

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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



**Инновационные процессы
обработки металлов давлением:
фундаментальные вопросы связи науки
и производства**

**Материалы II международной
научно-практической конференции**

Под редакцией М.В. Чукина

*Конференция проводится при финансовой поддержке
ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований»
(договор №16-38-10169\16 от 28.04.2016)*

Магнитогорск
2016

Редколлегия:

М.В. Чукин (главный редактор),
А.Г. Корчунов (зам. главного редактора),
А.М. Песин, Д.Н. Чикишев, Д.О. Пустовойтов,
Э.Ю. Мещеряков, А.С. Харченко, А.Н. Шеметов (отв. редактор)

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

**Инновационные процессы обработки металлов давлением:
фундаментальные вопросы связи науки и производства:** материалы II международной научно-практической конференции / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 79 с.
ISBN 978-5-9967-0848-2

В сборнике представлены материалы докладов II международной научно-практической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», проводимой в Магнитогорском государственном техническом университете при поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований».

ISBN 978-5-9967-0848-2

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2016

УДК 621.774

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ
ИЗ СТАЛИ ТИПА 13Cr В ХЛАДОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Храмков Е.В.

*ОАО «РосНИТИ», Челябинск, Россия
hramkov@rosniti.ru*

В 2011 году ОАО «Трубная Металлургическая Компания» (ТМК) представила на российском рынке новый высокотехнологичный продукт – насосно-компрессорные и обсадные трубы из стали с содержанием хрома 13% (группа прочности L80 тип 13Cr) с премиальными резьбовыми соединениями ТМК *FMT* и ТМК *GF*. Таким образом, ТМК стала первым в России производителем, освоившим изготовление коррозионностойких труб из стали данного класса для добычи углеводородов [1].

С целью освоения производства труб по ТУ группы прочности N80 без применения дополнительного легирования необходимо решить следующие задачи: повысить комплекс физико-механических характеристик и уменьшить длину утолщенных концов.

Проведенный анализ литературы показал, что наиболее рациональным способом повышения свойств является ВТМО. Одно из условий проведения ВТМО – исключение протекания рекристаллизации. Проведенное моделирование процесса деформации на установке *Gleeble 3800* подтверждает ее отсутствие. Микроструктурное исследование опытных образцов также не выявило рекристаллизации [2].

Для определения физико-механических характеристик, получаемых при ВТМО, было проведено экспериментальное исследование на лабораторной установке 4 режимов ВТМО. Все режимы обеспечивают повышение прочностных характеристик, при этом показатели пластичности остаются на том же уровне. Следует выделить режим ВТМО при температуре деформации 900°C, который обеспечивает повышение ударной вязкости при –60°C на 50% [3].

С целью уменьшения длины утолщенных концов была разработана математическая модель процесса, которая включает в себя проработку трех основных вопросов: описание геометрии очага деформации, описание кинематики процесса [4], решение уравнения энергобаланса для всего стана в целом и каждой клетки в отдельности [5].

Данная математическая модель была реализована в виде автоматизированной методики расчета. Выходными данными методики являются деформационно-скоростной режим и значения межклетевых натяжений, анализ которых позволил разработать методику расчета скоростных режимов, который позволил уменьшить длину утолщенных концов на 20%.

Литература

1. Билан, С.И. Опыт освоения производства труб из сталей 13Cr с премиальными резьбовыми соединениями на предприятиях Группы «ТМК» / С.И. Билан, С.А. Рекин // Инженерная практика. – 2012. – №2.
2. Храмов, Е.В. Исследование влияния температурно-деформационных режимов на хладостойкость стали 20Х13 / Е.В. Храмов, А.М. Ахмедьянов, К.А. Лаев // Трубы-2014: сб. докл. – Челябинск, 2014. – С. 274–277.
3. Смирнов, М.А. Свойства высокохромистых коррозионноустойчивых сталей, подвергнутых высокотемпературной термомеханической обработке / М.А. Смирнов, И.Ю. Пышминцев, К.А. Лаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. – С. 78–82.
4. Выдрин, А.В. Кинематика очага деформации при безоправочной прокатке труб нефтяного сортамента / А.В. Выдрин, Е.В. Храмов, М.В. Буняшин // Вестник ЮУрГУ.– 2016. – №1. – С. 91–97.
5. Выдрин, А.В. Энергетический баланс процесса прокатки труб нефтяного сортамента на редуционном / А.В. Выдрин, Е.В. Храмов, М.В. Буняшин // Металлург. – 2016. – №1. – С. 21–25.

УДК 621.771.073

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ДЛЯ СТАНА 2000 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ЛПЦ-11 ОАО «ММК»

Богданов А.В.

*ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия,
bogdanov.av@mmk.ru*

В процессе работы проводилось изучение эксплуатационных свойств рабочих валков, а также дальнейшая оптимизация технологии с целью снижения количества преждевременно вышедших из строя валков.

В результате проведенного анализа влияния количества прокатанного металла и сортамента продукции на параметры износа валков выявлено, что износ практически не зависит от толщины либо количества прокатываемой полосы, а зависит только от клетки.

Проведен анализ микротопографии поверхности рабочих валков для 5-й клетки. Выявлено, что существующие режимы текстурирования обеспечивают необходимую шероховатость.

Определены величины температуры рабочих валков в зависимости от сортамента и клетки. Выявлены наиболее тяжелые условия работы, при которых возможен перегрев валков свыше 60°C. С целью снижения негативных последствий перегрева валков было увеличено время вылеживания валков как в общем, так и после получения дефектов, а также было увеличено значение съемов для предотвращения образования трещин в процессе эксплуатации после получения поверхностных дефектов.

Изучены тенденции изменения твердости валков разных фирм-производителей по глубине рабочего слоя. Также изучено изменение твердости валков между завалками в наиболее нагруженных клетях № 3,4. Выявлено, что какой-либо существенный наклеп на валках отсутствует, а значит, значение съема достаточно для удаления наклепанного слоя.

Проведен анализ преждевременных выходов из строя рабочих валков. Выявлены наиболее проблемные клетки, вследствие чего было изменено движение валков по клетям. Также были выявлены диаметры валков, на которых они чаще всего выходили из строя. В качестве дополнительной меры профилактики был введен разгрузочный съем на данных диаметрах. Помимо всего прочего, было увеличено значение минимального съема на рабочих валках, что позволило сократить количество преждевременно вышедших из строя валков со 185 до 136 шт. в 2014 году и до 101 шт. в 2015 году.

Экономический эффект от внедрения работы за 2014–2015 гг. составил 108,9 млн руб.

УДК 621.774

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВОГО ВИДА ПРОДУКЦИИ TREX ИЗ СПЛАВА Ti-3Al-2.5V

Фильева Е.А.

*ООО «НТЦ ТМК», Челябинск, Россия,
filyaeva@rosniti.ru*

Инициатором настоящей работы является ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». Технология *TREX* (*tube rolling – extrusion*) предполагает изготовление труб авиационного назначения из титанового сплава марки *Ti-3Al-2.5V* по маршруту: прессование (АО «ВТЗ») – холодная прокатка (ООО «ТМК-ИНОКС»).

В настоящей работе представлен анализ системы ограничений, учет которых должен способствовать реализации технологии *TREX* и выпуск нового вида трубной продукции ПАО «ТМК».

Проведен комплекс микроструктурных исследований материала, а также физическое моделирование процессов горячей и холодной деформации с применением образцов сплава марки *Ti-3Al-2.5V*, что в совокупности позволило спрогнозировать формирование конечных требований к продукту и разработать технологию, обеспечивающую выпуск нового вида трубной продукции для стратегически важного заказчика в лице ПАО «Корпорация ВСППО-АВИСМА».

Представлены результаты освоения технологии производства горячепрессованных труб, исследование материала которых подтвердило адекватность технологии *TREX* на первом этапе.

УДК 621.771

ДРЕССИРОВКА ЖЕСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАСЕЧЕННЫХ РАБОЧИХ ВАЛКОВ КЛЕТИ №1 С ШЕРОХОВАТОСТЬЮ 2,5–4,0 мкм В УСЛОВИЯХ ДВУХКЛЕТЕВОГО СТАНА 1200 ОАО «ММК»

Пушкаревский А.А.
ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия,
pushkar_mgn@mail.ru

На двухклетевых дрессировочных станах «1200» в ПМП применяются в первой клетки насеченные валки, во второй – шлифованные (допускается применение хромированных валков).

Согласно Программе мероприятий по улучшению качества жести произвели опытные партии жести, продрессированные с использованием насеченных рабочих валков первой клетки с шероховатостью 2,5–4,0 мкм.

С целью снижения уровня шероховатости валков изменили режим их насечки, уменьшив скорость вращения колеса до 700 об/мин. После насечки шести валков (3 пары) и проведения дрессировки металла с их использованием, уменьшили скорость вращения колеса при насечке опытных валков до 600 об./мин.

В результате предлагаемых изменений появляется возможность:

- значительно снизить уровень шероховатости валков, в среднем с 4,5 мкм (900 об./мин) до 2,7 мкм (600 об./мин) при максимальных значениях не более 4,0 мкм;

- уменьшить неравномерность шероховатости по длине валка в среднем с 1,7 мкм (900 об./мин.) до 1,0 мкм (600 об./мин.);

- значительно уменьшить разницу в шероховатости между разными валками, насеченными по одному режиму, в среднем с 2,36 мкм (900 об./мин) до 0,7 мкм (600 об./мин);

- за счет снижения шероховатости по длине валка и между разными валками качество поверхности полосы улучшается, микрорельеф поверхности полосы становится более однородным, что позволяет наносить покрытие более ровным слоем;

- уменьшить количество жести непрерывного отжига, дрессированной в диапазоне суммарных обжатий 0,7–0,8%, что позволяет минимизировать возможные вылеты за верхний предел сумм обжатий и, как следствие, снижение твердости полосы;

- уменьшить количество несоответствующей продукции по механическим свойствам (жести непрерывного отжига, переведенной в степень твердости В) за счет снижения обжатий при дрессировке;

- уменьшить долю жести с шероховатостью поверхности в диапазоне $Ra = 0,50–0,63$ мкм с 25 до 15%.

УДК 621.777

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ В ВАКУУМЕ

*Золотов И.В., Рамазанов К.Н., Вардадян Э.Л., Ягафаров И.И.
ФГБОУ ВО «УГАТУ», Уфа, Россия
zolotov.ugatu@gmail.com*

Объемная холодная штамповка применяется для изготовления деталей сложной формы и малых размеров из металлов, обладающих высокой пластичностью. При холодной штамповке наибольшему износу подвергаются пуансоны и матрицы. Проблема повышения стойкости штамповой оснастки является весьма сложной. В данной работе предложена технология упрочнения штамповой оснастки модифицированием поверхностного слоя в среде азота и формированием на поверхности штамповой оснастки покрытия на основе интерметаллида системы $TiAl$.

Целью данной работы является повышение стойкости штамповой оснастки холодновысадочных автоматов посредством модификации поверхности и нанесения износостойких покрытий.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

– выбор оптимальных режимов ионного азотирования и последующего нанесения покрытий на штамповую оснастку;

– исследование стойкости штамповой оснастки с различными покрытиями.

Фотографии пуансонов для холодновысадочных автоматов, прошедших комбинированную обработку в вакууме, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Фотографии штампового инструмента с различными покрытиями:
 1 – азотирование + TiN ; 2 – азотирование + $Ti-TiAlN$;
 3 – азотирование + $Ti-TiCN$

Результаты производственных испытаний штамповой оснастки холодновысадочного автомата, прошедшей комбинированную обработку, представлены на рис. 2.

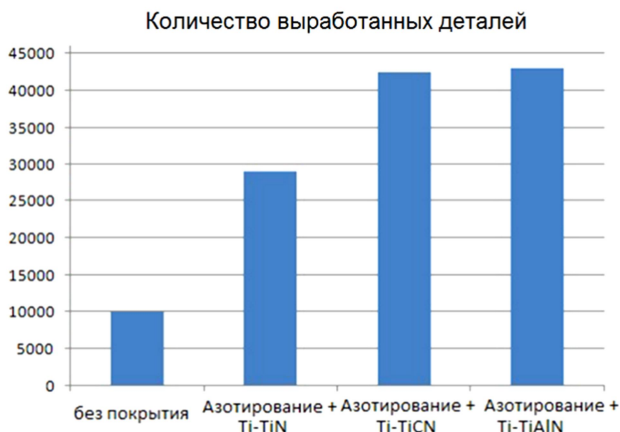


Рис. 2. Результаты испытаний пуансонов с различными покрытиями

Результаты производственных испытаний показали, что предложенная технология комбинированной обработки штамповой оснастки в вакууме, включающая ионное азотирование и последующее нанесение покрытия на основе интерметаллида $TiAl$, позволяет существенно повысить ее стойкость.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ ЗА СЧЁТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСИ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ

Черных И.Н.

*ОАО «РосНИТИ», Челябинск, Россия,
chernyh@rosniti.ru*

Тенденцией развития современного производства горячекатаных бесшовных труб является использование непрерывных станов продольной прокатки, настройка технологической оси которых определяет точность размеров и качество поверхности готовых труб.

Применяемые в настоящее время на непрерывных станах методики определения технологической оси трудоемки и недостаточно точны, поскольку предусматривают использование специального оптического устройства и крупногабаритных кронштейнов с мишенями, последовательно устанавливаемыми в станины клетей станов.

Исследован принципиально новый подход к оценке положения технологической оси непрерывного стана, основанный на измерении лазерным прибором API Tracker пространственных координат базовых поверхностей клетей и последующем определении положения технологической оси с использованием САД-модели.

Новая методика опробована при настройке непрерывных станов ТПА 159-426. В результате удалось сократить время её проведения с 2–3 недель до 2 рабочих смен, повысить точность и достоверность результатов измерений, исключить применение крановых операций, уменьшить влияние человеческого фактора на результаты измерений, выставить единую технологическую ось группы непрерывных станов.

Указанные преимущества обеспечили увеличение коэффициента выхода годной продукции в среднем до 3%. Экономический эффект в годовом отношении составляет по одному трубопрокатному агрегату 23,12 млн рублей.

Возможность расширенного использования результатов исследования подтверждена при настройке современных непрерывных станов ТМК, в том числе МРМ, FQM.

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ

*Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Телегин В.Е.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, Россия,
fekla_med@mail.ru*

В настоящее время в металлургических технологиях наблюдается тенденция переноса требований к свойствам конечной металлопродукции на продукцию, произведенную в предшествующих переделах. Так, например, горячекатаная лента с расширенным комплексом свойств может рассматриваться как альтернатива холоднокатаной. Такая лента, в т.ч. травленая, термообработанная, может применяться для штамповки дисков колес автомобилей, а также для формовки и сварки труб различного назначения.

Учеными МГТУ совместно со специалистами ОАО «ММК» была разработана инновационная технология изготовления горячекатаной ленты с использованием в качестве финишных операций многоступенчатой термообработки и дрессировки. Проведены исследования влияния финишных операций отделки горячекатаной ленты на её конечные свойства.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что операция дрессировки с последующим отжигом горячекатаной ленты наилучшим образом способствует повышению качества поверхности, стабилизации геометрических параметров, а также равномерному распределению свойств по сечению полосы.

УДК 621.785 : 621.771

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТАЛИ 13X11N2B2MФ-Ш ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ

*Есипов Р.С., Рамазанов К.Н.
ФГБОУ ВО «УГАТУ», Уфа, Россия
esipvrma@rambler.ru*

В настоящее время эксплуатационные характеристики поверхности конструкционных сталей можно повысить путем различных методов поверхностной модификации, в т.ч. нанесением покрытий и ионно-вакуумной обработкой в тлеющем разряде.

При ионном азотировании стали формирование упрочненного слоя происходит за счет диффузии атомов азота в объем основного материала. Известно [5], что на диффузионную подвижность насыщающего элемента большое стимулирующее воздействие оказывают такие структурные дефекты, как вакансии, дислокации и их скопления.

На сегодняшний день интенсивно растет интерес к ультрамелкозернистым (УМЗ) материалам, полученным методами интенсивной пластической деформации (ИПД). Такие материалы имеют высокую твердость, а их структура характеризуется ультрамелким размером зерна 200–300 нм и наличием неравновесных границ зерен, в которых повышена концентрация вакансий и дислокаций [6, 7]. Комбинация методов ИПД и последующего ионного азотирования должна дать существенно лучший результат по сравнению с традиционными методами.

Таким образом, в работе представлены результаты по исследованию низкотемпературного ионного азотирования ультрамелкозернистой конструкционной стали 13X11H2B2MФ-Ш в тлеющем разряде после интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК).

В качестве исследуемого материала выступали образцы из стали 13X11H2B2MФ-Ш (ГОСТ 5949-75). Микротвердость образца после ИПДК составила 750 HV, а у крупнозернистого образца 225 HV.

Ионное азотирование образцов проводили на модернизированной установке ЭЛУ-5М, предназначенной для ионно-вакуумной обработки в тлеющем разряде. Обработку осуществляли в течение 4 ч при температуре 420°С в азотосодержащей смеси газов (5% N₂+45% Ar+5% H₂) и давлении 150 Па.

Замеры микротвердости по глубине азотированного слоя проводились на косых шлифах с помощью микротвердомера Duramin -1/-2 при нагрузке 10 г в течение 10 с. Эффективная толщина слоя определялась по кривой распределения твердости до значения твердости неазотированного материала.

Исследования структуры азотированного слоя были проведены с использованием стандартных металлографических методик и с помощью оптического микроскопа Olympus GX51.

Анализ распределения микротвердости по глубине азотированного слоя показал, что на всех исследуемых образцах наблюдается постепенное снижение твердости от поверхности до основного материала. При этом эффективная толщина упрочненного слоя у УМЗ стали 13X11H2B2MФ-Ш примерно в 1,5 раза больше, чем у крупнозернистой (КЗ) 13X11H2B2MФ-Ш. Поверхностная микротвердость УМЗ 13X11H2B2MФ-Ш составила 1200 HV, что говорит о высокой концентрации нитридов в поверхностном слое, в то время как у КЗ 13X11H2B2MФ-Ш 525 HV.

Во время металлографических исследований азотированных образцов из стали 13X11H2B2MФ-Ш азотированный слой наблюдался только на УМЗ стали 13X11H2B2MФ-Ш и представлял собой слой темно-серого цвета. Зеренная структура упрочненного слоя и основного металла не наблюдалась вследствие ультрамелкого размера зерна.

Таким образом, установлено, что такие дефекты кристаллического строения как вакансии, дислокации и большеугловые границы выступают в качестве скоростных каналов диффузии атомов азота [4,5] в процессе ионного азотирования. Тем самым осуществляется стимуляция не только зернограничной, но и объемной диффузии. В результате этого на УМЗ стали 13X11H2B2MФ-Ш формируется азотированный слой большей толщины и с высоким содержанием нитридов железа и легирующих элементов по сравнению с КЗ 13X11H2B2MФ-Ш.

Литература

1. Лахтин, Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
2. Лахтин, Ю.М. Физические процессы при ионном азотировании / Ю.М. Лахтин, Ю.Н. Крымский // Защитные покрытия на металлах. – Киев: Наукова думка. – 1968. – Вып. 2. – С. 225–229.
3. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
4. Валиев, Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
5. Чувильдеев, В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 304 с.

УДК 621.771

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПОЛОСЫ ОТ ОСТАТКОВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА 4-КЛЕТЕВОМ СТАНЕ В УСЛОВИЯХ ЛПЦ-5 ОАО «ММК»

*Кондрашов С.А., Мамаев И.Н.
ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия
soulsnack@mail.ru*

Тенденции развития современного рынка металлопроката требуют от производителя не только выпуска качественной продукции, но и своевременной отгрузки потребителю. Проанализировав сложившуюся ситуацию на рынке металлопродукции, ОАО «ММК» разработало стратегию развития компании на период с 2015 по 2025 гг.

С продвижением данной стратегии возникают риски выполнения некоторых пунктов при производстве холоднокатаной металлопродукции

на 4-клетевом стане, такие как обеспечение поставок в срок ± 3 дня и расширение ассортимента качественной продукции.

Перечисленные риски возникают во время процесса прокатки металла на 4-клетевом стане, при попадании остатков смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) на полосу за IV клетью. В результате образуется дефект «Пятна эмульсии, масла, электролита». Далее при рекристаллизационном отжиге в колпаковой печи вследствие попадания СОЖ возможно возникновение дефекта «Пятнистое науглероживание».

Проведя анализ возникновения дефектов листа за 2015 год, авторы пришли к выводу, что их причина кроется в системе очистки полосы от остатков СОЖ, которая установлена за IV клетью. Во время работы стана эмульсия поступает через зазор между рабочими валками, а также между бочкой рабочего валка и подушкой. При этом она попадает на края бочки опорного вала, далее на внутреннюю часть станины (за счет вращения вала по направлению хода прокатки), а со стенки станины на проводковый стол. В итоге эмульсия скапливается на проводковом столе и при образовании взвихряющихся потоков воздуха переносится на полосу.

Таким образом, попадание СОЖ на полосу происходит в результате неточной настройки и технического несовершенства плуга, а также силу конструктивной особенности проводкового стола.

Решением данной проблемы является изготовление и установка нового плуга, на котором необходимо разместить две независимые зоны подачи сжатого воздуха для эффективной очистки металла различной ширины (рис. 1). Данное исполнение позволит не только эффективно удалять остатки СОЖ с полосы, но и сократить потребление сжатого воздуха.

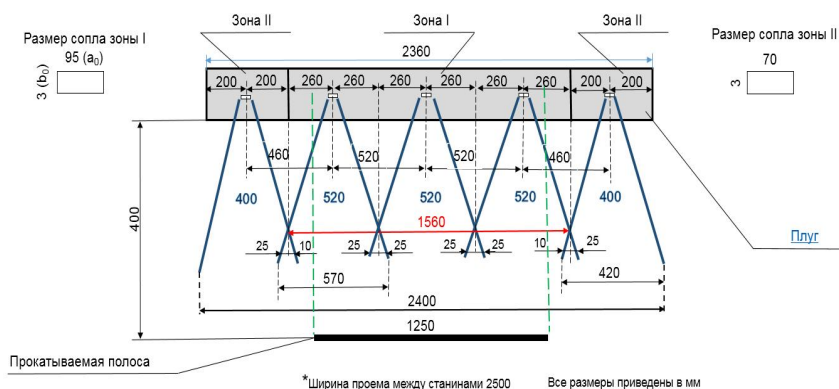


Рис. 1. Схема нового плуга для подачи сжатого воздуха

Вторым важным техническим решением стало изменение конструкции проводкового стола за IV клетью (рис. 2).

Размеры приведены в мм, толщина штрипса 30-40 мм.

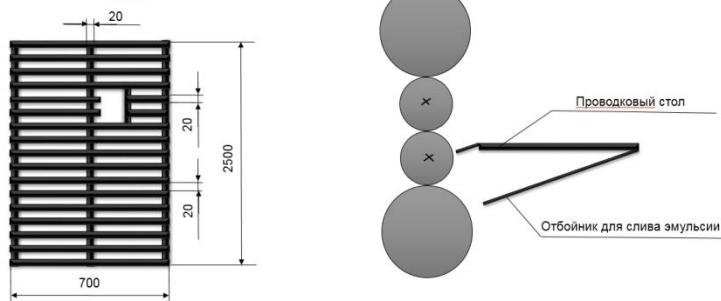


Рис. 2. Усовершенствованная конструкция проводкового стола

Данное исполнение позволит эмульсии беспрепятственно поступать в картер IV клетки, а далее в эмульсионную систему, исключая возможность ее скапливания на проводковом столе и попадание в картер моталки (рис. 3). Следовательно, исключается попадание СОЖ на прокатываемую полосу во время работы сдува, при образовании взвихряющихся потоков воздуха.

С точки зрения экономии сжатого воздуха эффективным решением является разделение плуга на две зоны. Первая (по центру) работает при ширине прокатываемой полосы от 1000 до 1560 мм. Вторая (по краям) – подключается для прокатки полосы шириной свыше 1561 мм.

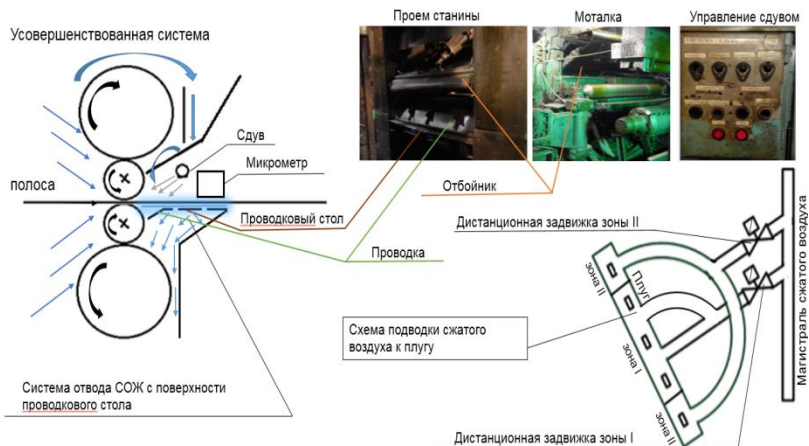


Рис. 3. Структурная схема новой системы очистки полосы

Для оперативного включения и выключения подачи сжатого воздуха предусмотрено дистанционное открывание и закрывание соответствующих задвижек, блок управления которыми установлен на главном посту стана.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения данных усовершенствований составляет 19,9 млн руб. в год. Срок окупаемости – менее одного месяца.

УДК 621.771

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ТОЛСТОГО ЛИСТА В РЕЛЬЕФНЫХ ВАЛКАХ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Крупенькин И.И., Панин Е.А., Лежнев С.Н.

*Карагандинский государственный индустриальный университет,
г. Темиртау, Казахстан,
volkodav-007@mail.ru*

Перспективным направлением улучшения качества горячекатаного листа является реализация знакопеременной деформации во всем объеме деформируемого металла. Одной из таких технологий прокатки является технология, которая включает в себя прокатку в валках с рельефной поверхностью в виде кольцевых проточек, образующих трапециевидные выступы и впадины с неравным отношением выступов и впадин [1], чередующиеся друг за другом по всей длине бочки, и выравниванием заготовки на гладкой бочке с последующей прокаткой до нужного типоразмера.

Целью данной работы является компьютерное моделирование разработанной технологии в программном комплексе Simufact Forming с использованием базы данных свойств материалов MATILDA. На основе построенной модели было изучено формоизменение заготовки в процессе прокатки, произведена оценка формирующейся схемы деформирования, возникающей при прокатке заготовки по предлагаемой технологии (в качестве критерия оценки схемы деформации был использован коэффициент Лодэ-Надаи [2]), а также изучена эволюция металла, протекающая в металле при реализации предлагаемой схемы деформирования.

Результаты, полученные в ходе анализа коэффициента Лодэ-Надаи, показали, что при прокатке в рельефных валках в поперечном сечении заготовки возникают два типа деформации – сжатие на наклонных участках и сдвиг в зонах гребней. Такая картина распределения напряжений является наиболее благоприятной, поскольку деформация сжатия приводит к залечиванию возможных несплошностей металла, а деформация сдвига приводит к интенсивной проработке исходной структуры металла.

На втором этапе прокатки в гладких валках преобладает деформация, имеющая сжимающий характер. Деформация на третьем этапе про-

катки несет знакопеременный характер. Здесь в любом вертикальном сечении заготовки возникает контакт металла с валками на обеих поверхностях – верхнем и нижнем, что приводит не только к сжатию в зонах гребней, но и к растяжению на наклонных участках. Этим объясняется незначительное уширение заготовки.

Результаты анализа эволюции микроструктуры показали, что при использовании предложенной технологии прокатки толстого листа, реализующей знакопеременную деформацию во всем объеме, наблюдается равномерное уменьшение фракции зерна по всему сечению заготовки (от 60 до 25–20 мкм).

Литература:

1. Пат. 14791. Республики Казахстан. Валки для прокатки толстых листов / Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н. 2007. Бюл. 11.

2. Процессы пластического структурообразования металлов / Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др. – Минск: Наука и техника, 1994. – 232 с.

УДК 621.771

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ ИЗ СПЛАВА *ABE* С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Клейменова Ю.Ю.

*ФГАОУ «СФУ», Красноярск, Россия,
julisnowflake@yandex.ru*

Катанка из сплава *ABE* является одним из самых востребованных видов продукции из алюминия. Для ее производства традиционно применяются технологии совмещенного литья-прокатки на литейно-прокатных агрегатах (ЛПА). Однако данное оборудование физически и морально устарело (эксплуатируется с 70-х годов прошлого столетия). Кроме того, оно по прочностным характеристикам рассчитано в основном на обработку электротехнического алюминия марок А5Е и А7Е.

Поэтому отечественные заводы вынуждены проводить модернизацию производственных мощностей путем замены существующего оборудования, причем преимущественно на импортное. Это может привести к усилению позиций иностранных производителей на внутрисоссийском рынке. Вместе с тем в последнее время появились отечественные технологии и установки совмещенного литья-прокатки-прессования (СЛиПП), которые могут заменить ЛПА и расширить технологические возможности производства катанки из сплавов алюминия.

Операции литья и прокатки-прессования в процессе СЛиПП могут быть разделены во времени или совмещены в одном деформирующем

узле, что дает возможность варьирования способов обработки в зависимости от свойств и реологических характеристик алюминиевых сплавов. Применение операции сортовой прокатки позволяет создать непрерывность обработки и необходимые силы активного трения для выдавливания готового изделия. Прессование позволяет получать заданные конфигурацию и размеры изделий при высоких степенях деформации и изготавливать их за один цикл обработки в одной клетке.

Технико-экономические показатели производства катанки на литейно-прокатных агрегатах и установках СЛиПП определяются многими параметрами, которые следует учитывать при анализе. При расчете себестоимости катанки из сплава АВЕ принято: курс USD –67,14 руб.; LME на алюминий – 1538 USD/тн. Структура затрат на производство 1 т катанки диаметром 9 мм из сплава АВЕ приведена в таблице.

Структура затрат на производство катанки

Статья затрат	Вид агрегата	
	ЛПА	СЛиПП
Затраты на шихтовые материалы, руб./тн	103 833, 58	103 833, 58
Прямые (постоянные) затраты на производство, руб./тн	18 971, 50	3 214,32
Затраты на переработку (переменные), руб./тн	43 994, 30	5 178,32
Рентабельность производства (10%), руб./тн	14 928,78	10 964,70
Итого, руб.	162 110, 58	109 647,02

При анализе структуры затрат на производство катанки из сплава АВЕ на ЛПА установлено, что 24% составляют косвенные затраты, следовательно, сокращение производственной себестоимости возможно посредством увеличения объемов производства. Таким образом, анализ технико-экономических показателей производства на агрегатах ЛПА и СЛиПП выявил, что при изготовлении катанки методом литья-прокатки-прессования себестоимость 1 т катанки из сплава АВЕ на 26% ниже, чем при производстве методом литья-прокатки на ЛПА.

УДК 621.774

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОНАГАРТОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛОТА МАРКИ ЗЛ99,99

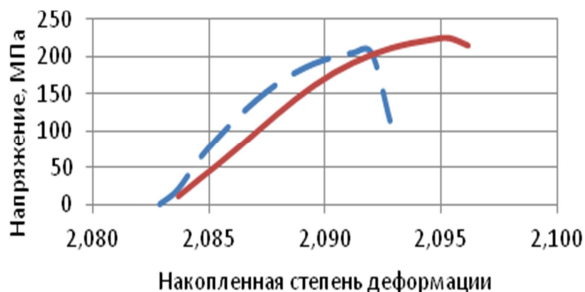
*Первухин А.Е., Логинов Ю.Н.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
alex_pervukhin@hotmail.com*

Из практики обработки давлением металлов и сплавов известен факт снижения температуры рекристаллизации при сообщении материалу высокой степени деформации. В соответствии с правилом Бочвара

температура рекристаллизации пропорциональна температуре плавления, а коэффициент пропорциональности зависит от химической чистоты металла. В результате при температуре плавления, например меди, на уровне 1083°C температура ее рекристаллизации при высокой степени деформации может оказаться ниже комнатной.

Для оценки действия этого фактора поставлены опыты по растяжению проволоки из золота Зл99,99 по ГОСТ 6835-2002. Проволоку диаметром $d_0 = 1,19$ мм отжигали и предварительно нагартовывали волочением до диаметра 0,42 мм. Затем ее подвергали растяжению при скорости перемещения захватов испытательной машины 50 и 100 мм/мин. При базовой длине образца 100 мм начальная скорость деформации составила соответственно 0,008 и 0,016 с⁻¹.

На рисунке показаны кривые упрочнения золота Зл99,99 при накопленной степени деформации 2,083 для металла в двух состояниях: непосредственно после волочения и после вылеживания в течение трех месяцев.



Графики истинных напряжений для золота Зл99,99 после волочения (сплошная линия) и после срока вылеживания (штриховая линия)

Как видно из рисунка, графики в двух вариантах испытаний имеют существенные отличия: после вылеживания снизилось максимальное напряжение, а также уменьшилась накопленная степень деформации до разрушения. Эти явления связаны с тем, что после значительной нагартовки оказались снижены температуры начала возврата и рекристаллизации металла. Их понижение вплоть до комнатной температуры характерно для чистых и сверхчистых металлов, к которым относится золото марки Зл99,99. Дополнительное регулирующее влияние на температуры структурных превращений в чистых металлах может оказывать текстурное состояние, созданное при накоплении больших деформаций*.

* Влияние скорости деформации на свойства электротехнической меди / Логинов Ю.Н., Демаков С.Л., Илларионов А.Г. и др. // Металлы. – 2011. – № 2. – С. 31.

**РАЗРАБОТКА НОВОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ
С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
НА ТОЛСТОЛИСТОВОМ ПРОКАТНОМ СТАНЕ**

Песин И.А.¹, Песин А.М.¹, Дригун Э.М.², Гун Г.С.¹, Пустовойтов Д.О.¹
¹ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия
²ООО «ЧерметИнформСистемы», Магнитогорск, Россия

Разработан новый совмещенный процесс прокатки и штамповки эллиптических днищ с толщиной стенки более 40 мм и диаметром до 4350 мм из металлических материалов с повышенными механическими свойствами. В основу процесса положен принцип прокатки пакета, состоящего из верхнего (пуансон), нижнего (матрица) оснований и расположенной между ними толстолистовой заготовки. Преимуществом нового процесса является энергоэффективность и более высокая производительность.

Выбрана и адаптирована к условиям толстолистового прокатного стана конечно-элементная математическая модель описания напряженно-деформированного состояния металла при прокатке-штамповке крупногабаритных деталей типа эллиптических днищ. Модель основана на теории пластического течения и описана системой уравнений, включающих в себя уравнение состояния, условие несжимаемости, условие теплового баланса, модель напряжения текучести материала в зависимости от параметров деформации, дифференциальное уравнение движения и кинематические соотношения.

Результаты конечно-элементного моделирования совмещенного процесса прокатки и штамповки показали, что на данном этапе выполнения проекта ключевой проблемой является потеря устойчивости пакета при прокатке, а также образование в связи с этим дефектов в виде гофров, складок, что повышает расходный коэффициент и увеличивает себестоимость готового изделия.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРНЫХ ПОЛОС ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ НЕТЕРМОУПРОЧНЯЕМЫХ БРОНЗ

*Калачиков А.В., Железняк Л.М.
ФГБОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
bitm19@bk.ru*

С целями повышения прочности коллекторных полос, а также снижения трудо-, энерго- и материалоемкости технологии разработано и реализовано следующее техническое решение. Горячепрессованную заготовку волочат без отжигов с накоплением деформационного упрочнения металла путем регламентированного нарастания от прохода к проходу общего коэффициента вытяжки до значений $\lambda_{\Sigma}=1,6-3,0$. Далее представлен механизм осуществления разработанного алгоритма.

1. В действующем производстве целесообразно использовать прессованную заготовку, поскольку она обладает повышенной по сравнению с горячекатаной пластичностью и лучшим качеством поверхности, а также вследствие благоприятной мелкозернистой структуры по сравнению с непрерывнолитой заготовкой.

2. Важное отличие от традиционной технологии – создание режима гидродинамического трения (РГТ) путем установки перед рабочей вставкой напорной (т.е. нагнетающей смазку) вставки; обе смонтированы в единую сборную волоку, а также использованием порошкообразной смазки.

3. Волоочильные каналы напорных и рабочих вставок выполнены с традиционным профилем. Отличие напорной вставки от рабочей состоит в том, что между поступающей в напорную вставку заготовкой и поверхностью калибрующей зоны ее канала предусмотрен зазор, в который вытягивается сухая смазка с целью создания РГТ.

4. Волоочильный канал твердосплавных напорной и рабочей вставок сборной волоки получают посредством электроэрозионного вырезания с использованием прецизионного станка, применяя в качестве расходного электрода проволоку диаметром 0,25 мм из латуни марки Л63. Высокая точность обработки волоочильного канала достигается вполне надежно.

5. Частные коэффициенты вытяжки λ_i назначают, следуя принципу: при высокой пластичности металла в 1-м проходе принимают $\lambda_1=1,28\div 1,36$; во 2-ом и последующих проходах, вследствие деформационного упрочнения, назначают $\lambda_{2,3,4}=1,17\div 1,22$.

В результате практической реализации разработанного технологического регламента получены следующие результаты:

1. Повышены потребительские свойства коллекторных полос крупного сечения из нетермоупрочняемых бронз путем увеличения их твердости по отношению:

– к нормативам ГОСТ и ТУ на 26...33%;

– к требованиям предприятий-потребителей на 14–20%.

2. Снижены трудо-, энерго- и материалоемкость производства профилей за счет ликвидации отжигов и сопутствующих им операций.

3. Отсутствие химической обработки заготовок (травления) улучшило экологическую ситуацию в цехе и на предприятии в целом.

УДК 621.771

РАСЧЁТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРОКАТКИ ВЫСОКОПРОНИЦАЕМОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Пузанов М.П., Логинов Ю.Н.

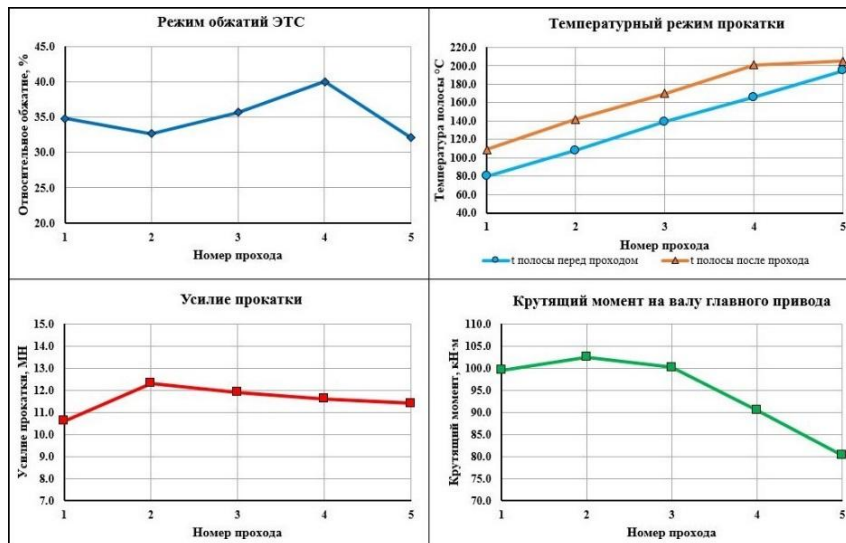
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия

puzanovmp@yandex.ru

Электротехническая трансформаторная сталь (ЭТС) – это холоднокатаная, кремнистая сталь, обладающая уникальными магнитными свойствами вдоль направления прокатки. На сегодняшний день в отечественной металлургии является перспективным создание технологии производства высокопроницаемой ЭТС с магнитной индукцией $B_{800} = 1,90\text{--}1,94$ Тл, что позволит заместить дорогостоящий импорт высокотехнологичной продукции в отрасли электротехнического машиностроения. Одним из ключевых этапов новой технологии является реализация процесса реверсивной холодной прокатки с высокой степенью суммарного обжатия (оптимально 86–88%) и температурным режимом, при котором температура полосы в последних проходах должна достигать 180–220°C для протекания в металле деформационного старения.

В данной работе для реверсивного стана холодной прокатки на основании рекомендаций, изложенных в литературе, составлен черновой режим обжатий для прокатки рулонной трансформаторной стали размерами 0,265×1050 мм. В дальнейшем, исходя из требований получения равномерной загрузки прокатной клетки по проходам и достижения требуемого температурного режима полосы, методом итераций

был получен рациональный режим обжатий. Энергосиловые параметры прокатки рассчитывались по моделям Стоуна и А.А. Королёва, для исследования температурного состояния полосы использована методика Ю.В. Коновалова. При расчёте температурного режима учтены процессы теплообмена полосы с эмульсией и конвективного охлаждения полосы на моталке, для чего использованы экспериментальные данные, изложенные в работах Э.А. Гарбера и В.П. Настича. Результаты представлены на рисунке.



Параметры холодной прокатки высокопроницаемой ЭТС

Таким образом, можно определить рациональный режим обжатий для новой и высокоперспективной в рамках отечественной промышленности технологии холодной прокатки высокопроницаемой ЭТС. Предложенный режим позволяет реализовать уровень деформации и температурный режим, необходимые для достижения высоких магнитных свойств проката, осуществлять прокатку при оптимальных для оборудования условиях нагрузки и получать необходимый уровень плоскостности полосы за счёт достаточно равномерного распределения усилия прокатки по проходам.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ,
ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ**

Фролов В.А.

*ФГАОУ ВО «СФУ», Красноярск, Россия
frol777888999@mail.ru*

Проблема поиска новых свариваемых алюминиевых сплавов, относящихся к группе термически неупрочняемых и имеющих более высокие прочностные характеристики, чем существующие промышленные сплавы системы Al–Mg, связана как с созданием более совершенных образцов новой техники в авиа-, ракетной, судостроительной и автомобильной промышленности. Для повышения удельных прочностных характеристик конструкционных материалов и коррозионной стойкости их легируют такими элементами, как Sc, Zr, Cr и др. Сплавы системы Al–Mg, легированные такими элементами, характеризуются сочетанием удовлетворительной прочности, хорошей пластичности и литейных свойств, хорошей свариваемости и коррозионной стойкости. Причем уровень прочности этих сплавов в значительной мере зависит от содержания в них основного легирующего компонента – магния.

В 2014–2015 гг. ОК РУСАЛ проведен ряд исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку технологии получения лигатуры Al-Sc собственного производства и новых сплавов с ее применением. В рамках реализации научно-исследовательского договора с ООО «РУСАЛ ИТЦ» на тему «Исследование структуры и свойств опытных образцов новых алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием» на базе сплавов 5083 и 1570 были изготовлены 9 сплавов с различным содержанием переходных металлов Sc, Cr, Zr, Mn. При изготовлении опытных сплавов было уменьшено содержание дорогостоящего скандия (0,1–0,15%) за счет дополнительного введения в сплавы циркония (до 0,2%), хрома (до 0,23%) и марганца (до 1%).

Для проектирования маршрутов обработки опытных сплавов была принята схема деформации и рассчитаны режимы горячей прокатки заготовки толщиной 28 мм, нагретой до температуры 450°C, до толщины 10 и 5 мм, и холодной прокатки этих полос до толщины 1 мм. Исследование механических свойств образцов опытных сплавов (см. таблицу) показало, что при заданных режимах термообработки ($T=300^{\circ}\text{C}$, $t=3$ ч) требования заказчика по пределу текучести металла выполняются, а по относительному удлинению для некоторых сплавов близки к требуемым значениям.

Механические свойства проката толщиной 1 мм

Номер образца сплава	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
1	434	357	16,3
2	407	261	21,2
3	405	317	9,8
4	462	271	12,0
5	423	288	12,6
6	362	248	14,3
7	425	282	14,8
8	387	298	9,2

Таким образом, проведены исследования деформируемости и механических свойств новых алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием, которые показали, что они могут быть применены для изготовления плоского проката с заданным уровнем механических свойств и коррозионной стойкости, например, для нужд судостроения.

УДК 621.778

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ
МУЛЬТИМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КАЛИБРОВАННОЙ СТАЛИ***

*Константинов Д.В.¹, Бзовски К.², Корчунов А.Г.¹,
Кузюиак Р.³, Пьетчик М.⁴*

¹ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

² AGH University of Science and Technology, Poland;

³ Институт металлургии и железа Гливице, Польша;

*⁴ Краковская горно-металлургическая академия
им. Станислава Сташица, Польша.*

const_dimon@mail.ru

Главным «индикатором» технологических преобразований в обрабатываемом металле является его микроструктурная композиция. Параметры микроструктуры металла в совокупности наиболее полно отражают результаты деформационных, термических и комбинированных воздействий [1–3]. По этой причине развитие методов компьютерного моделирования с позиции повышения их прогнозирующей точности должно осуществляться в направлении репрезентации микроструктурного строения обрабатываемого металла и напряженно-деформированного состояния (НДС) на его микроуровне. Однако с увеличением геометрических размеров заготовки переход на микроуровень становится технически сложным вследствие критического уменьшения размера сетки и, следовательно, роста количества ее элементов.

Базовая схема усовершенствованной методики, позволяющей решить данную проблему, представлена на рис. 1.

* Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (Договор № 02.G25.31.0178), проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (№ 11.1525.2014К от 18.07.2014 г.), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00619 мол_а.

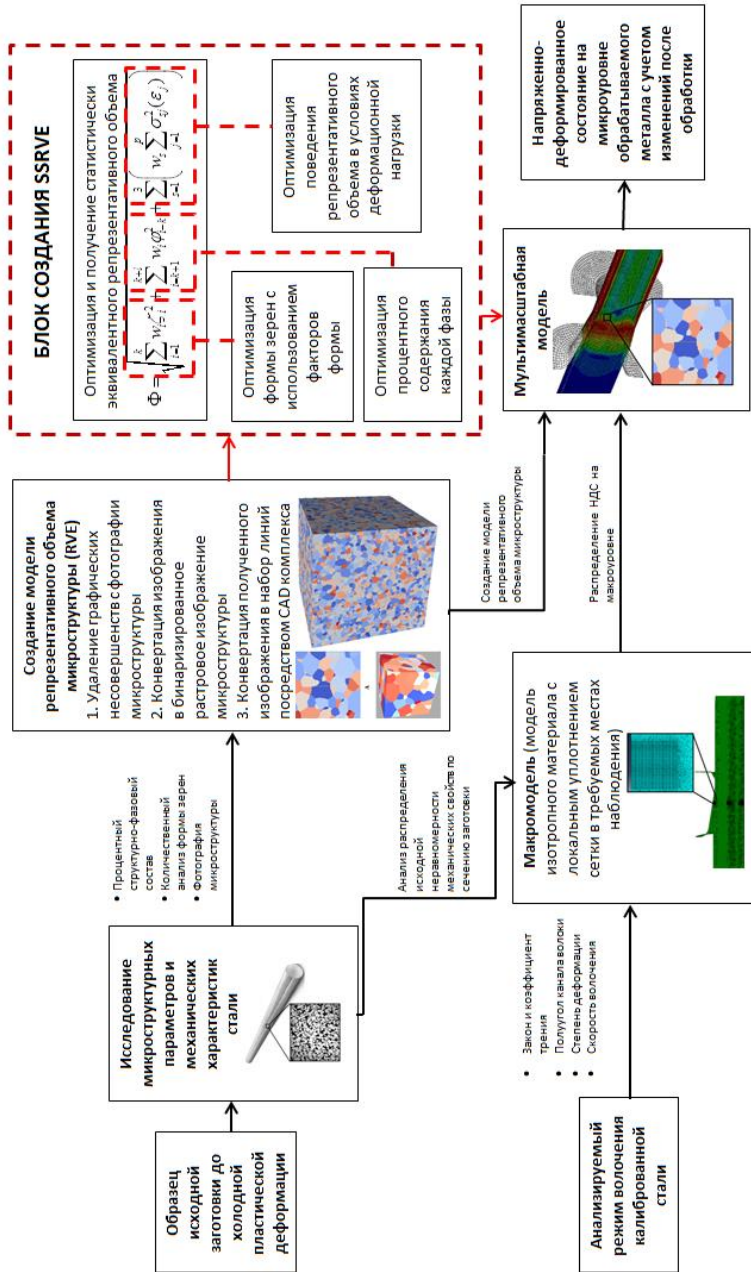


Рис. 1. Общая схема усовершенствованной методики мультимасштабного моделирования

Расчет мультимасштабных моделей основан на парном взаимодействии макромоделей (традиционная модель изотропного материала) и модели репрезентативного объема (модель участка микроструктуры). Первая модель позволяет получить общую информацию о макронагрузках и макродеформациях, которые испытывает деформируемый объем, а вторая модель отражает поведение отдельного микрообъема в конкретной точке макромоделей под воздействием этих нагрузок.

Для устранения ранее упомянутых проблем с ростом количества элементов сетки была использована концепция статистически эквивалентного репрезентативного объемного элемента (SSRVE) [4–5]. Ключевая идея статистически эквивалентного репрезентативного объемного элемента заключается в замене относительно большого базового репрезентативного объема микроструктуры меньшим объемом, но имеющим схожую морфологию и аналогичное поведение в условиях нагрузки.

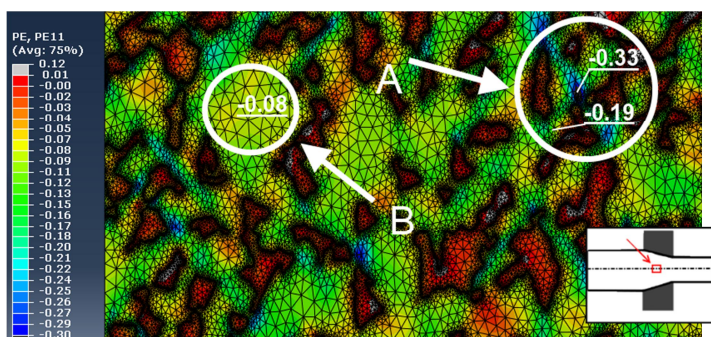


Рис. 2. Распределение радиальных деформаций в центральном слое деформационной зоны калиброванной стали

При анализе НДС на микроуровне стали марки 20 было установлено, что в местах, где ферритная фаза не была стеснена скоплением зерен твердого перлита, радиальные деформации имели значение от $(-0,09)$ до $(-0,07)$ (рис. 2, зона В), а в местах скопления перлитных зерен – от $(-0,15)$ до $(-0,33)$ (рис. 2, зона А).

В макромоделей центральные слои получали минимальные степени радиальной деформации: от $(-0,01)$ до $(-0,02)$. Был сделан вывод, что при моделировании подобных материалов с принципиально различающимся поведением микроструктурных составляющих в условиях деформационной нагрузки разница в результатах между численными параметрами НДС в макро- и микромоделей будет тем больше, чем меньше будет разница между процентным соотношением структурных элементов в стали. Статистически эквивалентный репрезентативный объемный элемент позволил наблюдать все особенности распределения НДС в очаге деформации при волочении калиброванной стали, полученные посредством репрезентативного объема из фотоизображения микроструктуры. Также SSRVE продемонстрировал

такие же абсолютные значения напряжений и деформаций на микроуровне, как и репрезентативный объемный элемент, полученный посредством обработки фотоизображения. При этом количество элементов в *SSRVE* уменьшилось более чем в 50 раз. То есть при сохранении точности в абсолютных значениях параметров НДС за счет использования *SSRVE* удалось снизить расчетное время модели более чем в 60 раз. Далее была проведена проверка адекватности результатов мультимасштабного моделирования процесса волочения калиброванной стали марки 20 посредством *EBS*D-анализа. Более чем двукратное увеличение продольных деформаций на последнем режиме приводит к более интенсивному формированию ярко выраженной текстурированной микроструктуры. Это подтверждено четко выраженным пиком углов разориентации в ходе *EBS*D анализа, на основании чего можно судить об адекватности результатов микромоделей.

Исследование процесса волочения калиброванной *TRIP* стали позволило доказать важность учета *TRIP* эффекта с позиции НДС, так как формирующиеся в ходе его реализации зародыши высокопрочного мартенсита являются локализаторами высоких значений напряжений Мизеса. Были обнаружены высокие сжимающие деформации в диапазонах значений в центре от $(-0,03)$ до $(-0,15)$, а на поверхности от $(-0,07)$ до $(-0,22)$ в фазах феррита и остаточного аустенита. С помощью усовершенствованной методики было изучено деформационное взаимодействие элементов микроструктуры между собой, тем самым объяснив наличие более высоких радиальных деформаций в пластичных фазах вблизи большего скопления зерен более прочных фаз бейнита и мартенсита. В совокупности это позволило не просто повысить прогнозирующую способность моделей процесса и скорость их расчета, но и расширить номенклатуру материалов традиционного процесса волочения калиброванной стали путем использования современных, технологически гибких *TRIP* сталей.

Литература

1. Sarma, G.B., Radhakrishnan, B., Zacharia, T., 1998, Finite Element Simulations of Cold Deformation at the Mesoscale, Computational Materials Science, 12, 1998, 105–123.
2. Son, S.-B., Roh, H., Kang, S.-H., 2010, Relationship between microstructure homogeneity and bonding stability of ultrafine gold wire, Journal of Materials Science, 45, 236–244.
3. Watanabe, I., Setoyama, D., Nagasako, N., Iwata, N., Nakanishi, K., 2012, Multiscale prediction of mechanical behavior of ferrite–pearlite steel with numerical material testing, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 89, 829–845.
4. Brands, S., Schroder, J., Balzani, D., Statistically similar reconstruction of dual-phase steel microstructures for engineering applications // Proc. CMM-2011 Computer Methods in Mechanics, Warsaw (CD ROM).
5. Brands, S., Schroder, J., Balzani, D. On the incorporation of microstructural information in dual phase steel simulations, Proc. 10th ICTP, eds, Hirt, G., Teckaya, A.E., Aachen. – 2011. – 823–826.

АКТУАЛЬНЫЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ И ИХ РЕШЕНИЕ

Яковлева К.Ю.

ОАО «РосНИТИ», Челябинск, Россия

yakovleva@rosniti.ru

Известно, что качественная оценка силовых параметров при обработке металлов давлением зависит, в том числе, от корректного задания коэффициента трения. В работе приведены результаты экспериментального исследования трибологических характеристик при волочении. Исследование по определению коэффициента трения реализовано с использованием оригинальной трибологической установки. Адаптация результатов, полученных на рассматриваемой трибологической установке, к действующей технологии процесса волочения труб в цехе В-2 ПАО «СинТЗ» выполнена с применением теории подобия. Результаты исследования использованы для оценки напряженно-деформированного состояния металла при волочении труб и последующем численном анализе эффективности использования ресурса пластичности в действующей технологии цеха В-2 ПАО «СинТЗ».

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРУЖИННОЙ КЛЕММЫ ПРИ УПРУГОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ*

Малаканов С.А., Железков О.С., Арзамасцева В.А.

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

samalkanov@mail.ru

В последнее время в нашей стране все шире внедряются железобетонные шпалы с пружинными клеммами для крепления рельсов. Использование рельсовых креплений с применением пружинных клемм позволяет существенно снизить затраты на текущее содержание пути. Например, применение бесподкладочного крепления ЖБР-65 по сравнению со креплением КБ позволяет сократить годовые расходы на текущее со-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00026 мол_а.

держание пути в 1,3 раза, трудозатраты в 2,7 раза. Скрепление ЖБР-65 с прутковой клеммой проявило себя как достаточно надежное и перспективное для дальнейшего использования.

На основе разрабатываемого комплексного критериального подхода проектирования многопереходных процессов пластического деформирования предложен один из геометрических критериев оценки крепежных изделий – формы поперечного сечения. Согласно данному критерию, наиболее рациональной является форма поперечного сечения, обеспечивающая соответствие изделия требованиям нормативной и технической документации при минимальной площади.

Рассматривался процесс упругого деформирования клеммы при затяжке резьбового элемента конструкции (путевой шуруп или гайка закладного болта). Моделирование процесса упругой деформации клеммы осуществляли с использованием программного комплекса «DEFORM-3D», который базируется на методе конечных элементов. Рассматривались четыре варианта поперечного сечения клеммы (круглое, овальное, квадратное и прямоугольное), имеющих одинаковую жесткость при нагрузке на клемму 30 кН, для чего подвижному инструменту задавалось перемещение ~15 мм. На основании выполненных расчетов получены данные о напряжениях и деформациях, возникающих как по длине клеммы, так и в её поперечных сечениях.

Адекватность применяемой математической модели проверяли путем проведения натурального эксперимента с сопоставлением результатов численного эксперимента. Натурный эксперимент осуществлялся с помощью электромеханической испытательной машины AG-50kNICD «Shimadzu» и специальной оснастки для осуществления процесса гибки прутка круглого сечения. Численный эксперимент проводился в «DEFORM-3D» при соблюдении подобных условий. Сравнивая результаты натурального и численного экспериментов, было установлено, что погрешность вычислений не превышает 8%.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ
НАСТРОЙКИ ОБЖИМНОГО СТАНА
НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛА
ПРИ ПРОКАТКЕ**

*Липин Д.А., Богатов А.А., Ерпалов М.В.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
dima.lipin.93@mail.ru*

Основным из направлений повышения эффективности технологии производства труб нефтяного сортамента является снижение себестоимости и повышение качества готовой продукции. Так с целью освоения производства труб из НЛЗ в условиях ПАО «СинТЗ» на ТПА-80 установлен трехвалковый обжимной стан винтовой прокатки. Его назначением является редуцирование трубной заготовки диаметром 150 и 156 мм до диаметра 120 мм, а также интенсивная проработка литой структуры металла и подготовка заготовки к прошивке.

Опыт производства труб на ТПА-80 с установленным в технологической линии обжимным станом выявил существенный недостаток, а именно образование дефектов на готовой продукции в виде раковин-вдавов по телу трубы и увеличение поперечной разностенности готовой продукции. Установлено, что причиной этих факторов является неравномерность деформации заготовок на обжимном стане, характеризующаяся образованием на концах прокатанной заготовки утяжин, которые приводят к образованию так называемых полуколец на заднем конце гильзы, а также к отклонению оправки прошивного стана от оси прокатки. Поэтому в работе поставлена задача изучения влияния настройки угла подачи и раскатки на образование утяжин, а также влияние настройки осевого смещения бочки валка на формоизменение металла при прокатке.

Для решения этой задачи были предложены варианты неточной настройки угла подачи $\beta=16\pm 2^{\circ}$, угла раскатки $\delta=12\pm 2^{\circ}$ и осевого положения одного валка $O=\pm 10$ мм от идеальной настройки. При этом было рассмотрено влияние параметров настройки стана на энергосиловые параметры обжатия заготовки, а также на форму и размеры образующихся в результате прокатки утяжин в программе Deform-3D.

Анализ полученных данных показал, что при отклонении от идеальной настройки обжимного стана по углу подачи, углу раскатки, а также по взаимному расположению валков вдоль главной оси стана момент прокатки увеличивается в среднем на 10–15%, что негативно сказывается на энергосиловых параметрах прокатки. Отклоне-

ние угла подачи, а также осевое смещение одного из валков стана сказывается на изменении величины силы прокатки незначительно. При изменении угла подачи передняя утяжина становится глубже на 3 и 7% соответственно и ее смещение относительно оси прокатки увеличивается, что негативным образом сказывается на разностенности прошиваемых заготовок. При уменьшении угла раскатки глубина утяжины на переднем конце заготовки увеличивается примерно на 8%. Изменение осевого положения валка на 10 мм в сторону выхода металла из очага деформации приводит к увеличению глубины утяжины до 9%. Резюмируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что наиболее влиятельным фактором с точки зрения разностенности получаемых в дальнейшем гильз является точность настройки угла подачи валков.

УДК 621.771

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МУЛЬТИ-РКУП-КОНФОРМ*

Фахретдинова Э.И.¹, Рааб Г.И.², Скрыбин И.В.¹

¹УФГБОУ ВО «УГАТУ», Уфа, Россия

²КФГАОВ ВО «КФУ», Казань, Россия

yelka89@mail.ru

В данной работе представлены исследование и элементы практической реализации нового метода интенсивной пластической деформации – Мульти-РКУП-Конформ. На базе предлагаемого метода разработана опытно-промышленная линия. С использованием данной линии были получены длинномерные полуфабрикаты из алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si. Специальная термическая и деформационная обработка позволяет получить образцы проволоки с прочностью до 350–380 МПа и электропроводностью до 57% IACS. Полученные свойства заметно превосходят свойства мировых аналогов электротехнической продукции, таких как «Сим-Росс-Ламифил».

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта №14-19-01062.

ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТОДОМ ВОЛОЧЕНИЯ СО СДВИГОМ

Рааб А.Г.¹, Чукин М.В.², Рааб Г.И.¹

¹ФГБОУ ВО «УГАТУ», Уфа, Россия

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

В представленной работе исследован метод волочения со сдвигом, основанный на совмещении процесса волочения и деформации кручением, приводящий к формированию упрочненного слоя. Исследования проводились с использованием математического и физического моделирования. Была проведена рационализация параметров обработки, разработан экспериментальный инструмент и получены образцы проволок из стали марки 10 методом «Волочение со сдвигом». Проведенные исследования полученных образцов показали, что предлагаемая деформационная обработка позволяет получить образцы проволоки с градиентным типом структуры и упрочнением до 700 HV в периферийной области поперечного сечения прутка.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ

Малашкин С.О., Сычков А.Б., Камалова Г.Я.

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия
malashckin.serzh@yandex.ru*

Для производства высококачественной проволоки из высокоуглеродистых сталей для армирования железобетонных шпал нового поколения [1] необходимо получение качественной исходной заготовки – проката в бунтах диаметром 16 мм из стали марки типа 80P со структурой сорбитизированного перлита с межпластинчатым расстоянием между ферритом и цементитом не более 0,2 мкм.

Негативными структурными показателями высокоуглеродистого бунтового проката, снижающими технологичность переработки проката на метизном переделе, являются грубодисперсная структура перлита и неравномерное распределение перлитной структуры по сечению проката, наличие мартенситных и цементитных участков [2, 3].

Методами математического и физического моделирования процесса двустадийного охлаждения в потоке линии *Stelmor* бунтового проката

с использованием программной среды *DEFORM 3D + HEET TREATMENT* [4] и научного комплекса по физической имитации температурно-временных и деформационных процессов *GLEEBLE 3500* [5] проведено исследование различных режимов и поиск их наилучших результатов.

В результате проведенных исследований определены эффективные температура аустенитизации (примерно 980°C) перед воздушным охлаждением бунтового проката и скорости воздушного охлаждения (на уровне 31°C/с). Эти параметры охлаждения позволили получить наилучший комплекс структурных составляющих. Так, количество тонкодисперсного перлита 1 балла по ГОСТ 8233 составило 70–80% на поверхности и 60–70% в середине поперечного сечения. Однородное распределение перлита 1 балла, остатки сетки феррита и/или цементита и отсутствие закалочных структур по всему сечению бунтового проката обуславливают применение такого металла при волочении без использования дополнительной термической обработки – патентирования. При этом формируется комплекс механических свойств, соответствующий требованиям стандартов и заказчиков и сочетающий как высокие прочностные, так и пластические свойства [6–8].

Литература

1. Производство высокопрочной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / под общ. ред. М.В. Чукина. – М.: Металлургиядзат, 2014. – 276 с.
2. Повышение равномерности охлаждения витков катанки на роликовом транспортере современного проволочного стана / А.А. Горбанев, В.В. Филиппов, С.М. Жучков и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 3. – С. 44–47.
3. *Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки*/А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, С.О. Малашкин и др. – Магнитогорск: изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 257 с.
4. Лицензия: Machine 38808. «DEFORM» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.«DEFORM».com/products/«DEFORM»-3d/>
5. Использование комплекса Gleeble 3500 для определения критических точек микролегированной стали 80P / Д.М. Чукин, А.И. Мешкова, А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов // *Международ. науч. исследов.* – 2012. – № 5–2 (5). – С. 131–133.
6. Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80P в условиях ОАО «ММК» / А.Г. Корчунов, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков и др. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2013. – № 2 (42). – С. 29–35.
7. Особенности технологии производств высокоуглеродистой катанки / А.Б. Сычков, В.В. Парусов, Ю.А. Ивин и др. // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1. – С. 38–42.
8. Сычков А.Б., Малашкин С.О., Жигарев М.А. Развитие устройств и способов для термической обработки катанки // *Сталь*. – 2015. – № 10. – С. 50–54.

РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛОШНЫХ И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛЕНТ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Свердлик М.К., Песин А.М., Пустовойтов Д.О.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия,
mikhail-sverdlik@hotmail.com*

Производство новых легких, сверхпрочных и пластичных материалов для аэрокосмической, оборонной, автомобильной и других отраслей промышленности является одним из ключевых направлений развития научно-технического прогресса.

В связи с активным использованием алюминия в авиа- и машиностроении создание ультрамелкозернистых (УМЗ) материалов на основе алюминия с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД) с целью повышения прочностных и пластических свойств является перспективным.

Однако с тех пор, как авиа- и ракетная промышленности превысили сверхзвуковые скорости, необходимо получение материалов, стабильно работающих под воздействием высоких температур, давлений и агрессивных сред. Таким требованиям отвечает титан и его сплавы. В связи с этим является интересным получение слоистых металлов (биметаллов) с ультрамелкозернистой структурой.

Цель работы – улучшение геометрических характеристик сплошных и биметаллических лент и формирование ультрамелкозернистой структуры цветных металлов на основе развития подходов асимметричной прокатки.

Для достижения сформулированной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Определение граничных и начальных условий для описания процессов асимметричной прокатки сплошных и биметаллических лент с помощью программного комплекса DEFORM 2D.

2. Определение необходимых и достаточных условий получения ультрамелкозернистой структуры при асимметричной прокатке сплошных лент из сплавов на основе алюминия.

3. Определение условий прямолинейного движения биметаллической ленты Ti-Ni и получения ультрамелкозернистой структуры каждого из слоев и интерметаллидного слоя при асимметричной прокатке.

4. Проверка адекватности полученных результатов и внедрение результатов исследования.

**УСТАНОВКА РЕДУЦИРУЮЩЕГО ПРЕССА
В ЧЕРНОВОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ СТАНА 2000
ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕПОЧКИ «ККЦ – ЛПЦ-10»**

Волков А.И.

*ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия
tema.volkov@gmail.com*

Производство листовой продукции в современных условиях считается прогрессивным, когда листы катанут из непрерывнолитых слябов. Для прокатки листов всего сортамента по ширине требуется большое количество типов слябов, различающихся по ширине, толщине и длине. Для получения слябов различной ширины необходимо при разливке менять кристаллизаторы, что является непростой операцией и сопровождается, кроме того, необходимостью переходить и на новый технологический режим разлива и охлаждения металла. Установление оптимальной скорости разлива и режима охлаждения связано, как правило, с определенными и неизбежными неполадками, которые в конечном итоге могут сказаться на качестве металла. Для повышения эффективности производства в связке разливка-прокатка возникла необходимость реконструкции черновой группы, а именно в установке редуцирующего пресса взамен ВОЛА, которая решила бы следующие задачи:

1. Уменьшение количества типоразмеров литых слябов с целью совершенствования технологии непрерывной разливки стали.
2. Обеспечение любой градации ширины готовых листов от 750 до 1850 мм.
3. Уменьшение расхода металла благодаря снижению торцевой обрезки раскатов перед чистой группой клетей.

Данные задачи можно осуществить путем обжатия боковых кромок литых слябов по ширине в агрегате редуцирования (пресс для обжатия кромок фирмы «Mitsubishi-Hitachi») взамен устаревшей технологии обжатия слябов в вертикальном окалиноломателе.

При использовании данной технологии максимальное обжатие по ширине составит 350 мм против 150 мм по существующей технологии, что позволит сократить количество типоразмеров кристаллизаторов для выплавки слябов с 16 до 4 шт. при обеспечении градации ширины готовой листовой продукции от 750 до 1850 мм с любым шагом.

В результате предлагаемых изменений простой МНЛЗ по причине смены ширины кристаллизатора снизятся на 50%, что даст прибыль в размере 4,2 млрд руб. в год. Уменьшится удельная обрезь на 1 т готовой продукции перед чистой группой на 45%, что дает годовую экономию до 55 млн руб. Таким образом, при капитальных затратах около 15,5 млрд руб. срок окупаемости составит не более 4-х лет.

ПРОКАТКА АСИММЕТРИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕСТИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»

*Губанов С.А., Чикишев Д.Н.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
gybanov@inbox.ru*

В ОАО «ММК» при анализе соответствия механических свойств чёрной жести требованиям нормативной документации, время от времени, наблюдаются выпадения по показателям глубины лунки по Эриксену и твёрдости по Супер-Роквеллу HR30Ta. Повышенные значения твёрдости и сниженная глубина лунки говорят о наличии остаточных напряжений в листе. Исследование микроструктуры проката выявило наличие нерекристаллизованных зёрен. Такие характеристики свидетельствуют о нарушении режимов в агрегате непрерывного отжига (АНО). При контроле технологии на агрегате непрерывного отжига были зафиксированы нарушения температурного и скоростного режимов (значительное снижение температуры и скорости). Анализ причин нарушения температурно-скоростных режимов отжига выявил, что снижение производилось из-за наличия односторонней волнистости и местной коробоватости. Повышенные значения неплоскостности не позволяет должным образом центрировать полосу в печи, вследствие чего происходит соприкосновение кромок со стенками печи и возникает вероятность обрыва. Также при огибании полосой роликов происходит образование дефекта «складка» (неустраняемый дефект), из-за чего операторам АНО приходится снижать скорость и температуру в агрегате.

Повышенная неплоскостность полосы является прокатным дефектом. Маршрут производства чёрной жести в ОАО «ММК» выглядит следующим образом: выплавка и разливка стали в ККЦ – прокатка на широкополосном стане 2000 в ЛПЦ 10 – травление проката в ЛПЦ-5 – затем травлёные рулоны поступают в ЛПЦ-3, где происходит продольный роспуск рулона на две полосы, прокатка на стане 1200 холодной прокатки, отжиг в колпаковых печах или в агрегате непрерывного отжига.

Отличительной особенностью производства жести на ММК является продольный роспуск горячекатаного травленного рулона перед станом холодной прокатки на линии продольного роспуска ЛПР. При этом поперечный профиль – чечевица делится надвое, и в результате подкат перед станом 1200 холодной прокатки имеет клиновидный профиль. Для снижения величины клина нормативной документацией определяются жёсткие требования к горячекатаному прокату в отношении поперечной разнотолщинности (до +0,04 мм с выпуклым профилем – чечевицей). Исследование дефектов неплоскостности в ЛПЦ-3 показало, что наибольшее количество

замечаний к геометрии полосы приходится на прокат толщиной 0,16–0,20 мм. Подкатом для производства жести данного диапазона толщин является горячекатаный прокат 1,8–2,0 мм.

Симметричное разделение чечевичного профиля и, как следствие, получение клиновидного поперечного сечения формирует неравномерности обжатий и вытяжек по ширине, что и приводит к образованию одно-сторонней волнистости. При несимметричном роспуске г/к рулона профиль полосы имеет вид смещённой чечевицы, при котором после холодной прокатки на более широкой полосе наблюдается дефект «коробоватость».

Для организации мероприятий, направленных на снижение неплоскостности холоднокатаной полосы и разработки эффективного режима прокатки была построена математическая модель формирования поперечного профиля при прокатке на стане 1200. В дополнение по полученным значениям неравномерности деформации по ширине была произведена оценка величины отклонения полосы от плоскости. Для определения величины неплоскостности решалась задача нахождения высоты сегмента окружности (входными величинами являются длина дуги и хорды).

Описание чечевичного профиля г/к подката, полученного с ШСГП 2000, осуществляется полиномом второй степени

$$h_i = -7 \cdot 10^{-8} B^2 + 4 \cdot 10^{-18} B + H_0 + 0,04.$$

Затем производился расчёт поперечного сечения прокатанного листа, а также разница вытяжек по ширине. Расчётные значения деформации и вытяжки говорят о том, что разница в длине правой и левой части холоднокатаного рулона составляет порядка 66 м (1,93%) при прокатке г/к рулона длиной 300 м и толщиной 2,0 мм, с чечевицей 0,04 мм. При этом следует учитывать, что при прокатке на стане 1200 профиль г/к проката частично переходит на профиль холоднокатаного листа. То есть клиновидность +0,04 мм на г/к рулоне может составлять 0,01–0,03 мм, что превышает требования ГОСТ 13345.

При расчёте получается, что применение более толстого подката приводит к снижению разницы вытяжек левой и правой частей полосы при сохранении чечевичного профиля на г/к подкате величиной 0,04 мм. Однако при этом возникает проблема превышения энергосиловых параметров в рабочих клетях стана. При этом величина отклонения от плоскости всё равно имеет большое значение, неприемлемое для отжига металла в АНО.

С целью обеспечения равномерности вытяжек по ширине листа был произведён расчёт необходимой величины перекоса рабочих валков клетей стана 1200. При этом учитывались ограничения по разнотолщинности листа,

предусматриваемые нормативной документацией (ГОСТ 13345), и минимизация при этом неравномерности обжатия по ширине распускного рулона. Величина суммарно перекоса нажимных механизмов рабочих клетей при прокатке жести толщиной 0,18 мм из подката 2,0 мм составляет 0,036 мм. Разница вытяжек по ширине снижается до 0,55%, при этом величина отклонения одной из кромок листа от плоскости уменьшилась примерно в 2 раза (с 86 до 45 мм). Данный перекокс обеспечивает поперечную разнотолщинность, лежащую в допусках, предусмотренных ГОСТ 13345.

Предложенное мероприятие, к сожалению, не является достаточно эффективным ввиду ограничений точности при настройке клетей стана и может рассматриваться как временное решение проблемы. Для полного решения проблемы необходима реконструкция стана 1200 с установкой современных систем контроля и регулирования поперечного и продольного профиля, а также пересмотр режимов прокатки на ШСГП 2000 с целью минимизации поперечной разнотолщинности. Также решением может послужить установка в линии агрегата непрерывного отжига изгибо-растяжной машины, с помощью которой удавалось бы устранять критические отклонения от плоскости. В дополнение стоит поднять вопрос об изменении формирования показателя поперечной разнотолщинности. В отечественных стандартах в большинстве случаев оценка разнотолщинности осуществляется в абсолютной величине (мм). Но производственный опыт говорит о необходимости внедрения относительных показателей выражающихся в долях или процентах от номинальной толщины полосы.

УДК 621.924 : 621.771

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЛИСТА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ДРОБЕМЕТНОЙ УСТАНОВКИ

Звягина Е.Ю.

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

Современные конструкции дробеметных установок, используемых для насаживания поверхности прокатных валков, характеризуются неравномерной плотностью факела дробы, направленного на рабочую поверхность прокатного вала.

Исследования по распределению плотности факела дробы в плоскости, перпендикулярной его оси, показали, что наибольшей плотностью дробы характеризуется центральная часть факела, а наименьшей – его пе-

риферийная часть, что не позволяет обеспечить равномерность параметров шероховатости насеченной поверхности.

Поскольку площадь валка в плоскости, перпендикулярной оси факела дробы, значительно меньше площади, охватываемой факелом дробы, то часть дробы не участвует в процессе насечки валков и расходует вхолостую. Дробь, которая участвует в насечке, использует не полностью свою кинетическую энергию. Энергия отскочившей дробы далее не используется, поскольку гасится после соударения о стенки камеры дробеметной установки.

С целью более полного использования кинетической энергии дробы и улучшения равномерности распределения плотности факела дробы авторами работы было предложено установить металлические шторы в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения дробеметного колеса. Шторы представляют собой металлические пластины из стали 30 размерами 500×170×10 мм, которые прикреплялись к швеллерам дробеметной камеры болтами М12. Установка штор обеспечивает формирование факела дробы с меньшей площадью и большей плотностью ударов дробы. Большая плотность факела дробы способствует формированию шероховатости насечаемой поверхности валка с большим числом пиков на единицу длины шероховатости.

Предварительные исследования показали, что скорость дробы после соударения со шторой меняет не только направление, но и величину. Изменение направления и уменьшение скорости дробы после соударения со шторой зависит от условий трения между дробью и поверхностью шторы, а также от угла атаки. Исследованиями установлено, что угол отскока дробы от шторы незначительно отличается от угла атаки. Уменьшение скорости дробы после соударения со шторой зависит от коэффициента трения и угла атаки. Чрезмерное снижение скорости дробы после соударения со шторой создает нежелательный экранирующий эффект для других дробин, которые направлены непосредственно на поверхность валка. Чем больше снижение скорости дробин после соударения со шторками, тем явнее выражен экранирующий эффект. С целью определения рационального расположения штор выполнены расчеты и определены зависимости между углом атаки, условиями трения и потерей скорости дробы после соударения со шторой.

Потеря скорости дробы после отскока от шторы на 10% и более вызывает экранирующее действие по отношению к дробы, непосредственно направленной на поверхность валка. Согласно приведенным графикам (рис. 1) потери скорости дробы менее 10% соответствуют углу атаки в диапазоне углов менее 23–28° в зависимости от характера взаимодействия дробы со шторой.

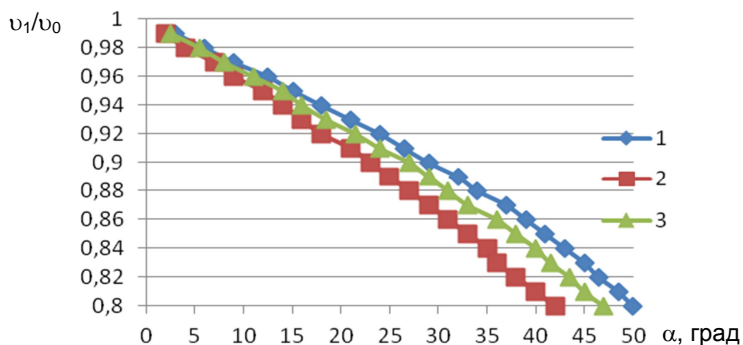


Рис. 1. Влияние угла атаки на потерю скорости дроби после взаимодействия со шторой в различных условиях: 1 – предварительное смещение; 2 – предварительное смещение и частичное скольжение; 3 – скольжение

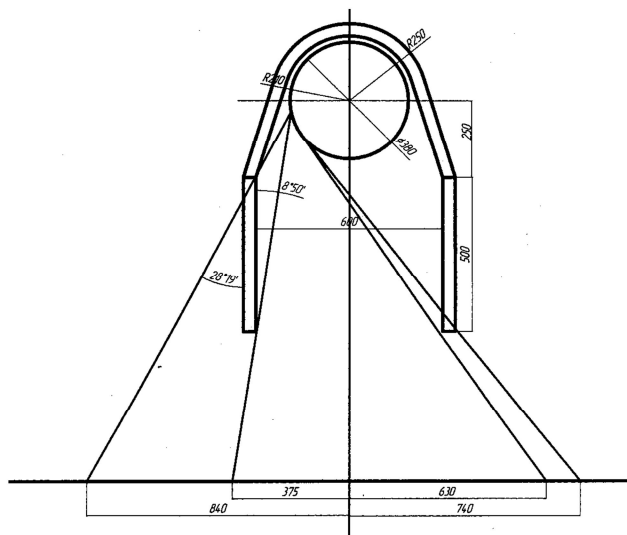


Рис. 2. Схема установки штор на дробеметной установке Виллибратор

Рис. 2 показывает, что значения углов атаки дроби по отношению к поверхности шторы, установленные по ходу вращения дробеметного колеса, изменяются в пределах $8^{\circ}50'$ и $28^{\circ}19'$, что соответствует соотношению $\frac{v_1}{v_0}$ от 0,97 до 0,88. Это обеспечивает допустимое экранирующее действие отскакивающей от штор дроби.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ЛИСТА И КАЧЕСТВО ШТАМПУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Бекмансуров Р.Р., Бурдуковский В.Г.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
graimys@yandex.ru*

Автолистовые стали являются одними из наиболее сложных видов массовых высококачественных конструкционных материалов. В настоящее время новые марки стали, обеспечивающие основные требования к свойствам изделий, такие как прочность и пластичность, диктуются повышением требований к безопасности автомобиля. На качество штампуемых изделий из автомобильного листа влияют технологические параметры его изготовления.

Процедуру поиска и принятия оптимальных технологических параметров можно существенно формализовать, применив методологию научной дисциплины – квалиметрии.

С позиции положений квалиметрии множество технологических параметров F , обеспечивающих уровень качества листового металла, идущего на штамповку, можно представить совокупностью подмножеств, связанных условием

$$F = F_i^m \cup F_j^k \cup F_l^q \cup F_c^d,$$

где F_i^m – величина технологических параметров и свойств металла.

Предполагая существование некоторого функционала, описывающего качество штампуемых изделий, его можно записать

$$K(F) = \Phi[K_m(F_i^m), t].$$

С учетом иерархии величин технологических параметров, показатель качества изделий из листа определяется операцией суммирования комплексных показателей сложных нормированных величин технологических параметров.

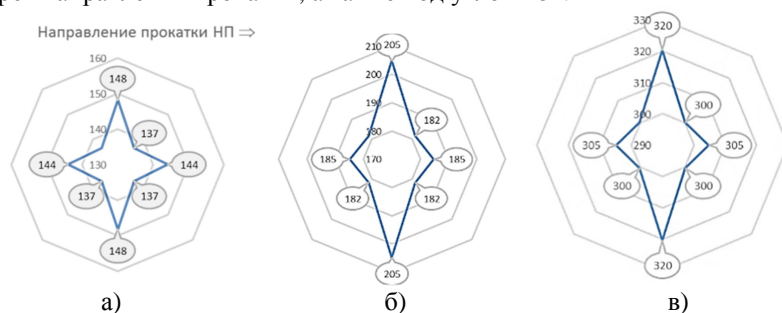
Проведя анализ технологии производства листа с разными технологическими параметрами и определяя комплексные показатели, можно выбрать наиболее оптимальный набор технологических параметров, обеспечивающих качество штампуемых изделий из автолиста.

Такой анализ на основе предполагаемой методики можно осуществить также на основании анализа литературных данных производства штампуемых изделий из современных сталей

АНИЗОТРОПИЯ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6061

Головнин М.А., Логинов Ю.Н.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
max-golovnin@yandex.ru

Существующая технология производства плоского проката из алюминиевых сплавов основана на методе литья и последующей прокатки, осуществляемых в неоднородном поле действия напряжений, температур, разнообразных граничных условий*, что приводит к формированию анизотропных свойств конечного продукта. В данной работе выполнено исследование характера изменения механических свойств листа из сплава 6061 в трех состояниях: после прокатки, после закалки и после искусственного старения, при этом измерения выполнялись вдоль и поперек направления прокатки, а также под углом 45°.



Изменение временного сопротивления (МПа) в зависимости от угла вырезки образцов: после горячей прокатки (а), после проведения закалки (б), после проведения искусственного старения (в)

На рисунке показано, что временное сопротивление сплава после прокатки примерно одинаково вдоль (НП) и поперек (ПП) направления прокатки, но снижено под углом 45°. После закалки увеличилась разница между временным сопротивлением ПП и НП, а под углом 45° оно осталось минимальным. Та же тенденция наблюдается после старения, но естественно, что сами значения прочностной характеристики оказались намного выше.

После обработки всех результатов измерений установлены следующие закономерности.

* Логинов Ю.Н., Середкина М.Ю. Исследование скоростного режима прокатки сляба из алюминиевого сплава с использованием МКЭ // Технология легких сплавов. – 2015. – № 3. – С. 121–126.

1. В состоянии после прокатки, в состоянии после закалки и в состоянии после старения временное сопротивление и условный предел текучести максимальны поперек направления прокатки и минимально под углом 45° .

2. Относительное удлинение до разрыва максимально в направлении прокатки после закалки и под углом 45° в состаренном состоянии. Оно минимально поперек направления прокатки.

3. Наиболее изотропные свойства наблюдаются в горячекатаном состоянии.

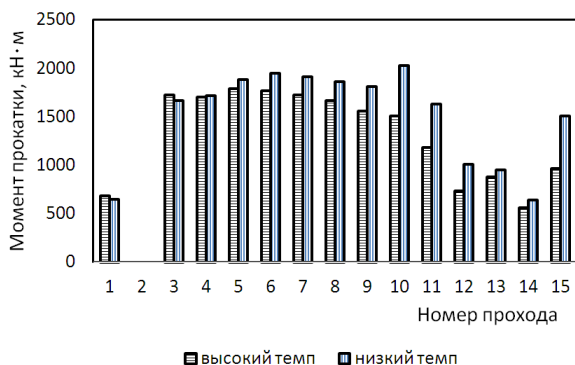
УДК 621.771

ОЦЕНКА НАГРУЗКИ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Снегирев И.В., Логинов Ю.Н.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
igor_snegirev@mail.ru

Цель работы заключалась в оценке нагрузки стана горячей прокатки алюминиевых сплавов при различных скоростных режимах работы. Параллельно расчетам выполнялась промышленная прокатка листов из алюминиевого сплава 6061 при цикле прокатки 250 (высокий темп) и 312 с (низкий темп). Ставилась задача сравнить нагрузки на стан и оценить изменения в свойствах полученного проката. Исходные данные для расчета соответствовали параметрам, применяемым в практике работы конкретного предприятия: стан кварто с рабочими валками радиусом 433 мм, исходная заготовка имеет толщину 445 мм, ширину 1340 мм и длину 1500 мм, прокатка ведется до конечной толщины 23,6 мм при наличии эджерных проходов и промежуточных кантовок в горизонтальной плоскости.

На рисунке отражены значения моментов, рассчитанных по традиционной методике, применяемой в теории плоской прокатки с использованием рекомендаций, изложенных в статье [1]. Как видно из рисунка, в первых проходах нагрузки на привод оказываются при высоком темпе прокатки. Это объясняется эффектом скоростного упрочнения металла [2]. Тенденция изменяется в пятом проходе прокатки: при низком темпе прокатки нагрузки становятся больше, что объясняется большим снижением температуры.



Значения моментов прокатки по номерам проходов для различных темпов прокатки

Выполненные измерения нагрузок в промышленном процессе подтвердили наличие такого эффекта. Кроме того, показан характер изменения механических свойств проката.

Литература

1. Логинов Ю.Н. Анализ энергозатрат при горячей прокатке листовых полуфабрикатов из алюминия // Производство проката. – 2005. – № 4. – С. 19–24.
2. Логинов Ю.Н., Середкина М.Ю. Исследование скоростного режима прокатки сляба из алюминиевого сплава с использованием МКЭ // Технология легких сплавов. – 2015. – № 3. – С. 121–126.

УДК 621.777

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЕРНСА В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Тугбаев Ю.В., Логинов Ю.Н.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
chilly_willy1@mail.ru*

Некоторые усовершенствования в технологии производства циркониевых сплавов опираются на особенность кристаллического строения этих материалов на основе гексагональной плотноупакованной решетки. Например, фирмой Westinghouse Electric Corporation предложено использовать операцию уменьшения диаметра трубы с рекомендованным уменьшением толщины стенки.

Это приводит к достижению деформации сжатия в радиальном направлении ($\varepsilon_r < 0$) и такую же деформацию сжатия в тангенциальном

направлении ($\varepsilon_\varphi < 0$) при наличии деформации растяжения вдоль длины заготовки ($\varepsilon_z > 0$). Наличие деформации сжатия в радиальном направлении приводит к формированию радиальной текстуры и увеличению параметра Кернса f_r с 0,33, характерного для нетекстурованного состояния, до 0,50. Дальнейшее увеличение параметра Кернса можно обеспечить применением приемов прессы раздачи со сменой знаков компонентов тензора деформации. Следует отметить, что из-за близости параметров решетки поведение циркониевых сплавов сходно с поведением альфа-титановых сплавов*, что позволяет применить решение краевых задач для тех и других материалов.

По методике, предложенной Л.Г. Степанским, в сферических координатах распределение компонентов девизатора скоростей деформации ξ_{ij} ($i, j = r, \theta, \varphi$) в пластической зоне при прессовании трубы выглядит следующим образом:

$$\xi_{\rho\rho} = 2v \frac{b^2 - c^2}{(\rho^2 - c^2)^2} \rho \cdot \cos \theta; \quad (1)$$

$$\xi_{\theta\theta} = -v \frac{(b^2 - c^2)(\rho^2 \sin^2 \theta + c^2 \sin^2 \theta_1) \cos \theta}{\rho(\rho^2 - c^2)^2 \sin^2 \theta}, \quad (2)$$

где v – скорость пуансона;

θ_1 – угол наклона образующей матрицы.

$$a = \frac{d}{2 \cdot \sin \theta_1}; \quad b = \frac{D}{2 \cdot \sin \theta_1}; \quad c = \frac{d_{\text{и}}}{2 \cdot \sin \theta_1},$$

где $d, D, d_{\text{и}}$ – диаметры трубы, контейнера и иглы.

Применяя формулы (1) и (2), можно рассчитать компоненты тензора скорости деформации, получить их соотношение, оно будет равно соотношению компонентов тензора деформаций.

Расчеты, выполненные по формулам (1) и (2), показывают, что при изменении геометрии исходной заготовки и инструмента можно изменять соотношения между $\xi_{\rho\rho}$ и $\xi_{\theta\theta}$ в сферических координатах, а значит и между ξ_{rr} и $\xi_{\varphi\varphi}$ в цилиндрических координатах. Это приводит к изменению параметров Кернса, следовательно, и к изменению текстурного состояния циркониевых сплавов.

* Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования α -титановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры // Технология легких сплавов. – 2012. – № 3. – С. 79–87.

УДК 621.774

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ ПИКОВЫХ
НАГРУЗОК ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБ И РАЗРАБОТКА
ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

Фокин Н.В.

*ОАО «РосНИТИ», Челябинск, Россия,
fokin@rosniti.ru*

Процесс прессования труб из труднодеформируемых сталей и сплавов сопровождается высокими значениями усилия на деформирующий инструмент прессов. Так, при изготовлении горячепрессованных труб из специальных сталей и сплавов, характеризующихся высокими значениями сопротивления металла горячей пластической деформации, усилия действующих в ТПЦ-2 АО «ВТЗ» прессовых линий является недостаточным. Вместе с этим увеличение усилия прессования сопровождается возникновением пиковой нагрузки, снижение которой должно обеспечить расширение сортамента ТПЦ-2 в области трубной продукции из малопластичных металлов и сплавов.

В работе представлен комплекс новых технических решений для прессования полых профилей, обеспечивающих повышение эффективности трубопрессовых систем за счет снижения пиковых нагрузок.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование новых технических решений, возможных быть реализованными в условиях ТПЦ-2 АО «ВТЗ».

Приведен расчет ожидаемого экономического эффекта от использования новых технических решений, обеспечивающих снижение пикового усилия и расширение сортамента ТПЦ-2 АО «ВТЗ» в области труднодеформируемых материалов. Представлены результаты опытно-промышленного опробования новых технических решений, реализуемых в соответствии с Программой.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ИЗ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

*Кунгуров Е.А., Богатов А.А., Ерпалов М.В.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
kungurov-evgeniy@yandex.ru*

На трубных заводах России и в мировой практике производство горячекатанных труб основано на использовании непрерывнолитых заготовок (НЛЗ), т.к. по сравнению с катаной заготовкой себестоимость производства труб снижается на (8–10)%. В ПАО «СинТЗ» использовалась катаная заготовка диаметром 120 мм. В настоящее время большая часть сортамента труб ТПА–80 производится с применением непрерывнолитой заготовки диаметром (150–156) мм производства ПАО «СевТЗ». Для освоения нового производства в линии ТПА–80 установлен трехвалковый стан винтовой прокатки с обжатием НЛЗ до диаметра 120 мм. Применение схемы винтовой прокатки для обжатия непрерывнолитых заготовок объясняется рядом ее преимуществ перед другими способами деформации. В первую очередь, при больших значениях угла подачи при винтовой прокатке развиваются процессы интенсивной сдвиговой деформации, что обеспечивает качественную проработку литой структуры металла по всему сечению слитка. Обжимной стан имеет чашевидную калибровку валков, что объясняется необходимостью обжатия литого металла, обладающего низким уровнем пластических свойств, также чашевидная схема расположения валков характеризуется меньшей подводимой мощностью и меньшим износом валков, по сравнению с грибовидной и бочковидной схемами.

Для оценки эффективности использования непрерывнолитых заготовок на ТПА–80 проведен сравнительный анализ эволюции зеренной структуры металла, а также уровня механических свойств труб в процессе производства по старой и новой технологии. Работа выполнена для двух марок стали 32ХГ и 38Г2СФ. Эти исследования показали, что уже после обжимного стана размер аустенитного зерна в 5–6 раз меньше размера зерна катаной заготовки, изготавливаемой в ОАО «Евраз НТМК». Уровень механических свойств на готовых насосно-компрессорных трубах после прокатки и последующей термообработки соответствует требованиям API Specification 5CT и ГОСТ 633-80. Однако разброс уровня механических свойств труб, полученных из НЛЗ, меньше, чем из катаной заготовки.

В механике обработки металлов давлением можно указать на две актуальные научные проблемы, связанные с созданием алгоритмов и программ исследования процессов эволюции зеренной структуры и разупрочнения металла в технологических процессах ОМД. В связи с этим на кафедре обработки металлов давлением УрФУ одним из научных направлений является разработка методики и оборудования для изучения

процессов упрочнения и разупрочнения, а также построения диаграмм структурного состояния сталей и сплавов при обработке давлением. Разрабатываемое оборудование можно использовать для физического моделирования процессов разрушения металла при обработке металлов давлением, в частности для изучения механизма образования плен на внутренней поверхности гильз при винтовой прошивке.

УДК 621.778

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КРУГЛОЙ ПРОВОЛОКИ

Усанов М.Ю., Харитонов В.А.

*Филиал ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в Белоречье
barracuda_m@mail.ru*

Материалы с ультрамелкозернистой структурой обладают уникальным комплексом физико-механических свойств. Поэтому разработка способов получения материалов с такими структурами является актуальной задачей.

В последнее время было предложено много способов, однако их трудно применить к действующему промышленному оборудованию.

В работе смоделированы в программном комплексе Deform-3d способы, которые широко применяются при получении круглой проволоки. К таким способам относятся волочение в монолитных волоках и волочение в роликовых волоках. Проведен анализ характера течения металла, напряженно-деформированного состояния, а также предложены пути повышения эффективности способа волочения проволоки.

УДК 621.771 : 621.762

ТЕХНОЛОГИИ И КОНСТРУКЦИИ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ КОМПАКТИРОВАНИЯ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ПОРОШКОВ ВОЛЬФРАМА И УГЛЕРОДА

Латфулина Ю.С., Самодурова М.Н., Барков Л.А., Закиров Р.А.

*ФГБОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», Челябинск, Россия
sm@susu.ac.ru*

Представлен анализ известных и новых технологий и конструкций пресс-форм для формования газонасыщенных порошков вольфрама и порошковых композиций углерода, выполненных на основе изобретений ученых ЮУрГУ. При компактировании порошковых материалов

наибольший интерес представляет физическая адсорбция, при которой молекулы газов и паров жидкостей удерживаются на поверхностях отдельных частиц порошковых смесей силами Ван-дер-Ваальса (ванн-дер-ваальсова адсорбция). Изучение адсорбции показало, что скорость газонасыщения частиц очень велика. Так, древесный уголь насыщается молекулами диоксида углерода, располагающимися в два, три и более слоя, менее чем за 20 с. Кроме углеродных порошков высокой способностью к адсорбции на поверхностях частиц порошков молекул газов и паров жидкостей обладают тугоплавкие металлы (ниобий, вольфрам, молибден и др.). Причем объем адсорбированных газов и паров жидкостей зависит от суммарной поверхности отдельных частиц порошков этих металлов, а поскольку все порошки тугоплавких металлов ультрамелкозернисты (средний размер частиц находится в диапазоне 1–3 мкм и менее), то адсорбционная способность порошков этих металлов очень велика.

Показателем газонасыщенности порошков, как металлов, так и неметаллов, служит их насыпная плотность. Насыпная плотность порошков вольфрама находится в пределах от 1,2 до 2,5 г/см³. По сравнению с порошками других металлов относительная насыпная плотность необычно низка и находится в пределах 0,06–0,12 от плотности беспористого вольфрама. Размерный ряд и средние размеры частиц порошков также необычны для порошков других металлов, т.е. находятся в пределах 1–3 мкм.

Высокая газонасыщенность порошков вольфрама, как и других тугоплавких металлов, усложняет технологию получения из них компактных полуфабрикатов (штабиков) и требует разработки пресс-форм специальных конструкций.

УДК (539.376 + 621.774) : 622.69

О ХРУПКОМ И ВЯЗКОМ РАЗРУШЕНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Рогожина К.П.

*ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург
k.p.rogozhina@gmail.com*

Одним из требований, предъявляемых к трубам для магистральных газопроводов, является способность противостоять протяженным разрушениям, остановке трещин в пределах первых двух-трех труб. Основной металл труб испытывают на растяжение, ударный изгиб и определяют долю вязкой составляющей при испытании падающим грузом. В последние 15–20 лет возникла проблема научного обосно-

вания нормативного уровня ударной вязкости в связи с исследованием и внедрением в промышленности особо прочных марок стали, предназначенных для газопроводов высокого давления (15–25 МПа). В настоящее время оценку сопротивления протяженному разрушению на основе сопоставления скорости роста трещины и скорости декомпрессии в трубопроводе в соответствии с *ISO 3183* осуществляют по следующим методикам: по величине ударной вязкости, исходя из метода «двух кривых» института Бателли; по величине ударной вязкости, рассчитанной по формуле Американского института стали и чугуна (*AISI*); по величине ударной вязкости, исходя из упрощенной формулы института Бателли; по величине ударной вязкости на основании подходов *EPRG* (Европейская научно-исследовательская группа по трубопроводам); с помощью полномасштабных пневматических испытаний. Однако, по мнению специалистов *EPRG*, эти методики для сверхпрочных трубных сталей (более X80), эксплуатируемых в суровых климатических условиях с давлением $P > 15$ МПа, не обеспечивают достоверных результатов и требуют проведения полномасштабных полигонных испытаний.

Кафедрой ОМД УрФУ предлагается изучать вязкое распространение магистральных трещин в трубопроводах на основе механики вязкого разрушения, оценки напряженно-деформированного состояния металла на фронте магистральной трещины и модели трещинообразования в газопроводе. Характер разрушения газопровода можно оценить с помощью диаграммы пластичности, характеризующей зависимость пластичности металла ϵ_{up} от показателей напряженного состояния σ/T и μ_σ . На фронте распространяющейся трещины размеры трубы, толщина стенки и длина остаются неизменными, поэтому деформированное состояние является плоским, т.е. показатель Лодэ $\mu_\sigma = 0$. При значении показателя $\sigma/T > (\sigma/T)$ сталь охрупчивается и пластичность $\epsilon_{up} = 0$. Методом линий скольжения было показано, что на фронте распространения макротрещины протяженной области пластической деформации определяется по формуле $h = 3,81 \cdot r_0$, где r_0 – радиус трещины у ее вершины. Показатель напряженного состояния имеет значение при $\rho = 4,81 \cdot r_0 - \sigma/T = 4,14$, а при $\rho = r_0 - \sigma/T = 1$. Раскрытие макротрещин сопровождается увеличением радиуса при величине от r_0 до r_1 . В работе представлен новый критерий трещиностойкости стали, основанный на анализе диаграммы пластичности сталей в области показателя $\sigma/T \approx 4,14$, высказаны идеи разработки методики построения диаграммы и нового критерия трещиностойкости высокопрочной стали.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ ИЗ ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ МАРОК СТАЛИ ТИПА IF

Тихановский Д.А.

*ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И.Носова», Магнитогорск, Россия
daniel07111993@gmail.com*

Развитие современного рынка металлопродукции диктует необходимость поиска новых технологических решений при производстве как имеющегося на предприятии сортамента, так и вновь осваиваемого. В наибольшей степени это относится к так называемой продукции глубокой переработки, к которой можно отнести холодногнутые электросварные трубы.

В данном сегменте в последнее время ведутся поисковые и научно-исследовательские работы по повышению качества изготавливаемых труб, в частности увеличению коррозионной стойкости. В связи с этим представляет практический и научный интерес возможность изготовления электросварных холодногнутой труб из высокопластичной марки стали IF стали. Трубы из этой марки стали не ржавеют, что дает возможность применять подобное изделие для наружных работ даже в регионах с влажным климатом.

Для всесторонней оценки возможности перехода на производство труб из новой марки стали типа 006/IF в линии ТЭСА 10-60 ОАО «ММК» была изготовлена опытная партия труб с содержанием углерода в стали до 0,005%, которая на первом этапе показала принципиальную возможность изготовления таких труб. Следующим этапом исследования является проведение коррозионных испытаний, анализ полученных механических свойств, геометрических параметров и технологичность процесса с точки зрения перспектив массового производства и обеспечения требуемого уровня качества.

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Сидоров В.А., Салихьянов Д.Р.

*ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
vladislav-sidorov-1993@mail.ru*

Обводнение скважины и потеря герметичности насосно-компрессорной трубы являются основными причинами, приводящими к остановке и ремонту скважины. Затраты на восстановление работоспособности одной нефтедобывающей скважины после аварии составляют около 380 тыс. рублей. Основными причинами разрушения НКТ является воздействие агрессивных веществ (сероводорода H_2S , углекислого газа CO_2) и бактерий в добываемом флюиде.

Несмотря на то, что существующий способ производства НКТ из коррозионностойких марок сталей и сплавов обеспечивает снижение скорости коррозии в десятки раз, его применение не всегда является экономически целесообразным ввиду высокой стоимости труб.

Наиболее перспективным способом является производство слоистых композиционных труб взамен монометаллических. Слоистые композиционные, лейнированные трубы представляют собой трубы, у которых в качестве наружной оболочки выступают трубы из обычной углеродистой или низколегированной стали, а в качестве внутренней используются тонкостенные трубы (лейнеры) из коррозионностойких сталей.

В работе изучен процесс изготовления НКТ методом лейнирования. Лейнирование заключается во введении тонкостенной трубы из коррозионностойкой стали (лейнера) во внешнюю трубу из углеродистой стали и их совместной раздаче.

Изготовление лейнированных насосно-компрессорных труб (ЛНКТ) возможно двумя разными путями – гидравлической раздачей и раздачей на жесткой оправке.

Целью работы является разработка рациональной технологии производства слоистой композиционной НКТ. В работе поставлена задача теоретического исследования и анализа параметров напряженно-деформированного состояния и формоизменения ЛНКТ при разных вариантах раздачи. Анализ процесса изготовления ЛНКТ осуществлен при компьютерном моделировании в программе *Deform-2D*.

В результате проведенного исследования было выявлено, что при раздаче труб на оправке происходит удлинение лейнера, а при гидравлической – укорочение. Утонение толщины стенки лейнера при раздаче на оправке в 3,5 раза выше, чем при гидравлической. Остаточные контактные давления на межслойной границы ЛНКТ при гидравлической раздаче выше в 2,2 раза, чем при раздаче на оправке.

УДК 621.778

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО СЕЧЕНИЯ В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ

Мухаметзянов И.Ш.

*ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
ildarik-777@mail.ru*

Проволока трапециевидного сечения используется в качестве исходной заготовки для последующего получения пружинных шайб методом «навивки», которые широко используются в различных отраслях промышленности и, в частности, в конструкции верхнего строения же-

лезнодорожного пути для крепления рельсов к железобетонным шпалам. Рассматривался процесс волочения проволоки трапециевидного профиля № 10 по ГОСТ 11850-72.

На качество проволоки по геометрическим параметрам влияют такие факторы, как диаметр исходной заготовки, коэффициент трения между заготовкой и инструментом, схема напряженно-деформированного состояния, чистота поверхности исходной заготовки и др.

Эксперименты проводились на кафедре «Машиностроительные и металлургические технологии» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» с использованием универсальной испытательной машины модели ЭДЦ-20 («Завод испытательных машин», Лейпциг, Германия). В экспериментах использовалась монолитная твердосплавная волока конструкции фирмы «ТехноВАК» (г. Череповец).

Исходная заготовка (сталь 40С2А) круглого поперечного сечения (диаметрами 11, 12 и 13 мм) с заостренным концом пропускалась через волоку, установленную на верхнюю подвижную траверсу испытательной машины и жестко фиксировалась зажимами нижней неподвижной траверсы. Подвижной траверсе сообщалось движение вверх и осуществлялся процесс волочения, в ходе которого наблюдалось максимальное усилие волочения.

На основе полученных данных строились графики зависимостей усилия волочения от диаметра исходной заготовки и сравнивались с экспериментально полученными в программном комплексе «Deform-3D».

Выводами являлась оценка пригодности использования программного комплекса «Deform-3D» для дальнейших исследований с распространением метода конечных элементов на волочение в роликовых волоках.

УДК 677.62

НЕОБХОДИМОСТЬ ГАРМОНИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ СТАНДАРТОВ НА АРМАТУРНЫЕ КАНАТЫ

*Селиванова Е.С., Гун Г.С., Полякова М.А.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
ekaterina-selivanova@list.ru*

Арматурные канаты используются в качестве напрягаемых арматурных элементов в предварительно напряженных железобетонных конструкциях (ЖБК). Конструкции этого типа используются при строительстве объектов ответственного назначения: тоннели, мосты, объекты транспортной инфраструктуры и др. В настоящее время требования к арматурным канатам регламентируются в различных нормативных документах. Так, ГОСТ 13840-68 «Канаты стальные арматурные 1×7.

Технические условия» распространяется на стальные спиральные канаты, предназначенные для использования в качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций. Другой стандарт – ГОСТ Р 53772-2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия» распространяется на стальные канаты с низкой релаксацией. Согласно данным стандартам механические свойства арматурных канатов напрямую зависят от номинального диаметра каната. ГОСТ 13840-68 регламентирует 4 вида номинального диаметра (от 6,2 до 15,2 мм), а ГОСТ Р 53772-2010 – 11 видов диаметров (от 6,9 до 18,0 мм). Зарубежные производители арматурных канатов руководствуются требованиями европейского стандарта prEN 10138-3.3 2006.

Повышение требований к качеству и, прежде всего, к уровню механических свойств арматурных канатов требует поиска принципиально новых технических и технологических решений производства данного вида металлоизделий, использования конструкционных материалов с улучшенным комплексом механических свойств. С этой точки зрения создание новых материалов и совершенствование действующих технологий является одним из направлений инновационного развития производства. Это неизбежно требует проведения соответствующих работ в области стандартизации: гармонизация требований стандартов, поиск принципиально новых подходов к процессу согласования требований потребителя и возможностей производителя, разработка новых принципов построения стандартов. Такой подход будет способствовать интеграции инновационных технологических процессов в действующее промышленное производство, что приведет к укреплению позиций предприятий металлургической отрасли в мировом экономическом пространстве [1–4 и др.].

Литература

1. Рубин, Г.Ш. Стандартизация метизной продукции: особенности, проблемы, перспективы развития / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, М.А. Полякова // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10: в 2 ч. – Ч 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 27–34.
2. Рубин, Г.Ш. Развитие научных основ стандартизации / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1. – С. 97–102.
3. Полякова, М.А. Современное направление развития стандартизации как науки / М.А. Полякова, Г.Ш. Рубин // Черные металлы. – 2014. – № 6. – С. 32–37.
4. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // Черные металлы. – 2012. – № 7. – С. 15–20.

СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВОБОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В КВАДРАТНУЮ МАТРИЦУ*

Яковлев С.С., Ларин С.Н.
ФГБОУ ВО «ТГУ», Тула, Россия
yakovlev_ss@rambler.ru

В работе рассмотрено деформирование заготовки из листового материала, имеющего толщину h_0 в матрице квадратной формы со сторонами $2a$ при ползучести. На заготовку действует гидростатическое давление p , которое меняется от времени деформирования t по закону

$$p = p_0 + a_p t^{n_p},$$

где a_p и n_p – параметры закона нагружения.

Материал исходной заготовки принимаем анизотропным. Предполагается, что заготовка вырезана таким образом, что ее сторона параллельна направлению оси y (перпендикулярно к направлению проката) [1–3]. Заготовка зафиксирована по внешнему контуру см. рисунок.

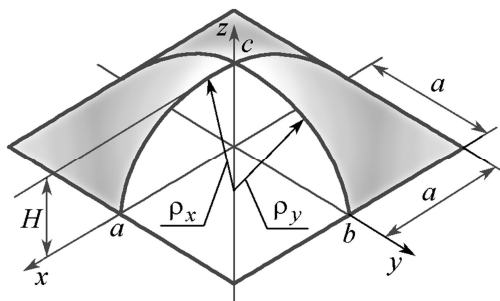


Схема деформирования квадратной листовой заготовки

Предполагается, что напряженное состояние в заготовке является плоским ($\sigma_z=0$) и ее поверхность при деформировании является частью сферы, так же что профиль y заготовки вдоль осей симметрии является окружностью.

Радиусы кривизны ρ_x и ρ_y окружности равны [3]

$$\rho_x = \rho_y = \frac{H^2 + a^2}{2H}. \quad (1)$$

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания №2014/227 на выполнение научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Российской Федерации на 2014-2020 годы и грантов РФФИ № № 16-48-710016 и 16-08-00020.

Скорости деформаций в этом случае в полюсе срединной поверхности будут определяться по формуле

$$\xi_{xc}^c = \xi_{yc}^c = \frac{2H\dot{H}}{H^2 + a^2},$$

где $\dot{H} = dH / dt$; $\dot{h} = dh / dt$.

Учитывая, что листовая заготовка закреплена по внешнему контуру, в точках $x = a$, $y = 0$ и $x = 0$, $y = b$ имеем:

$$\xi_{ya}^c = 0; \quad \sigma_{ya} = \frac{H\sigma_{xa}}{F + H} = \frac{R_y\sigma_{xa}}{1 + R_y}; \quad \xi_{xa}^c = -\xi_{za}^c \quad (2)$$

$$\xi_{xb}^c = 0; \quad \sigma_{xb} = \frac{H\sigma_{yb}}{H + G} = \frac{R_x\sigma_{yb}}{1 + R_x}; \quad \xi_{yb}^c = -\xi_{zb}^c, \quad (3)$$

где H , G , F и R_x , R_y – параметры и коэффициенты анизотропии в направлении прокатки и перпендикулярном направлении листовой заготовки соответственно.

Для облегчения расчетов принято, что в определенный момент деформирования в сечении заготовки xoz скорость деформации ξ_y^c от купола к стороне $x = a$ параллельно оси x меняется линейно от максимальной величины в верхней точке купола до нулевого значения в точке $x = a$, а значение скорости деформации ξ_x^c не меняется по величине. В результате математических преобразований было получено выражение для оценки давления p , необходимого для реализации условий деформирования:

$$p(t) = \frac{2\sigma_{e0}(1 - \omega_{Ac}^c)^{m/n} H h_0 a^2 (1 + \chi_1)}{D_1 (H^2 + a^2)^3} \left(\frac{\xi_{ec1}^c}{B} \right)^{1/n}, \quad (4)$$

где

$$\dot{\omega}_{Ac}^c = \frac{D_1 C_1 (H^2 + a^2) p}{h_0 a^4 (1 + \chi_1) A_{nrc}^c} \dot{H}.$$

Полученные уравнения разрешают установить влияние параметров нагружения, геометрических характеристик исходной заготовки, механических характеристик материала заготовки на напряжения и деформации, силовые параметры деформирования.

Литература

1. Изотермическая пневмоформовка анизотропных высокопрочных листовых материалов / С.Н. Ларин [и др.]; под ред. С.С. Яковлева. – М.: Машиностроение. 2009. – 352 с.
2. Яковлев С.С. Изотермическая пневмоформовка элементов ячеистых многослойных листовых конструкций из анизотропных высокопрочных материалов в режиме ползучести / Яковлев С.С., Ларин С.Н., Трегубов В.И.; под ред. С.С. Яковлева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 173 с.
3. Малинин, Н.Н. Ползучесть в обработке металлов / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1986. 216 с.

УДК 621.771

ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЙ СТАЛЬНОЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

*Новоселов А.Э., Песин А.М., Дрегун Э.М., Пустовойстов Д.О.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
novoselovartem@mail.ru*

К современной судостроительной стали в последнее время предъявляются всё более и более жесткие требования. Одно из таких требований заключается в повышении продольной жесткости листа. Второе связано с отсутствием температурных трещин, возникающих при сваривании толстого листа с конструкциями корпуса судна.

В Магнитогорском государственном техническом университете совместно с ООО «ЧерметИнформСистемы» разработан принципиально новый профиль судостроительной стали, включающий продольные ребра жесткости, расположенные, как минимум, на одной поверхности листа, причем ребра жесткости выполнены с поперечным сечением в форме равнобедренной трапеции с углом при большем основании 45–60°, высотой $t = 15\text{--}18\%$ от толщины листа и шириной меньшего основания $b = 120\text{--}140$ мм и расположены с частотой 1 или 2 ребра на 1 м ширины листа.

Такая конструкция позволяет, с одной стороны, существенно повысить продольную жесткость листа, а с другой стороны, обеспечивает надежность сварных соединений без температурных трещин на толстом листе.

В работе выполнено численное исследование зависимости НДС металла при прокатке с одним гладким и одним профилированным валками. Для этих целей был использован программный комплекс Deform 3D. В качестве исходных данных задавались: диаметры валков – 1200 мм, ширина листа – 2000 мм, материал листа – AISI 1045, конечная толщина – 30 мм, температура прокатки чистового прохода варьировалась в пределах 780–820°C.

В результате расчета определены основные параметры процесса. Показаны возможность и целесообразность производства толстого листа с продольными ребрами жесткости.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОБЖИМЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ*

Матасов И.И.

ФГБОУ ВО «ТГУ», Тула, Россия

igrik-23@yandex.ru

В работе рассмотрена операция обжима тонкостенной заготовки в матрице конической формы (см. рисунок). Анализ произведен на базе метода расчета силовых режимов процесса, основанного на совместном решении приближенных дифференциальных уравнений равновесия и условия текучести, с одновременным учетом сопряжений на границах участков, а также с учетом изменения направления течения материала заготовки [1].

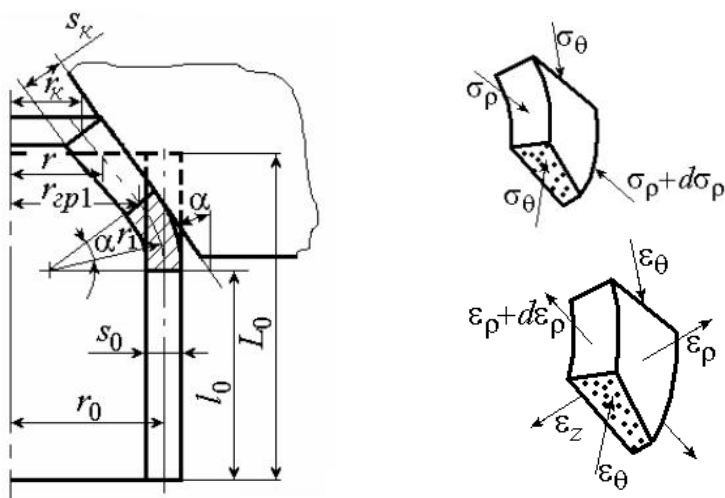


Схема к оценке силовых параметров обжима

Полагаем, что данный процесс идет в условиях плоского напряженного состояния. Примем, что на поверхности контакта заготовки и инструмента реализуется Кулонов закон трения. Предполагаем, что материал детали является несжимаемым, упрочняющимся изотропно, и он обладает цилиндрической анизотропией механических свойств. Для дан-

* Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № 16-48-710014 и №15-48-03234, №14-08-00066.

ной задачи принимается, что справедливо условие текучести Мизеса-Хилла и ассоциированный закон пластического течения [2].

Условие текучести Мизеса-Хилла для материалов, которые обладают цилиндрической анизотропией механических свойств, в главных напряжениях имеет вид

$$\begin{aligned} \sigma_\rho^2 + \sigma_\theta^2 \frac{R_\rho(1+R_\theta)}{R_\theta(1+R_\rho)} - 2 \frac{R_\rho R_\theta}{R_\theta(1+R_\rho)} \sigma_\rho \sigma_\theta = \\ = \sigma_i^2 \left[\frac{2(R_\rho + R_\rho R_\theta + R_\theta)}{3R_\theta(1+R_\rho)} \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где R_θ , R_ρ – коэффициенты анизотропии;

σ_i – интенсивность напряжения.

Пользуясь выражением, которое разрешит нам определить величину приращения интенсивности деформации ε_i для данной операции деформирования, с учетом условия несжимаемости материала детали $d\varepsilon_\rho + d\varepsilon_\theta + d\varepsilon_z = 0$, а также приняв во внимание ассоциированный закон пластического течения [3], имеем:

$$d\varepsilon_i = \sqrt{\frac{2(R_\rho + R_\theta + R_\rho R_\theta)[\beta^2 R_\rho(R_\theta + 1) + 2\beta R_\rho R_\theta + R_\theta(R_\rho + 1)]}{3R_\rho R_\theta(1+R_\rho + R_\theta)}} d\varepsilon_\theta, \quad (2)$$

$$\text{где } \beta = \frac{R_\theta[\sigma_\rho + R_\rho(\sigma_\rho - \sigma_\theta)]}{R_\rho[\sigma_\theta + R_\theta(\sigma_\theta - \sigma_\rho)]}; \quad d\varepsilon_\theta = d\rho / \rho;$$

ρ – координаты элементов на конической поверхности.

Принимаем, что уравнение состояния материала заготовки описывается зависимостью

$$\sigma_i = \sigma_{i0} + A\varepsilon_i^m, \quad (3)$$

где σ_{i0} , A , m – константы материала;

ε_i – величина интенсивности деформаций, которую можно определить для этой операции по выражению

$$\varepsilon_i = \int_{\rho_0}^{\rho} d\varepsilon_i; \quad \rho_0 = r_0 / \sin \alpha. \quad (4)$$

Приведенные выше соотношения позволяют нам определить сжимающие меридиональные напряжения σ_ρ для рассматриваемого условия деформирования

$$\left| \sigma_\rho \right|_{\max} = \sigma_\rho \Big|_{\rho=\rho_k} + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\sigma_{s\theta} s \sin \alpha}{\sqrt{r_\kappa s}},$$

где последнее слагаемое учитывает процесс изгиба и спрямления заготовки при переходе от конического участка к недеформированному цилиндрическому участку.

Величина силы при обжиге определяется уравнением

$$P = 2\pi r_0 s_0 \left| \sigma_{\rho \max} \right|. \quad (5)$$

Полученные в ходе математического моделирования выражения разрешают произвести оценку распределения напряжений и деформаций и силу процесса в зависимости от начальной анизотропии механических свойств детали, угла конусности матрицы, величины трения на поверхности контакта инструмента и заготовки.

Литература

1. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
2. Гречников, Ф.В. Деформирование анизотропных материалов / Ф.В. Гречников. – М.: Машиностроение, 1998. – 446 с.
3. Нечепуренко, Ю.Г. Глубокая вытяжка цилиндрических изделий из анизотропного материала / Нечепуренко Ю.Г., Яковлев С.П., Яковлев С.С. – Тула: ТулГУ, 2000. – 195 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УШИРЕНИЯ МЕТАЛЛА В КАЛИБРАХ СИСТЕМЫ «КВАДРАТ-КВАДРАТ»

*Баланчук Л.Е., Логинов Ю.Н., Инатович Ю.В.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
omd@urfu.ru*

В ювелирных цехах или мастерских для получения заготовок применяют продольную прокатку по системе калибров «квадрат-квадрат». Характер уширения металла в этих калибрах мало изучен и требует специальных исследований [1, 2].

В настоящей работе приведены основные результаты экспериментального исследования характера уширения меди при прокатке в холодном состоянии на стане фирмы «Mario Di Maio» с диаметром валков 65 мм в квадратных калибрах со стороной от 6 до 2 мм (рис. 1).

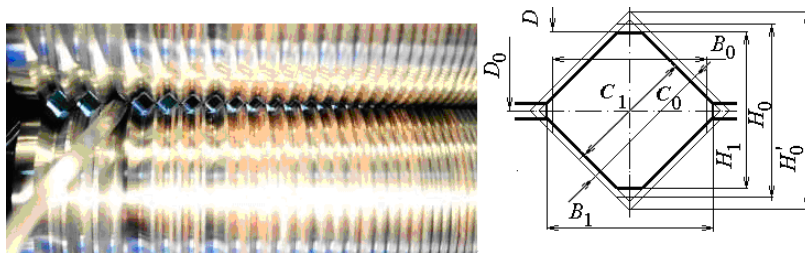


Рис. 1. Прокатка меди в квадратных калибрах

Величину уширения оценивали значениями коэффициента уширения $\beta_{\text{он}} = B_1 / B_0$. На рис. 2 показан характер изменения опытных значений $\beta_{\text{он}}$ в зависимости от коэффициента обжатия $\frac{1}{\eta} = H_0 / H_1$ и приведенного диаметра валков $A = (D_0 - H_1) / H_1$ (см. рис. 1).

В результате регрессионного анализа опытных данных получено уравнение регрессии для расчета коэффициента уширения следующего вида:

$$\beta = 0,973 + (0,0442A - 0,00083A^2 - 0,26) \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right).$$

Коэффициент множественной корреляции этого уравнения, равный $R^2 = 0,91$, значим по критерию Фишера.

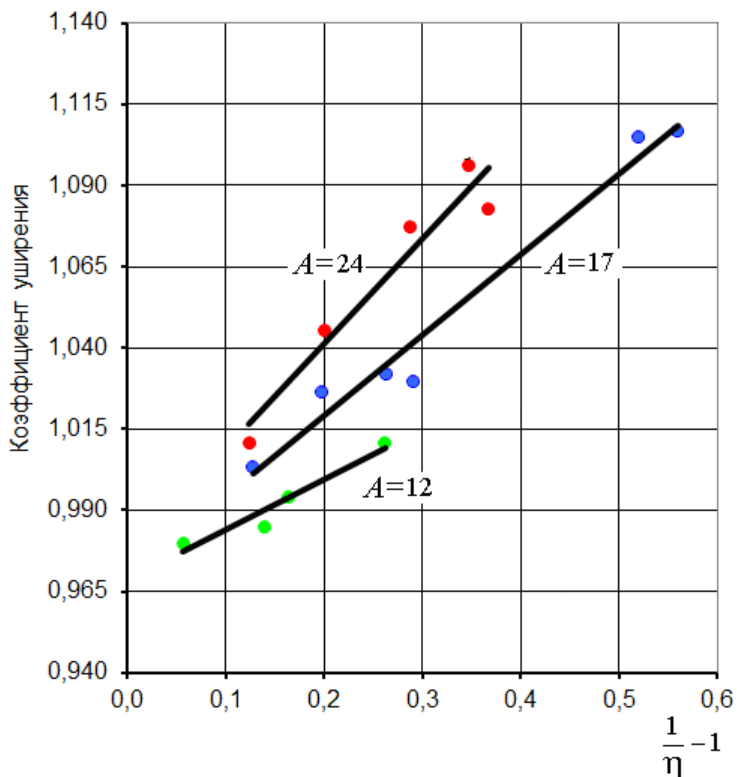


Рис. 2. Линейный тренд зависимости коэффициента уширения от коэффициента обжатия

Математическое ожидание отклонение расчетных значений β_p от опытных $\beta_{оп}$ составляет $m(\delta) = 0,0023$ при среднем квадратическом отклонении $\sigma(\delta) = 0,009$.

Литература

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков / Смирнов В.К., Шилов В.А., Инанович Ю.В. – М.: Теплотехника, 2010. – 464 с.
2. Инанович Ю.В., Логинов Ю.Н., Постыляков А.Ю. Адаптация алгоритма расчета формоизменения металла при прокатке медной катанки // Производство проката. – 2014. – №5. – С. 16–21.

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ
ИЗ НОВОГО СПЛАВА СЕРЕБРА 925 ПРОБЫ
И ИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА**

Биндарева К.А.

*ФГАОУ ВО «СФУ», Красноярск, Россия,
kristina55157@mail.ru*

В последние годы для изготовления промышленных (припойная проволока) и ювелирных изделий (проволока для ювелирных цепей) учеными института цветных металлов и материаловедения СФУ созданы новые сплавы серебра, которые обладают повышенными механическими и эксплуатационными свойствами и не оказывают вредного воздействия на организм человека. Однако для этих сплавов необходимо разрабатывать технологические режимы обработки с целью получения длинномерных деформированных полуфабрикатов, основным видом получения которых до сих пор остается процесс волочения.

С помощью программы PROVOL (свидетельство о государственной регистрации РФ № 2015612273) рассчитаны режимы и характеристики волочения проволоки из сплава серебра 925 пробы (патент 2513502 РФ), которые приведены в таблице (i – номер перехода).

Экспериментальная проверка расчетных параметров была проведена на 10-кратном волочильном стане итальянской фирмы «Magio di Maio» модели 10NFS COMEVI, на котором отрабатывались режимы волочения проволоки диаметром 0,26 мм. В результате было получено около 3 м проволоки ювелирного назначения для производства цепей. Следует отметить, что обрывов в процессе волочения не наблюдалось, так как сплав обладал высокой пластичностью, а коэффициент запаса находился в диапазоне от 3 до 5 ед.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили полученные ранее данные моделирования и расчета процесса волочения, а предложенные режимы волочения могут быть рекомендованы для практического использования при производстве ювелирных цепей на Красноярском заводе цветных металлов.

Расчетные характеристики процесса волочения проволоки
из нового сплава серебра 925 пробы

Диаметр, мм		Вытяжка		Напряжение волочения, Мпа	Коэффициент запаса	Усилие, КН
d_{i-1}	d_i	λ_i	λ_{Σ}	$\sigma_{вол i}^B$	$\eta_{зап i}^B$	P
1,12	1,10	1,042	1,042	52,16	5,16	0,06
1,10	1,05	1,098	1,144	79,66	3,87	0,08
1,05	1,00	1,103	1,261	92,24	3,74	0,09
1,00	0,95	1,108	1,397	104,76	3,62	0,10
0,95	0,90	1,114	1,557	117,32	3,49	0,11
0,90	0,85	1,121	1,746	130,05	3,37	0,11
0,85	0,80	1,129	1,971	143,07	3,25	0,11
0,80	0,75	1,138	2,242	156,57	3,12	0,12
0,75	0,70	1,148	2,574	170,74	2,99	0,12
0,70	0,65	1,160	2,985	185,86	2,86	0,12
0,65	0,63	1,082	3,229	136,24	3,97	0,09
0,625	0,60	1,085	3,503	141,10	3,90	0,08
0,60	0,58	1,089	3,814	146,14	3,82	0,08
0,575	0,55	1,093	4,169	151,41	3,74	0,08
0,55	0,53	1,098	4,576	156,94	3,65	0,08
0,525	0,50	1,103	5,045	162,80	3,57	0,08
0,50	0,48	1,085	5,474	151,00	3,88	0,07
0,48	0,46	1,089	5,960	155,36	3,81	0,07
0,46	0,44	1,093	6,514	159,96	3,73	0,07
0,44	0,42	1,098	7,149	164,87	3,65	0,07
0,42	0,40	1,103	7,882	170,13	3,56	0,07
0,40	0,38	1,108	8,734	175,79	3,47	0,07
0,38	0,36	1,114	9,731	181,94	3,37	0,07
0,36	0,34	1,121	10,910	188,67	3,27	0,06
0,34	0,32	1,129	12,316	196,09	3,17	0,06
0,32	0,30	1,138	14,013	204,35	3,05	0,06
0,30	0,28	1,148	16,086	213,64	2,94	0,06
0,28	0,26	1,160	18,656	224,21	2,81	0,06

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕДНЫХ СВАРНЫХ И НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

Быков И.Д., Железняк Л.М.

*ФГАОУ ВО «УрФУ», г.Екатеринбург, Россия
mcbaraban@gmail.ru*

Важным требованием при выпуске проводников тока, используемых для электропитания разнообразных машин, агрегатов и устройств на предприятиях различных направлений, а также по другим ответственным назначениям, является строгое соответствие стандартным нормативам физико-механических свойств заготовок из электротехнической меди. Статья посвящена повышению качественного уровня заготовок для этих изделий по двум следующим направлениям:

1. Увеличение длины заготовок при выпуске медной электротехнической продукции с участием волочильных станов, снабженных аппаратами электроконтактной сварки, достигаемое за счёт повышения пластичности металла в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного шва путём снижения размеров зерна меди и модифицирования ее структуры. Кроме того, за счёт использования заготовок повышенной длины и снижения обрывности повышается производительность волочения.

2. Повышение качества непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) путем их термомеханической обработки (ТМО), гарантирующей перевод литой структуры в деформированную во всем объеме заготовки, повышение ее технологичности при волочении и получение надлежащего уровня физико-механических свойств готовых изделий. При этом исключается влияние отрицательной наследственности литой структуры на служебные свойства продукции.

Увеличение длины заготовок. Проведенное авторами исследование макроструктуры после стыковой сварки подтвердило 6 - 8-кратное превышение размера зерна в ЗТВ по сравнению с основным металлом, и именно вследствие этого прутки имеют повышенную обрывность. После электроконтактной сварки короткомерных заготовок и снятия образовавшегося при сварке грата была проведена локальная горячая деформация (осадка) в осевом направлении в пределах ЗТВ сварного стыка при температуре 810–870°С до образования на заготовке местного утолщения диаметром 1,5–2,0 диаметра заготовки с последующим снятием этого утолщения одним из широко известных способов.

Степень деформации при осадке $\varepsilon = 0,54\text{--}0,92$ представлена, в связи с бульбообразной формой утолщения, в виде

$$\varepsilon = 2/3 (\ln(F_0/F_i)) = 2/3 (\ln(d_0/d_i)^2),$$

где F_i и d_i – площадь поперечного сечения и диаметр утолщения;
 F_0 и d_0 – то же для исходной заготовки.

Это обеспечило улучшение структуры ЗТВ путем измельчения зерен меди, выросших при сварке. Длинномерную заготовку, полученную после сварки короткомерных горячекатаных или горячепрессованных заготовок и снятия грата, без охлаждения (с целью равномерности теплового поля и снижения энергозатрат при нагреве под осадку) закрепляют в зажимных контактах того же сварочного аппарата и нагревают в режиме отжига, предусмотренном конструкцией аппарата, до 810–870°С на длине порядка двух диаметров заготовки – соответственно осевой протяженности ЗТВ.

Проверка разработанного нетрадиционного технологического режима на опытно-промышленных партиях медных заготовок различных диаметров показала, что осевая осадка ЗТВ, проведенная за пределами установленных температурного и деформационного режимов горячей обработки, не дает стабильно положительных результатов. Волочение промышленных партий проводников из длинномерных заготовок, полученных с соблюдением регламентированных режимов, подтвердило полное отсутствие обрывности протягиваемых изделий по ЗТВ.

Повышение качества НЛЗ. Это направление в последние десятилетия стало весьма актуальным в связи с широким распространением в мировой практике, в том числе и в РФ, установок для получения медных НЛЗ, предназначенных для изготовления проводников, применяемых при выпуске машиностроительной продукции, а также контактных проводов воздушной сети городского и магистрального электротранспорта.

При волочении крупное зерно дробится недостаточно, что не позволяет достичь требуемых механических свойств провода σ_b и δ даже в случае применения заготовок повышенного сечения. Таким образом, подводя краткий итог, следует заметить, что сама сущность способа получения НЛЗ при отсутствии операций обработки металлов давлением (ОМД) для проработки литой структуры путём горячей или холодной пластической деформации, в принципе, не позволяет повысить качество поступающего на волочильный передел металла.

Авторами настоящей публикации реализован способ подготовки медной НЛЗ к многопроходному волочению путем термомодеформационной обработки (ТДО), содержащей однократное волочение с коэффициентом вытяжки $\lambda = 1,10$ – $1,22$ и отжиг при 700–780°С в течение 3–4 ч. При этом волочение проводится в направлении, совпадающим с направлением выхода заготовки из УГНЛ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ ИЗ СЫПУЧИХ СТРУЖКОВЫХ ОТХОДОВ СПЛАВА АД31

*Гигель И.Н., Иванов Е.В., Загорская Н.И., Ковалева Я.В.
ФГАОУ ВО «СФУ», Красноярск, Россия,
kafomd_1@mail.ru*

При рассмотрении вопросов, касающихся возвращения в производственный оборот образующихся в результате механической обработки соответствующих полуфабрикатов сыпучих стружковых отходов, важными аспектами являются отнесение указанных отходов по ГОСТ 1639-93 к разряду «сортных» и выбор наиболее рационального варианта их переработки в различного рода металлоизделия.

Для решения второй задачи возможны два принципиально разных подхода. Один из них заключается в реализации традиционного пути переработки любого типа металлических отходов через их переплав в свободнозасыпанном или сбикетированном виде.

Другой вариант базируется на комбинировании приемов порошковой металлургии и процессов обработки металлов давлением, ключевая роль при осуществлении которого отводится выполнению при определенных условиях операции «экструзия» через матрицу, имеющую заданное сечение рабочего отверстия.

В работе были рассмотрены 4 возможных варианта осуществления процесса экструзии, в результате проведения которых каждый раз происходило получение прутка диаметром 6 мм: отдельные горячее брикетирование стружки и последующая горячая экструзия брикета; отдельные холодное брикетирование стружки и последующая горячая экструзия брикета; совмещенные горячее брикетирование стружки и горячая экструзия; предварительный отдельный нагрев стружки с последующим совмещенным горячим брикетированием и горячей экструзией.

В качестве исследуемого материала использовали сыпучую стружку (опилки) сплава АД31, образующуюся при производстве пресованных профилей в ООО «ЛПЗ «СЕГАЛ». Температура и скорость деформации, при которых происходила экструзия, каждый раз были идентичными и соответствовали параметрам, рекомендуемым для пресования литых заготовок из сплава АД31.

Полученные горячей экструзией прутки в дальнейшем подвергали холодному однократному волочению со средним единичным обжатием 15–20%. Сопоставление достигнутых механических характеристик холоднодеформированной проволоки производили на диаметрах 4,7, 4,1 мм и 3,0 мм.

Установлено, что с точки зрения формирования определенного уровня механических характеристик прутково-проволочной продукции принципиальной разницы проводить ли отдельно предварительное горячее или холодное брикетирование стружки, или же засыпать стружку сразу в контейнер и совмещать горячее брикетирование с экструзией нет. Важно в любом случае обеспечить только заданные температурно-скоростные условия деформации в момент начала истечения металла из рабочего отверстия матрицы. При этом последний из упомянутых вариантов можно считать наиболее экономичным, поскольку общее время цикла экструзии будет наименьшим.

УДК 621.778

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУТВЁРДОЙ НИКЕЛЕВОЙ ПРОВОЛОКИ

Ерёмин А.В., Железняк Л.М.

*ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
funk1.ghetto@gmail.com*

В ОАО «Каменск-Уральский завод ОЦМ» поступил заказ из дальнего зарубежья на никелевую проволоку определенных диаметров с полутвёрдым состоянием, отсутствующим в российском стандарте, при этом она должна иметь матовую поверхность, свободную от смазки и загрязнений.

Химические составы заказанной проволоки и проволоки из сплава НП2, традиционно выпускаемой на заводе, практически совпадают, за исключением кремния. Однако в научно-технической библиографии и информации по промышленному производству не нашлось сведений о технологических режимах получения требуемых механических свойств проволоки. Возникла необходимость проведения опытного исследования в производственных условиях.

Были проведены экспериментальные исследования по трём следующим технологическим схемам обработки.

1. С применением неполного по температуре и времени выдержки отделочного отжига. Согласно проведённым исследованиям и полученной информации выяснили, что механические свойства после обработки по данной схеме не соответствуют условиям заказа, так как соблюдение температурного и временного режимов отжига в действующем производстве не гарантируют получения необходимых свойств.

2. С использованием отделочного волочения проволоки после полного предотделочного отжига. Анализ свойств проволоки, полученной по данной схеме, свидетельствует, что она не обеспечивает стабильности механических свойств из-за возможных отклонений от режимов обработки в цеховых условиях.

3. С проведением отделочного волочения при регламентированной величине относительного обжатия после полного предотделочного отжига. Было установлено, что механические свойства проволоки с использованием предотделочного отжига существенно зависят от величины обжатия при чистовом волочении, при этом они соответствуют требованиям заказа и обладают высокой стабильностью.

Кроме того, данная схема более экономически эффективна, а все её регламентированные режимы надёжно осуществляются на действующих в производстве агрегатах и оборудовании.

После получения результатов исследования деформационных и температурно-временных режимов обработки промежуточной заготовки и готовой проволоки организован выпуск проволоки из никеля марки НП2 полутвёрдого состояния, удовлетворяющей условиям заказчика.

УДК 621.778

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ ЗАГОТОВКИ БОЛТА С ШЕСТИГРАННОЙ ГОЛОВКОЙ*

*Малаканов С.А., Железков О.С., Арзамасцева В.А.
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
samalakanov@mail.ru*

В способах холодной объемной штамповки стержневых крепежных изделий на многопозиционных автоматах наибольшее распространение получили технологические процессы, включающие высадку бочкообразной головки за несколько переходов и обрезку головок.

Одним из основных недостатков технологии изготовления болтов с шестигранной головкой, включающей обрезку головки заготовки, является образование отходов (облоя) в количестве 5–8% от объема заготовки. Безоблойная штамповка шестигранных головок болтов не получила широкого применения по причине плохого оформления (незаполнения) ребер многогранника, сложности инструмента и требования к высокой точности настройки штамповочного оборудования.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00026 мол_а.

Известно, что для исключения появления дефектов поверхности на гранях шестигранника при обрезке предварительная высаженная головка должна иметь цилиндрическую форму, диаметр цилиндрической головки должен быть немного больше диаметра описанной окружности шестигранника. Вследствие действия контактных сил трения между инструментом и заготовкой последняя приобретает бочкообразную форму, что приводит к увеличению объема обрезаемого металла. Причем чем выше возникающие силы трения, тем больше бочкообразность осаживаемой заготовки и вероятность появления трещин.

Предлагается использовать принцип, заложенный С.И. Губкиным в эмпирическом способе определения коэффициента трения при осадке («метод конических бойков»). Сущность способа формирования головки заключается в том, что цилиндрический образец осаживается между пуансоном и матрицей с коническими торцевыми поверхностями с одинаковым углом образующей конуса. Сила трения будет задерживать течение металла от центра образца к периферии, нормальное давление ее, наоборот, будет способствовать течению металла в этом направлении. Таким образом, при соблюдении определенных условий (угла конусности) заготовка при осадке сохранит цилиндрическую форму, что будет способствовать уменьшению отходов при обрезке головки.

Моделирование процесса осадки осуществляли в программе «DEFORM-3D», основанной на применении метода конечных элементов, при трехмерной постановке задачи.

Установлено, что наибольшую бочкообразность имеет заготовка, осаживаемая плоскими бойками, наименьшую – бойками с конической поверхностью. Применение конической формы рабочей поверхности при одинаковом перемещении подвижного инструмента ($\Delta h = 12$ мм) позволяет уменьшить бочкообразность на 8,04 и 15,63% соответственно. Данные результаты могут быть использованы при разработке ресурсосберегающей технологии штамповки болтов с многогранной головкой.

УДК 621.774

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСКАТКИ ГИЛЬЗЫ И РЕДУЦИРОВАНИЯ ТРУБ

*Лалаян А.Р., Богатов А.А., Павлов Д.А., Павлова Е.А.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия*

На трубопрокатном агрегате 140 ПАО «СинТЗ» с раскатным станом тандем, состоящем из двух станов продольной прокатки (СПП-1 и СПП-2), производят трубы диаметром от 73 до 168 мм и толщиной стенки от 5 до 20 мм. В настоящее время на ТПА-140 для производства труб

диаметром от 73,0 до 114,0 мм включительно используется катаная заготовка диаметром 120,0 мм, а для труб диаметром от 127,0 до 168,0 мм включительно – непрерывнолитая заготовка (НЛЗ) диаметром 150,0 и 156,0 мм. Себестоимость труб, изготовленных из НЛЗ, на 8–9% меньше, чем труб, изготовленных из катаной заготовки. Согласно таблице прокатки порядка 35% типоразмеров труб на ТПА-140 изготавливаются из катаной заготовки. В этой связи актуальной задачей является использование НЛЗ взамен катаной. Для освоения производства труб диаметром менее 114 мм из НЛЗ необходимо увеличить коэффициент вытяжки на стане тандем (в настоящее время коэффициент вытяжки на СПП-1 находится в пределах 1,16–1,5, а на СПП-2 – 1,07–1,15) и редуционном стане. Применение повышенных коэффициентов вытяжки на стане тандем приводит к увеличению размеров лампасов и, как следствие, объема брака по дефекту «риска».

В ходе исследования выполнено следующее:

1) разработан критерий образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб;

2) проведено компьютерное моделирование процесса раскатки труб на короткой оправке. Исследовано влияние оваллизации гильзы и кинематического натяжения при раскатке на формоизменения черновой трубы. Установлено, что при использовании оваллизации гильзы и кинематического натяжения коэффициент вытяжки на стане тандем может быть увеличен с 1,78 до 2,76.

3) найдено техническое решение подачи технологической смазки в гильзу перед раскаткой;

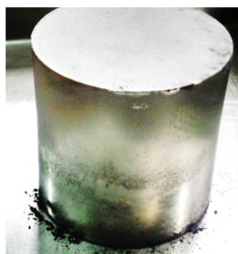
4) проведено математическое моделирование процесса редуцирования труб на ТПА-140.

УДК 621.771 : 621.762

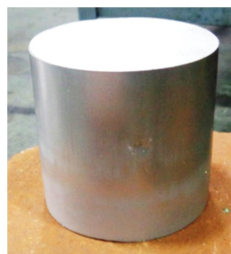
ФОРМОВАНИЕ И СПЕКАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА П17Д-10ДУ

*Первухина Д.Н., Логинов Ю.Н., Бабайлов Н.А.
ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
da.babailova@mail.ru*

Дисперсно-упрочненные сплавы платины и родия находят широкое применение в промышленности, в том числе для изготовления стеклоплавильных аппаратов. Частично процесс производства изделий из этих сплавов основан на применении приемов порошковой металлургии. Основой этой части технологии является формование из металлического порошка заготовки в форме цилиндра со слабо выраженной конусностью (см. рисунок).



а



б

Вид на порошковые заготовки из сплава ПЛРд-10ДУ после формования при давлении 1470 МПа (а), а также после сушки при температуре 500 °С и спекания при 1500°С (б)

Насыпная плотность порошка перед прессованием оказалась равной 6,29 г/см³, что составляет 31% от теоретической плотности сплава в компактном состоянии $\rho_k = 20$ г/см³. При начальной высоте брикета 160 мм конечная высота составила 60 мм. Из условия постоянства массы $\rho_i * F_i * H_i = \rho_0 * F_0 * H_0$ (здесь индекс i означает текущее состояние, а индекс 0 – начальное состояние) следует, что коэффициент уплотнения составил $K_y = \frac{\rho_k}{\rho_i} = \frac{H_0}{H_i} = 2,67$, а степень деформации объема $\varepsilon = \ln \frac{H_0}{H_i} = 0,982$. Резервы для уплотнения остались: коэффициент уплотнения до компактного состояния составляет $K_{yk} = \frac{\rho_k}{\rho_0} = 3,18$, а относительная плотность 83,9%.

Для оценки теоретического распределения плотности в работе применили метод конечных элементов в программном комплексе ABAQUS [1]. В результате получены данные о кинематике перемещения металла, напряжениях, сдвиговых и объемных деформациях. Выявлена роль коэффициента трения в формировании неоднородного напряженно-деформированного состояния, а также определены зоны наибольших неоднородностей.

Дальнейшими технологическими операциями являются процессы горячейковки пластины из сплава ПЛРд-10ДУ, листовой прокатки до толщины 0,3 – 4,0 мм, которые будут подвергнуты анализу в следующей части работы.

Литература

1. Логинов Ю.Н. Моделирование в программном комплексе ABAQUS процесса компактирования пористого материала / Логинов Ю.Н., Бабайлов Н.А., Первухина Д.Н. КШП-ОМД. – 2015. – № 6. – С. 45–48.

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ПОСЛЕДНЕМ ПРОХОДЕ ВОЛОЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ

Ковин Д.С., Шимов Г.В.

*ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, Россия
g.v.shimov@urfu.ru*

Основной причиной повреждений нержавеющей труб, используемых в атомной энергетике, определяющей срок их эксплуатации, является процесс коррозионного растрескивания металла под напряжением. Это связано с наличием в стенке готовой трубы растягивающих остаточных напряжений (ОН), которые способствуют зарождению и дальнейшему росту (раскрытию) коррозионных трещин. Отсутствие растягивающих или наличие сжимающих остаточных напряжений в поверхностных слоях труб может снизить риск аварийности и значительно увеличить срок службы труб.

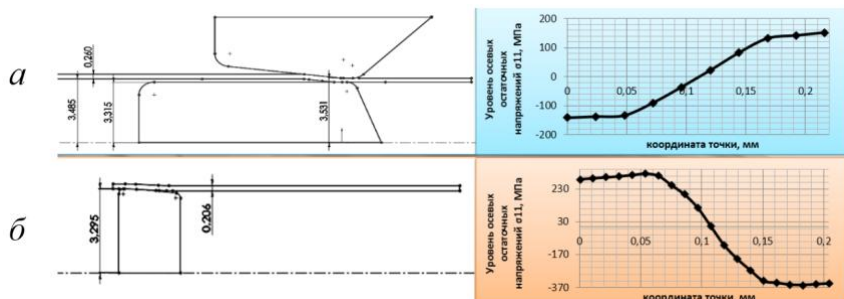
Способ волочения на короткой оправке обеспечивает высокую точность размеров с учетом упругого последействия и качество поверхности труб, однако схема напряженно-деформированного состояния способствует формированию растягивающих остаточных напряжений на наружной поверхности готовых труб, что отрицательно сказывается на коррозионной стойкости труб.

Для анализа величины упругого последействия и распределения остаточных напряжений в стенке таких труб было проведено математическое моделирование волочения трубы размером 6,6×0,2 мм в программном пакете DEFORM (см. рисунок, а). Сравнивая результаты моделирования с экспериментальными данными*, полученными в производственных условиях, можно заметить, что моделирование дает немного завышенные значения толщин стенок труб. В целом, можно сделать вывод, что модель хорошо описывает реальный процесс волочения с учетом упругого последействия и размеры готовой трубы укладываются в поле допусков в соответствии с ТУ14-159-293-2005.

Установлено, что на наружной поверхности труб, полученных волочением на цилиндрической оправке, присутствуют значительные осевые и тангенциальные растягивающие остаточные напряжения. К формированию такого поля ОН приводит схема напряженно-деформированного состояния, характерная для волочения на короткой закрепленной оправке.

* Повышение точности и качества поверхности труб из коррозионностойкой стали для атомной энергетики / Серебряков Ал.В., Серебряков Ан.В., Буркин С.П., Шимов Г.В. // Черные металлы. – 2012. – №4. – С. 16–20.

Противоположная картина наблюдается, если в последнем проходе применить раздачу волочением на конической оправке, поскольку напряженно-деформированное состояние при этом отличается от случая волочения на короткой цилиндрической оправке. Для проверки этого было проведено моделирование процесса раздачи в последнем проходе (см. рисунок, б). Труба предготового размера после холодной прокатки подвергалась раздаче на конической оправке. Было установлено, что размеры готовых труб также укладывается в необходимое поле допусков.



Варианты реализации финишного прохода волочения и соответствующие им распределения остаточных напряжений по толщине стенки готовой трубы

На наружной поверхности труб, полученных способом раздачи на конической оправке, присутствуют осевые и тангенциальные сжимающие остаточные напряжения.

В результате проведенного исследования было установлено, что применение волочения «раздачей» на конической оправке в последнем проходе обеспечивает формирование сжимающих остаточных напряжений на поверхности трубы и может быть рекомендовано для повышения коррозионной стойкости труб, применяемых в атомной энергетике.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1: СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ОМД	3
Храмков Е.В. Разработка технологии производства труб из стали типа 13Сг в хладостойком исполнении	3
Богданов А.В. Оптимизация технологии подготовки и эксплуатации рабочих валков для стана 2000 холодной прокатки ЛПЦ-11 ОАО «ММК»	4
Филяева Е.А. Определение технологической возможности изготовления нового вида продукции TREX из сплава Ti-3Al-2.5V	5
Пушкаревский А.А. Дрессировка жести с использованием насеченных рабочих валков клетки №1 с шероховатостью 2,5–4,0 мкм в условиях двухклетевого стана 1200 ОАО «ММК»	6
Золотов И.В., Рамазанов К.Н., Варданян Э.Л., Ягафаров И.И. Увеличение ресурса работы штамповой оснастки путем комбинированной обработки в вакууме	7
Черных И.Н. Повышение качества горячекатаных труб за счёт совершенствования способов определения технологической оси непрерывных станов	9
Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Телегин В.Е. Исследование инновационной технологии изготовления горячекатаной стальной ленты	10
Есипов Р.С., Рамазанов К.Н. Низкотемпературное ионное азотирование ультрамелкозернистой стали 13X11H2B2MФ-III после интенсивной пластической деформации кручением	10
Кондрашов С.А., Мамаев И.Н. Усовершенствование системы очистки полосы от остатков охлаждающей жидкости на 4-клетевом стане в условиях ЛПЦ-5 ОАО «ММК»	12
Крупенькин И.И., Панин Е.А., Лежнев С.Н. Оценка эффективности технологии прокатки толстого листа в рельефных валках на основе компьютерного моделирования	15
Клейменова Ю.Ю. Технико-экономический анализ производства катанки из сплава ABE с применением различных процессов совмещенной обработки	16
Первухин А.Е., Логинов Ю.Н. Влияние высоконагартованного состояния на стабильность механических свойств золота марки 3Л99,99	17

<i>Песин И.А., Песин А.М., Дригун Э.М., Гун Г.С., Пустовойтов Д.О.</i> Разработка новой энергоэффективной технологии производства крупногабаритных деталей с эллиптической поверхностью на толстолистовом прокатном стане.....	19
<i>Калачиков А.В., Железняк Л.М.</i> Повышение прочностных свойств коллекторных полос ответственного назначения из нетермоупрочняемых бронз.....	20
<i>Пузанов М.П., Логинов Ю.Н.</i> Расчёт технологического режима прокатки высокопроницаемой электротехнической стали	21
<i>Фролов В.А.</i> Исследование механических свойств полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием.....	23
Секция 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	25
<i>Константинов Д.В., Бзовски К., Корчунов А.Г., Кужиак Р., Пьетчик М.</i> Совершенствование методики мультимасштабного моделирования напряженно-деформированного состояния при волочении калиброванной стали.....	25
<i>Яковлева К.Ю.</i> Актуальные трибологические задачи при волочении и их решение	29
<i>Малаканов С.А., Железков О.С., Арзамасцева В.А.</i> Моделирование напряженного состояния пружинной клеммы при упругом деформировании.....	29
<i>Липин Д.А., Богатов А.А., Ерпалов М.В.</i> Исследование влияния точности настройки обжимного стана на формоизменение металла при прокатке	31
<i>Фахретдинова Э.И., Рааб Г.И., Скрябин И.В.</i> Практическая реализация метода Мульти-РКУП-Конформ.....	32
<i>Рааб А.Г., Чукин М.В., Рааб Г.И.</i> Процесс изготовления проволоки из низкоуглеродистой стали повышенной износостойкости методом волочения со сдвигом.....	33
<i>Малашкин С.О., Сычков А.Б., Камалова Г.Я.</i> Особенности структурообразования высокоуглеродистой катанки.....	33
<i>Свердлик М.К., Песин А.М., Пустовойтов Д.О.</i> Развитие подходов асимметричной прокатки для улучшения геометрических характеристик и микроструктуры сплошных и биметаллических лент цветных металлов.....	35
<i>Волков А.И.</i> Установка редуцирующего пресса в черновой группе клетей стана 2000 горячей прокатки с целью повышения эффективности производства цепочки «ККЦ – ЛПЦ-10».....	36

Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Прокатка асимметричного поперечного профиля при производстве жести в условиях ОАО «ММК»	37
Звягина Е.Ю. Повышение качества автомобильного листа за счет совершенствования конструкции дробеметной установки.....	39
Бекмансуров Р.Р., Бурдуковский В.Г. Технология производства автомобильного листа и качество штампуемых изделий	42
Головнин М.А., Логинов Ю.Н. Анизотропия горячекатаных листов из алюминиевого сплава 6061	43
Снегирев И.В., Логинов Ю.Н. Оценка нагрузки стана горячей прокатки алюминиевых сплавов при различных скоростных режимах работы.....	44
Тугбаев Ю.В., Логинов Ю.Н. Изменение параметров кернса в процессе прессования циркониевых сплавов.....	45
Секция 3: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТИЗНОГО И ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА	47
Фокин Н.В. Исследование возможностей снижения пиковых нагрузок при прессовании труб и разработка технических предложений по их реализации	47
Кунгуров Е.А., Богатов А.А., Ерпалов М.В. Исследование структуры и свойств насосно-компрессорных труб из непрерывнолитой заготовки	48
Усанов М.Ю., Харитонов В.А. Анализ способов деформации при волочении круглой проволоки	49
Латфулина Ю.С., Самодурова М.Н., Барков Л.А., Закиров Р.А. Технологии и конструкции пресс-форм для компактирования газонасыщенных порошков вольфрама и углерода.....	49
Рогожина К.П. О хрупком и вязком разрушении магистрального газопровода.....	50
Тихановский Д.А. Разработка технологии изготовления профильных труб из высокопластичных марок стали типа <i>IF</i>	52
Сидоров В.А., Салихьянов Д.Р. Анализ формоизменения слоистых композиционных насосно-компрессорных труб при совместной деформации	52
Мухаметзянов И.Ш. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных результатов исследования процесса волочения проволоки трапецевидного сечения в монолитной волоке	53

Селиванова Е.С., Гун Г.С., Полякова М.А. Необходимость гармонизации требований стандартов на арматурные канаты.....	54
Яковлев С.С., Ларин С.Н. Силовые параметры свободного деформирования листовой заготовки в квадратную матрицу.....	56
Новоселов А.Э., Песин А.М., Дрегун Э.М., Пустовойстов Д.О. Принципиально новый стальной профиль для судостроения	58
Матасов И.И. К вопросу определения силовых параметров при обжиме трубной заготовки в конической матрице	59
Баланчук Л.Е., Логинов Ю.Н., Инатович Ю.В. Исследование уширения металла в калибрах системы «квадрат-квадрат»	62
Биндарева К.А. Расчет режимов волочения проволоки из нового сплава серебра 925 пробы и их экспериментальная проверка.....	64
Быков И.Д., Железняк Л.М. Особенности производства медных сварных и непрерывнолитых заготовок для электропроводов.....	66
Гигель И.Н., Иванов Е.В., Загорская Н.И., Ковалева Я.В. Сравнительный анализ технологических схем изготовления прутков и проволоки из сыпучих стружковых отходов сплава АД31	68
Ерёмин А.В., Железняк Л.М. Исследование деформационных и термических режимов с целью получения полутвёрдой никелевой проволоки.....	69
Малаканов С.А., Железков О.С., Арзамасцева В.А. Моделирование процесса высадки заготовки болта с шестигранной головкой	70
Лалаян А.Р., Богатов А.А., Павлов Д.А., Павлова Е.А. Совершенствование технологии производства труб на основе компьютерного моделирования процессов раскатки гильзы и редуцирования труб	71
Первухина Д.Н., Логинов Ю.Н., Бабайлов Н.А. Формование и спекание порошковых заготовок из сплава ПлРд-10ДУ	72
Ковин Д.С., Шимов Г.В. Влияние схемы напряженно-деформированного состояния в последнем проходе волочения на распределение остаточных напряжений в трубах	74

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
СВЯЗИ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА**

Материалы II международной
научно-практической конференции

Под редакцией М.В. Чукина

Редактор Н.В. Кутекина
Компьютерная верстка К.В. Гаврусевой

Подписано в печать 30.06.2016. Рег. № 168-16. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 5,00. Тираж 100 экз. Заказ 304.



Издательский центр ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»