок и появляется проблема «перевалки валков», которой при волочении в монолитных волоках просто нет.

Одним из перспективных направлений повышения качества конструкционных материалов, включая углеродистую сталь, является интенсивное пластическое деформирование (ИПД), в котором обеспечивается формирование УМЗ структур материалов с повышенными показателями усталостной прочности при сохранении высокой удельной прочности и технологической пластичности [6].

В то же время существующие методы ИПД характеризуются рядом конструктивно-технологических недостатков, ограничивающих возможности их широкого промышленного применения, среди которых следует отметить прерывность деформирования, высокие неравномерности распределения деформаций и механических напряжений по сечению и длине заготовок, значительные неоднородности структуры деформируемого материала, большие макроскопические ротации и углы поворота главных осей течения материала и, как результат, низкий коэффициент использования материала, неравномерность проработки и анизотропия свойств деформированных заготовок, что говорит о необходимости совершенствования существующих и разработки новых схем ИПД, конструктивно технологические особенности которых исключают некоторые, из указанных недостатков [6].

Основные (базовые) методы ИПД основаны на применении или деформации кручения – кручение под квазигидростатическим давлением (КГД), или деформационного процесса с изменением пути деформации – равноканального углового прессования (РКУП) [7].

Степень измельчения зерна в стали определяется величиной истинной (логарифмической) деформации и ее значение при КД (кручении под давлением) выше более чем в 7 раз, чем при РКУП. Соответственно степень измельчения зерна при КД гораздо выше, чем при РКУП. Для достижения при РКУП такой же степени измельчения зерна, как при КД, необходимо осуществить прессование за семь проходов [8].

В работе [9] также отмечается: что эффективными методами накопления деформации являются кручение под давлением и стесненное кручение, поскольку всего за 0,5...1 оборот даже в близкой к центру диска области достигается значительная степень деформации – $e = 17...18$. Для накопления примерно такой же деформации при РКУП требуется большое число проходов – 16, а при растяжении, прокатке и волочении необходимо вытянуть образец в 10 млн. раз.

Особое положение занимает вопрос разработки процессов получения УМЗ в длинномерных изделиях, к которым относится, прежде всего, проволока, т.к. практически все известные методы ИПД дискретны и позволяют получать прутки длиной около 1,0.

Из всех предложенных в настоящее время непрерывных способов наноструктурирования проволоки, наиболее близкими к практическому применению являются способы равноканальной угловой протяжки и кручения - волочения: [10, 11]. Они основаны на принципе

обработки проволоки и канатов в рихтовальных и торсионных устройствах, привязаны к действующему волочильному оборудованию и используют промышленно изготавливаемый инструмент.

Однако они позволяют обрабатывать только поверхностный слой проволоки, требуют применения дополнительных устройств, устанавливаемых в линии волочильной машины после чистового барабана или между промежуточными барабанами, многоцикличны и, что самое главное, не обеспечивают возможности обработки с наложением высокого гидростатического давления. Это не позволяет получить высокую степень накопленной деформации без разрушения металла, а следовательно делает сложным, а часто и невозможным получение равномерной УМЗ по всему сечению проволоки. В первую очередь, это относится к процессу кручения [12].

На наш взгляд, устранить эти недостатки и тем самым, повысить эффективность способа волочения, позволяет применение нового вида инструмента - роликовой волоки, обеспечивающей реализацию радиально-сдвиговой деформации. Или другими словами, по аналогии с прототипом предлагаемого способа: - радиально-сдвиговой прокатки – радиально-сдвиговой протяжки РСПр [13-16]. Конструктивно роликовая волока радиально-сдвиговой деформации состоит из трех неприводных деформирующих роликов, расположенных под углом 120° друг к другу и повернутых, на угол подачи $B \geq 16^\circ$ к оси протягиваемой проволоки. Каждый ролик имеет рабочий конус и калибрующий пояс. Ролики размещаются во вращающемся от специального привода корпусе. Протяжка проволоки осуществляется путем приложения переднего тянущего усилия. При этом за счет контактных сил трения деформирующие ролики вращаются вокруг оси проволоки, деформируя последнюю. Проволока при этом не вращается, благодаря чему и появляется возможность обрабатывать этим способом длинномерные изделия. При радиально-сдвиговой протяжке, как и в её аналоге, обеспечивается геликоидальное истечение металла, что приводит к образованию в металле спиральной микроструктуры. Деформированное состояние при этом описывается тензором деформации $\hat{\beta}$, представляющим собой сумму тензора деформации $\hat{\epsilon}$, определяющего линейные и угловые деформации, и тензора поворота $\hat{\omega}$, определяющего деформацию кручения [17]. Для случая обработки круглой проволоки степень накопленной деформации определится по выражению [18]:

$$e = 2 \ln \left(\frac{d_0}{d_1} \right) + \ln \left(\frac{90}{\gamma} \right),$$

где e - степень накопленной (логарифмической) деформации; d_0 - диаметр исходной проволоки; d_1 - диаметр готовой проволоки; γ - угол подъема винтовой линии.

Т.о. при радиально-сдвиговой протяжке реализуется одновременно два механизма течения металла: продольное течение (вытяжка с увеличением длины и уменьшением диаметра проволоки, т.е. происходит обычное волочение) и вращательное течение металла, обеспечивающее прирост накопленной степени деформации и тем самым дополнительное измельчение микроструктуры.

При этом РСПр, обладая всеми преимуществами классического варианта роликового волочения, позволяет производить деформацию в один проход по системе калибров «круг-круг», что устраняет неравномерность деформации по ширине калибра, упрощает конструкцию роликовой волоки и значительно уменьшает количество деформирующих роликов. Ролики при этом проще по конструкции и меньше по объему, чем ролики «классических» волок. Уменьшение конусности ролика обеспечивает большее проникновение деформации сжатия по сечению проволоки, что способствует повышению её деформируемости. Варьирование степенью деформации и углом конусности ролика позволят менять глубину проникновения деформации сжатия в очаге деформации, а изменение угла подачи позволят управлять

степенью скручивания. Волока радиально-сдвиговой протяжки может быть, как и обычная роликовая, установлена на волочильную машину.

Повышение степени накопленной деформации и возможность получения УМЗ структуры позволяют либо повысить физико-механические свойства проволоки, либо снизить затраты на её производство.

Таким образом, применение волок радиально-сдвиговой деформации, обеспечивающих управляемое немонокотное течение металла в очаге деформации, позволяет без значительных капитальных затрат, сохранив в давно и широко применяемый способ ОМД, повысить конкурентоспособность проволоки и тем самым эффективность производственного процесса её изготовления.

Список литературы

1. Хубка В. Теория технических систем. М.: Мир, 1987. 205 с.
2. Васильева И.Н. Экономические основы технологического развития: Учебное пособие для вузов. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ. 1995. 160 с.
3. Кондаков А.И., Васильев А.С., Цыганов В.С. Эффективность взаимодействия технологических методов разной физической природы при направленном формировании качества деталей машин // Изв. вузов. Машиностроение. 2002. № 1. С. 39-45.
4. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением. М.: Metallurgizdat, 1947. 532 с.
5. Харитонов В.А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 49-59.
6. Амтухов А.В., Тарасов А.Ф., Периг А.В. Систематизация процессов интенсивного пластического деформирования для формирования ультрамелкозернистых и нанокристаллических структур в объемных заготовках // Письма о материалах. Т 2. 2012. С. 54-59.
7. Мулюков Р.Р., Назаров А.А., Имаев Р.М. Деформационные методы получения, многоуровневая структура и свойства наноструктурных материалов // Вопросы материаловедения. 2008. №2 (54). С. 20-32.
8. Онищенко А.К. Интенсивная, мегапластическая и псевдопластическая (мезо) деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2013. № 2. С. 16-21.
9. Утяшев Ф.З. Связь между деформированным и структурным состояниями металла при интенсивной пластической деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением, 2011. № 5. С. 33-39.
10. Чукин М.В., Полякова М.А., Емалеева Д.Г. Деформационное наноструктурирование проволоки: учеб. пособие / Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 57 с.
11. Полякова М.А., Гулин А.Е. Критериальная оценка эффективности непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки // Технология металлов. 2013. № 4. С. 19-25.
12. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации. Уфа: РИК, УГАТУ, 2008. 313 с.
13. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки: монография / В.А. Харитонов, А.Ю. Манякин, М.В. Чукин и др. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.
14. Харитонов В.А., Корчунов А.Г., Андреев В.В. Применение радиально-сдвиговой протяжки при производстве бунтового калиброванного металла // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 11. С. 34-36.

15. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Применение радиально-сдвиговой протяжки при производстве круглой проволоки // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. Екатеринбург. унив. тип. «Альфа-Принт». 2013. С. 430-435.
16. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направление развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 3 (43). С. 69-73.
17. Утяшев Ф.З. Связь между деформированным и структурным состояниями металла при интенсивной пластической деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением (продолжение). 2011. № 6. С. 25-32.
18. Теплая поперечно-винтовая прокатка в валках конической формы как метод интенсивной пластической деформации. Иванов М.Б. и др. // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 9. С. 13-18.

References

1. Hubka V. Theory of technical systems. M.: Mir, 1987. 205 p.
2. Vasileva I.N. Economic bases of technological development: Study letter for HPE. M.: Banks and exchange, ЮНИТИ. 1995. 160 p.
3. Kondakov A.I., Vasilev A.S., Tsyjganov V.S. Efficiency of interaction of technological methods of the different physical nature in case of directional quality formation of machinery parts // News of HPE. Engineering. 2002. № 1. P. 39-45.
4. Gubkin S.I. Theory of pressure metal treatment. M.: Metallurgizdat, 1947. 532 p.
5. Haritonov V.A. Classification of methods of pressure metal treatment based on technological criterion in case of a wire production // Modeling and development of pressure metal treatment processes: international collection of scientific works / under edit. V.M. Salganik. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2012. P. 49-59.
6. Amtuhov A.V., Tarasov A.F., Perig A.V. Systematization of intensive plastic deforming processes for formation ultra-fine grain and nanocrystalline structures in volume billets // Letters about materials. T 2. 2012. P. 54-59.
7. Mulyukov R.R., Nazarov A.A., Imaev R.M. Deformation methods of receiving, layered structure and properties of nanostructural materials // Questions of material science. 2008. №2 (54). P. 20-32.
8. Onischenko A.K. Intensive, megaplastic and pseudo-plastic (meso) deformations // Press forging. Pressure metal treatment. 2013. № 2. P. 16-21.
9. Utyashev F.Z. Communication between deformed and structural metal conditions in case of intensive plastic deformation // Press forging. Pressure metal treatment, 2011. № 5. P. 33-39.
10. Chukin M.V., Polyakova M.A., Emaleeva D.G. Deformation nanostructuring of a wire: study letter / Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2012. 57p.
11. Polyakova M.A., Gulin A.E. Criteria score of efficiency of the continuous method of deformation nanostructuring of a wire // Technology of metals. 2013. № 4. P. 19-25.
12. Utyashev F.Z. The modern methods of intensive plastic deformation. Ufa: РИК, УГАТУ, 2008. 313 p.
13. Improvement of deformation modes and the tool in case of a round wire drawing: monograph / V.A. Haritonov, A.Yu. Manyakin, M.V. Chukin and etc. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2011. 174 p.
14. Haritonov V.A., Korchunov A.G., Andreev V.V. Application of radial and shift broach in case of the bunch calibrated metal production // Blank productions in mechanical engineering. 2006. № 11. P. 34-36.

15. Haritonov V.A., Usanov M.Yu. Application of radial and shift broach in case of a round wire production // Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: collection of scientific works. Yekaterinburg. univers. tip. «Alfa-Print». 2013. P. 430-435.

16. Haritonov V.A., Usanov M.Yu. Status and development direction of the nanostructuring continuous methods of a round wire // Vestnik of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2013. № 3 (43). P. 69-73.

17. Utyashev F.Z. Communication between deformed and structural metal conditions in case of intensive plastic deformation // Press forging. Pressure metal treatment (continuous). 2011. № 6. P. 25-32.

18. Warm cross rolling in rolls of the conical shape as a method of intensive plastic deformation. Ivanov M.B. and etc. // Deformation and rupture of materials. 2010. № 9. P. 13-18.

УДК 621.778

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КАТАНКИ В СОВМЕЩЕННОМ ПРОЦЕССЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОМ

Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г., Абдулин Э.М., Ежов О.В., Смирнов Н.В.
*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

Производство стальной проволоки начинается с подготовки поверхности катанки, покрытой прокатной окалиной. Существует достаточно широкий набор таких технологий: это способы, основанные на эффектах удаления окалины с помощью теплового удара, электрической дуги, кавитации в жидкостях, ультразвуковых полей и различные механические способы.

Наиболее распространенным способом удаления прокатной окалины являются процесс взлома окалины изгибом на роликовых окалиноломателях, травление в растворах серной или соляной кислот или совместное воздействие тем или иным способом. Химический способ удаления окалины полностью очищает поверхность металла, но требует использование и утилизацию агрессивных химикатов, особых условий обеспечения безопасности при работе с химикатами. Способ удаления на окалиноломателях уменьшает ресурс пластичности катанки.

Разрабатывается технология механического удаления окалины в совмещенном процессе пластическая деформация-взлом окалины при волочении в порошковых средах [1, 2, 3, 4].

Весьма эффективным механическим способом удаления окалины является деформация поверхности металла в устройствах бесфильтрного волочения. Из-за разных механических свойств окислов и металла, в том числе разной пластичности, при деформации поверхности происходит отслоение окислов.

Авторами статьи предложен способ очистки катанки от окалины, реализованный на устройстве [5], при котором поверхность металла испытывает растяжение-сжатие, аналогично протяжке в роликовых окалиноломателях, но при значительном растяжении катанки, вплоть до достигаемых в фильерах вытяжек. Внешний вид предложенного устройства бесфильтрного волочения показан на **рис. 1**. Экспериментально определены компоновка элементов и соотношение размеров элементов для конструкции установки. Для снижения сопротивления металла деформации и снижения сил трения, увеличения пластической деформации, приводящих к улучшению очистки поверхности катанки, деформация происходит с наложением силового ультразвука, подводимого в зону деформации через волновод.

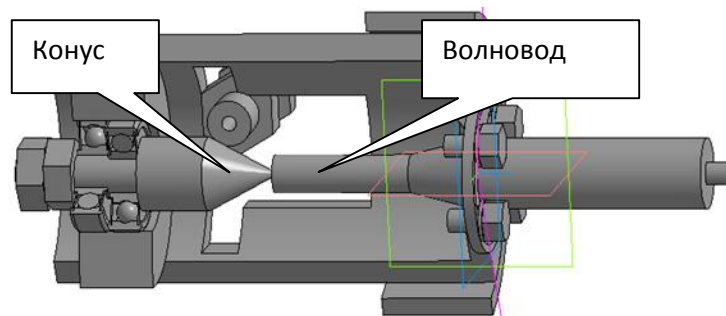


Рис. 1. Конструкция установки бесфильтрного волочения

Предварительные исследования [5, 6, 7, 8] показали необходимость перехода от цилиндрических к конусообразным роликам, т.к. при изгибе катанки на цилиндрических роликах деформация развивается в двух местах: при заходе и сходе с ролика. Изгиб и растяжение катанки на конусе позволяет локализовать основные пластические деформации в одном месте, в области распрямления (рис. 2), в эту же область подается основной поток энергии ультразвукового генератора.

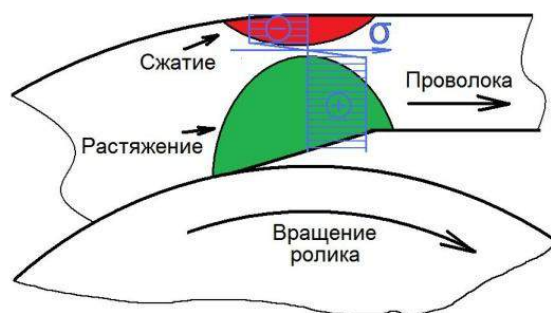


Рис. 2. Область схода катанки с ролика

При этом необходимо обеспечить условие создания лишь одного витка спирали. Если сделать допущения: катанка не сопротивляется изгибу и скользит по конусу без трения, имеет малый диаметр, то петля катанки при разворачивании вместе с поверхностью конуса преобразится в прямую. На рис. 3, слева показана прямая линия, пересекающая сектор развертки конуса. Для создания хотя бы одного витка на конусе необходимо касательной к окружности вершины конуса пересечь весь сектор. Т.е. для создания одного полного витка спирали необходимо получить конус с углом образующей менее 45 градусов. На самом деле катанка, на фоне развертки выглядит как незначительно изогнутая дуга (рис. 3, справа), это обстоятельство уменьшает угол захода α катанки на конус.

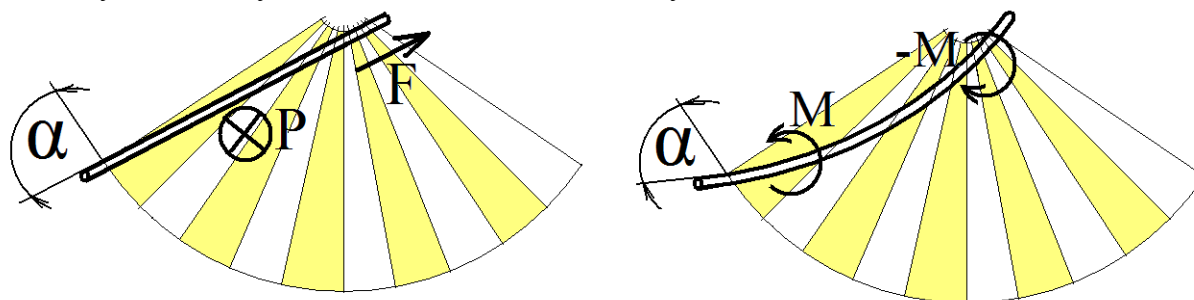


Рис. 3.

При намотке катанки на конус образуется соскальзывающая с конуса петля катанки (рис. 4), поверхность которой упирается в торец цилиндра волновода генератора ультразвука. При этом в нее передается ультразвуковая энергия, которая снижает сопротивление деформации и уменьшает трение на поверхностях инструмента. Катанка по мере движения по поверхности конуса постепенно изгибается, в конце пути приобретая наибольшую кривизну. Кривизна линии катанки растет с натяжением катанки, а сама катанка прижимается к поверхности конуса с удельной к длине силой $\frac{dP}{dL}$, пропорциональной своей кривизне $\frac{1}{R}$ и

силе натяжения $\frac{dP}{dL} = \frac{F}{R}$.

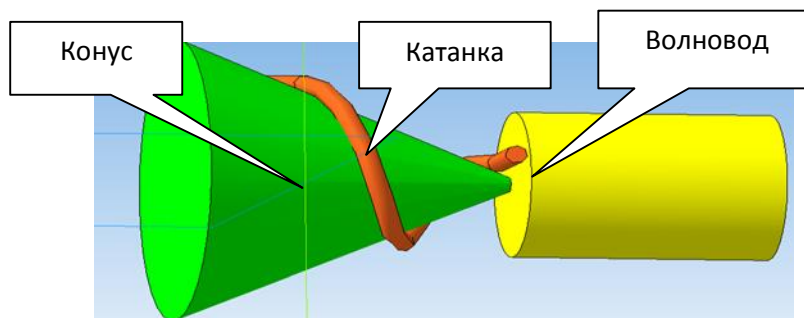


Рис. 4. Соскальзывающая с конуса петля

Кроме того, что происходит процесс постепенного изгиба, катанка в такой петле постепенно скручивается вокруг своей оси за счет сил трения. Одновременно с деформацией растяжения-сжатия поверхность металла испытывает сдвиговую деформацию: катанка скручивается-раскручивается моментом M на угол до 25 градусов на коротком участке (на длине одного витка). Скручивание происходит за счет сил трения при соскальзывании катанки с конуса и за счет того, что катанке выгоднее продолжать искривляться в направлении, где уже происходил изгиб, но в отличие от намотки на цилиндр, намотка на конус изгибает катанку в разных направлениях. При размотке с конуса катанка не только распрямляется, но и раскручивается (скручивается в обратном направлении) на коротком участке.

Для получения установившегося движения катанки по конусу необходимо создать условия для соскальзывания петли по конусу. Одним условием для соскальзывания петли с конуса является превосходство напряжения натяжения катанки над сопротивлением катанки изгибу и скручиванию. Другое условие зависит от сил трения и угла наклона образующей конуса, большие силы и малый угол наклона образующей конуса могут не позволить скользить катанке по поверхности конуса.

Заключение. Схема устройства бесфильтрного волочения с коническим роликом концентрирует в одном месте, между волноводом и вершиной конуса максимальные скручивающие, изгибающие, растягивающие напряжения. Предложенная схема волочения создает область с благоприятными условиями для отслаивания окалины, степень очистки достигает 98%. Механические свойства проволоки полученной волочением неочищенной катанки на первых проходах по предложенному способу незначительно отличаются от проволоки, полученной из заготовки подвергнутой травлению [9].

Список литературы

1. Бахматов Ю.Ф., Захаров Д.С., Полякова М.А. Многократное волочение проволоки без предварительного удаления окалины // Производство проката. 2000. № 1. С. 29-31.

2. Бахматов Ю.Ф. и др. Технология волочения проволоки в динамически сформированном порошковом инструменте // Труды IV конгресса прокатчиков. Т. 1. М. 2002. С. 219-220.
3. Патент РФ № 2138351, опубликован БИ 1999.
4. Использование изгиба для стабилизации очага деформации при волочении в динамически сформированном порошковом инструменте // Металловедение. Межвуз. сборник науч. трудов. Магнитогорск: МГМА, 2003. С. 31-33.
5. Патент РФ № 122920, опубликован БИ 2012.
6. Бахматов Ю.Ф. Локализация зоны деформации при безфильерном волочении по длине стоячей УЗК-волны // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сборник научных трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 176-179.
7. Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г. Влияние геометрических размеров отражательных элементов при бесфильерном волочении с локализацией очага деформации ультразвуковой энергией // Процессы и оборудование металлургического производства: Сборник научных трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 320-323.
8. Влияние диаметра отражателя, силы растяжения и дробности деформации на величину вытяжек при бесфильерном волочении с наложением ультразвука / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пашенко, В.А. Воронова, В.А. Антонова // Современные технологии обработки металлов с применением инструментов из сверхтвердых материалов: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ. 2008. С. 128- 131.
9. Влияние пластического растяжения - изгиба в совмещенном процессе удаления окалины - волочения на свойства проволоки / К.Г. Пашенко, Ю.Ф. Бахматов, Э.М. Голубчик // Сталь. 2011. № 3. С. 47-50.

References

1. Bahmatov Yu.F., Zaharov D.S., Polyakova M.A. Continuous drawing without preliminary descaling // Mill products production. 2000. № 1. P. 29-31.
2. Bahmatov Yu.F. Technology of a wire drawing in dynamically created powdery tool // Works of the IV congress of roller men. Т II. (Magnitogorsk, October 16-19, 2001). М. 2002. P. 219-220.
3. Pat. 2138351 RF. Method of a wire production from hot-rolled billet. Publish. 1999.
4. Bowing uses for stabilization of the center of deformation in case of drawing in dynamically created powder tool // Metallurgical science: interuniversity collection of scientific works. Magnitogorsk: МГМА, 2003. P. 31-33.
5. Patent 122920 RF. Publish. 2012.
6. Bahmatov Yu.F. and etc. Localization of a zone of deformation in case of without wire die drawing on length of a standing UZK-wave // Modeling and development of metal forming processes: collection of scientific works. Magnitogorsk: SEI of HPE «MSTU», 2006. P. 176-179.
7. Bahmatov Yu.F., Paschenko K.G. Influence of the geometrical sizes of reflective elements in case of without wire die drawing with localization of the center of deformation by ultra-sonic energy // Processes and equipment of metallurgical production. Magnitogorsk: SEI of HPE «MSTU», 2006. P. 320.
8. Bahmatov Yu.F., Paschenko K.G., Voronova V.A., Antonova V.A. Influence of reflector diameter, force of stretching and divisibility of deformation at a size of drawing-down in case of without wire die drawing with ultrasound imposing // Modern technologies of handling of metals using tools from superhard materials: international collection of scientific works. Magnitogorsk: MSTU, 2008. P. 128- 131.
9. Paschenko K.G., Bahmatov Yu.F., Golubchik E.M. Influence of plastic stretching - bend in the combined process of descaling - drawing on properties of a wire // Steel. 2011. № 3. P. 47-50.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ И ВОЛОЧЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-3D

Блондинская Е.Б., Шубин И.Г.

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

Введение

В научной и практической деятельности значительное место занимает моделирование с применением численных методов для изучения сложных процессов, включающее математическое представление явлений с применением CAE-систем. Эффективность использования методов моделирования и решения инженерных задач значительно возрастают, если перед составлением модели выявлены и ранжированы важнейшие параметры.

При разработке технологических процессов на базе обширных исследований объём экспериментов становится настолько масштабным, что их реализация требует значительных затрат. В связи с этим развитие теории ОМД направлено на создание методов точного количественного описания технологических процессов, учитывающих большой объём факторов, т.е. адекватного решения громоздкой математической модели [1, 2].

При теоретических исследованиях процессов волочения проволоки использовался специализированный программный комплекс «DEFORM – 3D», в основу которого положен метод конечных элементов (МКЭ).

Суть предлагаемых решений заключается в снижении неравномерности пластического течения поверхностных слоев металла путем использования модуля поперечно-винтовой прокатки (ПВП).

Для сравнительного анализа напряженно-деформируемого состояния с целью выявления особенностей влияния технических параметров при волочении круглых изделий в монолитной волоке и в модуле ПВП выполнено моделирование. В программном комплексе DEFORM-2D было выполнено моделирование процесса волочения в монолитной волоке, а моделирование процесса ПВП было выполнено в DEFORM-3D.

Начальные условия

Передний конец заготовки заостряют перед волочением в монолитной волоке и модуле ПВП. Форма заготовки имеющей заострение не оказывает существенного влияния на усилие волочения, но позволяет сократить время моделирования, т.к. в начальный момент заготовка находится в контакте с волокой. [3] Были заданы одинаковые начальные условия модели для волочения и ПВП (см. таблицу). В качестве материала заготовки была выбрана пружинная сталь 60Г.

Начальные условия модели

Название константы	Обозначение	Значение
Плотность стали, кг/м ³	ρ	7810
Модуль Юнга, МПа	E	206754
Коэффициент пуансона	μ	0,3

Граничные условия

1) Для расчета использованы временные шаги по времени и решатель Ньютона-Рафсона.

- 2) Для решения задачи был выбран прямой решатель (Sparse).
- 3) Решаемая задача - осесимметричная (для волочения в монолитной волоке).
- 4) Радиальные перемещения точек продольной оси проволоки отсутствуют, что естественно для осесимметричной задачи. Волока неподвижна.
- 5) Скорость волочения через монолитную волоку - 1 м/сек.
- 6) Валкам модуля ПВП задано вращение вокруг их осей - 6.3 рад/сек, а также вращение вокруг заготовки 5 рад/сек. Скорость толкателя - 1 м/сек.

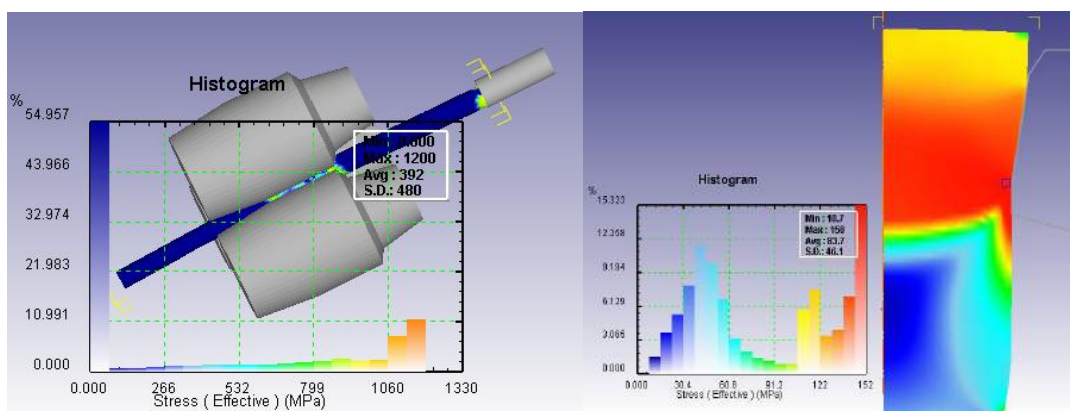
Принятые допущения

- 1) модель материала заготовки – пластичная;
- 2) материал калиброванной стали изотропен и однороден;
- 3) материал волоки (валков) - абсолютно жесткий;
- 4) теплообменом между волокой и заготовкой пренебрегаем;
- 5) закон трения Амонтона - Кулона, постоянен в области контакта.

Результаты эксперимента и их обсуждение

В результате моделирования получили эпюры распределения полных напряжений в очаге деформации при волочении и ПВП (**рис. 1**).

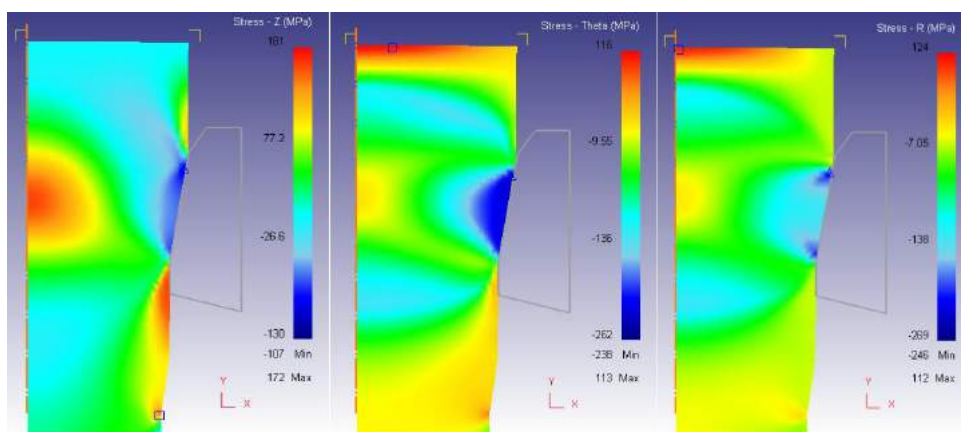
Напряженное состояние заготовки при волочении в монолитной волоке (**рис. 2**) характеризуется преобладанием схемы с одним растягивающим (положительные напряжения на графиках) и двумя сжимающими напряжениями (отрицательные напряжения на графиках). Однако в центральных слоях при входе в рабочую зону волоки наблюдается рост осевых, радиальных и тангенциальных напряжений, что указывает на то, что в этом объекте схема всестороннего растяжения. На периферийных слоях в зоне контакта металла и волоки наблюдается схема всестороннего сжатия. Результаты моделирования подтверждают полученные ранее данные [3].



a

б

**Рис. 1. Полные напряжения в очаге деформации с распределением по гистограмме:
a- поперечно-винтовая прокатка, *б*- волочение**

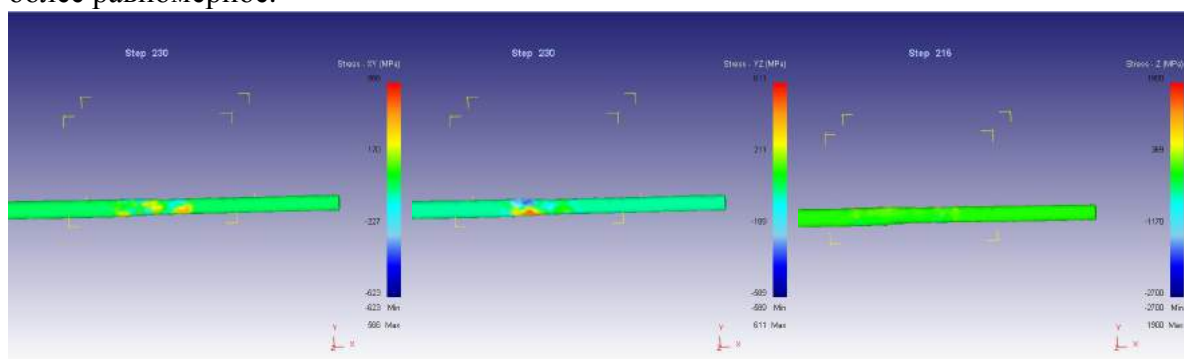


а *б* *в*
Рис. 2. Распределение осевых (а), окружных (б) и радиальных напряжений (в)

Анализ деформационного состояния заготовки после волочения в монолитной волоке и в модуле ПВП показывает, что наибольшие значения интенсивности деформаций достигаются на поверхности заготовки при ПВП, так как там происходит наибольшая деформация металла, связанная с вращением валков вокруг своей оси и вокруг оси заготовки (**рис. 3**).

Выявлены места возможного разрушения заготовки. Образование мест разрушения наиболее вероятно в центральных слоях заготовки, как наиболее нагруженных растяжением. По мере движения металла в канале и увеличения растягивающих напряжений это нагружение передается ближайшим к центру слоям металла.

Для оценки распределения интенсивности деформаций был проведен анализ процессов волочения в монолитной волке и волочения в модуле ПВП. Из распределения интенсивностей деформаций (**см. рис. 1**) видно, что за один цикл в модуле ПВП достигаются большие значения, чем за один цикл в монолитной волоке. График наглядно показывает явный разброс напряжений при волочении в монолитных волоках. Распределение напряжений при ПВП более равномерное.



а *б* *в*
Рис. 3. Распределение осевых (а), окружных (б) и радиальных напряжений (в) при ПВП

Полученные результаты позволяют дать рекомендации по совершенствованию процесса волочения при помощи модуля ПВП с целью уменьшения числа промежуточных этапов деформирования при увеличении обжатия на каждом из них. Кроме того, представляется возможным уменьшить усилие вытяжки. Основной же задачей является изучение напряжен-

но-деформированного состояния проволоки на всем маршруте волочения с учетом изменения ее механических характеристик. Это даст возможность оптимизировать процесс волочения, предложить конструкцию модуля ПВП и увеличить срок службы инструмента.

Список литературы

1. Арсеньев В.В. Состояние и перспективы развития производства метизов в России // Метиз. 2007. № 11. С. 13-19.
2. Стальная проволока: монография / Х.Н. Белалов, А.А. Клековкин, Н.А. Клековкина, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2011. 689 с.
3. Сергеев Ю.А., Колесникова С.Ю. Анализ моделирования процесса волочения круглых изделий конечно-элементарном комплексе DEFORM-2D // Материалы XVII междунар. науч.-практ. конф. «Современные техника и технологии». Секция 3: Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. 2012.

References

1. Arsenev V.V. Status and development perspectives of a hardware production in Russia // Metiz. 2007. № 11. P. 13-19.
2. Steel wire: monograph / H.N. Belalov, A.A. Klekovkin, N.A. Klekovkina, G.S. Gun, A.G. Korchunov, M.A. Polyakova. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. 2011. 689 p.
3. Sergeev Yu.A., Kolesnikova S.Yu. Analysis of modeling of round products drawing in finite and elementary DEFORM-2D complex// Materials of XVII international scientific and practice conference «The modern technic and technologies». Section 3: Technology, equipment and automatization of machinery production. 2012.

УДК 621.771

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ВОЛОЧЕНИЯ ШЕСТИГРАННОГО ПРОФИЛЯ

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

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

Калиброванный шестигранный прокат находит основное применение в машиностроении, в качестве заготовок при производстве различных деталей. Преимущества применения шестигранного профиля обусловлены более высоким коэффициентом использования металла (0,8...0,95) по сравнению с механической обработкой сортового проката (0,3...0,65).

Калиброванный шестигранный прокат используется в основном для изготовления точёного крепежа ответственного назначения, нестандартного крепежа, а также направляющих, фигурных валов и др. Применение крепежа, получаемого холодной штамповкой, в ответственных узлах таких, как рулевое управление, тормозные системы автомобилей, не допускается по причине наличия микротрещин и остаточных напряжений. Основными потребителями калиброванного шестигранного проката на сегодняшний день являются автомобильные заводы. Изготавливается продукция в бунтах и прутках из марок

сталей по ГОСТ 380-94, ГОСТ 1050-88, ГОСТ 1414-75, ГОСТ 10702-78, ГОСТ 4543-71 и других марок сталей по требованию заказчика [1-4].

Основным нормативным документом, определяющим характеристики качества калиброванного шестигранного проката, является ГОСТ 8560-78. Данный стандарт распространяется на размеры профиля "под ключ" от 3 до 100 мм и предусматривает три поля допуска размеров - по квалитетам h10, h11 и h12. Поверхность калиброванного проката должна быть чистой, гладкой, светлой или матовой, без трещин, плен, закатов и окалины. Качество поверхности должно соответствовать группам А, Б и В по ГОСТ 1051-73. На поверхности проката допускаются винтообразные следы от правки и волочения, получающиеся в процессе производства и не нарушающие сплошности металла, если глубина их залегания не превышает норм, установленных для дефектов поверхности. По требованию заказчика изготавливают профиль групп А и Б с нормируемой шероховатостью поверхности по Ra не более 2,5 мкм при базовой длине 0,8 мм и Ra не более 1,25 мкм при базовой длине 0,8 мм по ГОСТ 2789-73. Кривизна прутков в зависимости от поля допуска и размера "под ключ" не должна превышать 3 мм на 1 м длины. Скручивание прутка вокруг продольной оси не должно превышать 3 град. на 1 м длины. Длина смятых концов прутков не должна превышать 20, 25 и 30 мм для прутков с размерами до 25, 50 и 70 мм, соответственно. Радиус закругления кромок не должен превышать 0,5 мм для размеров менее 25 мм; для размеров свыше 25 мм первой категории - 0,5 мм; для размеров свыше 25 мм второй категории - 1,0 мм. Указанные требования к качеству готового профиля при необходимости могут согласовываться с требованиями заказчика.

На сегодняшний день основным способом производства калиброванного шестигранного проката является волочение горячекатаной шестигранной заготовки в монолитной волоке за один-два прохода.

Схема волочения из шестигранника в шестигранник. При производстве калиброванного проката шестигранного профиля размером 17-41 мм на цепных станах ИЗТМ в калибровочном цехе ОАО «ММК-МЕТИЗ» используется следующая технологическая схема - в монолитной волоке обрабатывается шестигранная заготовка за один проход с абсолютным обжатием 2 мм.

В результате расчетов энергосиловых параметров (**табл. 1**) для различных марок стали и рабочих углов волочения при данной схеме волочения выявлено, что при увеличении рабочего угла волоки напряжение волочения снижается (**рис. 1**).

На **рис. 2** представлена зависимость напряжения волочения от относительного обжатия при постоянном абсолютном обжатии. Таким образом, при уменьшении размера готового проката с 41 до 17 мм напряжение волочения увеличивается примерно в 2 раза.

Таблица 1

Деформационные и энергосиловые параметры процесса волочения по схеме «шестигранник-шестигранник»

Размер под ключ г/к проката, мм	Размер под ключ к/проката, мм	Абсолютное обжатие, мм	Относительное обжатие, %	Коэффициент вытяжки	Усилие волочения, кН											
					марка стали АС14			марка стали 10			марка стали 40					
					10°	14°	18°	10°	14°	18°	10°	14°	18°	10°	14°	18°
19	17	2	19,9	1,25	50,7	47,1	45,0	46,0	42,8	40,9	58,8	54,8	52,4			
20	18	2	19,0	1,23	54,4	50,6	48,4	49,3	45,9	43,9	63,0	58,7	56,2			
21	19	2	18,1	1,22	58,2	54,1	51,8	52,7	49,1	47,0	67,2	62,6	60,0			
22	20	2	17,4	1,21	62,1	57,8	55,3	56,2	52,3	50,1	71,5	66,7	63,9			
23	21	2	16,6	1,20	66,0	61,4	58,8	59,7	55,6	53,3	75,9	70,7	67,8			
24	22	2	16,0	1,19	70,0	65,2	62,4	63,3	59,0	56,5	80,3	74,9	71,8			
26	24	2	14,8	1,17	78,1	72,9	69,9	70,6	65,9	63,2	89,3	83,4	80,0			
27	25	2	14,3	1,17	82,3	76,8	73,7	74,4	69,4	66,6	93,9	87,7	84,2			
28	26	2	13,8	1,16	86,6	80,8	77,5	78,2	73,0	70,1	98,6	92,2	88,5			
29	27	2	13,3	1,15	90,9	84,9	81,5	82,1	76,7	73,6	103,3	96,6	92,8			
30	28	2	12,9	1,15	95,3	89,0	85,5	86,0	80,4	77,2	108,1	101,2	97,2			
32	30	2	12,1	1,14	104,2	97,5	93,7	94,0	88,0	84,5	117,9	110,5	106,2			
34	32	2	11,4	1,13	113,5	106,3	102,2	102,3	95,8	92,1	128,0	120,0	115,5			
36	34	2	10,8	1,12	123,0	115,3	111,0	110,7	103,9	100,0	138,3	129,9	125,1			
38	36	2	10,2	1,11	132,8	124,6	120,0	119,5	112,2	108,1	148,9	140,0	134,9			
40	38	2	9,8	1,11	142,8	134,2	129,3	128,5	120,7	116,4	159,8	150,4	145,0			
42	40	2	9,3	1,10	153,2	144,1	138,9	137,7	129,5	124,9	171,0	161,0	155,4			
43	41	2	9,1	1,10	158,4	149,1	143,8	142,4	134,0	129,3	176,7	166,5	160,7			

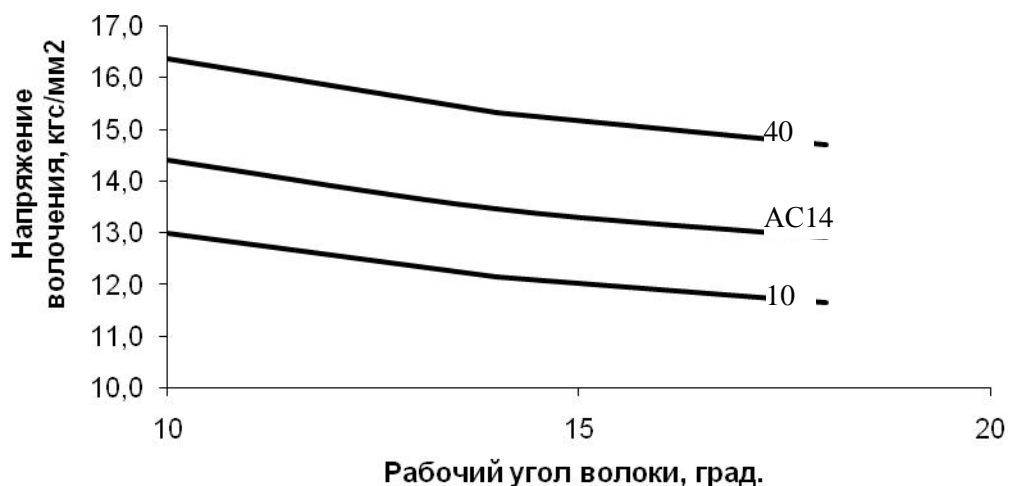


Рис. 1. Зависимость напряжения волочения от рабочего угла волокна при деформации из шестигранника размером 29 мм в шестигранник размером 27 мм для различных марок стали

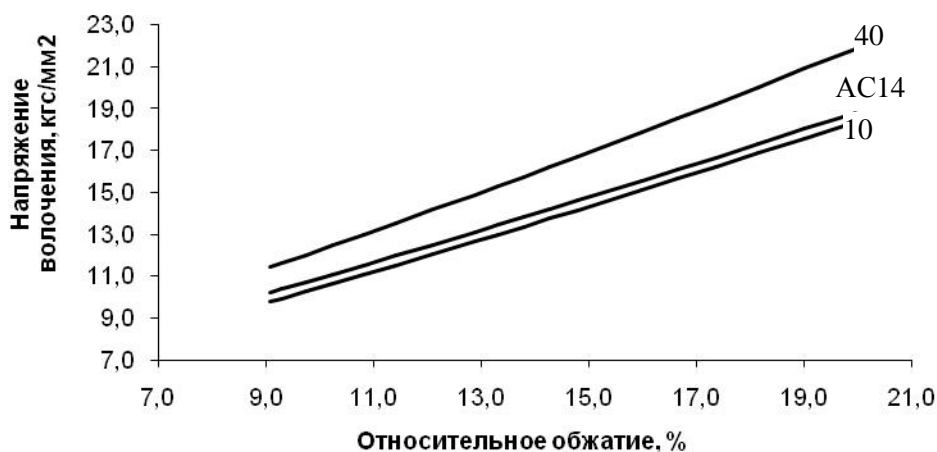


Рис. 2. Зависимость напряжения волочения от относительного обжатия при схеме деформации из шестигранника в шестигранник при рабочем угле волокна 14° и абсолютном обжатии 2 мм для различных марок стали

Схема волочения из круга в шестигранник. Волочение за одну протяжку круглой заготовки в шестигранный профиль размером «под ключ» 8-18 мм производится на волочильном стане ИЗТМ 10-28.

Деформация осуществляется трехступенчатым деформированием. При этом в калибре в виде правильного треугольника, образованного валками роликовой волокни первой ступени, формируют предчистовые размеры трех из шести граней шестигранника. В калибре, образованном валками роликовой волокни второй ступени, и повернутом на угол 60° по отношению к калибру первой ступени, формируют предчистовые размеры трёх оставшихся граней шестигранника. Суммарная вытяжка в роликовой клетке составляет 1,27-1,44, относительное обжатие 21,1-30,7 %. Чистовые размеры формируют в калибрующей монолитной волоке с вытяжкой 1,07 - 1,08 (относительное обжатие 6,5-7,5 %). Применение подобной конструкции сдвоенного инструмента объясняется необходимостью повышения точности получаемого профиля, когда монолитная волока выполняет роль калибрующей протяжки. Деформационные и энергосиловые параметры процесса волочения по схеме «круг-шестигранник» представлены в **табл. 2**

Таблица 2

Деформационные и энергосиловые параметры процесса волочения по схеме «круг-шестигранник»

Диаметр г/к про- ката, мм	Размер под ключ, мм		Абсолютное обжатие, мм		Относительное обжатие, %		Коэффициент вытяжки		Усилие волочения, кН											
	Клеть	Мон. вол.	Клеть	Мон. вол.	Клеть	Мон. вол.	Клеть	Мон. вол.	марка стали АС14			марка стали 10			марка стали 40					
									10°	14°	18°	10°	14°	18°	10°	14°	18°			
10	8,2	7,91	1,8	0,29	25,8	6,9	1,35	1,07	13,8	13,5	13,3	12,7	12,4	12,2	14,3	16,5	16,3			
10,2	8,2	7,91	2	0,29	28,7	6,9	1,40	1,07	14,8	14,6	14,4	13,7	13,4	13,2	16,9	17,9	17,7			
11	9,23	8,91	1,77	0,32	22,3	6,8	1,29	1,07	15,7	15,4	15,2	14,4	14,1	13,9	23,2	18,7	18,4			
13	10,3	9,91	2,7	0,39	30,7	7,4	1,44	1,08	24,9	24,4	24,1	22,9	22,5	22,2	23,7	30,0	29,7			
14	11,32	10,89	2,68	0,43	27,9	7,5	1,39	1,08	28,0	27,4	27,1	25,7	25,2	24,9	37,0	33,6	33,2			
15	12,35	11,89	2,65	0,46	25,2	7,3	1,34	1,08	30,9	30,2	29,9	28,4	27,8	27,4	41,0	37,0	36,5			
16	13,4	12,89	2,6	0,51	22,6	7,5	1,29	1,08	34,0	33,2	32,7	31,2	30,5	30,0	44,5	40,4	39,8			
18	14,4	13,89	3,6	0,51	29,4	7,0	1,42	1,07	46,5	45,6	45,1	42,7	41,9	41,5	48,2	55,9	55,3			
19	15,4	14,89	3,6	0,51	27,5	6,5	1,38	1,07	50,1	49,1	48,6	46,0	45,2	44,7	65,5	60,1	59,4			
20	16,5	15,89	3,5	0,61	24,9	7,3	1,33	1,08	54,6	53,4	52,7	50,2	49,1	48,4	69,8	65,2	64,3			
21	17,55	16,89	3,45	0,66	23,0	7,4	1,30	1,08	58,7	57,3	56,5	53,9	52,6	51,8	75,4	69,7	68,7			
22	18,6	17,89	3,4	0,71	21,1	7,5	1,27	1,08	62,7	61,1	60,2	57,6	56,1	73,0	80,2	74,2	73,0			

На **рис. 3** приведены зависимости напряжения волочения от рабочего угла волокна для различных схем волочения. Из **рис. 3** видно, что напряжение волочения при схеме деформации «круг-шестигранник» на 10-20 % выше, чем при схеме «шестигранник-шестигранник». При изготовлении шестигранника размером 17 мм разница по величине напряжения составляет 30-40 % (**рис. 4**). Зависимость от рабочего угла волокна для данной схемы деформации более слабая, так как основная деформация происходит в роликовой клетке.

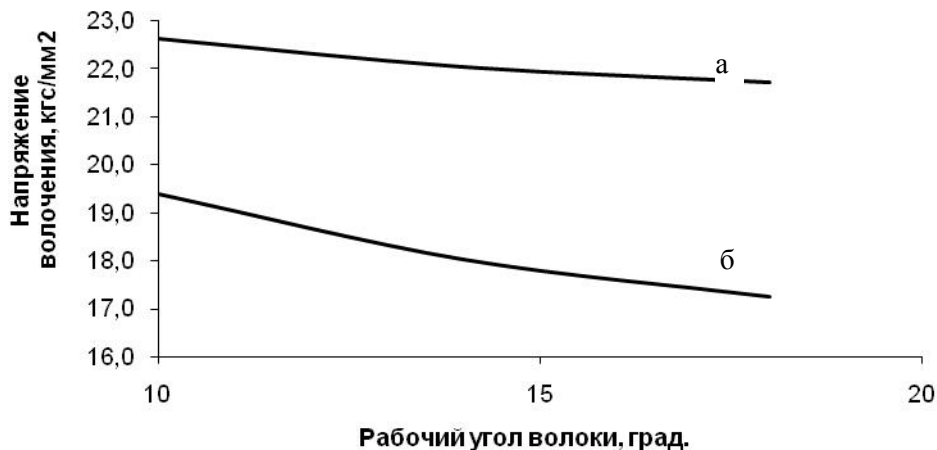


Рис. 3. Зависимость напряжения волочения от рабочего угла волокна при изготовлении шестигранного профиля размером 18 мм для различных схем деформации (марка стали АС14):
а – из круглого подката диаметром 22 мм;
б – из шестигранного подката размером 20 мм

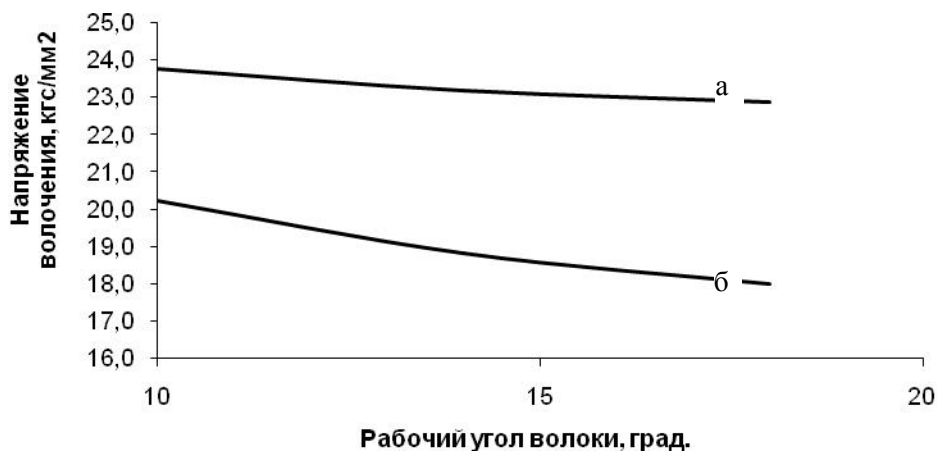


Рис. 4. Зависимость напряжения волочения от рабочего угла волокна при изготовлении шестигранного профиля размером 17 мм для различных схем деформации (марка стали АС14):
а – из круглого подката диаметром 21 мм;
б – из шестигранного подката размером 19 мм

Использование в качестве заготовки более дешёвого подката круглого сечения (на 10-15 %) для волочения шестигранного проката в монолитных волокнах имеет ряд существенных недостатков: значительная неравномерность деформации по периметру канала волокна, наличие больших сил трения между поверхностями инструмента и обрабатываемой заготовки, сложность формирования граней профиля с требуемыми радиусами закругления и др. На наш взгляд, устранение этих недостатков при использовании подката с круглым

сечением возможно при применении роликовых волок с многовалковыми калибрами. Преимущества данного способа определяются более благоприятной схемой напряжённо-деформированного состояния, по сравнению с двухвалковыми калибрами, и заменой трения скольжения в монолитных волоках на трение качения в очаге деформации.

Список литературы

1. Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Пути повышения точности размеров калиброванного металла для машиностроения // Труды междунар. конф. «Образование через науку». М.: МГТУ им. Баумана, 2005. С. 211-212.
2. Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Возможности повышения качества калиброванной стали в рамках традиционной технологии // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. междунар. сб. науч. тр. / Под ред. проф. Г.С. Гуна. Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 240-243.
3. Формирование качества поверхности стали при калибровании в монолитной волоке: Монография / А.Г. Корчунов, В.Н. Лебедев, В.Е. Семенов, К.Г. Пивоварова, В.П. Рудаков. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.- 88 с.
4. Влияние способа обработки на состояние поверхности калиброванного металла / Рудаков В.П., Чукин В.В., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Андреев В.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 3. С. 41-42.
5. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Г. Гун, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 5(45). С. 67-69.

References

1. Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G. Ways of increase of sizes accuracy of calibrated metal for mechanical engineering // Works of the international conference «Education through science». M.: MSTU of Bauman, 2005. P. 211-212.
2. Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G. Opportunities of quality improvement of calibrated steel within traditional technology // Handling of void-free and layered materials: interuniversity collection of scientific works. / Under edition of prof. G.S. Gun. Magnitogorsk: MSTU, 2003. P. 240-243.
3. Forming of surface steel quality in case of calibration in monolithic die block: Monograph / A.G. Korchunov, V.N. Lebedev, V.E. Semenov, K.G. Pivovarova, V.P. Rudakov. Magnitogorsk: SEI of HPE «MSTU», 2007.- 88 p.
4. Influence of a treatment method on a surface condition of the calibrated metal / Rudakov V.P., Chukin V.V., Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Andreev V.V. // Vestnik of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2003. № 3. P. 41-42.
5. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). P. 67-69.

УДК 621.771.23

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАКЛЕПОК С ПОЛУКРУГЛОЙ ГОЛОВКОЙ 16X65 ПО ГОСТ 10299-80 В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Носков С.Е., Пудов Е.А., Ситниченко О.А., Шиморенко И.В.
ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Заклепки с фасонными головками - полукруглой, потайной, плоской, полупотайной - являются весьма распространенными крепежными изделиями, широко используемыми в различных отраслях машиностроения, приборостроения и строительстве в качестве деталей неразъемных соединений. Производство заклепок освоено на ряде метизных заводов Россий-

ской Федерации и ближнего зарубежья как холодной, так и горячей штамповкой в зависимости от типоразмеров.

Для штамповки заклепок крупных размеров применяют горячую штамповку вследствие высоких степеней деформации при высадке головки и повышенной концентрации напряжений в месте перехода от головки к стержню, что может вызвать появление штамповочных трещин и расслоений металла. Известны технологические процессы изготовления заклепок крупных размеров горячей штамповкой на одноударных горячештамповочных автоматах с последующей обрезкой головки по контуру на обсечных прессах для получения регламентированных размеров.

В процессе поиска патентных материалов по способу изготовления стержневых изделий с фасонными головками, аналогичными головкам заклепок, выявлена принципиальная возможность формирования такой продукции холодным способом, в том числе и крупных размеров, без обрезки головки по контуру. Анализируя способы изготовления заклепок был сделан вывод, что наиболее рациональной и малоотходной является технология изготовления заклепок холодной штамповкой за два удара без обрезки головки с последующим отжигом (нормализацией) изделий.

С целью выполнения заказа на изготовление опытной партии заклепки с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80 для ОАО «Уралвагонзавода» (г. Нижний Тагил) в условиях калибровочного цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» произведена холодная штамповка данной продукции на автомате QPBA-161 в соответствии с требованиями разработанной технологической документации.

Конструкция и размеры заклепки 16x65 по ГОСТ 10299-80 должны соответствовать **рис. 1** и **таблице**.

Для осуществления разработанной технологии в качестве исходного металлопроката была выбрана сталь марки 10 по ГОСТ 10702-78 диаметром 17 мм. Изготовление калиброванного проката диаметром 15,5 мм проводилось по следующей технологии:

- отжиг горячекатаного проката диаметром 17 мм в роликовой проходной печи РПП-2;
- подготовка поверхности отожженного проката к волочению (травление, промывка, фосфатирование, промывка и известкование);
- волочение металла на требуемый размер.

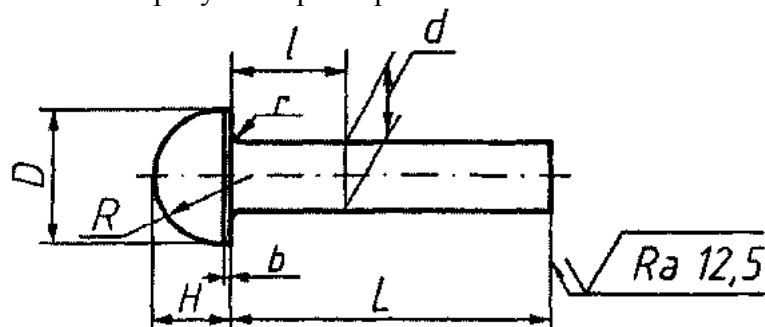


Рис. 1. Заклепка с полукруглой головкой

Размеры заклепки 16x65 в соответствии с ГОСТ 10299-80

В ММ

Диаметр стержня, d	Диаметр головки, D	Высота головки, H	Радиус под головкой, r , не более	Радиус сферы головки, R	Расстояние от основания головки до места замера диаметра, l
16	25	9,5	1,0	13	6

Технологический процесс изготовления заклепок с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80 на холодновысадочном автомате QPBF-161 представлен на **рис. 2**.

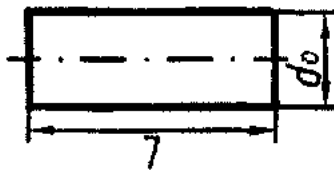
Поддача металла и отрезка заготовки	1 операция		2 операция				Радиус под головкой	Расстояние от основания головки до места замера диаметра	r не более	l	D ₁ не более	Уменьшение диаметра конца стержня	Допуск соосности оси головки	Допуск перпендикулярности опорной поверхности головки к оси стержня
	d	d ₁	D ₀	d ₂	b не более	D								
	L	d	d ₁	D ₀	d ₂	b не более	D	h	d	H	L	da	a	t
	66,5	15,5	15,5	20,5	15,7	1,5	25,0±0,40	10,7	16,0±0,21	9,5±0,45	48,0±0,8	-0,8	1,0	0,44
	81,4										62,0±0,95			
84,6											65,0±0,95			

Рис. 2. Технологический процесс изготовления заклепок

Геометрические размеры опытной партии заклепок с полукруглой головкой 16x65 полностью соответствовали требованиям ГОСТ 10299-80. Твердость заклепок после штамповки находилась в пределах 137-143 единиц Бринелля.

В соответствии с требованиями НД произведено испытание 10 штук заклепок без термической обработки на прочность соединения головки со стержнем. Согласно ГОСТ 10304-80 данное испытание проводится в контрольной матрице ударами по головке заклепки до соприкосновения ее опорной поверхности с плоскостью матрицы. Все заклепки выдержали испытание в холодном состоянии на изгиб головки по отношению к стержню на угол 15° без возникновения поперечных надрывов.

Опытная партия заклепок с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80, изготовленная из стали марки 10 по ГОСТ 10702, без термической обработки отправлена потребителю - ОАО «Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил).

Таким образом, разработанная технология изготовления заклепок с полукруглой головкой обладает новизной и является наиболее рациональной и малоотходной, так как исключает предварительный нагрев металлопроката перед штамповкой и обрезку головки по контуру. Внедрение результатов данной работы позволит расширить сортамент завода и осуществлять серийный выпуск новых видов продукции с использованием эффективных технологий на современном научно-техническом уровне.

Список литературы

1. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 33-35.
2. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 67-69.
3. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. Международный научно-технический и производственный журнал. Декабрь 2013. №4(34). С. 106-112.
4. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. № 10. С. 84-87.

References

1. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 33-35.
2. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical Universiti. 2013. № 5 (45). P. 67-69.
3. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. Quality management in Metalware production // Metallurgical processes and equipment. International scientific-technical and production journal. December 2013. No. 4(34). Pp. 106-112
4. Protypology - the new development stage of metalware production standardization / G.Sh. Rubin, M.A. Polyakova, M.V. Chukin, G.S. Gun // Steel. 2013. No. 10. Pp. 84-87.

К ВОПРОСУ О ДЕФЕКТАХ ПОВЕРХНОСТИ ЖЕСТИ

Файзулина Р.В.

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

Молева О.Н., Кашникова Ю.А., Радюкевич Е.В.

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

Технические требования к поверхности жести, изложенные в ГОСТ 13345-85 и ГОСТ Р 52204-2004, не допускают поверхностных загрязнений, препятствующих нанесению качественного покрытия. Согласно стандартам жесь марки ЭЖК должна иметь гладкую и чистую поверхность без рванин, раковин, ржавых пятен, трещин, плен, расслоений, незалуженных участков и загрязнений. Допускаются лишь отдельные незначительные дефекты, не нарушающие целостности покрытия; например, для первого класса покрытий - одна непролуженная точка диаметром до 1 мм, пузырьки такого же диаметра в количестве не более 3 штук на одном листе или на 1 м длины полосы, рванины по кромкам глубиной не более 1,5 мм. ОАО «ММК» имеет большой практический опыт, как по производству жести, так и исследовательскую школу по выявлению причин и устранению различных дефектов, связанных с технологическими процессами. Тем не менее, использование вспомогательных материалов, предназначенных для одной технологической операции, но разных производителей, может привести к образованию дефектов, ранее не имеющих аналога в классификаторе дефектов цеха.

Внешний вид дефекта представляет собой мелкие «черные пятна» хаотично разбросанные на поверхности жести, который не позволил идентифицировать его с уже известными. Поэтому объектами исследования стали практически все агрегаты и материалы, участвующие в процессе производства. Дефект наблюдали как на жести колпакового отжига, так и непрерывного.

Наиболее видимым изменением в технологическом процессе производства жести было расслоение прокатного масла «Tinnol ММК 1.0» в состоянии поставки. Проблемой предъявления претензии к качеству прокатного масла было соответствие его техническим требованиям ОАО «ММК».

Тем не менее, по мере эксплуатации данного продукта выявили случаи налипания грязи на ворс щеток щеточно-моечных машин в узле очистки после прокатки. Загрязнения, снятые со щеток, имели вид черного порошка твердой маслянистой консистенции. Подобного вида загрязнения обнаружили на проводковых столах межклетевых промежутков стана «1200».

Предварительные исследования обеих фракций прокатного масла (прозрачная часть и осадок) с использованием атомно-эмиссионного анализа показали наличие следующих элементов: P, Fe, Ca, Mn, Cr, Si, S, C, Cu. В шламе, снятого с оборудования стана, обнаружены Al, Ca, Cr, Fe, Cu, Mn, Ni, Si, C, S. В **табл. 1** представлены результаты атомно-эмиссионного анализа.

Из представленных данных можно предположить, что основной составляющей прокатного масла является животный жир. Как известно, для производства прокатных масел некоторые производители используют жир, полученный из костей животных. А в состав костей входят соли кальция, магния, фосфора: CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$. Кроме того, в костях имеются практически все неорганические элементы [1]. Неорганические элементы, содержащиеся в костной ткани, представлены в **табл. 2** [1].

Таблица 1

**Результаты атомно-эмиссионного анализа фракций
прокатного масла и шлама**

Проба	Элементы, %											
	Al	Ca	Cr	Fe	Si	P	Cu	Mn	Ni	Si	C	S
Прокатное масло (прозрач- ная фрак- ция)	0,06	0,96	0,01	0,41	0,21	2,34	-	-	-	-	-	-
Осадок масла	0,10	0,234	0,03	0,47	1,24	0,95	-	-	-	-	-	-
Загрязне- ние, снятое с оборудо- вания	0,45	0,41	0,03	93,3	-	-	0,09	0,24	0,038	0,044	1,34	0,07

Из данных **табл. 2** следует, что наиболее значимыми элементами в составе костной ткани являются кальций, железо, фосфор.

Таблица 2

Неорганические вещества костной ткани

Наименование неорганических веществ	Массовая доля, %	
	в сыром остатке	в сухом остатке
	Макроэлементы	
Кальций (Ca)	3,9	9,4
Фосфор (P)	2,0	5,1
Калий (K)	0,2	0,5
Натрий (Na)	0,1	0,1
Сера (S)	1,1	2,1
Магний (Mg)	1,2	2,9
Микроэлементы		
Железо (Fe)	101,8	246,8
Медь (Cu)	2,1	2,1
Цинк (Zn)	41,5	100,4
Марганец (Mn)	0,6	1,5
Кобальт (Co)	0,1	0,2
Йод (I)	0,1	0,1
Кадмий (Kd)	0,2	0,4

Изучение фазового состава маслянистых твердых загрязнений, снятых со щеток барабана узла очистки, из межклетевых промежутков стана «1200», а также осадка прокатного масла производили с применением рентгеновской установки УРС-0,02 в Ni и K α - излучении. Результаты исследований приведены в **табл. 3**.

Результаты рентгенофазового анализа (в порядке убывания фаз в пробе)

Проба осадка прокатного масла	Проба из межклетевого промежутка стана «1200»	Проба загрязнений со щеточного барабана
1. CaCO_3 - (основная фаза); 2. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 3. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$; 4. SiO_2 ; 5. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6[\text{CO}_3]$.	1. $\alpha\text{-Fe}$; 2. C; 3. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,2\text{H}_2\text{O}$; 4. Fe_3O_4 ; 5. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.	1. CaCO_3 - (основная фаза) 2. C; 3. $\text{Ca}_7\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_6$; 4. CaFeO_2 ; 5. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 7. $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 8. $\text{NaFeO}_2 = \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; 9. $\text{CaFeO}_2 = \text{FeO} \cdot \text{CaO}$.

Анализ составов загрязнений показал идентичные фазы - кальциевые соли фосфорной и угольной кислот: CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ - основные составляющие костных жиров. Сложность в проведении рентгенофазового анализа поверхности дефекта заключалась в слишком маленькой площади поврежденного участка. Усредненная проба показала наличие $\alpha\text{-FeOOH}$ – гетит, который может содержать примеси CaO , MgO , MnO , SiO_2 , Al_2O_3 . Тем не менее, полученных данных достаточно, чтобы доказать, что основу прокатного масла составляют животные жиры. Из этого следует, что некачественное прокатное масло было произведено с нарушением технологии.

С целью подтверждения данного предположения произвели прокатку жести на стане с использованием масла с осадком и без него (после очистки всего оборудования от налипших загрязнений). Отсортировка электролуженой жести показала, что прокатка на 5-клетевом стане «1200» с использованием некачественного прокатного масла (на основе животных жиров) приводит к образованию дефекта «пятна загрязнений».

Список литературы

1. Химия жиров / Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1992. 448 с.
2. Формирование наноструктурных составляющих в высокоуглеродистой стали термомодеформационной обработкой / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, Г.С. Гун, М.А. Полякова, Н.В. Копцева // Вестник государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 5 (35). С. 33-35.
3. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Г. Гун, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов // Вестник государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 5 (35). С. 67-69.
4. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. Международный научно-технический и производственный журнал. Декабрь 2013. №4(34). С. 106-112.
5. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. № 10. С. 84-87.

References

1. Chemistry of fats/ B.N. Tyutyunnikov, Z.I. Buhsttab, F.F. Gladkiy and etc. 3-e edition., processed and added. M.: Kolos, 1992. 448 p.
2. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). P. 33-35.
3. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). P. 67-69.
4. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. Quality management in Metalware production // Metallurgical processes and equipment. International scientific-technical and production journal. December 2013. No. 4(34). Pp. 106-112
5. Prototyping - the new development stage of metalware production standardization / G.Sh. Rubin, M.A. Polyakova, M.V. Chukin, G.S. Gun // Steel. 2013. No. 10. Pp. 84-87.

УДК 67.05+62

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗДАЧИ ТРУБ

Безукладников А.И., Паршин С.В.

*ГОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»*

При добыче нефти могут возникать различные виды осложнений, например, повреждение бурильных колонн. При обнаружении проблемных зон при бурении для их ликвидации используют профильные перекрыватели. Они представляет собой двухканальные профильные трубы с цилиндрическими концами для присоединения башмака и с устройством для спуска перекрывателя в скважину.

Для профильных перекрывателей используют трубы длиной 8—10 м, изготовленные из стали марки 10 с толщиной стенки 5 мм.

На сегодняшний день существуют несколько способов раздачи профильных труб внутри скважины: раскатка их профилирующими роликами, раздача труб жидкостью высокого давления и раздача оправкой.

Раскатка представляет собой процесс, при котором ролики вращаются внутри трубы, постепенно увеличивая ее диаметр. К основным преимуществам этого метода можно отнести меньшие, по сравнению с раздачей оправкой, необходимые развиваемые инструментом усилия. Этот метод является хорошо изученным и широко применяется на практике.

При раздаче трубы жидкостью высокого давления в нее подается давление порядка 140-160 МПа, что ведет к деформации трубы и прилеганию ее стенок к стенкам скважины, в которой она установлена.

Раздачу оправкой осуществляют протягиванием оправки большого диаметра через неподвижную трубу. Основным преимуществом данного метода, по сравнению с раскаткой, является более высокая производительность, достигаемая за счет меньшего количества необходимых проходов.

Оборудование для раздачи трубы определяет качество полученной трубы, а также определяет трудоемкость процесса. Далее рассмотрены некоторые виды оборудования, различающиеся способом, которым они раздают трубу (**рис. 1, 2**).

Устройство (**см. рис. 1**) включает в себя разъемный в поперечном сечении корпус, состоящий из верхней 1 и нижней 2 частей, с центральным каналом 3 и резьбами 4 и 5 для соединения со скважинным оборудованием. На наружной поверхности нижней части 2 корпуса

выполнены углубления 6, в которых на осях 7 установлены ролики 8, выполненные в виде расширяющихся последовательно снизу вверх бесступенчато друг над другом цилиндров с фасками 9. Оси 7 роликов 8 расположены параллельно или с небольшим отклонением от параллельности продольной геометрической оси корпуса и снабжены резьбами 10 и 11, выполненными на их концах.

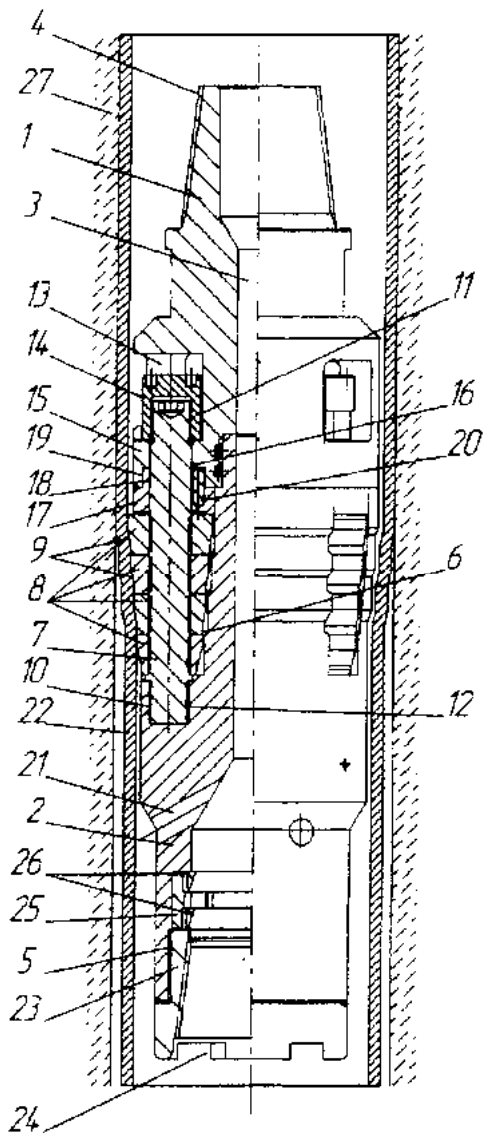


Рис. 1. Устройство для раздачи профильных труб раскаткой

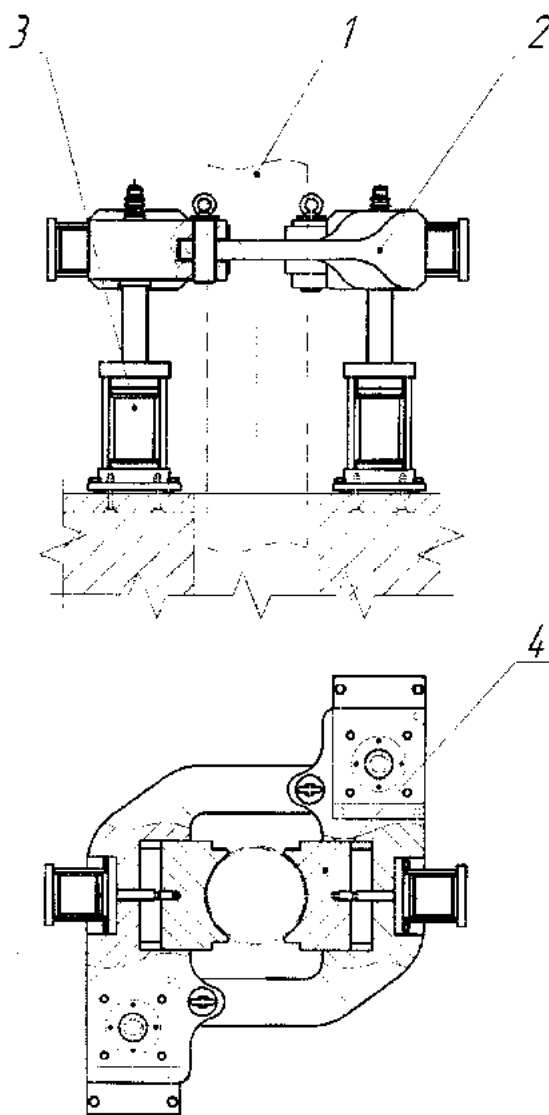


Рис. 2. Устройство для раздачи труб оправкой

При этом нижние концы с резьбами 10 ввинчены в соответствующие резьбы 12 нижней части 2 корпуса, а верхние - с резьбами 11 -расположены в дополнительных углублениях 13, выполненных в верхней части 1 корпуса, и прикреплены гайками 14 к ее перемычкам 15, расположенным между углублениями 6 нижней части 2 корпуса и дополнительными углублениями 13 в верхней его части 1. В перемычках 15 имеются отверстия 16, в которых расположены верхние концы осей 7.

Для восполнения ослабленной углублениями 6 прочности корпуса (1, 2) устройство снабжено втулками 17, входящими верхними торцами 18 в кольцевые проточки 19, выпол-

ненные в перемычках 15 верхней части 1 корпуса. Втулки 17 зафиксированы в верхней части 1 корпуса штифтами 20 и дополнительно служат опорной поверхностью для роликов 8, а также центрируют верхнюю 1 и нижнюю 2 части корпуса между собой и предотвращают проворот их относительно друг друга. Нижняя часть 2 корпуса имеет каналы 21 для промывки скважины и приспособление для отвинчивания башмака (не показан) от профильного перекрывателя 22, состоящее из ключа 23 с торцевыми прорезями 24 и втулки 25 с разрезными пружинными кольцами 26.

Профильный перекрыватель, состоящий из шести лучевых профильных труб спускают в зону осложнения бурения скважины и расширяют до прижатия его стенок к стенкам скважины созданием внутреннего гидравлического давления. Затем с помощью резьбы верхней части корпуса устройство присоединяют к колонне бурильных труб и спускают в скважину. По достижении устройством верхнего конца профильного перекрывателя колонну бурильных труб начинают вращать при одновременном создании осевой нагрузки и промывки полости труб и устройства через центральный канал и промывочные каналы корпуса закачкой жидкости. В результате этого недожатые давлением участки профильных труб перекрывателя выправляются до плотного и герметичного прижатия всей наружной поверхности труб перекрывателя к стенкам скважины.

По окончании развальцовывания и отвинчивания башмака перекрывателя с помощью приспособления колонну бурильных труб с устройством поднимают из скважины [2].

Машина (см. рис. 2) осуществляет проталкивание конической оправки через трубу, установленную в скважине. Привод устройства проталкивания состоит из двух гидроцилиндров. Захват трубы осуществляется с помощью двух губок (4), которые прижимаются к трубе с помощью двух гидроцилиндров.

Установив проблемную зону в скважине, поврежденный участок расширяют в диаметре, затем к нему подводят профильную трубу. После этого проталкивающее устройство приводится в рабочее положение (части рамы (2) сводятся и закрепляются одна в другой). Подается давление на проталкивающие гидроцилиндры устройства (3), после чего они поднимают раму в верхнее положение. Подается давление на гидроцилиндры захвата, и они захватывают колонну. Начинается процесс раздачи трубы, который заключается в том, что устройство проталкивает «шток»(1) на один шаг. После чего захваты разжимаются, и рама вновь поднимается в верхнее положение. Цикл повторяется вновь, до полной раздачи трубы.

По окончанию раздачи устройство опускается в нижнее положение, давление на гидроцилиндры отключают и устройство разводят в нерабочее положение.

Значительных преимуществ различного рода можно добиться при использовании специальных способов приложения дополнительных нагрузок к трубе при раздаче. Так, для снижения усилия проталкивания конуса через профиль может быть использован способ, включающий дополнительную подачу внутрь профиля трубы жидкости высокого давления. При этом усилие проталкивания конуса значительно снижается, улучшаются условия трения на рабочей поверхности конуса. Последнее связано с тем, что профиль раздается до некоего промежуточного положения при помощи одного только давления жидкости, а окончательная раздача и калибровка профиля производится конусом. В то же время значительного повышения поврежденности металла при раздаче конусом не происходит[2].

Большим резервом для повышения эффективности добычи нефти является увеличение срока службы скважин и ускорение в них восстановительных работ. Количество скважин возрастом более 10 лет составляет более 50 % от их общего числа и растет с каждым днем. В настоящее время продолжительность ремонта скважин нередко превышает время их строительства, именно поэтому уменьшение простоя скважин в ремонте является на сегодняшний день одним из важнейших вопросов для нефтедобывающей промышленности. Рассматриваемый в данной статье метод раздачи трубы оправкой может существенно сократить время

необходимое на раздачу профильного перекрывателя а значит и существенно снизить время, затрачиваемое на ремонт.

УДК 621.771.011

ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОЛОКИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ОМД

Харитонов В.А., Таранин И.В.

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

Область применения того или иного способа обработки металлов давлением (ОМД) определяется его характеристиками, которые позволяют получать продукцию требуемого качества с минимально возможными затратами с учетом текущего уровня развития техники и технологий в целом. Применительно к технологическому процессу производства стальной проволоки наибольшее распространение, ввиду относительной простоты инструмента и оборудования, получил процесс волочения в монолитных волоках. К альтернативным способам ОМД, позволяющим получать длинномерные изделия холодной деформацией, относят протяжку (волочение в роликовых волоках), а также прокатку в двух- или многовалковых калибрах. Все эти способы относительно друг друга имеют преимущества и недостатки [1-3].

Одним из основных показателей эффективности и конкурентного преимущества того или иного способа ОМД является схема напряженного состояния, которая определяет технологическую деформируемость (разрушение) металла в процессе деформации или дальнейшей эксплуатации [3]. В настоящее время систематизированных исследований, направленных на изучение напряженного состояния металла при деформировании вышеперечисленными способами недостаточно. Процессы волочения и прокатки теоретически хорошо изучены, с точки зрения механики процесса и деформированного состояния металла. Оценка напряженного состояния металла при проектировании новых технологических процессов осуществляется с помощью аналитических формул [4, 5] и эмпирических коэффициентов. С развитием систем компьютерного моделирования, работающих на основе метода конечных элементов (программные комплексы DEFORM, ABAQUS, ANSYS, Q-FORM и др.), появились возможности для теоретического исследования всевозможных вариантов деформирования металла с минимальными трудозатратами. Оценить, как влияет способ подвода энергии в очаг деформации, форма инструмента и заготовки, структура очага деформации, контактные условия и другие факторы на напряженное состояние металла в процессе деформирования, можно с использованием прикладных программ, реализующих метод конечных элементов.

Целью данной работы является изучение напряженного состояния в очаге деформации и вероятности разрушения металла при производстве проволоки различными способами ОМД.

В качестве методики исследования использовался метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе *DEFORM-3D*. При постановке моделируемых задач были приняты стандартные для *DEFORM-3D* допущения: рабочий инструмент рассматривался как абсолютно жесткое тело с постоянной температурой; прокатываемый материал считали однородным, изотропным; деформируемая среда – вязкопластическая; начальная температура заготовки – равномерная по сечению.

Моделировались задачи деформирования круглого профиля диаметром 16 мм за 2 прохода с суммарной вытяжкой 1,51-1,75. При этом рассматривались различные способы ОМД: волочение в монолитной волоке, протяжка в роликовых волоках, прокатка в двух- и

многовалковых калибрах в различных вариантах исполнения. Исходные условия моделирования рассматриваемых процессов представлены ниже:

Для всех задач

Диаметр исходного профиля	16 мм
Начальная температура заготовки	20 °С
Материал заготовки (аналог стали 70)	AISI-1070
Скорость прокатки/протяжки (1-й/2-й проход)	1/1,2 м/с

Волочение в монолитной волоке

Полуугол волоки	5°
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,05
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,21/1,25

Протяжка в роликовой волоке (схема «круг-квадрат-круг»)

Диаметр роликов	370 мм
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,08
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,34/1,33

Прокатка в 4-хвалковом калибре (схема «круг-квадрат-круг»)

Диаметр валков	370 мм
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,10
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,32/1,23

Прокатка в 4-хвалковом калибре (схема «круг-треф-круг»)

Диаметр валков	370 мм
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,10
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,33/1,35

Прокатка в 2-хвалковом калибре (схема «круг-плоский овал-круг»)

Диаметр валков	370 мм
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,10
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,24/1,44

Прокатка в 2-хвалковом калибре (схема «круг-плоский овал, скошенный на 30°-круг»)

Диаметр валков	370 мм
Коэффициент трения (по закону Кулона)	0,10
Коэффициент вытяжки (1-й/2-й проход)	1,24/1,44

По результатам моделирования анализировалось напряженное состояние в очаге деформации и внеконтактных зонах, а именно, распределение линейных напряжений (σ_x), действующих в продольном направлении очага деформации. Также выявлены объемы металла, наиболее подверженные разрушению. Разрушение оценивалось по значению показателя критерия разрушения Кокрофта-Латама:

$$D = \int \frac{\sigma_i^*}{\sigma_i} d\varepsilon_i,$$

где ε_i – интенсивность деформаций по Мизесу; σ_i^* – максимальное главное напряжение; σ_i – интенсивность напряжений по Мизесу.

По результатам моделирования установлено, что для всех рассмотренных процессов характерно неравномерное напряженное состояние и наличие продольных растягивающих напряжений, действующих в очаге деформации, во внеконтактных зонах и за пределами геометрического очага деформации (**рис. 1**).

Для процесса волочения в монолитной волоке характерно действие растягивающих напряжений в осевой части заготовки в очаге деформации (**см. рис. 1, а, зона II**), а также в поверхностном слое на входе и выходе из волоки (**см. рис. 1, зоны I, III**). Кроме того, растя-

гивающему воздействию полностью подвержен передний конец заготовки, к которому приложено тянущее усилие

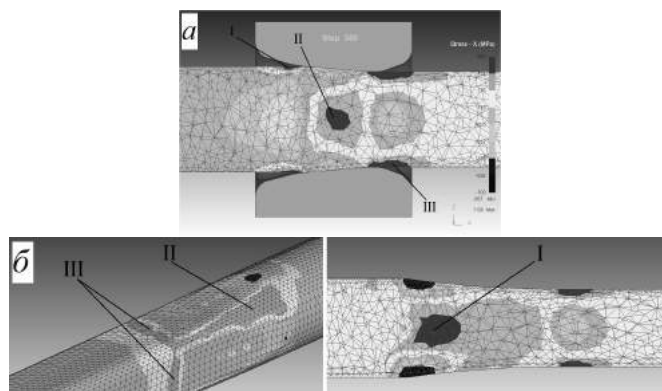


Рис. 1. Характер напряженного состояния металла при волочении (а) и прокатке (б)

Протяжка и прокатка в 4-хвалковых калибрах характеризуется наличием растягивающих напряжений в осевой зоне металла (см. рис. 1, б, зона I), во внеконтактных зонах по разъемам калибра (см. рис. 1, б, зона II), а также по всей поверхности металла сразу после выхода из очага деформации (см. рис. 1, б, зона III).

При прокатке в двухвалковых калибрах характер напряженного состояния различен для неравноосного и равноосного калибров. Для равноосного калибра характерно действие растягивающих напряжений в осевой зоне, на боковой поверхности проката в разъемах калибра, а также за пределами геометрического очага деформации на входе и выходе. При прокатке в неравноосном калибре полностью отсутствуют растягивающие напряжения в осевой части прокатываемой заготовки. Отсутствие растягивающих напряжений в осевой зоне металла – отличительная особенность двухвалковой прокатки в неравноосном калибре.

Прокатка в двухвалковых калибрах, выполненных с углом скоса, позволяет интенсифицировать сдвиговое пластическое течение металла, тем самым получив более мелкозернистую структуру в металле. Более подробно характер деформированного состояния металла, прокатываемого в скошенных калибрах, представлен в работе [6]. Характер распределения напряжений в металле при прокатке по данному способу имеет схожий характер с традиционной двухвалковой прокаткой.

Действие растягивающих напряжений в тех или иных объемах прокатываемого металла определяется различными технологическими факторами и особенностями течения металла. Во многом это зависит от площади и формы контактной поверхности прокатываемой заготовки и вала. Так, действие внеконтактных продольных растягивающих напряжений на входе и выходе из очага деформации можно объяснить влиянием внешнего трения со стороны инструмента и наличием зон отставания и опережения в очаге деформации. Развитие растягивающих напряжений во внеконтактных областях на боковой поверхности раската является общеизвестным фактом, при этом величина данных напряжений зависит от степени «охвата» металла валками. Действие растягивающих напряжений в осевой зоне при прокатке в калибрах – известный, но при этом малоизученный факт.

Объемы металла, в которых действуют высокие растягивающие напряжения, наиболее подвержены разрушению. Максимальные рассчитанные значения критерия разрушения D в объемах деформируемых заготовок совпадают с зонами максимальных растягивающих напряжений (разъем калибра и центр заготовки) и в десятки раз превышают рассчитанные значения в остальном объеме металла.

Обобщенные данные о результатах моделирования, напряженном состоянии и рассчитанном значении критерия разрушения D для рассмотренных способов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные данные о напряженном состоянии и вероятности разрушения металла

Способ ОМД	№ прохода	Вытяжка μ	Продольные напряжения σ , МПа		Критерий разрушения D (накопленный)*		
			Центр	Поверхность	Центр	т. 1	т. 2
Волочение	1	1,21	520	850	0,13	0,03	0,03
	2	1,25	500	800	0,26	0,08	0,08
Протяжка (круг-квадрат)	1	1,34	270	780	0,08	0,24	0,05
	2	1,33	340	840	0,15	0,24	0,24
Прокатка (круг-квадрат-круг)	1	1,32	316	650	0,06	0,23	0,01
	2	1,23	400	530	0,14	0,26	0,13
Прокатка (круг-треф-круг)	1	1,33	350	680	0,08	0,23	0,02
	2	1,35	380	440	0,16	0,26	0,16
Прокатка (круг-пл. овал-круг)	1	1,24	50	840	0,02	0,22	0,03
	2	1,44	260	670	0,06	0,28	0,25
Прокатка (круг-пл. овал 30°-круг)	1	1,23	0	830	0,03	0,22	0,03
	2	1,23	220	690	0,07	0,30	0,25

* - т. 1 соответствует разъему калибра при первом проходе, при втором проходе – контактной поверхности; т. 2 – контактной поверхности при первом проходе, разъему – при втором.

Сравнительный анализ напряженного состояния и критерия разрушения представлен на рис. 2.

Как видно из полученных результатов, при деформировании металла по всем рассмотренным схемам наиболее высокие по величине растягивающие напряжения, действуют в поверхностных слоях. Для волочения и протяжки растягивающие напряжения максимальны сразу на выходе из очага деформации, для прокатки – во внеконтактной области разъема калибра. Напряжения на выходе из калибра при прокатке также довольно высоки.

Волочение характеризуется наиболее высокими растягивающими напряжениями в осевой зоне (520 и 500 МПа для первого и второго прохода соответственно), при этом величина критерия разрушения D составляет в центральной части сечения 0,13 и 0,26 после первого и второго прохода, соответственно. В поверхностном слое несмотря на высокие растягивающие напряжения (850 и 800 МПа) D не превышает 0,08 после двух проходов. Логично предположить, что с каждым дальнейшим проходом вероятность разрушения в центральной части заготовки будет возрастать, что может привести к зарождению трещин и разрушению металла, однако практика волочения показывает, что обрывы наиболее часто случаются по сечению металла на выходе из волокна – в местах действия наиболее высоких напряжений.

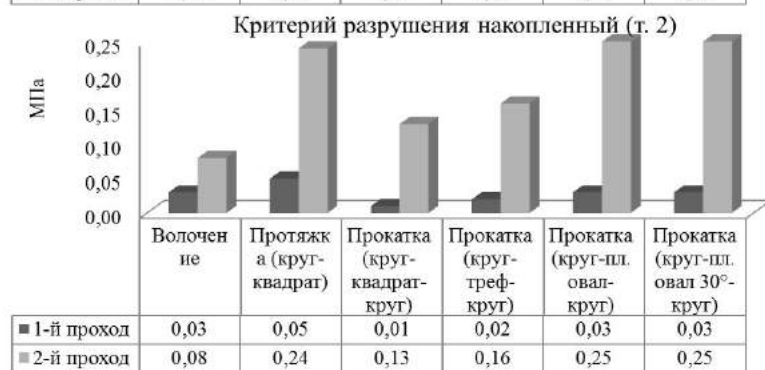
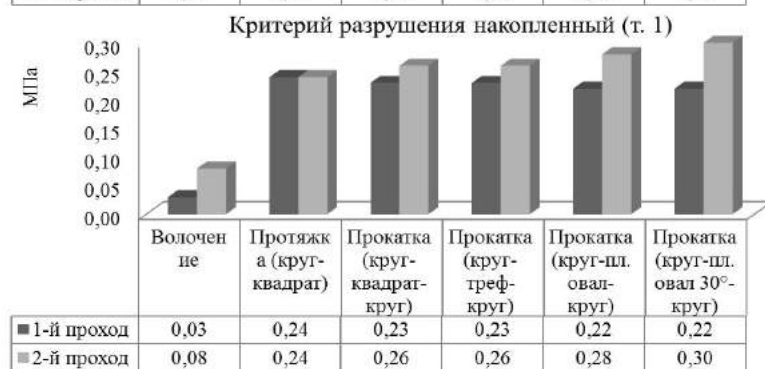
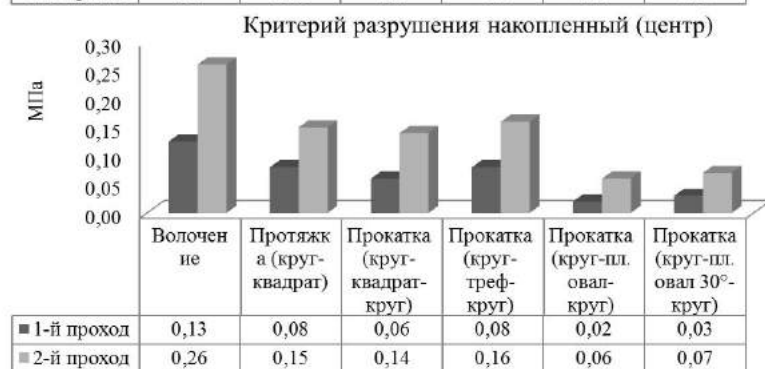
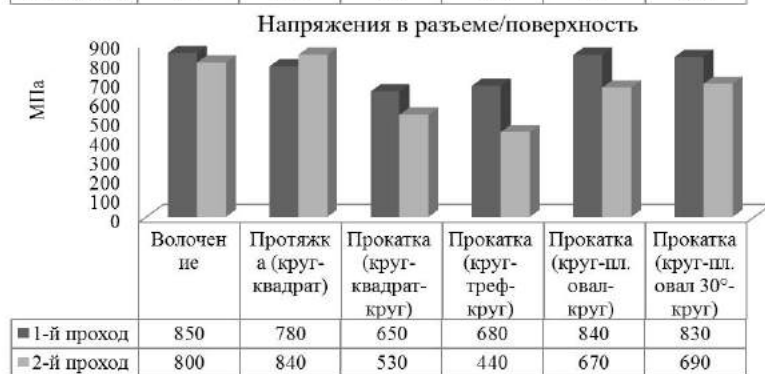
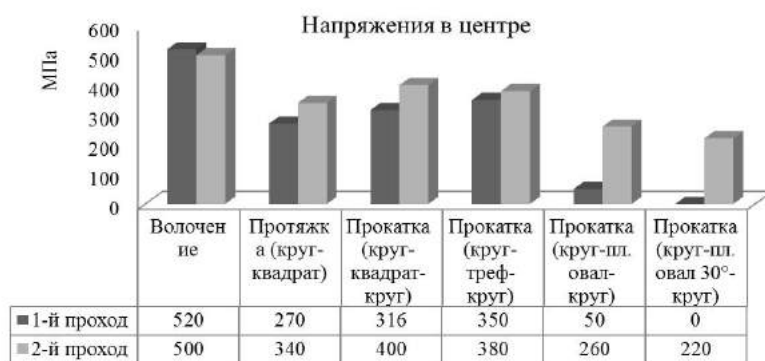


Рис. 2. Сравнительный анализ полученных результатов

Протяжка в роликовых волоках по схеме «круг-квадрат-круг», как уже отмечалось, характеризуется очень высокими напряжениями на выходе из роликов, а также в разъемах калибров (780 и 840 МПа для 1 и 2 прохода). Напряжения в осевой части на 30-50 % ниже, чем при волочении и составляют 270 и 340 МПа. Соответственно вероятность разрушения в осевой зоне почти в 2 раза ниже – $D = 0,15$. Зато существенно снижается «запас пластичности» в ребровой зоне, которая соответствует разъему калибра, D достигает значения 0,24 за один проход. Благодаря тому, что протяжка осуществляется с кантовкой полосы между проходами, объемы металла, которые соответствовали разъему квадратного калибра на первом проходе, на втором контактируют с роликами, поэтому в данной зоне после 2-го прохода значение D практически не изменяется. В объемах металла, которые соответствуют разъему круглого калибра на 2-м проходе, D достигает значения 0,24. Таким образом благодаря постоянному обновлению от прохода к проходу внеконтактных поверхностей металла, запас пластичности равномерно снижается по всей поверхности заготовки. Зарождение трещин и разрушение металла при протяжке наиболее вероятно в поверхностных слоях. Тем не менее, максимальный критерий разрушения при волочении в роликовой волоке – 0,24, накопленный за два прохода, несколько меньше, значения D в осевой зоне металла при волочении (0,26).

Для прокатки, в отличие от волочения, характерен прямой подвод энергии в очаг деформации за счет активных сил трения со стороны инструмента, что определяет особенности течения металла. Уровень растягивающих внеконтактных напряжений несколько ниже по сравнению с протяжкой и волочением. Особенно следует отметить прокатку тrefового профиля с вогнутыми гранями в круглом калибре. Величина напряжений в разъеме калибра в данном случае минимальна среди всех рассмотренных схем и составляет 440 МПа. Характерной особенностью многовалковой прокатки является наличие довольно высоких растягивающих напряжений, действующих в осевой зоне проката (316-400 МПа), причем по величине данные напряжения превышают аналогичные, действующие при протяжке. Наличие осевых растягивающих напряжений в металле при прокатке обусловлено неравномерным деформированным состоянием на начальном этапе деформирования. В данных сечениях заготовки деформация локализована в приконтактных слоях металла, а центр заготовки «отстает», в результате приконтактные слои «тянут» центральные. В случае протяжки тянущее воздействие, приложенное к переднему концу заготовки, позволяет несколько выровнять градиент скоростей по сечению проката, тем самым снизить неравномерность деформации по сечению проката. Вероятность разрушения осевой части металла по показателю D при многовалковой прокатке и протяжке сопоставима. Следует отметить относительно низкую вероятность разрушения в объемах металла, соответствующих внеконтактной зоне при прокатке квадратного и тrefового профиля в круглом калибре ($D = 0,13$ и $0,16$, соответственно). Прокатка по схемам «квадрат-круг» и «тref-круг» отличается наиболее благоприятным напряженным состоянием из всех рассмотренных способов.

Отличительной особенностью двухвалковой прокатки, как уже отмечалось, является отсутствие осевых растягивающих напряжений при прокатке в равноосном калибре, что можно объяснить равномерным деформированным состоянием по высоте полосы и наличием свободного уширения. При прокатке в равноосном калибре осевые напряжения присутствуют вследствие высокой неравномерности деформации по высоте полосы, однако их величина существенно ниже по сравнению с многовалковой прокаткой. Соответственно центральная часть заготовки при прокатке в двухвалковых системах имеет наибольший запас пластичности среди всех рассмотренных схем (D достигает 0,06 за 2 прохода). Недостатком напряженного состояния двухвалковых систем являются высокие растягивающие напряжения во внеконтактных областях разъемов калибров, особенно при прокатке в неравноосном калибре. Растягивающие напряжения в данных объемах достигают 840 МПа. Кроме того, при двухвалковой прокатке растягивающие напряжения действуют в поверхностном слое металла на входе в равноосный калибр. Эти объемы металла после кантовки на втором проходе совпадают с теми, в которых действовали наиболее высокие растягивающие напряжения

(бывшая область разъема), соответственно запас пластичности в данных зонах наименьший из всех рассмотренных схем и способов ОМД (D достигает 0,28-0,30).

Напряженное состояние при прокатке в двухвалковых скошенных калибрах имеет схожий характер в сравнении с традиционной схемой. Каких-либо преимуществ в отношении напряженного состояния данный способ не дает.

По результатам проведенного анализа, а также результатов, полученных в других работах, составлена сравнительная рейтинговая таблица (табл. 2), обобщающая преимущества и недостатки рассмотренных способов ОМД.

Таблица 2

Сравнительная (рейтинговая) таблица способов ОМД

Способ ОМД	Вытяжная способность	Деформированное состояние		Напряженное состояние		Запас пластичности			Сложность оборудования	Производительность
		Проработка	Равномерность	Центр	Поверхность	Центр	Поверхность	Общая		
Волочение	+	+	+	+	+	+	+++	++	+++	+
Протяжка (круг-квадрат)	++	++	++	++	+	++	+	++	++	+
Прокатка (круг-квадрат-круг)	++	++	+++	++	++	++	+	++	+	++
Прокатка (круг-треф-круг)	+++	++	++	++	++	++	+	++	+	+++
Прокатка (круг-пл. овал-круг)	++	++	++	+++	+	+++	+	+	++	++
Прокатка (круг-пл. овал 30°-круг)	++	+++	++	+++	+	+++	+	+	+	++

Примечание – «+» плохой показатель;
«++» средний показатель;
«+++» хороший показатель

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Способ ОМД определяет напряжённое состояние металла в очаге деформации. Важными параметрами являются: способ подвода энергии в очаг деформации, характеристики очага деформации, контактные условия, наличие «свободных» (внеконтактных) зон, параметры формы инструмента и заготовки.

2. Все рассмотренные способы имеют преимущества и недостатки с точки зрения обеспечения благоприятного напряженного состояния металла.

3. Процесс волочения обеспечивает получение проволоки с высоким запасом пластичности в поверхностном слое и низким в центральном. Однако резкое повышение растягивающих напряжений на выходе из очага существенно повышает вероятность обрывов при нестабильности процесса.

4. Протяжка в роликовых волоках позволяет существенно снизить напряжения в осевой части проката, но при этом возникают неблагоприятные условия во внеконтактных зонах разъемов калибров. Запас пластичности поверхностных слоев существенно ниже, чем центральных.

5. Прокатка в многовалковых калибрах позволяет несколько снизить «повреждаемость» поверхностных слоев во внеконтактных зонах за счет способа подвода энергии и «степени

охвата» заготовки валками. При этом растягивающие напряжения в осевой зоне выше, чем при протяжке.

6. Прокатка в двухвалковых калибрах обеспечивает наиболее благоприятные условия для деформации центральных слоев металла, но при этом существенно снижается запас пластичности поверхностных слоев за счет высоких внеконтактных растягивающих напряжений.

7. При проектировании технологических схем ОМД оптимальным может быть комбинированный способ, сочетающий в себе достоинства и минимизирующий недостатки известных способов ОМД.

Выводы

На основе конечно-элементного моделирования проведено сравнительное исследование напряженного состояния и вероятности разрушения металла при производстве проволоки известными способами ОМД.

Выявлены преимущества и недостатки каждого способа, с точки зрения формирования в очаге деформации благоприятной схемы распределения напряжений.

Показано, что для проектирования более эффективных технологических процессов необходимо использовать комбинированные способы ОМД, сочетающие в себе достоинства и минимизирующие недостатки известных способов (например, прокатка-волочение, протяжка-волочение и т.д.).

Список литературы

1. Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.С. М. Деформация металла в многовалковых калибрах // *Металлургия*. 1979. 240 с.

2. Прокатка малопластичных металлов с многосторонним обжатием: Учебное пособие для вузов / Л.А. Барков, В.Н. Выдрин, В.В. Пастухов, В.Н. Чернышев. Челябинск: *Металлургия*, Челябинское отделение. 1988. 304 с.

3. Харитонов В.А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-на им. Г.И. Носова, 2012. С. 49-57.

4. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. М.: *Теплотехник*. 2008. 490 с.

5. Корчунов А.Г. Разработка режимов деформации и термоупрочнения арматуры для железобетонных шпал // *Сталь*. 2009. № 1. С. 70-73.

6. Харитонов В.А., Таранин И.В. Моделирование продольной прокатки в калибрах методом конечных элементов // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 7. С. 36-38.

References

1. Metal deformation in multi-rolled grooves / Polyakov M.G., Nikiforov B.A., Gun G.S. M.: *Metallurgy*. 1979. 240 p.

2. Rolling of low-plastic metals with multifeature drafting: Study letter for HPE / Barov L.A., Vyltdin V.N., Pastuhov V.V., Chernyjshev V.N. Chelyabinsk: *Metallurgy*, Chelyabinsk department. 1988. 304 p.

3. Haritonov V.A. Classification of methods of pressure metal treatment based on technological criterion in case of a wire production // *Modeling and development of pressure metal treatment processes: international collection of scientific works / under edit. V.M. Salganik*. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2012. P. 49-57.

4. Smirnov V.K., Shilov V.A., Inatovich Yu.V. Calibration of mill rolls: Study letter for HPE. M.: Heat engineer. 2008. 490 p.
5. Korchunov A.G. Development of deformation modes and thermohardening of armature for ferroconcrete ties // Steel. № 1. 2009. P. 70-73.
6. Haritonov V.A., Taranin I.V. Modeling of lengthwise rolling in grooves by the finite-elements method // Blank productions in mechanical engineering. 2013. № 7. P. 36-38.

РЕФЕРАТЫ

УДК 530.97: 539.376: 669.04

Громов В.Е., Волков К.В., Иванов Ю.Ф., Райков С.В., Гришунин В.А., Коновалов С.В., Морозов К.В. Формирование структурно-фазовых состояний рельсовой стали электронно-пучковой обработкой.

Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии выполнены послойные исследования структуры, фазового состава и дефектной субструктуры рельсовой стали в исходном состоянии, после облучения электронным пучком (с параметрами: плотность энергии 30 Дж/см², длительность импульса пучка электронов 50 мкс, число импульсов воздействия 3, частота следования импульсов 0,3 Гц) и после усталостного разрушения.

Проведен сравнительный анализ закономерностей формирования и эволюции структурно-фазовых состояний поверхностного слоя (толщиной ~10 мкм), содержащей пластинчатый перлит (исходное состояние) и наноразмерный мартенсит (после электронно-пучковой обработки).

Рис. 2. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

Ключевые слова: структура, фазовый состав, усталостная долговечность, электронно-пучковая обработка.

УДК 621.771:621.777

Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Аникина В.И., Роговой А.А. Особенности формирования структуры и свойств при получении проволоки из стружковой смеси меди с цинком.

В рамках описания общей схемы изготовления пресс-изделий и проволоки из сортовой сыпучей стружки цветных металлов и сплавов, исключаяющей в технологической цепочке плавильный передел, рассмотрен вариант использования в качестве исходного сырья стружковой смеси меди с цинком. В результате последовательного осуществления операций прессования, экструзии и волочения получен материал по свойствам и структуре несколько отличающийся от традиционных латуней. Отмечены характерные особенности взаимодействия отдельных частиц и общего структурообразования при изготовлении композиционной проволоки из исследуемого материала. Дана сравнительная оценка механических характеристик полученной проволоки по отношению к проволоке из меди и латуни.

Рис. 7. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: сортовая сыпучая стружка, технологическая схема, прессование, экструзия, волочение, отжиг, механические свойства, структурообразование.

УДК 621.774.372

Окулов Р.А., Паршин С.В. Определение степени влияния угла наклона обжимного участка рабочего инструмента на энергосиловые параметры процесса волочения профильных труб и на геометрию получаемой продукции.

Работа посвящена актуальной задаче – изучению зависимости геометрии получаемой продукции и энергосиловых параметров процесса волочения от угла наклона обжимного участка волокна. Работа выполнена с помощью программного обеспечения, использующего конечно элементный метод, и затем проверена проведением практического эксперимента. Результаты теоретической и практической частей хорошо согласуются. В результате проделанной работы определены искомые зависимости и даны ценные рекомендации производителям.

Рис. 7. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: волочение, рабочий инструмент, фильер, угол, сталь 10, профильная труба.

УДК 621.771.23.016-419.4

Чукин М.В., Песин А.М., Копцева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю., Торбус Н. Экспериментальное исследование влияния деформации на микроструктуру и механические свойства биметалла (Ti-Ni).

В статье приведены результаты исследований процесса асимметричной прокатки двухслойной ленты (Ti-Ni). В связи с высокой пластичностью никеля нарушения сплошности не происходит, т.к. при деформации никель «обтекает» фрагменты интерметаллида.

Рис. 4. Библиогр. 8.

Ключевые слова: деформация, микроструктура, механические свойства, пластичность, сплошность

УДК 621.77.019

Бурмистрова Е.А., Шубин И.Г., Кургузов С.А., Мельник Н.И. Определение граничных условий эксперимента по определению критических напряжений сопротивления деформации.

Работа посвящена изучению сопротивления деформации микролегированной стали с имеющейся трещиной, которая позволит построить математическую модель зависимости критической величины сопротивления деформации от градиента температур по сечению металла, скорости прокатки, режимов обжатий в черновой группе клетей стана 2000 ОАО «ММК» и углом трещины к направлению прокатки.

Табл. 4. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: граничные условия, микролегированная сталь, трещина, математическая модель, градиент температуры.

УДК 621.778

Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Методика расчета режимов деформации при радиально-сдвиговой протяжке

В процессе моделирования радиально-сдвиговой протяжки в Deform 3d, были установлены параметры, влияющие на угол подъема винтовой линии. Приведен сравнительный анализ маршрутов волочения. Даны рекомендации по применению радиально-сдвиговой протяжки.

Рис. 3. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: радиально-сдвиговая протяжка, угол подачи, проволока, накопленная степень деформации.

УДК 621.7

Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Напряженно-деформированное состояние переходной зоны биметаллического проката.

Как показали исследования, механические свойства переходной зоны во многом определяются напряженно-деформированным состоянием материалов (особенно более мягкой компоненты биметалла) в результате взаимодействия профилей микрогеометрии соединяемых тел. Правильная подготовка контактных поверхностей, позволит обеспечить максимально возможные прочностные характеристики для конкретного типа биметалла. А знание природы протекающих процессов в процессе образования соединения позволит подобрать оптимальные условия подготовки поверхностей и проведения режимов обжатия.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр. 16 назв.

Ключевые слова: механические свойства, переходная зона, биметаллический прокат.

УДК 621.778

Гурьянов Г.Н. Оптимальные углы волочения и возможность нулевого прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения.

Приведены значения оптимального угла образующей рабочего канала в начале очага пластической деформации для разных форм профиля волокна и кривых упрочнения протягиваемого материала заготовки (углеродистой патентированной стали и нержавеющей стали 12Х18Н10Т). Показана возможность нулевого и отрицательного прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения при обеспечении запаса прочности переднего конца заготовки.

Рис. 3. Табл. 2.

Ключевые слова: волочение, осевое напряжение, волокна, угол волокна, противонапряжение.

УДК 621.771.23:621.778.09

Столяров А.Ю., Мелихова Н.В. Оценка напряженного состояния латунного покрытия высокоуглеродистой проволоки при волочении.

Рассмотрен вопрос формирования рациональной толщины латунного покрытия высокоуглеродистой проволоки, предназначенной для свивки металлокорда. С применением компьютерного моделирования исследовано напряженное состояние латунного покрытия при волочении монолитной проволоки и показано, что причиной отслоения покрытия являются растягивающие напряжения, возникающие во впадине микронеровности поверхности проволоки. Величина напряжений растет с увеличением толщины покрытия.

Рис. 2. Табл. 1. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: металлокорд; проволока; волочение; покрытие; латунь; толщина; моделирование; поверхность; профиль; напряжения; растяжение; отслоение.

Keywords: steel cord; wire; drawing; cover; brass; thickness; modeling; surface; profile; voltage; tension; exfoliation.

УДК 621.777: 621.777.22

Курмачев Ю.Ф., Соколов Р.Е., Высотина А.А. Расчет продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов.

В статье рассмотрены вопросы расчета продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов в зависимости от заданной функции изменения степени деформации.

Рис. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: труба, прокатка, периодическая прокатка, степень деформации, заготовка, профиль, калибровка, прокатные валки, ручей, расчет, алюминий, сплав.

УДК 669.018.58.017

Чукин М.В., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Медведева Е.М. Разработка инновационной технологии производства высокопрочных инварных сплавов нового поколения.

Представлены базовые принципы разработки композиций многофункциональных сплавов инварного класса с высокими показателями механических свойств при низких значениях температурного коэффициента линейного расширения. Проанализировано влияние химических составов на достижение расширенного диапазона эксплуатационных свойств многофункциональных сплавов на примере железо-никелевых композиций. Приведены результаты исследований влияния режимов обработки на базовые свойства высокопрочных инварных сплавов.

Рис. 2. Табл. 1. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова многофункциональные сплавы, инвары, механическая прочность, термомодеформационное упрочнение, температурный коэффициент линейного расширения

УДК 621.778

Гурьянов Г.Н. К разработке эффективного процесса волочения с противонапряжением круглой сплошной заготовки через волокна с различной формой профиля рабочего канала.

По предложенному уравнению, включающему определённый интеграл, рассчитаны значения полного осевого напряжения при волочении через рабочий канал волокна с различной формой профиля. Предложены аналитические формулы для расчёта прироста осевого напряжения от действия противонапряжения соответственно для жёстко-пластического и упрочняющегося жёстко-пластического материала при волочении через конический канал. Определены зависимости для расчёта коэффициентов вытяжки и трения, при которых прирост осевого напряжения от приложения противонапряжения равен нулю. Показана связь упрощённой формулы И.Л. Перлина и комбинированного уравнения, включающего формулу Зибеля и предложенную зависимость для расчёта прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения. В широком диапазоне изменения коэффициентов вытяжки и трения отсутствует явное преимущество одной из форм профиля канала волокна перед другими формами.

Рис. 4. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: волочение, волокна, круглая сплошная заготовка, профиль рабочего канала, осевое напряжение, вытяжка, противонапряжение

УДК 621.79; 669.36.

Бахматов Ю.Ф., Драпек Н.В., Тимиргалеев К.Р., Лебедева И.Г. Конструирование оборудования технологической линии нанесения металлических покрытий из расплава, позиционированного в пространстве магнитным полем.

Представлены материалы создания оборудования нанесения металлических покрытий на не деформируемые длинномерные металлические изделия в расплаве, позиционированном в пространстве магнитным полем. Рассмотрены различные источники поля. Рассмотрен вариант экспериментальной установки.

Рис. 3. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: металлические покрытия, рабочая среда, ферромагнетики. Магнитное поле, источники поля, индукция.

УДК 664.8:014

Стеблянок В.Л., Асадуллина Г.З., Сафонова О.П., Пономарев А.П. Исследование процессов миграции токсичных элементов с внутренней поверхности металлической тары в консервированные продукты.

В работе рассмотрен вопрос миграции токсичных элементов из консервной металлической тары в пищевые продукты. Представлены результаты исследований по определению миграции ионов железа, олова, цинка, свинца в модельные среды, имитирующие рыбные, мясные и молочные консервы. Было установлено, что кислая среда способствует большей миграции ионов металлов, наиболее агрессивной средой является молочная кислота, наименее - поваренная соль.

Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: миграция, консервная металлическая тара, гигиенические нормативы, покрытие, модельная среда, фотометрический метод, градуировочный график, оптическая плотность, качественная реакция, комплексное соединение

УДК 621.778.1-426

Харитонов В.А. Повышение эффективности производства стальной проволоки волочением.

Оценено влияние основных характеристик применяемого способа обработки металлов давлением на эффективность технологического процесса изготовления углеродистой проволоки. Проведен сравнительный анализ процесса волочения в монолитных и роликовых

волоках и методов интенсивной пластической деформации. Показано, что применение роликовых волок, реализующих радиально-сдвиговую деформацию проволоки, позволяет повысить ее физико-механические свойства и снизить затраты на изготовление.

Библиогр. 18 назв.

Ключевые слова: проволока, конкурентоспособность, технология, волочение, инструмент, конструкция, немонотонная деформация, структурообразование

УДК 621.778

Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г., Абдулин Э.М., Ежов О.В., Смирнов Н.В. Технологические основы пластической обработки катанки в совмещенном процессе с воздействием ультразвуком.

Представлены материалы конструирования технологии обработки катанки с неударенной окалиной. Запатентованная конструкция устройства позволяет реализовать метод бесфильтрного волочения с использованием ультразвуковой энергии.

Рис. 4. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: катанка, волочение, инструмент, поверхность, ультразвук, изгиб, растяжение.

УДК 621.778.1

Блондинская Е.Б., Шубин И.Г. Моделирование поперечно-винтовой прокатки и волочения для осуществления технологии комбинирования при изготовлении длинномерных изделий.

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и формоизменения заготовки при волочении и поперечно-винтовой прокатки в программном комплексе DEFORM-3D. В результате компьютерного моделирования поперечно-винтовой прокатки были разработаны чертежи установки.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, волочение, поперечно-винтовая прокатка, интенсивность деформаций.

УДК 621.771

Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Анализ технологических схем волочения шестигранного профиля.

В статье рассмотрены технологические схемы волочения шестигранного профиля. Проанализированы зависимости напряжения волочения от рабочего угла волоки для различных схем деформации. Сделан вывод о том, что волочение в монолитной волоке по схеме «круг-шестигранник» имеет ряд существенных недостатков. С целью устранения недостатков при использовании подката с круглым сечением предложено использование роликовых волок с многовалковыми калибрами.

Рис. 4. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: калиброванный шестигранный прокат, волочение, обжатие, напряжение волочения, монолитная волока, роликовая волока, сталь марки 10, сталь марки 40, сталь марки АС14.

УДК 621.771.23

Носков С.Е., Пудов Е.А., Ситниченко О.А., Шиморенко И.В. Отработка технологии изготовления заклепок с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Разработана рациональная и малоотходная технология изготовления заклепок. Получена опытная партия заклепок с полукруглой головкой 16x65 по ГОСТ 10299-80, изготовленная из стали марки 10 по ГОСТ 10702 без термической обработки. Внедрение

результатов работы позволит расширить сортамент завода и осуществлять серийный выпуск новых видов продукции.

Рис. 2. Табл. 1.

Ключевые слова: заклепка с полукруглой головкой, холодная штамповка, холодновысадочный автомат, сталь марки 10, механические испытания, технология

621.771

Файзулина Р.В., Молева О.Н., Кашникова Ю.А., Радюкевич Е.В. К вопросу о дефектах поверхности жести.

С целью выявления причин образования дефекта «пятна загрязнений» проведены исследования, связанные с использованием прокатного масла на основе животных жиров

Табл. 3. Библиогр. 1 назв.

Ключевые слова: жесьть, прокатное масло, животный жир, дефект «пятна загрязнений».

УДК67.05+62

Безукладников А.И., Паршин С.В.

Большим резервом для повышения эффективности добычи нефти является увеличение срока службы скважин и ускорение в них восстановительных работ. Для решения задачи восстановления скважин перспективным как в России, так и за рубежом, является направление по разработке и применению технических средств, позволяющих перекрывать интервалы нарушений колонн при помощи профильных перекрывателей. В настоящее время имеется множество старых скважин, требующих ремонта, который можно произвести при помощи профильных перекрывателей.

Рис. 2.

Ключевые слова: профильные трубы, бурение нефтяных скважин, раздача.

УДК 621.771.011

Харитонов В.А., Таранин И.В. Изучение напряженного состояния и разрушения металла при производстве проволоки различными способами ОМД.

В статье на основе конечно-элементного моделирования проведено сравнительное исследование напряженного состояния и вероятности разрушения металла при производстве проволоки известными способами ОМД. Определены характеристики способов ОМД, влияющие на характер распределения напряжений в очаге деформации. Выявлены преимущества и недостатки каждого способа с точки зрения формирования в очаге деформации благоприятной схемы распределения напряжений.

Табл. 3. Библиогр. 1 назв.

Ключевые слова: напряженное состояние, разрушение, прокатка, волочение, протяжка, проволока, способ обработки металлов давлением.

REPORTS

UDC 530.97: 539.376: 669.04

Gromov V.Ye., Volkov K.V., Ivanov Y.F., Raikov S.V., Grishunin V.A., Konovalov S.V., Morosov K.V. Rail Steel Phase State Forming by Electron-Beam Processing.

Methods of scanning and transmission microscopy were used to carry out the structure laminography, phase composition and faulted substructure of rail steel in its initial state after electron-beam irradiation (processing parameters: power density – 30 J/cm², pulse length of the electron beam – 50 μs, the number of pulses – 3, pulse-recurrence rate – 0.3 Hz) and after fatigue failure.

The authors carried out the comparative analysis of the forming mechanism and phase state development of the surface layer (~ 10 μm in thickness) containing lamellar perlite (initial state) and nano-sized martensite (after electron-beam processing).

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 10 names.

Key words: structure, phase composition, fatigue endurance, electron-beam processing.

UDC 621.771:621.777

Zagirov N.N., Ivanov Ye.V., Anikina V.I., Rogovoi A.A. Features of Structure and Properties Forming in the Process of Wire Production from Turnings Mixture of Copper and Zinc.

In the process of describing the general pattern of moulded pieces and wire manufacture from graded shovelling turnings of non-ferrous metals and alloys eliminating the remelting stage, the authors considered the option of using chip scrap mixture of copper and zinc as feedstock. The successive processing steps of compacting, extruding and drawing resulted in obtaining the material with properties and structure slightly different from conventional brass. The authors described the characteristic features of separate particles interaction and general structure forming in the process of composite wire production from the material under study. They also offered the comparative assessment of mechanical characteristics of the obtained wire and the wire made of copper and brass.

Fig. 7. Bibliogr. 5 names.

Key words: graded shoveling turnings, manufacturing scheme, compacting, extruding, drawing, annealing, mechanical properties, structure forming.

UDC 621.774.372

Okulov R.A., Parshin S.V. Determination of Work Tool Reducing Region Pitch Angle Influence on Power Input Parameters of Shaped Tube Drawing Process and on Finished Product Geometry.

The paper is concerned with an urgent issue such as dependence of the finished product geometry and drawing process power input parameters on the die reducing region pitch angle. A software package using finite element method was applied to carry out the study; the results were tested in practice. The results of the theoretical part match well with the practical part. The authors were able to determine the target dependencies and work out valuable recommendations to manufacturers.

Fig. 7. Table 1. Bibliogr. 5 names.

Key words: drawing, work tool, die hole, angle, steel 10, shaped tube.

UDC 621.771.23.016.3-419.4

Chukin M.V., Pesin A.M., Kopceva N.V., Nikitenko O.A., Efimova Yu.Yu., Torbus N. The experimental research of deformation influence on a microstructure and mechanical properties of bimetal (Ti, Ni).

Results of researches of a two-layer strap asymmetrical rolling process are given in article (Ti-Ni). Discontinuous doesn't occur due to the high plasticity of nickel, since in case of deformation nickel "flows" intermetallic compound fragments.

Fig. 4. Bibliogr. 8 names.

Key words: deformation, microstructure, mechanical properties, plasticity, continuity

UDC 621.77.019

Burmistrova E.A., Shubin I.G., Kurguzov S.A., Melnik N.I. Boundary Conditions Calculation of the Experiment Aimed at Determination of Critical Deformation Stress.

The paper is concerned with the study of cracked microalloyed steel deformation stress, which will make it possible to develop mathematical model of the deformation stress critical value dependence on the temperature gradient along the metal cross section, on the rolling speed, reduction schedule in the roughing train of the mill 2000 of “MMK” OJSC and on the crack angle to the rolling direction.

Table 4. Bibliogr. 11 names.

Key words: boundary conditions, microalloyed steel, critical deformation.

UDC 621.778

Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Calculation of Deformation Pattern at Radial Displacement Drawing.

Characteristics influencing the lead angle were determined in the process of radial displacement drawing modeling in Deform 3d. The authors offered the comparative analysis of the drawing sequences and provided recommendations for radial displacement drawing practice.

Fig. 3. Bibliogr. 5 names.

Key words: radial displacement drawing, feed angle, wire, total deformation ratio.

UDC 621.7

Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Stress and Strain State of the Bimetal Rolled Stock Interface Region.

As researches showed, mechanical properties of a transitional zone are determined strain-stress state of materials (especially by softer bimetal component) as a result of interaction of shape of microgeometry of connected elements. The correct preparation of contact surfaces will allow to provide the greatest possible strength characteristics for specific type of bimetal. The knowledge of the nature of proceeding processes in the building-up jointing process will allow to match optimum conditions of preparation of surfaces and carrying out drafting schedules.

Fig. 3. Table 1. Bibliogr. 16 names.

Key words: mechanical properties. transitional zone, Bimetal Rolled.

UDC 621.778

Guryanov G.N. Optimal Drawing Angles and Feasibility of Zero Longitudinal Stress Increase Due to Back Tension Application

Values of optimal die channel angle at the beginning of the plastic deformation region for different die channel shapes and hardening curves of the drawn billet material (carbon patented steel and stainless steel 12X18H10T) are given in the article. The authors prove the feasibility of zero and negative longitudinal stress growth due to back tension application at the same time preserving the safety margin for the billet front end.

Fig. 3. Table 2.

Key words: drawing, longitudinal stress, die, die angle, back tension.

UDC 621.771.23:621.778.09

Stolyarov A.Yu., Melikhova N.V. Stress State Estimation of High Carbon Wire Brass Coating During Drawing.

The authors studied the issue of adequate thickness of brass coating of high carbon wire developed for steel cord laying. Using computer simulation they investigated the stress state of the brass coating in the process of drawing through one-piece drawing dies and proved that the coating

separation is caused by the tensile stress developing in the wire surface microroughnesses. It was found that the intensity of stress increases with the increase of coating thickness.

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 8 names.

Key words: steel cord, wire, drawing, coating, brass, thickness, modeling/simulation, surface, profile, stress, tensile stress, separation.

UDC 621.777: 621.777.22

Kurmachev Yu.F., Sokolov R.Ye., Visotina A.A. Physical Profile Calculation of Reduction Area in the Process of Cold Deformed Bar Rolling of Aluminum Alloy Tubes

The authors considered the issue of physical profile calculation of reduction area in the process of cold deformed bar rolling of aluminum alloy tubes depending on the given function of deformation ratio change.

Fig. 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: tube, rolling, deformed bar rolling, deformation ratio, workpiece, profile, grooving, forming rolls, strand, calculation, aluminum, alloy.

UDC 669.018.58.017

Chukin M.V., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Medvedeva E.M. Development of Innovative Technology for the New Generation High Strength Invar Alloys.

The basic principles of development of compositions of multipurpose alloys of an invarny class with high rates of mechanical properties are provided in case of low values of temperature coefficient of linear expansion. Influence of chemical compositions on achievement of the expanded range of working properties of multipurpose alloys is analysed on the example of iron-nickel compositions. Results of researches of influence of process conditions on basic properties extrahigh tensile invar alloys are given.

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 7 names.

Key words: multipurpose alloys, invar, mechanical strength, thermo-strain hardening, temperature coefficient of linear expansion (TCLE).

UDC 621.778

Guryanov G.N. Development of Efficient Back-Tension Drawing Process for Solid Round Billets through Dies with Different Shapes of Die Channel.

Using the given equation including the definite integral, the authors calculated values of total longitudinal stress developed during drawing through die channels of different shapes. They offered analytic formulas for calculation of longitudinal stress increase due to back tension for both rigid-plastic and hardening rigid-plastic material during drawing through the tapered channel. They also determined relationships for calculation of such reduction ratio and friction coefficient values, wherein the longitudinal stress increase due to back tension is zero. The authors proved the relationship between the simplified I.L. Perlin formula and the combined equation consisting of Zibel formula and the suggested relationship for calculation of the longitudinal stress increase due to the back tension applied. It was found that no single die channel shape offered any obvious advantages within a wide range of reduction ratio and friction coefficient values.

Fig. 4. Bibliogr. 8 names.

Key words: drawing, die, solid round billet, die channel shape, longitudinal stress, drawing-down, back tension.

UDC 621.79; 669.36

Bakhmatov Yu.F., Drapeko N.V., Timirgaleev K.R., Lebedeva I.G. Design of Production Line Facilities for Metal Coating from the Melt Oriented By Magnetic Field

The authors described the design of production line facilities for metal coating of nondeflecting long metal products in the melt oriented by magnetic field. Different field sources were studied. One pilot unit was tested.

Fig. 3. Bibliogr. 3 names.

Key words: metal coatings, operating fluid, ferromagnetic materials, magnetic field, field sources, induction.

UDC 664.8:014

Steblyanko V.L., Asadulina G.Z., Safonova O.P., Ponomarev A.P. The Study of Toxic Elements Migration from the Internal Surface of Cans into Canned Goods.

The study is concerned with toxic elements migration from cans into foodstuffs. The authors presented the findings of investigation of iron, tin, zinc and lead ions migration into model mediums imitating canned fish, meat and milk. It was found that acid environment contributes to more intensive migration of metal ions, and the most hostile environment is hydroxy propionic acid, the least hostile one is sodium chloride.

Bibliogr. 2 names.

Key words: migration, can, health standards, coating, model medium, photometric method, calibration chart, optical density, qualitative reaction, complex compound.

UDC 621.778.1-426

Kharitonov V.A. Improvement of Steel Wire Production Efficiency Obtained by Drawing.

The authors estimated the influence of main characteristics of the method used for metal forming on process efficiency of carbon wire production. They carried out comparative analysis of the drawing process in one-piece and roller dies as well as methods of severe plastic deformation. It was proved that the application of roller dies providing radial displacement wire deformation makes it possible to improve its mechanical and physical properties and to reduce production costs.

Bibliogr. 18 names.

Key words: wire, competitiveness, technology, drawing, tool, design, nonmonotonic deformation, structure formation.

UDC 621.778

Bakhmatov Yu.F., Patschenko K.G., Abdulin E.M., Ezhov O.V., Smirnov N.V. Technological Basics of Wire Rod Pressure Shaping in the Combined Process with Ultrasonic Exposure

The technology of wire rod processing without scale removal is described in the paper. The patented hardware design makes it possible to put into practice the method of plateless drawing using ultrasonic energy.

Fig. 4. Bibliogr. 9 names.

Key words: wire rod, drawing, tool, surface, ultrasonic sound, bend, tension.

UDC 621.778.1

Blondinskaya Ye.B., Shubin I.G. Helical Rolling and Drawing Modeling for Combination Rolling Mill Practice in the Process of Long Components Production.

The authors carried out the analysis of stress and strain state and billet deformation in the process of drawing and helical rolling using DEFORM -3D software system. Structure drawings were developed as a result of helical rolling computer simulation.

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

Key words: computer simulation, drawing, helical rolling, strain intensity.

UDC 621.771

Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G. Technological Drawing Scheme Analysis of Hexagonal Section.

Technological drawing scheme of hexagonal section is described in the paper. The authors analyzed the relationship between the drawing stress and the die operating angle for various

deformation schemes. It was concluded that drawing through the one-piece die using the scheme “round-hexagon” has a number of essential disadvantages. In order to remove the disadvantages above, when semifinished round stock is used, it was suggested to use roller dies with multiple roll gauges.

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

Key words: hexagonal section, drawing, reduction, drawing stress, one-piece die, roller die, steel grade 10, steel grade 40, steel grade AC14.

UDC 621.771.23

Noskov S.E., Pudov E.A., Sitnichenko O.A., Shimorenko I.V. Production Process of Button Head Rivets 16X65 According to GOST 10299-80 at “MMK-METIZ” Production Facilities.

The authors developed a rational and low-waste technology of rivets production. A pilot batch of button head rivets 16X65 according to GOST 10299-80 was produced from steel grade 10 according to GOST 10702 without any thermal treatment. Implementation of the results will make it possible to extend the plant product range and provide batch production of the new products.

Fig. 2. Table 1.

Key words: button head rivet, cold forming, automatic cold up-setter, steel grade 10, mechanical test, technology

UDC 621.771

Faizulina R.V., Moleva O.N., Kachnikova Yu.A., Radyukevich E.V. About tin plate surface defects.

The researches connected with use of rolling oil on the basis of animal fatty substances are carried out with the purpose of identification the cause of formation the blemish «dirt spots».

Table 3. Bibliogr. 1 name.

Key words: plate, rolling oil, animal fatty substance, blemish «dirt spots».

UDC 67.05+62

Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Development arrangement for pipe diameter enlarging.

Big allowance for increase of efficiency of oil extraction is the increase useful life of wellsite and speed up in them recovery work. For the problem solving of wells recovery, the direction on development and application of engineering tools, which allow to block intervals of columns violations by means of section shaped shutters is perspective as in Russia and abroad. Now there is a set of the old wells requiring repair which can be made by means of section shaped shutters.

Fig. 2.

Key words: shaped tube, oil well drilling, dispensing.

УДК 621.771.011

Haritonov V.A., Taranin I.V.

Research of stress condition and destruction at the production of metal wire be different metall forming methods

In this case by means of finite-element modeling conducted comparative research of stress conditions and the destruction of the metal at the production of wire by known metal forming methods. The characteristics of the metal forming method that influence the nature of the stress distribution in the deformation zone are determined. The advantages and disadvantages of each method in terms of the formation a favorable stress conditions are identified.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 6 names.

Keywords: stress conditions, destruction, rolling, drawing, broaching, wire, metal forming method

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдулин Эдуард Мансурович – магистр кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Аникина Валентина Ильинична – канд. техн. наук, доцент кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. 8(391) 2912561.

Асадулина Гулия Зайнуловна – студентка кафедры «Химии, технологии упаковочных производств» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Бахматов Юрий Федорович – канд. техн. наук, доцент кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-84-70, сот. 89028910274.

Безукладников Андрей Иванович – аспирант кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Механико-машиностроительный институт. Тел. 89527326217.

Блондинская Евгения Борисовна – аспирантка кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. (3519)29-85-12.

Богатов Александр Александрович - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ОМД ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», тел.: 375-86-28, с. тел. 8-922-217-59-56. Электронный адрес: omd@mtf.ustu.ru.

Бурмистрова Евгения Александровна – аспирантка кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. сот. 89030904263.

Волков К.В. - ОАО «Евраз Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

Высотина Алена Андреевна - студентка кафедры «Обработка металлов давлением» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. 8-923-351-26-64. E-mail: las_vegas_24@mail.ru.

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

Гришунин Владимир А. – инженер-исследователь УНИ ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», ОАО «Евраз Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». E-mail: vladimir.grishunin@mail.ru.

Громов Виктор Евгеньевич - д-р физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Гун Геннадий Семенович – д-р техн. наук, советник ректора, профессор кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)23-57-66, 29-85-26.

Гурьянов Геннадий Николаевич – канд. техн. наук, ООО «Феникс+», г. Белорецк.

Драпеко Николай Вячеславович – аспирант кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Ежов Олег Владимирович - магистр кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

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

Загиров Николай Наильич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. 8(391)206-37-31. E-mail: sbs2703_59@yandex.ru.

Иванов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. 8(391)206-37-31.

Иванов Юрий Федорович - д-р физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института сильноточной электроники СО РАН.

Кашникова Юлия Анатольевна – канд. техн. наук, инженер ЦЛК ОАО «ММК».

Коновалов Сергей Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

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

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

Кузнецова Алла Сергеевна – научный сотрудник ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-12, 29-84-81.

Кургузов Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-19, сот. 89068537945.

Курмачев Юрий Федорович - доцент кафедры высшей математики ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. 8-903-923-57-27. E-mail: kurmach@mail.ru

Лебедева Ирина Григорьевна – магистр кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Медведева Екатерина Михайловна – аспирантка кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. Тел. раб. 8(3519)29-84-81.

Мельник Наталья Ивановна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономики и финансов» Институт экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. сот. 89193260917.

Мелихова Наталья Вениаминовна - учебный мастер ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: hmv-77@mail.ru, тел.: 8 902 861 15 15.

Молева Ольга Николаевна – ведущий инженер Центральной лаборатории комбината ОАО «ММК».

Морозов К.В. – инженер кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», Институт физики прочности и материаловедения СО РАН.

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

Носков Сергей Евгеньевич – заместитель начальника Центральной заводской лаборатории ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Окулов Роман Александрович – аспирант кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Механико-машиностроительный институт; телефон: служ. 89506316069. E-mail: okulov.roman@gmail.ru. @mail.ru

Паршин Сергей Владимирович – д-р техн. наук; профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Механико-машиностроительный институт; профессор кафедры «Металлургические и роторные машины»; телефон: служ. 8(343) 375-44-19; дом. 8-912-612-53-40; E-mail: netskater@mail.ru.

Пащенко Константин Георгиевич – старший преподаватель кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Песин Александр Моисеевич - д-р техн. наук, профессор кафедры ОМД ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-25, 29-85-70.

Пивоварова Ксения Георгиевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. раб. 8(3519)29-85-12, 29-85-26.

Пономарев Антон Павлович – аспирант кафедры «Химии, технологии упаковочных производств» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-22, 29-85-33.

Пудов Евгений Андреевич – канд. техн. наук, заместитель начальника исследовательского центра ОАО «ММК-МЕТИЗ». Тел. раб. 8(3519)36-25-95, сот. 83519093361.

Райков Сергей Валентинович – канд. техн. наук, доцент кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». e-mail: raykov_sv@mail.ru.

Радюкевич Елена Владимировна – инженер Центральной лаборатории комбината ОАО «ММК».

Роговой Антон Андреевич - магистрант кафедры «Обработка металлов давлением» Сибирский федеральный университет. Тел. 8(391) 206-37-31.

Салихьянов Денис Ринатович – аспирант, ассистент кафедры ОМД ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», тел. 8-950-202-76-66. Электронный адрес: salenhall@gmail.com.

Сафонова Ольга Петровна – студентка кафедры «Химии, технологии упаковочных производств» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Ситниченко Оксана Анатольевна – ведущий инженер технического управления ОАО ММК-МЕТИЗ».

Смирнов Никита Владимирович - магистр кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Соколов Руслан Евгеньевич - доцент кафедры «Обработка металлов давлением» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Тел. сот. 8-913-035-32-04. E-mail: sokolov.sfu@gmail.com.

Стеблянко Валерий Леонтьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Химии, технологии упаковочных производств» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-22, 29-85-33.

Столяров Алексей Юрьевич - главный технолог ООО «Специальные технологии». E-mail: Aleksey.Stolyarov@uralcord.ru, тел.: 8(3519) 49 84 04, сот. 89128098907.

Тимиргалеев Камилль Рамильевич – аспирант кафедры физики Института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Таранин Иван Владимирович - аспирант кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: +7-908-073-50-08, (3519) 41-90-58. e-mail: taranin.iv@mail.ru.

Торбус Нина – аспирантка Ченстоховского технического университета, г. Ченстохова, Польша.

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

Файзулина Римма Вафировна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519) 29-84-70, сот. 89048113887.

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

Чукин Михаил Витальевич - д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной работе, зав. кафедрой «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519) 29-84-04, 29-85-26. E-mail: chukin@magtu.ru.

Шиморенко Ирина Владимировна – ведущий инженер Центральной заводской лаборатории ОАО «ММК-МЕТИЗ».

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

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abdulin Edward Mansurovich - Master of Physics Department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University

Anikina Valentina Ilinichna- Siberian federal university. PhD in Engineering, the senior lecturer of the department «Metallurgical science and heat treatment of metals». Phone - (391) 29 - 25-61.

Asadullina Guliya Zainulovna – student of FSBEI of HPE «MSTU».

Bakhmatov Yury Fedorovich - Ph.D., assistant professor of physics department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University. Tel. 8(3519)29-84-70, 89028910274.

Bezukladnicov Andrey Ivanovich – post graduate student «Metallurgical and rotor machines» FSAEI HPE «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin », Mechanical Engineering Institute. Tel. 89527326217

Blondinskaya Evgenia Borisovna - postgraduate student of Machinebuilding and Metallurgical technologies Department, FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University. Tel. (3519)29-85-12.

Bogatov Aleksandr Aleksandrovich - Doctor of Engineering, professor, head of the department «Metal forming» FGAOU HPE «Ural federal university of a name of the first President of Russia B. N. Yeltsin», phone: 375-86-28, own phone. 8-922-217-59-56; e-mail: omd@mtf.ustu.ru

Burmistrova Evgeniya Aleksandrovna – postgraduate of department “Mechanical engineering and metallurgical technologies” of FSBEI of HPE «MSTU»

Volkov K.V. – Open Joint Stock Company “Evraz united West-Siberian metallurgical plant”.

Vyjsotina Alena Andreevna – student of department «Metal forming» in the institute of non-ferrous metals and materials science «Siberian federal university ». Тел. 8-923-351-26-64. E-mail: las_vegas_24@mail.ru.

Golubchik Eduard Mikhailovich – assistant professor, master of science, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University». E-mail: golub66@mail.ru

Grishunin Vladimir A. - Research Engineer FSBEI HPE “Siberian State Industrial University”, JSC "Evraz Joint West Siberian Metallurgical Plant". E-mail: vladimir.grishunin@mail.ru.

Gromov Viktor Evgenevich – D.Sc. (Phys.-Math.), Professor Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-66, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.

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

Gurianov Gennadiy Nikolaevich - Ph.D., LLC "Phoenix +" Beloretsk.

Drapeko Nikolay Vyacheslavovich – Postgraduate student of physics department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Yezhov Oleg Vladimirovich – Master of Physics Department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University.

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

Faizulina Rimma Vafirovna – senior teacher of physics department of FSBEI of HPE «MSTU», PhD in Technical Sciences.

Zagirov Nikolay Nailich - Siberian federal university. PhD in Engineering, the senior lecturer of the department «Metal forming». Phone - (391) 206-37-31 E-mail: sbs270359@yandex.ru

Ivanov Evgeniy Vladimirovich - Siberian federal university. The senior lecturer of the department «Metal forming». Phone - (391)206-37-31.

Ivanov Yuriy Fedorovich – D.Sc. (Eng.), Professor Department of Nanomaterials and Nanotechnology, National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of high-current electronics SB RAS, Tomsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Kashnikova Juliya Anatolievna - Ph.D., engineer, Central Control Laboratory, OJSC "The Iron and Steel work".

Konovalov Sergey Valerievich - Ph.D., Assistant professor, physics department, FSBEI HPE “Siberian State Industrial University”.

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

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

Kurmachev Yuriy Federovich - assistant professor of the higher mathematics department – FGAOU HPE « Siberian federal university », rank: associate professor. Phone. 8-903-923-57-27. E-mail: kurmach@mail.ru

Kuznetsova Alla Sergeevna – engineering of mechanical engineering and metallurgical technologies, FSEE of HPE «Nosov Magnitogorsk State Technical University». Phone: 8(3519) 29-85-12.

Kurguzov Sergey Anatolyevich – candidate of technical science, associate professor of the department of mechanical engineering at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”.

Kharitonov Veniamin Alexandrovich – PhD in Technical Sciences, prof. Of department mechanical engineering and metallurgical technologies FSBEI of HPE «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-84-81.

Lebedeva Irina Grigorievna – Master, Physics Department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University

Medvedeva Ekaterina Mihailovna – postgraduate of department “Mechanical engineering and metallurgical technologies” of FSBEI of HPE «MSTU».

Melikhova Natalia Veniaminovna – educational master, FSEI HPE « Magnitogorsk state technical university of G. I. Nosov». Improvement the production technology of a high-carbon brass plated wire, phone.: 8 902 861 15 15, E-mail: hmv-77@mail.ru.

Melnik Natalya Ivanovna – PhD in Technical Science, associate professor of «Economy and finance» department, Institution of economy and management FSBEI of HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov».

Moleva Olga Nikolaevna - Senior Engineer, Central Control Laboratory, OJSC "The Iron and Steel work".

Morozov Konstantin Viktorovich - Engineer of Physics Department, FSBEI HPE “Siberian State Industrial University”, Technical Director of AO «Caspian Group». e-mail: morozov.kv@kost.amh.kz.

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

Noskov Sergey Evgenevich – deputy chief of CFL of JSC MMK-METIZ

Okulov Roman Aleksandrovich - FGAOU HPE «Ural federal university of a name of the first President of Russia B. N. Yeltsin», Mechanical engineering institute; postgraduate of department "Metallurgical and Rotor Machines"; Phone: 8-950-63-16-069; E-mail: okulov.roman@gmail.com.

Parshin Sergey Vladimirovich - Doctor of Engineering, professor of FGAOU HPE « Ural federal university of a name of the first President of Russia B. N. Yeltsin», Mechanical engineering institute; professor of department «Metallurgical and Rotor Machines»; phone: work. (343) 375-44-19; home. 8-912-612-53-40; E-mail: netskater@mail.ru.

Pascenco Konstantin Georgievich - senior lecturer of Physics Department , Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University

Pivovarova Kseniya Grigorevna – assistant professor of department “mechanical engineering and metallurgical technologies” of FSBEI of HPE «MSTU», PhD in Technical Sciences

Pesin Alexander Moiseevich – doctor of technical science, professor of the department “Metal forming” at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”.

Ponomarev Anton Pavlovich – postgraduate of FSBEI of HPE «MSTU».

Pudov Evgeniy Andreevich – deputy chief of the research center JSC MMK-METIZ, PhD in Technical Sciences

Radyukevich Elena Vladimirovna - Engineer of Central Control Laboratory OJSC "The Iron and Steel work".

Raykov Sergey Valentinovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-91, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: vest2002@mail.ru.

Rogovoy Anton Andreevich - Siberian federal university. Undergraduate of department «Metal forming» Phone - (391) 206-37-31

Salihyanov Denis Rinatovich - postgraduate, assistant of FGAOU HPE «Ural federal university of a name of the first President of Russia B. N. Yeltsin»; phone: 8-950-202-76-66; e-mail: salenhall@gmail.com

Safonova Olga Petrovna - student of FSBEI of HPE «MSTU»

Sitnichenko Oksana Anatolevna – leading engineer of technical management of JSC MMK-METIZ

Smirnov Nikita Vladimirovich - Master of Physics Department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Sokolov Ruslan Evgenevich - assistant professor of department «Metal forming» in the institute of non-ferrous metals and materials science « Siberian federal university ». Phone. 8-913-035-32-04. E-mail: sokolov.sfu@gmail.com.

Steblyanko Valeriy Leontevich – PhD in Technical Sciences, prof. of FSBEI of HPE «MSTU»

Stolyarov Aleksey Yurevich - chief technologist of LLC “Special technologies”. Development and improvement of engineering processes of production the high-strength metal reinforcing materials for car tires. E-mail Aleksey.Stolyarov@uralcord.ru тел.: 8 3519 49 84 04, 8 912 809 89 07.

Shimorenko Irina Vladimirovna – leading engineer of CFL JSC MMK-METIZ

Shubin Igor Gennadevich – assistant professor of department “Mechanical engineering and metallurgical technologies” of FSBEI of HPE «MSTU», PhD in Technical Sciences

Taranin Ivan Vladimirovich, postgraduate Nosov Magnitogorsk State Technical University. e-mail: taranin.iv@mail.ru

Timirgaleev Kamil Ramilyevich – Postgraduate student of Physics Department, Institute of Energy and Automation FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University

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

Usanov Mikhail Yuryevich – senior professor of metallurgy and standardization department branch of FSBEI of HPE «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov», Beloretck. E-mail: barracuda_m@mail.ru

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

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

МЫ ПРИГЛАШАЕМ ВАС К УЧАСТИЮ В НАШЕМ ЖУРНАЛЕ В КАЧЕСТВЕ АВТОРОВ, РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ И ЧИТАТЕЛЕЙ.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

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

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

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

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

Онлайн - перевод запрещается!

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

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

2.1. Введение (постановка проблемы)

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

2.3. Результаты исследования и их обсуждение

2.4. Заключение (выводы)

2.5. Список литературы (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

3.1. Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.

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

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

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов - автоматический;

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

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

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

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

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

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

4.1. Рецензия.

4.2. Экспертное заключение о возможности опубликования.

4.3. Договор.