



Журнал индексируется системами РИНЦ и Google Scholar.
Сведения о журнале публикуются в международной системе «Ulrich's Periodicals Directory»

Редакционная коллегия

Главный научный редактор

Корчунов А.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Заместитель главного научного редактора

Анцупов В.П. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Бобарикин Ю.Л. – «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», доцент, кандидат технических наук, г. Гомель, Республика Беларусь.

Горбатьюк С.М. – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», профессор, доктор технических наук.

Кузьминов А.Л. – «Череповецкий государственный университет», профессор, доктор технических наук.

Раскатов Е.Ю. – «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук.

Трофимов В.Н. – «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук.

Ответственный редактор

Слободянский М.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», доцент, кандидат технических наук.

Журнал основан в 2012 г.
Периодичность выхода – 2 номера в год.

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. К. Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
издательский центр.

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии.

Выход в свет 08.07.2022. Заказ 179.
Тираж 300 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

А.Ю. Столяров, А.А. Соколов «ММК-МЕТИЗ» - новые технологические решения и развитие производства	4
Э.П. Дрягун, М.А. Полякова Особенности определения степени гармонизации требований отечественных и зарубежных стандартов	11
Д.П. Канаев, В.М. Тагирова, А.А. Соколов, М.В. Зайцева, А.И. Зайцев, А.В. Колдаев, А.Б. Степанов, Н.А. Арутюнян Исследование закономерностей эволюции структурного состояния и свойств стали марки 42CrMo4 в процессе производства высокопрочных крепежных изделий	18
Д.П. Канаев, А.Ю. Столяров, М.В. Зайцева, А.Г. Корчун, Д.В. Константинов Изменение механических свойств арматурных канатов при механотермической обработке	37
А.К. Тихонов, А.А. Сорокин, Д.Г. Рузаев Этапы развития технологий: от переработки горячекатаного металла до высокопрочного автомобильного крепежа	44
О.А. Белан, Д.Г. Олейник Применение программного комплекса QFORM при освоении новых видов крепежных изделий и для совершенствования существующих технологий в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ»	47
О.С. Железков, Т.Ш. Галиахметов, С.Б. Лизов Поиск рациональных технологий изготовления болтов с шестигранными головками из нержавеющей стали на основе комплексного критериального подхода	55
М.П. Шишкарёв Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты первого поколения с косвенным регулированием	61
А.Ю. Столяров, А.Р. Базыков Изготовление крепежа для автомобильной промышленности с применением инновационных марок сталей	69
И.В. Понурко, Л.Е. Покрамович, А.А. Киреева Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья при производстве проволоки в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ»	73
В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов Вклад ученых МГТУ им. Г.И. Носова в развитие производства проволоки и канатов на ОАО «ММК-МЕТИЗ»	76
С.А. Кургузов, И.А. Красноперова Влияния геометрических параметров режущей части гаечного метчика на силовые параметры процесса нарезания резьбы в гайке	81
Сведения об авторах	87

CONTENTS

A.Yu. Stolyarov, A.A. Sokolov MMK-METIZ: new process solutions and production development	4
E.P. Dryagun, M.A. Polyakova Features of determining a degree of harmonization of Russian and foreign standards	11
D.P. Kanaev, V.M. Tagirova, A.A. Sokolov, M.V. Zaitseva, A.I. Zaitsev, A.V. Koldaev, A.B. Stepanov, N.A. Arutyunyan Study on regularities of the evolving structural condition and properties of steel grade 42CrMo4, when producing high-strength fasteners	18
D.P. Kanaev, A.Yu. Stolyarov, M.V. Zaitseva, A.G. Korchunov, D.V. Konstantinov Changes in mechanical properties of prestressing strands under thermo-mechanical treatment	37
A.K. Tikhonov, A.A. Sorokin, D.G. Ruzaev Stages of technology development: from processing of hot rolled steel to manufacturing high-strength automotive fasteners	44
O.A. Belan, D.G. Oleynik Application of QFORM software suite for learning new types of fasteners and improving the existing technologies at OJSC MMK-METIZ	47
O.S. Zhelezkov, T.Sh. Galiakhmetov, S.B. Lizov Searching for feasible technologies of manufacturing hexagon-head bolts from stainless steel, applying an integrated criterion approach	55
M.P. Shishkarev Synthesis and analysis of adaptive friction couplings of the first generation with indirect control	61
A.Yu. Stolyarov, A.R. Bazykov Manufacturing fasteners for the automotive industry, using innovative steel grades	69
I.V. Ponurko, L.E. Pokramovich, A.A. Kireeva Ensuring occupational health and safety, when producing wire at OJSC MMK-METIZ	73
V.A. Kharitonov, M.Yu. Usanov Contribution of the NMSTU scientists to the development of wire and rope manufacturing at OJSC MMK-METIZ	76
S.A. Kurguzov, I.A. Krasnooperova Effect of geometry of the nut tap cutting part on force parameters of thread cutting in nuts	81
The information about the authors	87

Уважаемые коллеги!

ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод ММК-МЕТИЗ» в 2022 году отметило своё 80-летие! Являясь правопреемником метизно-металлургического и калибровочного заводов, сохраняя трудовые традиции, предприятие уверенно идет вперед, стремясь соответствовать духу времени и новым тенденциям.

У завода-труженика – большая и славная история. В первые месяцы Великой Отечественной войны в Магнитогорск прибыло оборудование, эвакуированное из центральных и южных районов страны. За несколько месяцев, практически на пустом месте, в тяжелейших погодных условиях и при острой нехватке специалистов и рабочих, были построены цеха Магнитогорского завода металлоизделий, и Магнитогорского калибровочного завода, выдана необходимая фронту продукция. В настоящее время ОАО «ММК-МЕТИЗ» - ключевой актив группы ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» в области глубокой переработки металлопроката и производства продукции с высокой добавленной стоимостью.



Предприятие известно в России и за рубежом как надежный и ответственный партнер. Завод стабильно входит в тройку лидеров метизной отрасли России. Широкая номенклатурная линейка делает ОАО «ММК-МЕТИЗ» уникальным предприятием не только для России, но и мира. Завод производит все виды метизных изделий: от таких традиционных как проволока, гвозди, металлическая сетка, калиброванный прокат и до уникальных видов крепежа, арматуры и канатов, выпуск которых осуществляется с применением инновационных технологий на современном оборудовании.

Представленный выпуск журнала «Механическое оборудование металлургических заводов» посвящен 80-летию предприятия. В статьях юбилейного номера нашли свое отражение результаты научных исследований и производственный опыт по широкому спектру проблем современного метизного производства. Среди авторов известные ученые и специалисты, а также молодые исследователи. Такая связь различных поколений, ведущих научных школ и производства, способствует укреплению и развитию творческого сотрудничества в метизной отрасли. Большинство научных статей подкреплены промышленным внедрением результатов.

Коллектив завода выражает признательность ученым и специалистам-производственникам за активное и заинтересованное участие в формировании юбилейного номера журнала.

Директор
ОАО «ММК-МЕТИЗ»

С.В. Дубовский



УДК 621.7

А.Ю. Столяров, А.А. Соколов
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод
«ММК-МЕТИЗ»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: Stolyarov.AY@mmk-metiz.ru
Дата поступления 04.07.2022

«ММК-МЕТИЗ» - НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

В статье приводятся результаты научно-производственной деятельности предприятия в разрезе прошедших пяти лет, а также обозначаются основные перспективные направления развития. Обсуждаемые вопросы касаются производства калиброванного проката, крепежа, углеродистой проволоки, стандартизации и сертификации продукции. Отмечается важность создания научного фундамента деятельности предприятия в современных условиях для решения практических задач при разработке новых видов продукции и повышения эффективности производства. Достижению этой цели будет способствовать тесное сотрудничество с ведущими научными организациями нашей страны.

Ключевые слова: ОАО «ММК-МЕТИЗ», научно-производственная деятельность, архитектура знаний, модернизация, развитие производства, инновационные решения, калиброванный прокат, производство крепежа, высокоуглеродистая проволока, сварочная проволока, функциональные покрытия.

Введение

В основе развития любого промышленного предприятия лежит уровень используемых технологий. Одно из наиболее точных определений понятия «технология», относительно завода (производства) - применение научного знания для решения практических задач. При этом важно, с одной стороны, эффективно осуществить «трансфер» научных знаний от фундаментальной науки к прикладной - заводской, а с другой - создать грамотную архитектуру этих знаний в условиях завода для успешного применения в последующих «полевых условиях». В этом состоит одна из основных задач технологической службы завода, в частности ОАО «ММК-МЕТИЗ».

К сожалению, в последнее время, учитывая специфику модернизации отечественных заводов импортным оборудованием, вышеупомянутая система накопления собственных знаний была частично утрачена. Обусловлено это тем, что зарубежные производители оборудования, продавая нашим отечественным заводам это

оборудование, не всегда полностью учитывали общую специфику отечественного метизного производства (качество исходного подката, технологические режимы, используемые материалы и т. п.) и привносили свои, не всегда эффективные решения. Ситуация усугубилась ещё и тем, что метизники остались без ведущего отраслевого исследовательского института ВНИИМЕТИЗ, который прекратил свое существование в не самые простые для нашей страны 90-ые годы прошлого столетия.

Эта практика привела к тому, что иногда, необоснованно следуя «советам» иностранных производителей оборудования, в некоторых аспектах завод частично утратил собственные наработки или их не осуществлял. Однако, мы обладаем всеми предпосылками для изменения ситуации. С одной стороны, завод имеет прекрасный научный потенциал, основанный на восьмидесятилетнем опыте людей, осмысленно занимающихся поиском новых и совершенствованием имеющихся технологических решений, с другой — предприятие оснащено самым современным испытательным

оборудованием, программным обеспечением в виде комплекса конечно-элементного моделирования «Q-FORM» для моделирования технологических процессов и создания цифровых двойников. При этом, дальнейшее, ещё более эффективное развитие предприятия невозможно без тесного сотрудничества с «фундаментальной наукой» в лице таких мощных исследовательских центров страны, как ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» и других, имеющих в своём распоряжении лучшие в стране исследовательские центры и лабораторную базу.

В настоящей статье приведён обзор инновационных технологических решений, которые были осуществлены на предприятии за последние пять лет, показаны основные направления современной научной деятельности, а также обозначены вопросы, которые будут иметь актуальность в среднесрочной перспективе. Тематика вопросов представлена по направлениям деятельности.

Основная часть

Производство калиброванного проката

В рамках проводимой на предприятии инвестиционной программы было принято решение о глобальной модернизации, заключающейся в запуске в эксплуатацию в 2020 году нового комплекса производства калиброванного проката, имеющего в своём составе линии дробемётной очистки проката перед волочением, непосредственно узел волочения, профилирующие клетки, узлы реза проката на мерную длину, узлы правки и пакетирования. Ранее действующие линии, работающие с проката, проходившего подготовку поверхности к волочению с помощью кислотного травления и известкования, были демонтированы.

Использование дробемётной очистки поверхности проката перед волочением вместо классической схемы травления в серной кислоте и нанесения подмазочного слоя привело к необходимости поиска новых технологических решений. Сам по себе способ обработки поверхности проката

дробью новым не является и широко используется в машиностроении для очистки и упрочнения поверхностных слоёв стали. С учетом того, что, в дальнейшем, горячекатаный прокат после обработки стальной дробью подвергается процессу волочения в монолитных и роликовых волоках (без нанесения подмазочного слоя), потребовалось найти дополнительные технологические подходы. Основная задача заключалась в том, чтобы определить режимы обработки поверхности горячекатаного проката металлической дробью, обеспечивающие устойчивый процесс его пластической деформации методом волочения в последующем. Также необходимо было учесть градиентную структуру исходного проката, обусловленную, в первую очередь, наличием обезуглероженного слоя на таких марках стали, как 40, 45, 40X, 38XS.

Для этого специалистами завода совместно с учёными ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» была проведена серия экспериментов по оценке влияния параметров дробемётной обработки на формирование микрорельефа поверхности проката и влияние этого микрорельефа на процесс дальнейшего волочения. Помимо анализа микротопографии поверхности, был проведён анализ изменения твёрдости поверхностных и центральных слоёв проката, характера изменения микроструктуры стали. На основании проведённых исследований были предложены критерии оценки качества поверхности проката после дробемётной обработки. Использование данных критериев позволяет прогнозировать и получать микрорельеф поверхности горячекатаного проката, обеспечивающий последующее волочение с требуемым уровнем производительности и качеством готовой продукции.

Анализ микроструктуры и твёрдости поверхностных слоёв стали выявил новые закономерности изменения свойств проката после дробемётной обработки и волочения. В частности, установлено, что за счёт воздействия стальной дроби на поверхность проката скачкообразно увеличивается твёрдость обезуглероженного слоя [1]. Данный факт необходимо учесть при

разработке технологии волочения — контактом взаимодействия поверхности проката с рабочей поверхностью волочильного инструмента. Проведено конечно-элементное мультимасштабное моделирование процесса взаимодействия стальной дроби с поверхностью проката в комплексе конечно-элементного моделирования «ABAQUS», а также моделирование процесса комбинированного волочения по схеме «роликовое волочение — волочение в монолитных волоках» при производстве профилей шестигранного и квадратного сечения в комплексах конечно-элементного моделирования «ABAQUS» и «DEFORM». На основании проведённых исследований установлены новые зависимости, позволяющие вывести технологические линии принципиально на новый производственный уровень, а также существенно повысить качество готовой продукции.

Производство крепёжных изделий

За рубежом крепёжные изделия повышенной прочности (класс прочности 8.8 и выше) составляют 90-95% от общего объема производства, в то время как в РФ доля крепёжа повышенной прочности составляет 15-18% от общего объема выпуска. Очевидны преимущества использования высокопрочного крепёжа:

- выдерживает разрушающее воздействие нагрузки в 2-3 раза выше, по сравнению с классом прочности 4.8;
- удобно применять крепёжные изделия меньшего размера при тех же нагрузках;
- сокращается металлоёмкость крепёжа и, соответственно, цена снижается на 15-25%.

В связи с вышесказанным, производство высокопрочного крепёжа для автомобильной и других ответственных отраслей является приоритетной задачей для ОАО «ММК-МЕТИЗ». В настоящее время на импорт приходится до 60 % российского рынка высокопрочного крепёжа, при этом доля производства методом холодной объёмной штамповки высокопрочных крепёжных и других ответственных изделий в РФ составляет не более 20 % от общего объема.

Для решения поставленных задач на предприятии идёт реализация проекта «Современная технология производства из высококачественного сортового проката методом ХОШ высокопрочных (в том числе, классов прочности 10.9, 12.9, 14.9) крепёжных изделий для обеспечения нужд автомобилестроения и других ответственных назначений» с целью обеспечения потребностей отечественного автомобилестроения, других отраслей техники и промышленности, отказа от импорта. Совместно с ОАО «ММК-МЕТИЗ» в программе принимают участие ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ФГУП «НАМИ», ПАО «КАМАЗ», АО «БелЗАН», ПАО «ММК». В рамках программы предложены новые экономнолегированные марки стали 32CrB4, 36MnB4 и 42CrMo4, которые были успешно выплавлены в ПАО «ММК». Данные марки стали могут быть опробованы наряду с уже применяемыми марками 38ХГНМ, 40Х, 40Х2НМА и другими с выявлением определенных технологических и экономических преимуществ.

В результате термодинамического моделирования и проведения физических экспериментов учёными «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» совместно со специалистами завода получены режимы сфероидизирующего отжига горячекатаного проката из сталей марок 32CrB4, 36MnB4 и 42CrMo4, а также режимы термической обработки крепёжных изделий классов прочности 8.8, 10.9, 12.9, 14.9 из данных марок сталей. С помощью имеющегося на предприятии комплекса конечно-элементного моделирования «Q-FORM» специалистами завода была разработана технология штамповки крепёжных изделий — колёсных болтов, удовлетворяющих требованиям ПАО «КАМАЗ» и ОАО «Минский автомобильный завод». При исследовании напряжённо-деформированного состояния стали основное внимание было уделено процессу накатки резьбы на готовом термообработанном изделии. Установлены зависимости характера распределения напряжений в зависимости от параметров процесса накатки, позволяющие делать вывод о необходимости повышения усталостных свойств готового крепёжа проведением его механотермической

обработки - накатки резьбы после проведения операции закалки и отпуска. На данный момент проводится работа по совместным испытаниям опытных партий крепёжных изделий из новых сталей в условиях ПАО «КАМАЗ» и ОАО «Минский автомобильный завод».

Производство армирующих материалов для различных отраслей промышленности

Армирующие материалы для строительной и железнодорожной отрасли нашей страны занимают основное место среди продуктовой линейки ОАО «ММК-МЕТИЗ», составляя основную долю от объёма производимой продукции. К ним относятся как изделия из высокоуглеродистой стали — высокопрочная арматура, арматурные канаты, так и изделия из низкоуглеродистой стали — проволока и прокат арматурный.

В части производства армирующих материалов из высокоуглеродистой стали в ОАО «ММК-МЕТИЗ» совместно с ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» реализован проект «Создание высокотехнологичного производства стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе инновационной технологии термомодеформационного наноструктурирования» по созданию высокотехнологичного производства высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм для железобетонных шпал высокоскоростных и тяжело нагруженных магистралей, поддержанный Министерством образования и науки Российской Федерации. Значимой научной целью проекта было формирование ультрамелкозернистого состояния высокоуглеродистых сталей в объёмных длинномерных изделиях, что позволило значительно повысить комплекс эксплуатационных характеристик широкого класса металлических изделий, в том числе и высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм для железобетонных шпал нового поколения [2].

Также, говоря о производстве высокоуглеродистой стали, нужно отметить успешно реализованный комплексный проект «Организация высокотехнологичного

производства импортозамещающих наноструктурированных арматурных канатов для строительных конструкций ответственного назначения», выполненный ОАО «ММК-МЕТИЗ» в рамках НИОКР совместно с ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» [3].

С целью увеличения качественных показателей арматурного проката из низкоуглеродистой стали для железобетонных конструкций класса 500 в ОАО «ММК-МЕТИЗ» реализуется мероприятие по улучшению свойств арматурного проката, а именно применение технологии SBR «stretching – bending with rebending» (растяжения в устройствах со знакопеременным изгибом с малой степенью деформации) или «cold stretching» (знакопеременной деформации в размере не более 5-8% на этапе финишной обработки проката) [4]. Предпосылкой для применения технологии «COLD STRETCHING» при производстве холоднодеформированного арматурного проката класса 500 послужило введение в действие нового ГОСТа 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций», установившего для производителя принципиально иной уровень качества продукта, введя в действие новые требования к ряду эксплуатационных характеристик.

Совместно с учёными с ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» в программных пакетах «ABAQUS» и «DEFORM» произведен анализ напряжённо-деформированного состояния арматурного проката в процессе растяжения со знакопеременной деформацией. Получены результаты формоизменения профиля горячекатаного проката в зависимости от параметров знакопеременной деформации. Также предложена методика проектирования режимов, обеспечивающих уровень интенсивности деформации, достаточной для получения заданного уровня физико-механических свойств готового проката.

Производство сварочной проволоки

Производство новых сварочных материалов – сварочной проволоки особенно ак-

туально на сегодняшний день в рамках реализации работ по импортозамещению. На предприятии успешно реализуется проект по изготовлению проволоки под брендом «MAGWIRE». Сварочная проволока «MAGWIRE» предназначена для механизированной и автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов низколегированных конструкционных сталей «MAGSTRONG®» и других током обратной полярности. Проволока также может использоваться в качестве присадки для автоматической дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. На сегодняшний день активно ведутся работы по поиску новых сварочных материалов для сварки труб из высокопрочных сталей класса прочности K80 (X100), обеспечивающих рабочее давление газа 14,7 МПа. Успешно проводятся опытные испытания новых импортозамещающих сварочных материалов в условиях ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», ООО «ЭТЕРНО» и других предприятиях.

Производство высокоуглеродистой проволоки и канатов

По большей части, всё, что связано с высокоуглеродистой проволокой (канатами, арматурой) имеет определённый тренд, а именно - повышение прочности при необходимом уровне пластичности. Так, например, на рынке всё большее применение находят канаты группы прочности 1960 Н/мм² и выше, проволока для производства сердечников неизолированных сталелегированных и сталемедных проводов прочностью выше 2200 МПа, высокопрочная арматура с условным пределом текучести 1500 МПа и равномерным относительным удлинением не менее 3,5%, высокопрочная канатная проволока группы прочности 1960 МПа и выше, в том числе оцинкованная и т. п.

Получение такой конкурентоспособной высокопрочной проволоки с обеспечением необходимого уровня пластических свойств - актуальная задача для современного метизного производства. На предприятии уже реализованы ранее упомянутые проекты по высокопрочной арматуре для

железнодорожных шпал и арматурным канатам, реализация которых стала возможной, благодаря использованию катанки с содержанием углерода 0,78-0,82%, легированной такими упрочняющими элементами, как ванадий, хром и др., а также совершенствованием технологических процессов на метизном переделе.

На данный момент в ОАО «ММК-МЕТИЗ» ведутся работы по исследованию возможности получения высокопрочной (мегавысокопрочной) проволоки различного назначения из стали с содержанием углерода более 0,90 %. Для осуществления поставленной задачи требуется проведение дополнительных исследований по оценке влияния формы и ориентации феррито-цементитных пластин микроструктуры стали на физико-механические свойства готовой проволоки, учёт влияния процесса растворения цементита в феррите при пластической деформации, разработка новых режимов термической обработки проката (передельной заготовки), режимов деформации. Получение таких зависимостей позволит предприятию существенно продвинуться в области исследования и производства высокопрочной проволоки для различных отраслей промышленности.

Особый интерес представляет процесс получения высокопрочной проволоки с цинковым (цинк-алюминиевым) покрытием, в частности процесс волочения оцинкованной проволоки — процесс совместной пластической деформации разных материалов (СПДРМ) [5]. Исследованиями, проведёнными в ОАО «ММК-МЕТИЗ» с помощью комплекса конечно-элементного моделирования «DEFORM», установлено, что с увеличением прочности материала основы возникает существенное различие в свойствах двух деформируемых материалов в очаге деформации — металлической основы и цинковой оболочки. При этом увеличивается вероятность разрушения (микрповреждений) как стальной проволоки, так и цинкового покрытия. В этой связи необходимо проведение дополнительных исследований структур и напряжённо-деформированного состояния системы «проволока — покрытие» с установ-

лением новых критериев устойчивости оболочки в процессе волочения. Использование новых таких критериев позволит осуществлять процесс волочения с минимальным риском разрушения цинкового покрытия.

Стандартизация и сертификация продукции

Немаловажными аспектами в деятельности ОАО «ММК-МЕТИЗ» являются вопросы, связанные с поддержанием на высоком уровне нормативной деятельности предприятия. ОАО «ММК-МЕТИЗ» содержит секретариат действующего Технического подкомитета ПК 7 ТК 375 "Метизы и крепежные изделия". В 2021 году техническим подкомитетом выпущены в свет 2 стандарта с техническими требованиями и оценкой соответствия на самонарезающие винты для строительной промышленности, ведется текущая работа по разработке серии национальных стандартов на высокопрочный крепеж, актуализации технических условий отраслевого значения ТУ 14-4-..., верстаются планы национальной стандартизации с целью актуализации устаревших нормативных документов на метизную продукцию.

Конкурентоспособность продукции и уровень ее качества подтверждены документами о соответствии продукции. В настоящее время их насчитывается более ста. Это сертификаты соответствия и декларации о соответствии железнодорожного крепежа техническим регламентам Евразийского экономического союза ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта»; сертификаты соответствия обязательной и добровольной сертификации канатов стальных, канатов талевых и арматурных, машиностроительного и высокопрочного крепежа, проката арматурного в системах «Мосстройсертификация» и «ФЦС-стройсертификация»; свидетельства об одобрении производства Российским морским Регистром судоходства и Российским Речным Регистром; свидетельства об аттестации сварочной проволоки Национальным агентством сварочных материалов (НАКС);

европейские сертификаты соответствия на канаты стабилизированные и проволоку арматурную и т.д.

Заключение

В качестве заключения представлены основные, на наш взгляд, перспективные направления развития научно-производственной деятельности предприятия.

Производство калиброванного проката:

- разработка новых показателей (критериев) оценки параметров шероховатости поверхности и микроструктуры поверхностного слоя после дробемётной обработки проката, обеспечивающих получение заданного уровня устойчивости процесса волочения и качества готовой продукции, создание мультимасштабных моделей процесса поверхностной пластической деформации проката стальной дробью с последующим его волочением;
- оценка влияния режимов обработки проката металлической дробью на эксплуатационные свойства готовой продукции.

Производство высокопрочного крепежа:

- определение химического состава и выплавка новых легированных марок сталей (совместно с ПАО «ММК») с целью получения высокопрочных крепёжных изделий особо ответственного назначения классов прочности 12.9 и 14.9;
- формирование заданного уровня (комплекса) свойств высокопрочного крепежа на основе механо-термической обработки (пластической деформации после заковки и отпуска).

Функциональные материалы и покрытия:

- разработка требований к металлическим покрытиям и технологии нанесения (цинковым, цинк-алюминиевым, медным) обеспечивающим заданный уровень их предельной деформируемости совместно с материалом основы.

Сварочная проволока:

- определение химического состава и выплавка новых низколегированных марок сталей (совместно с ПАО «ММК»), определение режимов отжига и волочения с целью импортозамещения и аттестации новых сварочных материалов.

Высокоуглеродистая проволока:

- совершенствование технологии изготовления и расширение продуктовой линейки высокопрочной и ультравысокопрочной проволоки (в том числе и с функциональными покрытиями) на основе использования перспективных марок стали с содержанием углерода 0,90 % и выше.

Стандартизация и сертификация продукции:

- поддержание деятельности секретариата ПК 7 ТК 375 «Метизы и крепежные изделия» для создания новых нормативных документов и актуализации существующих для метизной отрасли;
- обеспечение сертификатами и декларациями для подтверждения соответствия.

Библиографический список

1. Канаев Д.П., Столяров А.Ю., Корчунов А.Г., Константинов Д.В., Зайцева М.В.

Особенности проектирования режимов волочения калиброванного проката после дробеметной обработки поверхности // Заготовительные производства в машиностроении. 2022. Т. 20. №5. С. 223-229.

2. Ушаков С.Н., Чукин М.В., Полякова М.А., Гун Г.С. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения //Путь и путевое хозяйство. - 2012. -№ 11. - С. 25-27.
3. Константинов Д.В., Корчунов А.Г., Зайцева М.В., Ширяев О.П., Емалева Д.Г. Исследование макро- и микромеханики деформирования перлитной стали в многостадийных технологиях производства арматурных канатов // Сталь. 2018. № 7. С. 44-48.
4. Столяров А.Ю., Зайцева М.В., Столяров Ф.А. Оценка возможности внедрения технологии cold stretching для повышения качества холоднодеформированного арматурного проката класса 500 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 10. С. 1028-1034.
5. Столяров А.Ю., Столяров Ф.А. Оценка напряженно-деформированного состояния цинкового покрытия при волочении высокоуглеродистой канатной проволоки // Magnitogorsk Rolling Practice 2018. Материалы III молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. 2018. С. 42-43.

Information about the paper in English

A.Yu. Stolyarov, A.A. Sokolov
OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant
(MMK-METIZ)
Magnitogorsk, Russia
E-mail: Stolyarov.AY@mmk-metiz.ru
Received 04.07.2022

MMK-METIZ: NEW PROCESS SOLUTIONS AND PRODUCTION DEVELOPMENT

Abstract

The paper presents the research and production outcomes of the plant over the past five years and determines core promising areas of development. The issues under discussion concern production of gauged bars, fasteners, carbon wire, standardization and certification of products. It is important to lay the research groundwork for current activities of the plant to perform practical tasks, when developing new types of products and increasing production efficiency. A close collaboration with Russian leading research organizations will contribute to achieving this goal.

Keywords: OJSC MMK-METIZ, research and production, architecture of knowledge, modernization, production development, innovative solutions, gauged bars, production of fasteners, high-carbon wire, welding wire, functional coatings.



УДК 621.778.08

Э.П. Дрягун
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод
«ММК-МЕТИЗ»
г. Магнитогорск, Россия
М.А. Полякова
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: m.polyakova@magtu.ru
Дата поступления 21.03.2022

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ГАРМОНИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ

Аннотация

Одним из путей повышения конкурентоспособности металлоизделий на внутреннем и внешнем рынках является гармонизация требований российских стандартов с зарубежными нормами. Актуальной является задача определения степени соответствия требований стандартов различных стран и категорий. Разработана методика определения степени гармонизации стандартов различных категорий с использованием основных принципов квалиметрии, позволяющая получить численную оценку степени гармонизации российских и зарубежных стандартов. Это является основой для определения направлений повышения степени согласованности содержащихся в них требований, а также разработки и внедрения новых технических и технологических решений в действующее производство, что позволит повысить конкурентоспособность продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Ключевые слова: стандартизация, стандарт, гармонизация, квалиметрия, методика.

Введение

Как известно, производимая продукция в зависимости от ее назначения должна соответствовать требованиям стандартов различных категорий: международным стандартам ISO, национальным стандартам страны-производителя, действующим стандартам предприятий или компаний. Вполне очевидно, что нормируемые в стандартах требования к свойствам продукции должны в полной мере обеспечивать возможность выполнения ее потребительских функций [1-5]. В последнее время наблюдается устойчивая тенденция по приведению в соответствие требований российских стандартов с зарубежными нормами. Существующие в настоящее время проблемы стандартизации обусловлены переходным периодом реформирования в области технического регулирования и являются сдерживающим фактором в достижении поставленных перед стандартизацией стратегиче-

ских целей [6]. Это относится к низкой эффективности стандартов из-за отставания научно-технического уровня стандартов от современных достижений науки и техники и замедления темпов гармонизации национальных стандартов с международными стандартами [7-9].

Тотальная гармонизация фонда национальных стандартов с международными стандартами ИСО проявляется в копировании требований международных стандартов «методом обложки». Иными словами, содержание российского стандарта полностью совпадает с требованиями соответствующего международного нормативного документа. При этом различают гармонизированные стандарты, которые относятся к одному и тому же объекту, но утвержденные различными органами; унифицированные стандарты, т.е. идентичные по содержанию, но неидентичные по форме представления информации; идентичные стан-

дарты, к которым относятся гармонизированные стандарты, идентичные и по содержанию, и по форме представления [10]. Существуют также так называемые сопоставимые стандарты. Это стандарты, распространяющиеся на одну и ту же продукцию, их требования основываются на одних и тех же характеристиках, которые оцениваются с помощью одних и тех же методов, что позволяет однозначно сопоставить различия в нормируемых требованиях к продукции.

Однако практика гармонизации стандартов ставит перед отечественными предприятиями ряд новых задач, связанных, прежде всего, с необходимостью модернизации производства, чтобы обеспечить уровень свойств, который регламентируется зарубежными нормами. Особенно актуальна данная задача для производителей различных видов крепежных изделий. В настоящее время рынок крепежных изделий представлен их широким ассортиментом, который производится на предприятиях различных стран Европы и Азии либо по зарубежным стандартам (ISO, DIN, DIN EN и др.), либо в брендовом исполнении [11]. С этой точки зрения для укрепления позиций российских производителей крепежа одной из актуальных задач является разработка методики определения степени гармонизации требований российских стандартов и зарубежных норм. Это позволит определить направления развития технологий производства крепежных изделий для обеспечения конкурентоспособности данных видов метизов на внешнем рынке металлопродукции.

Основная часть

Фонд национальных стандартов на различные виды крепежа представляет рационально организованную систему стандартов различных категорий, которая в комплексе устанавливает полный набор технических требований, необходимых и достаточных для производства крепежных изделий, проведения их контроля и испытаний, приемки и поставки потребителю [12]. К основным нормируемым требованиям относятся конструкции типов изделий, раз-

меры отдельных конструктивных элементов, наиболее широко применяемых типоразмеров.

Значительную часть фонда (около 80%) составляют ссылочные стандарты на международные стандарты ИСО. Вполне справедливо отмечается [13, 14], что значительная часть и национальных и межгосударственных стандартов разрабатываются как «идентичные», а для обеспечения импортозамещения утверждены несколько специальных программ по разработке гармонизированных (в основном идентичных) стандартов. При этом следует учитывать, что разработчиками стандартов, которые приняты в качестве идентичных для ГОСТ ISO, ГОСТ Р ISO, ГОСТ EN, ГОСТ ИЕС являются зарубежные компании и иностранные специалисты.

В таблице представлены данные о степени соответствия отечественных стандартов международным. Степень соответствия определяется по группе идентичные (IDT) и неэквивалентные стандарты (NEQ).

Однако практика работ в области гармонизации требований стандартов различных стран должна проводиться с учетом национальных особенностей практики проведения работ в области стандартизации. Например, в разных странах используется своя уникальная классификация марок стали, специфические требования к упаковке и маркировке металлопродукции, методам испытаний и контролю и т.д. Вышеперечисленные факторы следует учитывать, когда стоит задача гармонизации требований российских стандартов и зарубежных норм. В связи с этим актуальной задачей является разработка методики оценки степени гармонизации требований стандартов. При этом следует учитывать, что разные стандарты зачастую не позволяют в полной мере идентифицировать анализируемые требования на продукцию.

Для решения данной задачи за основу была принята методика [15], разработанная для оценки конкурентоспособности технологических процессов, справедливость применения которой показана на примере существующих технологических процессов производства проката арматурного [16]. Сущность данного подхода заключается в

использовании методов квалиметрической оценки качества продукции, когда качество анализируемой продукции оценивается в сравнении с качеством продукции, выбранной в качестве базовой [16, 17]. Как из-

вестно, в качестве базовой модели принимаются лучшие отечественные или мировые аналоги, значения показателей качества, которых превосходят соответствующие показатели анализируемой продукции.

Таблица

Степень соответствия отечественных и международных стандартов на некоторые виды крепежных изделий и их конструктивные части

Обозначение и наименование межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение международного стандарта
ГОСТ Р ИСО 8992-2011 «Изделия крепежные. Общие требования для болтов, винтов и шпилек»	IDT	ИСО 8992
ГОСТ ISO 4759-1—2015/ISO 4759-1:2000 «Изделия крепежные. Допуски. Часть 1. Болты, винты, шпильки и гайки. Классы точности А, В и С»	IDT	ISO 4759-1
ГОСТ ISO 2702—2015/ISO 2702:2011 «Винты самонарезающие стальные термообработанные. Механические свойства»	IDT	ISO 2702
ГОСТ Р ИСО 3506-4-2014 «Механические свойства крепежных изделий из коррозионно-стойкой нержавеющей стали. Часть 4. Самонарезающие винты»	IDT	ИСО 3506
ГОСТ ISO 1478—2015/ISO 1478:1999 «Резьба самонарезающих винтов»	IDT	ISO 1478
ГОСТ Р ИСО 7721-2011 «Винты с потайной головкой. Конструкция головки и калибры для контроля»	IDT	ИСО 7721
ГОСТ Р ИСО 7721-2-2011 «Винты с потайной головкой. Часть 2. Глубина вхождения крестообразного шлица»	IDT	ИСО 7721-2
ГОСТ Р ИСО 10683-2013 «Изделия крепежные. Неэлектrolитические цинк-ламельные покрытия»	IDT	ISO 10683
ГОСТ ISO 3269—2015/ISO 3269:2000 «Изделия крепежные. Приемочный контроль»	IDT	ISO 3269
ГОСТ Р ИСО 6157-1-2009 «Изделия крепежные. Дефекты поверхности. Часть 1. Болты, винты и шпильки общего назначения»	IDT	ИСО 6157-1
ГОСТ ISO 16426—2015/ISO 16426:2001 «Изделия крепежные. Система обеспечения качества»	IDT	ISO 16426
ГОСТ 10753—86 «Шлицы крестообразные для винтов и шурупов. Размеры и методы контроля»	NEQ	ISO 4757

В случае если частные показатели качества продукции V_i являются комплексными, то они также определяются как

суммы произведений единичных показателей качества на соответствующие им коэф-

коэффициенты весомости. В случае если индексы не являются комплексными, то в зависимости от их характера, они могут быть определены либо по соответствующим шкалам или пропорционально от базовых показателей, либо по следующим формулам:

$$B_i = \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}}, \quad (1)$$

$$B_i = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_i}, \quad (2)$$

где P_i – численное i -го значение показателя качества,

$P_{i\text{баз}}$ – значение i -го показателя качества базовой модели.

Индексы B_i могут принимать значения в диапазоне от 0 до 1.

Аналогичным образом можно оценить степень гармонизации требований различных нормативных документов. Это возможно осуществить путем сопоставления и сравнения значений нормируемых показателей в этих документах. В этом случае степень гармонизации сравниваемых нормативных документов можно определить, как сумму произведений единичных показателей качества на соответствующие им коэффициенты весомости:

$$Q = \sum_{i=1}^n \beta_i Q_i, \quad (3)$$

где Q – показатель степени гармонизации сравниваемых нормативных документов;

Q_i – показатель гармонизации параметров качества в сравниваемых нормативных документах;

β_i – коэффициенты весомости нормируемых параметров.

Поскольку каждый нормативный документ регламентирует ряд показателей, поэтому для определения степени гармонизации требований стандартов необходимо все показатели представить в кодированном виде. В данном случае кодирование заключается в выборе наилучшего значения для каждого нормируемого показателя. Это позволяет учитывать особенности нормирования показателей качества в различных по содержанию стандартах. При расчете показателя гармонизации Q_i используются параметры качества анализируемого P_i и

базового $P_{i\text{баз}}$ документов. Значение этих параметров определяются на основе максимального x_{max} и минимального x_{min} значений соответствующего показателя. В этом случае значение параметра качества определится как разность их разность:

$$P = x_{\text{max}} - x_{\text{min}}; \quad (4)$$

$$P_{\text{баз}} = x_{\text{max баз}} - x_{\text{min баз}}; \quad (5)$$

$$1, \text{ при } \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}} \geq 1;$$

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}}, \text{ при } 0 < \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}} < 1; \quad (6)$$

$$0, \text{ при } \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}} = 0.$$

При необходимости сравнения значений параметра, задаваемого числом, вместо величины интервала берется непосредственно сравниваемое номинальное значение анализируемого параметра. Используемые данных формул уместно, когда требуется определить степень гармонизации конкретных численных значений типоразмеров продукции. В случае, если оцениваемый документ не регламентирует какой-либо показатель, то такому показателю присваивается значение 0. Если значение показателя в оцениваемом стандарте выше, чем в базовой модели, то такому показателю присваивали значение 1. Это обусловлено тем, что в большинстве случаев более широкий интервал значений оцениваемого стандарта включает значения базового. Тогда можно говорить о гармонизации такого показателя.

При определении коэффициентов весомости целесообразно исходить из того, что при оценке степени гармонизации нормативных документов все показателей равнозначны. Учитывая, что традиционно в квалиметрии сумма коэффициентов весомости равна единице, поэтому используем формулу:

$$\beta_i = \frac{1}{n}, \quad (7)$$

где n – количество учитываемых показателей качества при проведении оценки степени гармонизации нормативных документов.



Рисунок. Последовательность действий при определении степени гармонизации стандартов

В применяемом подходе сумма коэффициентов весомости должна быть равна 1. Если рассчитанное значение степени гармонизации стандартов Q равно 0, то это означает полное несоответствие требований сравниваемых стандартов. При $Q = 1$ требования стандартов гармонизированы.

В большинстве случаев нормативные документы регламентирует показатели качества продукции для целого диапазона значений, что отчасти усложняет проведение расчетов. Поэтому в методике предлагается сравнивать не конкретные значения, а диапазоны численных значений нормируемых параметров. Однако, в разработанном подходе основная сложность заключается в выборе базовой модели нормативного документа, поскольку содержания различных стандартов и регламентируемые в них требования к аналогичной продукции могут в значительной степени отличаться.

Заключение

Таким образом, использование основных подходов квалиметрии позволяет разработать эффективный инструмент для оценки степени гармонизации требований стандартов различных категорий. Разработанная методика может быть использована в практике разработки стандартов для установления соответствующих значений нормируемых показателей [19]. Отличительной особенностью разработанной методики является возможность получения численной оценки степени гармонизации различных видов нормативных документов. Это позволяет сделать вывод о соответствии предъявляемых требований к продукции, опосредованно свидетельствовать об уровне развития технологий производства в различных странах, на основании чего разрабатывать мероприятия по дальнейшему развитию технологических процессов производства конкурентоспособной продукции.

Библиографический список

1. Рубин Г.Ш., Полякова М.А. Развитие научных основ стандартизации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 97 – 102.

2. Рубин Г.Ш., Данилова Ю.В., Полякова М.А. Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 1 // Производство проката. 2015. - № 5. - С. 27-31.
3. Рубин Г.Ш., Данилова Ю.В., Полякова М.А. Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 2 // Производство проката. 2015. № 6. С. 38-43.
4. Функционально-целевой анализ как метод структурирования свойств и функций металлоизделий / Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун Г.С., Полякова М.А. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 10. С. 715 - 719.
5. Сафуанов А.И., Дрягун Э.П., Полякова М.А. Определение потребительских функций винта самонарезающего // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. материалов конф. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. Ч. 2. С. 272-274.
6. Еремин Г.Н. Стандартизация и ее роль в повышении конкурентоспособности металлургической отрасли // Международная конференция «Стандартизация – ключевой инструмент повышения экономической эффективности предприятий металлургического комплекса России», Москва, 23-24 июня 2016 г.
7. Терентьева Р.П. Гармонизированные стандарты на продукцию сырьевых отраслей промышленности // Стандарты и качество. 2004. № 10. С. 26-29.
8. Брод Б.Э. Определение уровня гармонизации национальных стандартов // Стандарты и качество. 2010. № 4. С. 36-39.
9. Тарасев Ю.А., Дунаевский С.Н. Гармонизация стандартов и технических регламентов: какой она должна быть? // Стандарты и качество. 2014. № 3. С. 34-37.

10. ISO/IEC Guide 2:2004 Стандартизация и смежные виды деятельности. Общий словарь. 94 с.
11. Барьеры на пути обновления стандартов на самонарезающие винты / Дрягун Э.П., Соколов А.А., Полякова М.А., Соколова Л.Р. // Крепеж, клеи, инструмент. 2020. №1. С. 26-30.
12. Громак А.В. Прочность и безопасность машин – в высоком качестве и надежности крепежных изделий // Вестник ВНИИНМАШ. 2011. №8. С. 37-41.
13. Громак А.В. Об актуализации фонда национальных стандартов на резьбовые крепежные изделия // Крепеж, клеи, инструмент. 2016. № 2 (56). С. 25-33.
14. Лавриненко Ю.А. Основные направления повышения технического уровня и конкурентоспособности крепежных деталей // Третья всероссийская конференция метизников «Современные метизные производства, новые изделия, технологии, материалы», Москва, 26-27 октября 2006 г.
15. Методика определения степени гармонизации стандартов различных категорий / Полякова М.А., Дрягун Э.П., Соколов А.А., Харитонов В.А., Петров И.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №1. С. 60–68.
16. Полякова М.А., Харитонов В.А., Петров И.М. Процессный подход к оценке конкурентоспособности технологического процесса производства металлоизделий // Производство проката. 2019. №4. С. 12-16.
17. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. Под ред. А.В. Гличева. М.: Издательство стандартов, 1973. 172 с.
18. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии. М.: Экономика, 1982. 256 с.
19. Дрягун Э.П., Полякова М.А. Количественная оценка степени гармонизации стандартов (на примере стандартов на винт самонарезающий) // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики: сборник статей участников III международной научно-практической конференции молодых ученых. Издательский дом «Ажур»: Екатеринбург, 2021. С. 63-69.

Information about the paper in English

E.P. Dryagun

OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MMK-METIZ),
Magnitogorsk, Russia

M.A. Polyakova

Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia

E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Received 21.03.2022

FEATURES OF DETERMINING A DEGREE OF HARMONIZATION OF RUSSIAN AND FOREIGN STANDARDS

Abstract

One of the ways of improving competitiveness of metalware on the domestic and foreign markets is to harmonize Russian standards and foreign norms. A currently relevant task is to determine a degree of correspondence between standards of various countries and categories. The authors have developed a procedure of determining the level of harmonization of standards of various categories, using main principles of qualimetry, to get a numerical evaluation of the level of harmonization of Russian and foreign standards. This is used as a basis for setting areas of increasing the degree of coordinated requirements, and developing and introducing new technical and process solutions into the existing production to improve competitiveness of products on the domestic and foreign markets.

Keywords: standardization, standard, harmonization, qualimetry, procedure.



УДК 621.77:669.14.018.27

Д.П. Канаев, В.М. Тагирова,
А.А. Соколов, М.В. Зайцева
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный
завод «ММК-МЕТИЗ»
г. Магнитогорск, Россия
А.И. Зайцев, А.В. Колдаев,
А.Б. Степанов, Н.А. Арутюнян
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им.И.П. Бардина»
г. Москва, Россия
E-mail: aizaitsev1@yandex.ru
Дата поступления 09.06.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ СТАЛИ МАРКИ 42CrMo4 В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация

На промышленных образцах круглого проката диаметрами 18,0 мм и 21,0 мм из стали 42CrMo4 выполнено исследование закономерностей формирования и эволюции структурного состояния и свойств металла при реализации комплексной технологии производства сортового проката и изготовления из него высокопрочных крепежных изделий методами холодной объемной штамповки (ХОШ). При проведении исследования использовали методы световой, сканирующей электронной микроскопии, локального рентгеноспектрального анализа, испытания механических свойств, измерения твердости, определения общего содержания кислорода, азота, термодинамического, кинетического моделирования и расчета. На стадии производства сортового проката изучены характеристики металлургического качества стали, в том числе обезуглероженного слоя, неметаллических включений (выделений), однородности состава по объему металла. Для этапа подготовки металла для ХОШ установлены зависимости степени сфероидизации ферритно-перлитной структуры и механических свойств от режима сфероидизирующего отжига проката. Наконец для стадии получения крепежных изделий установлены закономерности получения механических свойств в зависимости от параметров закалки и отпуска стали.

Ключевые слова: сталь 42CrMo4, круглый прокат, сфероидизирующий отжиг, микроструктура, глобулярный перлит, механические свойства, металлургическое качество, закалка и отпуск, высокопрочные крепежные изделия.

Введение

Быстрое развитие автомобилестроения, машиностроения, строительной индустрии других отраслей техники и промышленности, стремление к снижению массы, повышению эффективности и надёжности эксплуатации устройств, конструкций обуславливает постоянный рост потребности в высокопрочных крепежных изделиях, изготавливаемых из круглого проката из специальных легированных сталей высокопроизводительными методами высадки и/или холодной объемной штамповки [1]. Используемый для этого сортовой прокат должен

обладать заданным уровнем механических свойств и высокими качественными характеристиками для обеспечения способности к холодной осадке до 1/3 исходной высоты цилиндрического образца без образования трещин и других дефектов [2, 3]. С целью достижения необходимых показателей механических свойств готовых крепежных изделий их подвергают специальной термообработке, включающей закалку и отпуск [4].

Для производства высокопрочного крепежа в мировой практике обычно ис-

пользуют среднеуглеродистые специальные легированные стали, содержащие марганец, хром, молибден, бор и т.п., повышающие прочность и прокаливаемость металла, например, 42CrMo4, 10B21, 20MnTiB, 32CrB4, 34Cr4 и др. [4]. Типичная микроструктура сортового проката из таких сталей после горячей прокатки состоит из феррита и пластинчатого перлита. Сталь с пластинчатой морфологией перлита имеет худшую деформируемость и пластичность, чем с глобулярной морфологией цементита [5]. Поэтому, чтобы круглый прокат выдержал значительную пластическую деформацию без образования дефектов в процессе ХОШ, его подвергают предварительному сфероидизирующему отжигу. Однако часто требуется длительное время отжига от 10 до 24 часов, что является энергозатратным [6, 7]. Поскольку в настоящее время наиболее актуальным становится энергосбережение, то эта же задача ставится и при разработке технологий производства сортового проката [8]. Поэтому многие исследования были проведены, чтобы разработать различные методы для ускорения процесса сфероидизации: деформация перлита [7, 9, 10], измельчение исходной микроструктуры после прокатки [11-15], циклическая термическая обработка [16, 17], субкритический отжиг [5, 6] и другие. Тем не менее, выбор оптимального режима предварительной обработки и сфероидизирующего отжига, в основном, производится методом проб и ошибок применительно к конкретным маркам стали и условиям производства. Для стали марки 42CrMo4 такого рода информация отсутствует.

Еще более сложной задачей является определение оптимальных параметров режимов аустенизации, закалки и отпуска стали для получения требуемого комплекса показателей прочности, твердости, пластичности (относительное удлинение), ударной вязкости, стойкости к статическим и динамическим нагрузкам крепежных изделий, особенно, высоких 12.9, 14.9 классов прочности. В том числе, результаты детального исследования стали марки 32CrB4 показали [18], что повышение класса прочно-

сти крепежных изделий приводит к значительному осложнению технологии производства, поскольку требует поддержания все большего числа параметров в узких диапазонах значений. Если при производстве крепежа класса прочности 8.8 со значительным запасом были обеспечены все заданные требования, то уже в случае класса 10.9 имеет место необходимость поддержания температуры отпуска в довольно узком интервале значений. При гарантированном получении прочностных характеристик для всех классов прочности крепежных изделий, включая 12.9, возникает проблема достижения необходимых значений относительного удлинения стали.

В соответствии с отмеченными обстоятельствами стали для изготовления высокопрочных крепежных изделий должны обладать довольно противоречивыми показателями свойств. С одной стороны, они должны обеспечивать получение металла с низкой прочностью – менее 550 – 600 МПа и хорошей деформируемостью перед ХОШ. Напротив, металл полученных крепежных изделий после аустенизации, закалки и отпуска должен иметь высокую прочность – более 1200 – 1400 МПа, твердости, при удовлетворительных значениях целого ряда других показателей. В результате для производства высокопрочных крепежных изделий используются стали, в основном, подобранные эмпирическим путем. Четкие принципы их разработки до настоящего времени отсутствуют.

Для продвижения в направлении формулировки основ создания новых сталей с экономичным составом, оптимальным структурным состоянием для эффективной реализации всей сквозной технологии производства круглого проката и изготовления высокопрочных крепежных изделий настоящая работа посвящена исследованию эволюции структурного состояния и свойств в процессе производства крепежных изделий из стали 42CrMo4. Особое внимание уделено процессам получения сфероидизированной перлитной структуры стали, контролирующей ее технологичность в процессе ХОШ, а также возможности достиже-

ния механических свойств получаемых крепежных изделий, соответствующих различным классам прочности.

Основная часть

1. Материал и методы исследования

Объектом исследования служил круглый прокат промышленного производства диаметром 18 и 22 мм из стали марки 42CrMo4, химический состав которой представлен в таблице 1.

Для обеспечения корректности анализа влияния именно режима сфероидизирующего отжига и микроструктуры на способность к холодной осадке, предварительно исследовали металлургическое качество полученного сортового проката. Исследование микроструктуры и обезуглероженного слоя, неметаллических включений проводили с помощью оптического микроскопа НЕОРНОТ-21 и сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV. Предварительное травление поверхности микрошлифов осуществляли с помощью раствора «Ниталь» (4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте). Соотношение долей перлита и феррита определяли в соответствии с ГОСТ 8233-56, глубины

обезуглероженного слоя по ГОСТ 1763-68, оценку действительного и аустенитного зерна производили по ГОСТ 5639-82, содержания неметаллических включений согласно ГОСТ 1778-70 сравнением с эталонными шкалами методом Ш4. Идентификацию неметаллических включений проводили методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и локального рентгеноспектрального анализа с помощью микроскопа JSM-6610LV (Japan) с приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy Feature XT. Общее содержание кислорода и азота в круглом прокате определяли методом восстановительного плавления в потоке инертного газа на приборе Лесо ТС-136.

Для исследования влияния режима отжига на интенсивность протекания процесса сфероидизации перлита были выбраны различные температурные и временные параметры его реализации (таблица 2). Температуры A_{c1} и A_{c3} для исследуемой стали марки 42CrMo4 находили с помощью термодинамического расчета с использованием собственного программного обеспечения [19]. Их значения составили 744 и 775°C, соответственно.

Таблица 1

Химический состав стали марки 42CrMo4 (масс. %)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	B	N	Ca
0,41	0,24	0,70	0,002	0,010	1,02	0,04	0,04	0,198	0,026	0,002	0,005	-	0,009	0,0017

Таблица 2

Параметры экспериментальных режимов сфероидизирующего отжига

Режим №	Температура T1, °C	Продолжительность отжига при T1, ч	Продолжительность охлаждения до T2, ч	Температура T2, °C
1	700	4	-	-
2	730	4	-	-
3	760	4	-	-
4	760	-	4	690

Из данных таблицы 2 видно, что температуры сфероидизирующего отжига ниже A_{c1} на 44 °C (режим №1), ниже A_{c1} на 14 °C (режим №2) и выше A_{c1} на 16 °C (режим №3). Кроме того, был исследован ре-

жим с непрерывным медленным охлаждением из двухфазной области (760°C) до температуры ниже A_{c1} на 54 °C (режим №4). По режимам, представленным в таблице 2, образцы круглого проката диамет-

ром 18 и 22 мм длиной 10 и 120 мм в исходном горячекатаном состоянии отжигали в трубчатой печи электросопротивления, оснащенной терморегулятором, позволяющим задавать и измерять температуру с точностью $\pm 1-2^{\circ}\text{C}$ по любому выбранному режиму. Эффективность разных режимов сфероидизирующего отжига определяли путем исследования структуры отожженных образцов проката, методом визуального определения соотношения глобулярного и пластинчатого перлита по ГОСТ 8233-56.

Для оценки возможности изготовления из проката из стали марки 42CrMo4 высокопрочных крепёжных изделий разных классов прочности выполнено исследование влияния процессов закалки и отпуска образцов круглого проката при различных температурах на механические свойства. Методика исследования состояла в следующем. Образцы проката диаметром 18 и 22 мм, длиной 120 мм подвергали аустенизации в трубчатой печи при температуре 850°C в течение 1 часа с последующей закалкой в масло. После охлаждения образцов до комнатной температуры осуществляли их отпуск в той же печи при температурах от 400 до 550°C .

С использованием разрывной машины HECKERT FP-100/1 на цилиндрических образцах тип III №7 по ГОСТ 1497-84 определяли механические свойства: временное сопротивление ($\sigma_{\text{в}}$), предел текучести ($\sigma_{0,2}$), относительное удлинение (δ), относительное сужение (Ψ).

Для оценки прокаливаемости исследуемой стали после закалки измеряли микротвердость с помощью прибора Struers

Duramin-20 на микрошлифах, изготовленных из срединной части закаленных образцов, по диаметру с шагом 0,5 мм.

2. Результаты

Как видно из данных таблицы 1 состав полученной стали марки 42CrMo4 характеризуется довольно низким содержанием серы, однако, высокой концентрацией азота.

2.1. Механические свойства и микроструктура горячекатаного сортового проката

Результаты определения механических свойств исходного круглого горячекатаного проката представлены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что механические свойства двух партий проката диаметром 18 и 22 мм из стали марки 42CrMo4 значительно различаются. По всей видимости, даже сравнительно незначительное различие в диаметрах двух партий проката оказывает значимое влияние на имеющую место скорость охлаждения и структурное состояние стали после горячей прокатки. Об этом свидетельствуют результаты исследований структуры. Образцы металла из проката диаметром 18 мм имели бейнитную структуру, в то время как образцы, изготовленные из проката диаметром 22 мм, имели феррито-перлитную микроструктуру с соотношением перлита и феррита 90/10. Оценка действительного и аустенитного зерна показала, что прокат удовлетворяет требованиям разработанных ТУ. Характерный вид микроструктуры стали исследованных образцов проката диаметром 18 и 22 мм представлен на рисунке 1.

Таблица 3

Механические свойства исходного горячекатаного проката из стали марки 42CrMo4

Образец №	Диаметр, мм	Механические свойства до сфероидизирующего отжига			
		$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Ψ , %
м1	18	595	970	9	33
м2	22	490	840	13	56

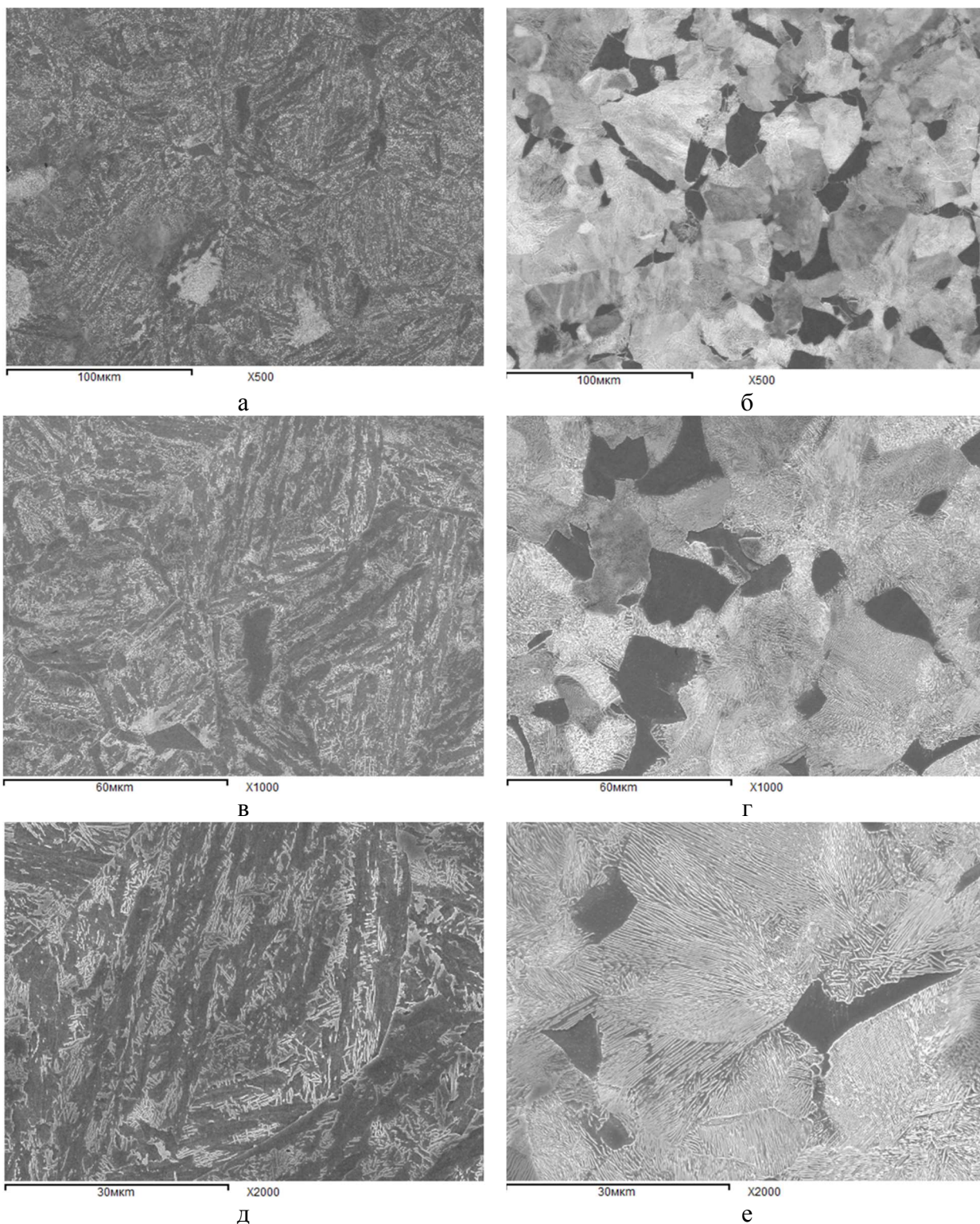


Рисунок 1. Вид микроструктуры образцов проката из стали марки 42CrMo4 (СЭМ) диаметром 18 (а– х500, в –х1000, д– х2000) и 22 мм (б– х500, г –х1000, е– х2000)

2.2. Исследование металлургического качества

Результаты исследования глубины обезуглероженного слоя на прокате диаметром 22 мм представлены на рисунке 2.

Из данных рисунка 2 следует, что глубина частично обезуглероженного слоя в

горячекатаном прокате из стали марки 42CrMo4 по всей окружности не превышает 0,6 - 0,7 % от диаметра и полностью удовлетворяет требованиям разработанным ТУ. Важно отметить, что в образцах из стали марки 42CrMo4 частичное обезуглероживание зафиксировано по всей поверхности,

что может указывать на использование неоптимальных технологических параметров нагрева НЛЗ или температурно-скоростного режима горячей прокатки.

Результаты исследования содержания неметаллических включений на продольных образцах, изготовленных из круглого проката диаметром 18 и 22 мм представлены в таблице 4.

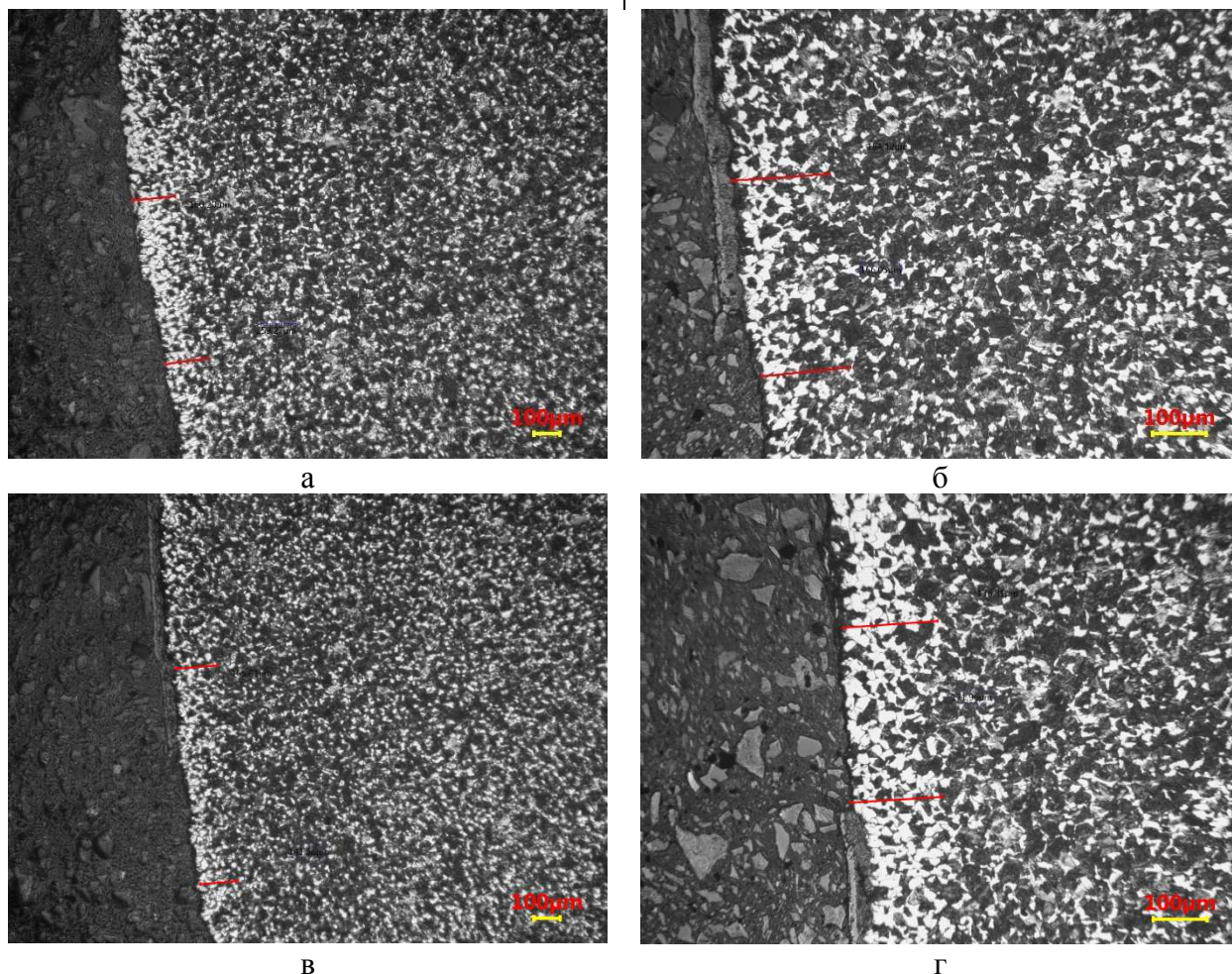


Рисунок 2. Вид участков с частичным обезуглероживанием на образце проката диаметром 22 мм. (а, в – х50, б, г – х100)

Таблица 4

Содержание неметаллических включений в прокате из стали марки 42CrMo4 по ГОСТ 1778 метод Ш4

№ образца	Диаметр, мм	Неметаллические включения по ГОСТ 1778, балл							
		С	ОТ	ОС	СХ	СП	СН	НС	НТ
м3	18	0	2,0	1,0	1,0	-	1,5	0	0
м4	22	0	1,0	2,0	1,0	-	1,0	0	0

С - сульфиды; ОТ - оксиды точечные; ОС - оксиды строчечные; СХ - силикаты хрупкие; СП - силикаты пластичные; СН - силикаты недеформирующиеся; НС - нитриды и карбонитриды строчечные; НТ - нитриды и карбонитриды точечные.

Таблица 5

Общее содержание кислорода и азота в круглом прокате из стали марки 42CrMo4

Зона исследования	Образец №	Диаметр, мм	Общее содержание кислорода, ppm	Общее содержание азота, ppm
Осевая зона	м5	22	20	100
Приповерхностная зона	м5	22	20	110

Из данных таблицы 4 следует, что исследуемый прокат из стали марки 42CrMo4 обладает меньшей концентрацией неметаллических включений по сравнению с результатами исследований, полученных на образцах проката из стали марки 32CrB4, в том числе, металл отличается практически полным отсутствием нитридных и сульфидных выделений. Это обусловлено отсутствием микролегирования стали титаном и низким содержанием серы. С целью определения характеристик присутствующих неметаллических включений произведено детальное исследование методами сканирующей электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального анализа, а также определение общего содержания кислорода и азота в осевой и приповерхностной зонах проката. Полученные результаты представлены в таблице 5 и на рисунке 3.

Из данных, представленных на рисунке 3 и в таблице 5, следует, что основным типом неметаллических включений в исследуемых образцах проката являются оксидные включения на основе алюминатов кальция с присутствием составляющей алюмомагниево-шпинели. Несмотря на относительно невысокие значения общего содержания кислорода (20 ppm), при исследовании были зафиксированы оксидные

включения размером более 10 мкм, в том числе обладающие неправильной формой, что может указывать на неоптимальные параметры, обработки стали кальцийсодержащими материалами и доминирующем присутствием кислорода в составе оксидных включений. Важно отметить, что при исследовании на электронном сканирующем микроскопе не было зафиксировано строчек из оксидных включений и раскатанных включений сульфида марганца. Последнее, по всей видимости, обусловлено низким содержанием серы в стали. Исходя из результатов оценки балла НВ по ГОСТ 1778-70 следует, что имеются возможности производства в условиях ПАО «ММК» проката, удовлетворяющего требованиям разработанных ТУ.

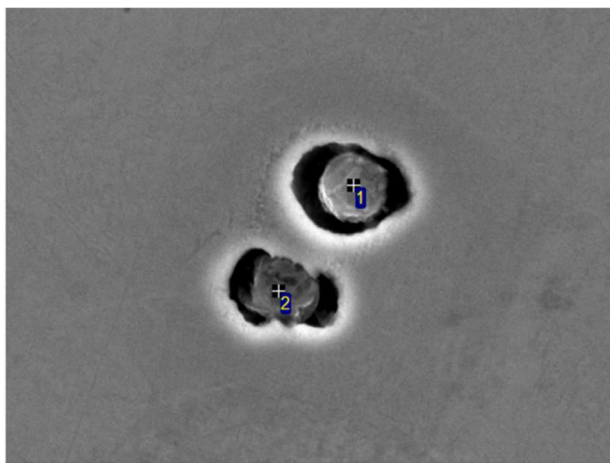
2.3. Исследования влияния режима сфероидизирующего отжига на микроструктуру и механические свойства

На рисунках 4-11 и в таблице 6 представлены характеристики и вид микроструктуры исследуемого сортового проката и структуры сфероидизирующего отжига, проведенного по различным режимам (таблица 2).

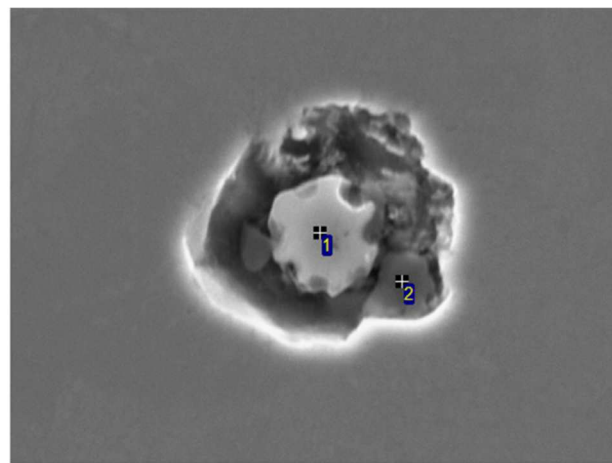
Таблица 6

Характеристики структурного состояния образцов проката, после экспериментальных режимов сфероидизирующего отжига

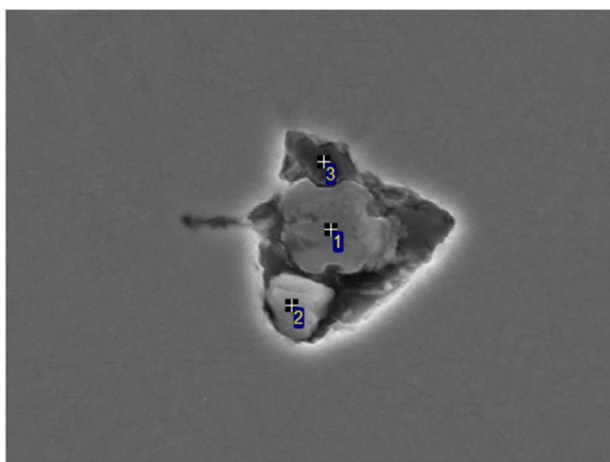
Образец №	Режим №	Диаметр, мм	Соотношение глобулярного и пластинчатого перлита, % после сфероидизирующего отжига	Соотношение перлита и феррита, %
м6	1	18	5/95	90/10
м7	1	22	5/95	65/35
м8	2	18	35/65	85/15
м9	2	22	40/60	95/5
м10	3	18	5/95	85/15
м11	3	22	5/95	85/15
м12	4	18	70/30	90/10
м13	4	22	60/40	95/5



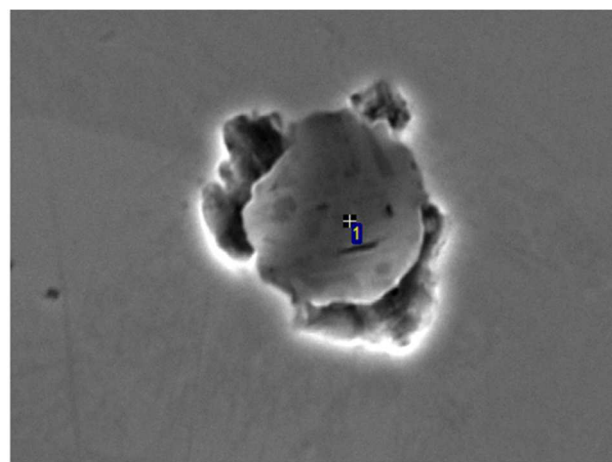
Спектр	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
1	28.79	1.70	25.00	1.67	5.15	12.92	24.78
2	25.47	1.60	22.63	0.82	7.37	16.65	25.46



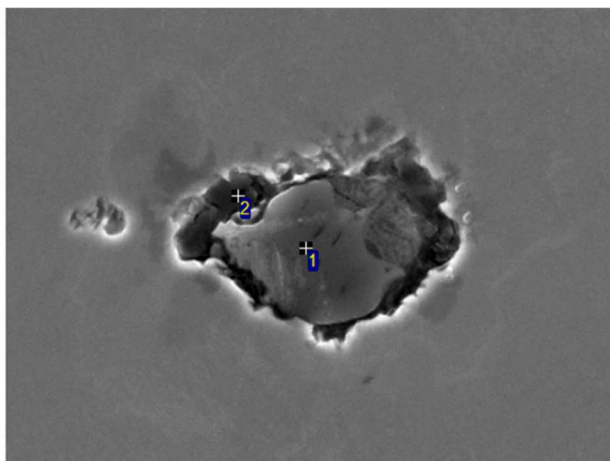
Спектр	O	Mg	Al	S	S	Ca	Cr	Fe
1	43.04	6.41	23.12	1.25	1.57	20.62	0.24	3.75
2	16.25	1.75	1.14	0.44	1.26	2.68	2.11	74.37



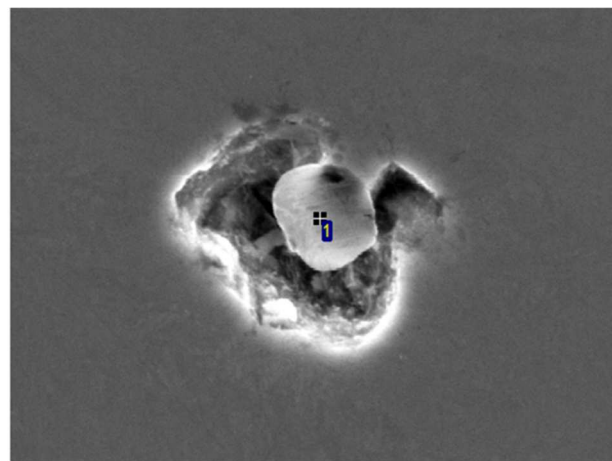
Спектр	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe
1	47.87	13.32	21.95	0.52	1.03	10.23	0.00	5.08
2	28.29	0.00	0.43	0.14	0.24	0.14	0.34	70.41
3	11.83	1.56	3.30	0.38	3.10	3.13	1.12	75.58



Спектр	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
1	38.06	2.11	21.27	0.85	0.68	28.58	8.45

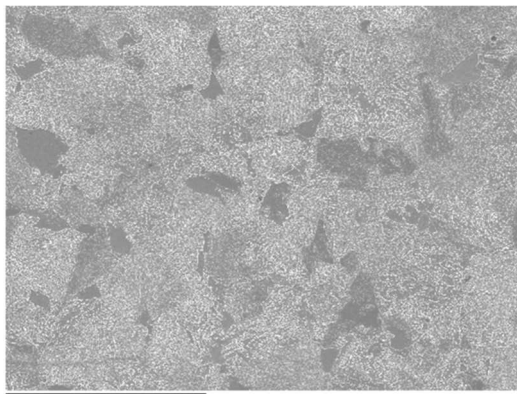


Спектр	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe
1	41.97	2.75	26.00	0.89	0.36	25.97	0.00	2.06
2	17.64	1.32	3.61	0.28	1.72	4.18	0.78	70.46

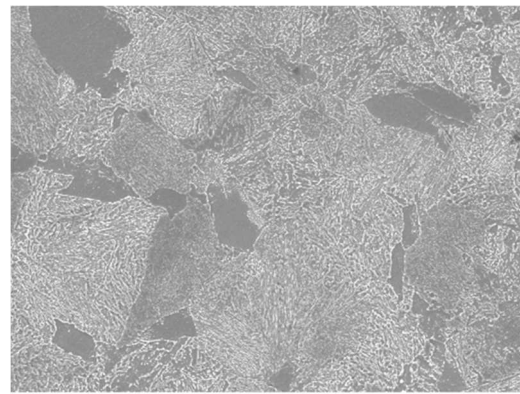


Спектр	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	M
1	34.73	2.76	20.10	0.61	16.09	0.56	23.13	2.01

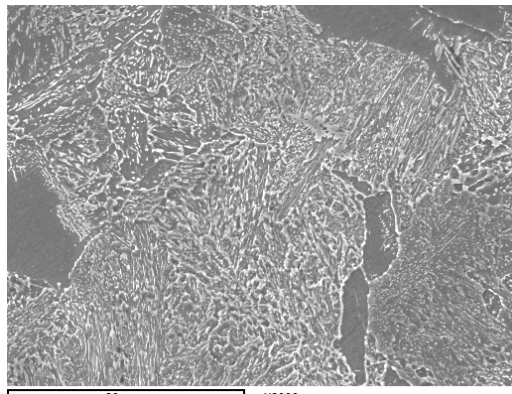
Рисунок 3. Типичный вид и состав неметаллических включений в прокате из стали марки 42CrMo4



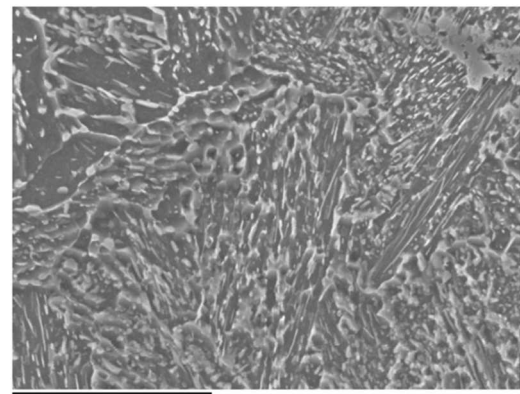
а



б

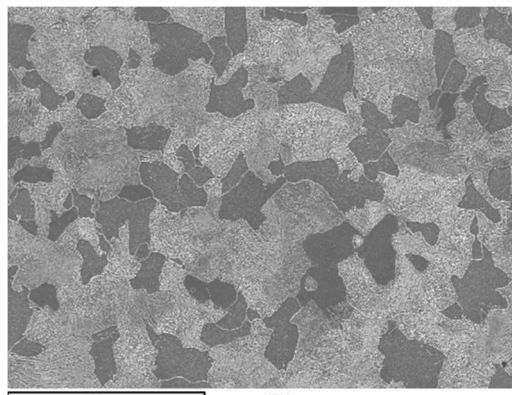


в

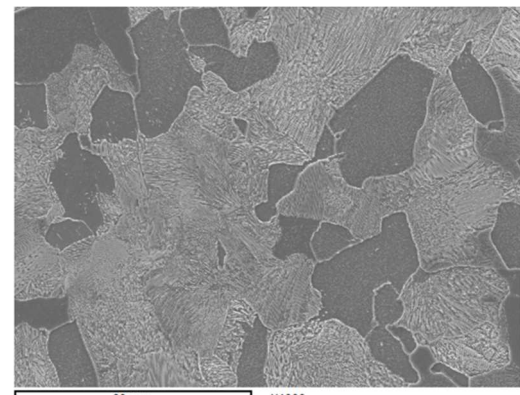


г

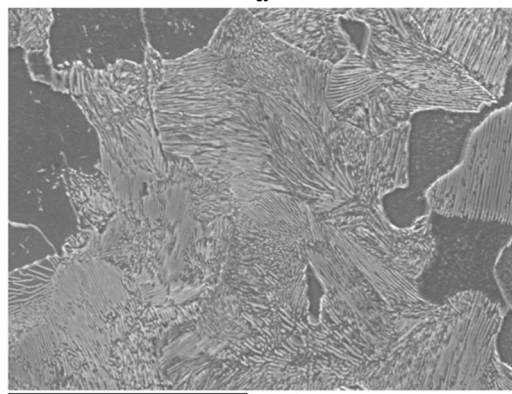
Рисунок 4. Вид микроструктуры образца проката диаметром 18 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №1



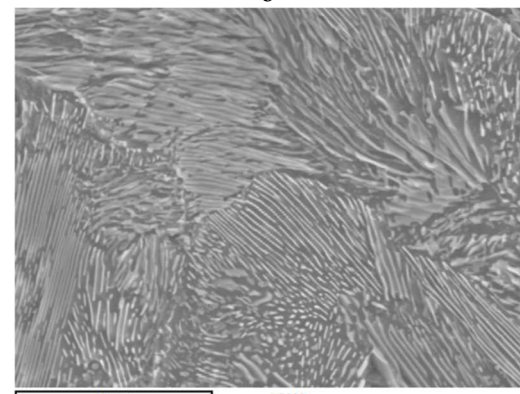
а



б

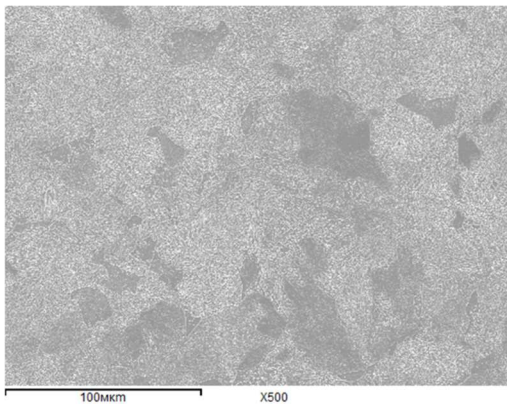


в

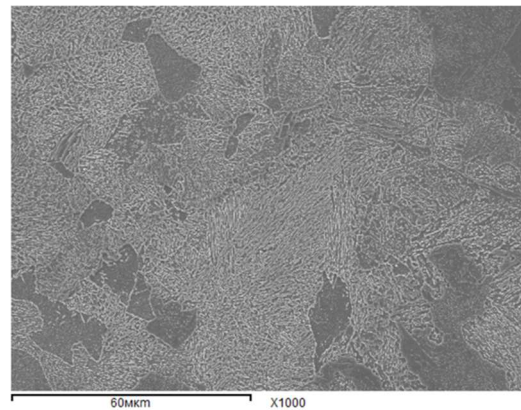


г

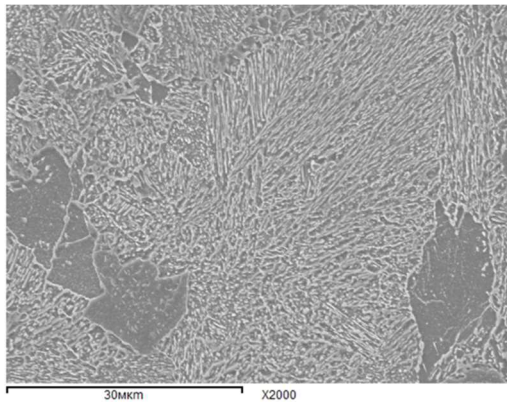
Рисунок 5. Вид микроструктуры образца проката диаметром 22 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №1



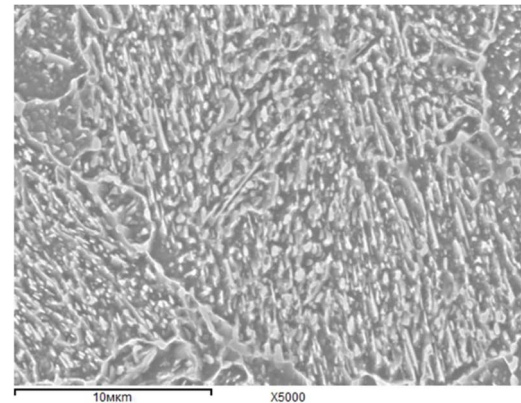
а



б

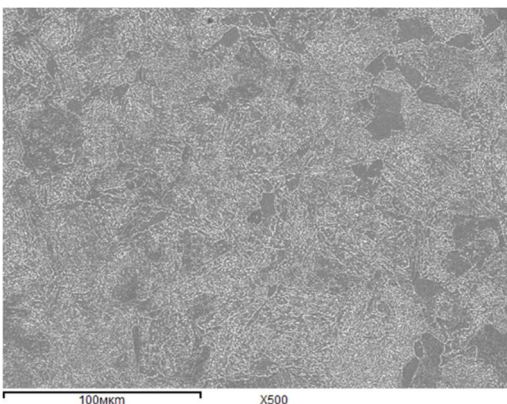


в

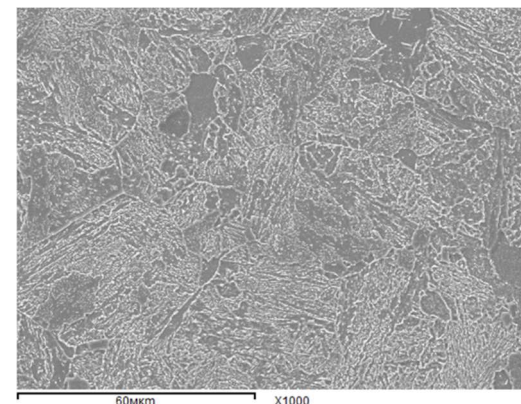


г

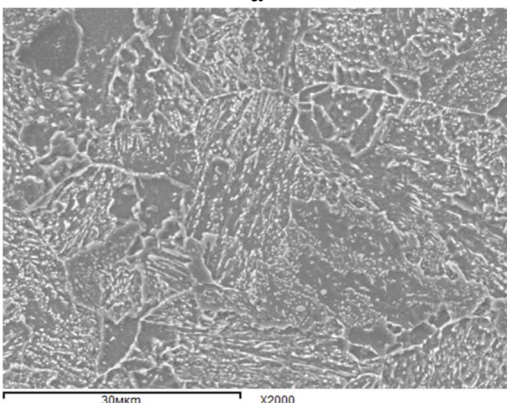
Рисунок 6. Вид микроструктуры образца проката диаметром 18 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №2



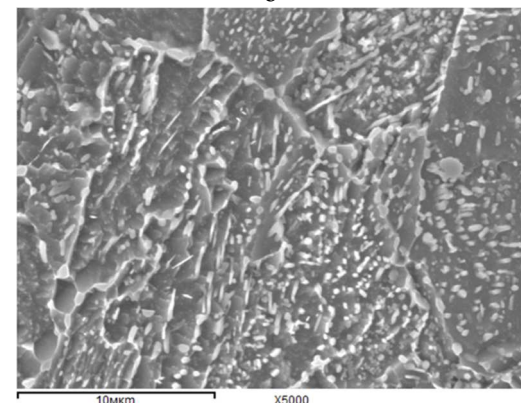
а



б



в



г

Рисунок 7. Вид микроструктуры образца проката диаметром 22 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №2

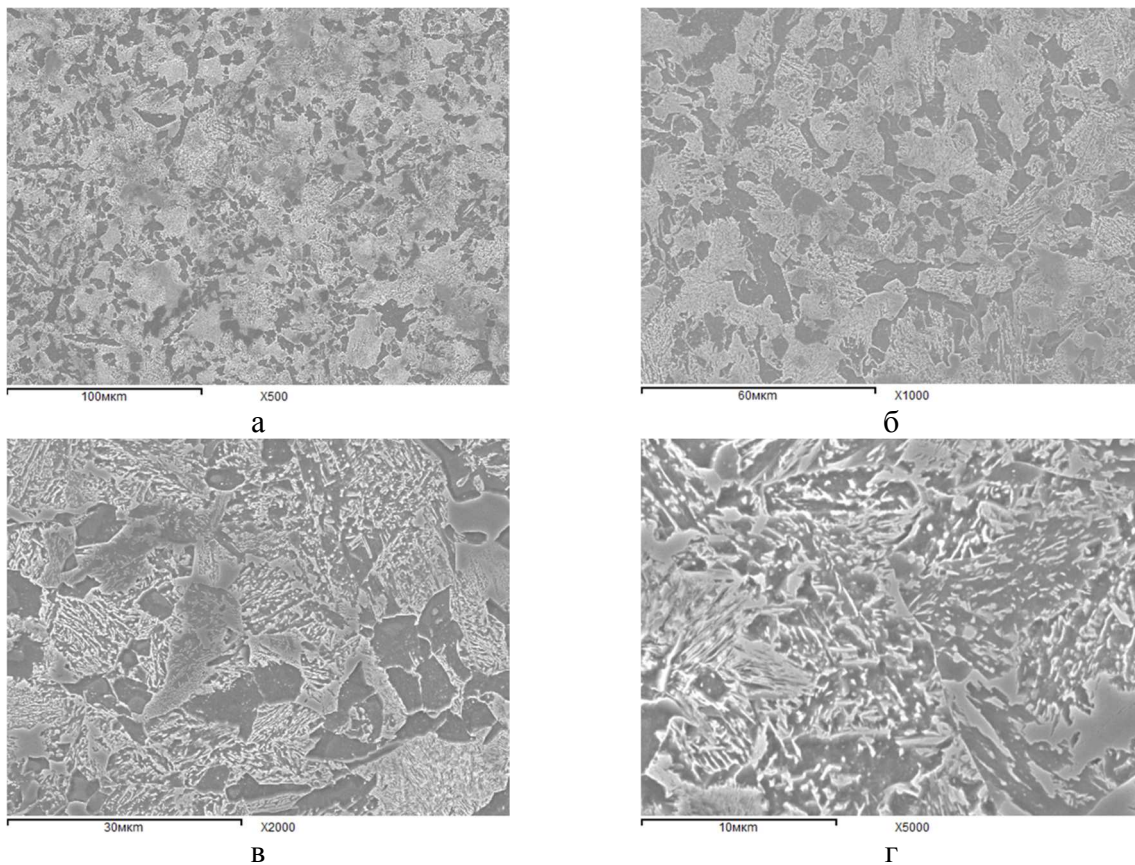


Рисунок 8. Вид микроструктуры образца проката диаметром 18 мм из стали 42CrMo4 (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №3

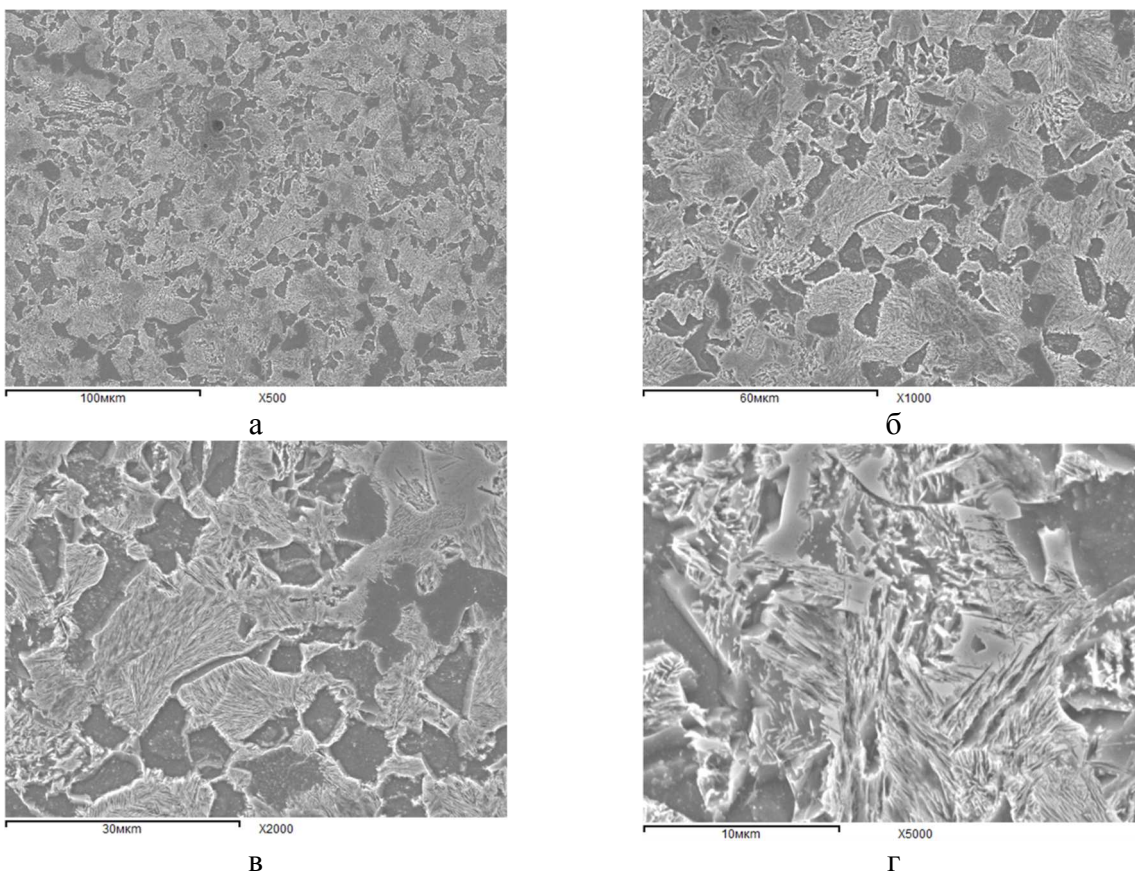


Рисунок 9. Вид микроструктуры образца проката диаметром 22 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – х500, б – х1000, в – х2000, г – х5000) после отжига по режиму №3

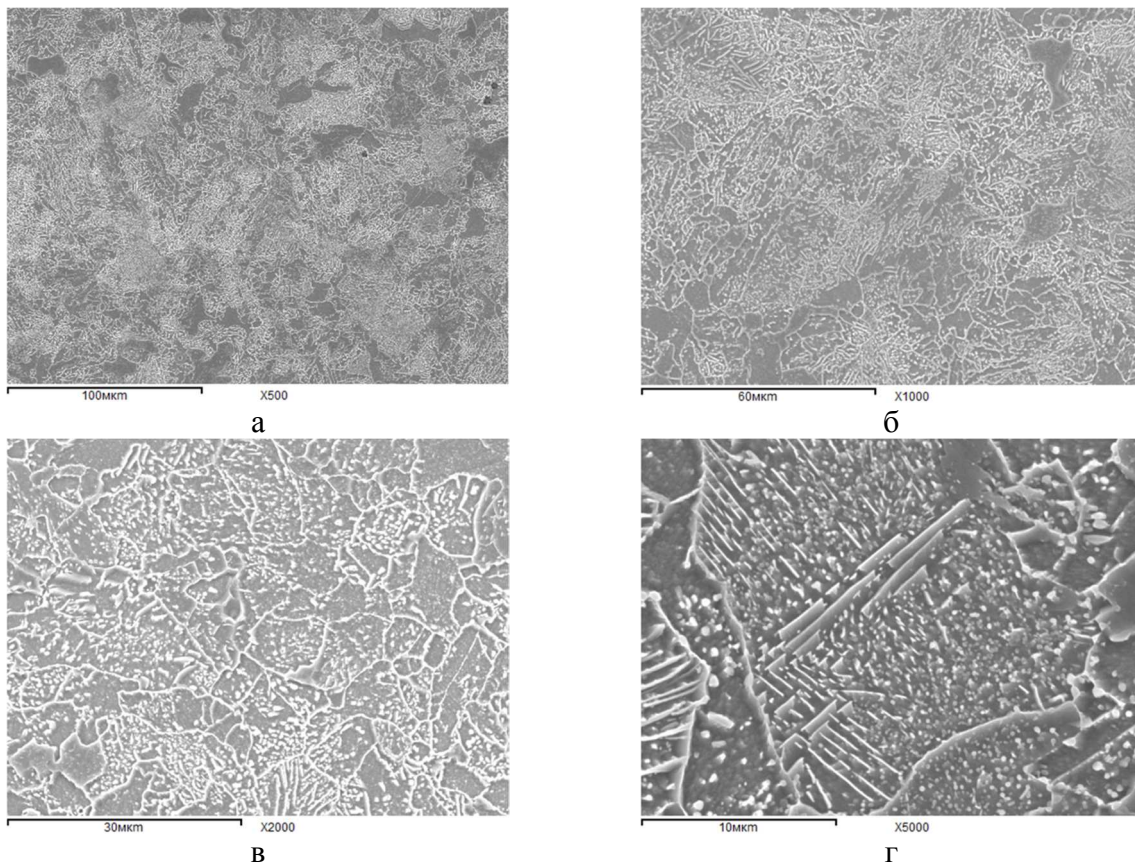


Рисунок 10. Вид микроструктуры образца проката диаметром 18 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – x500, б – x1000, в – x2000, г – x5000) после отжига по режиму №4

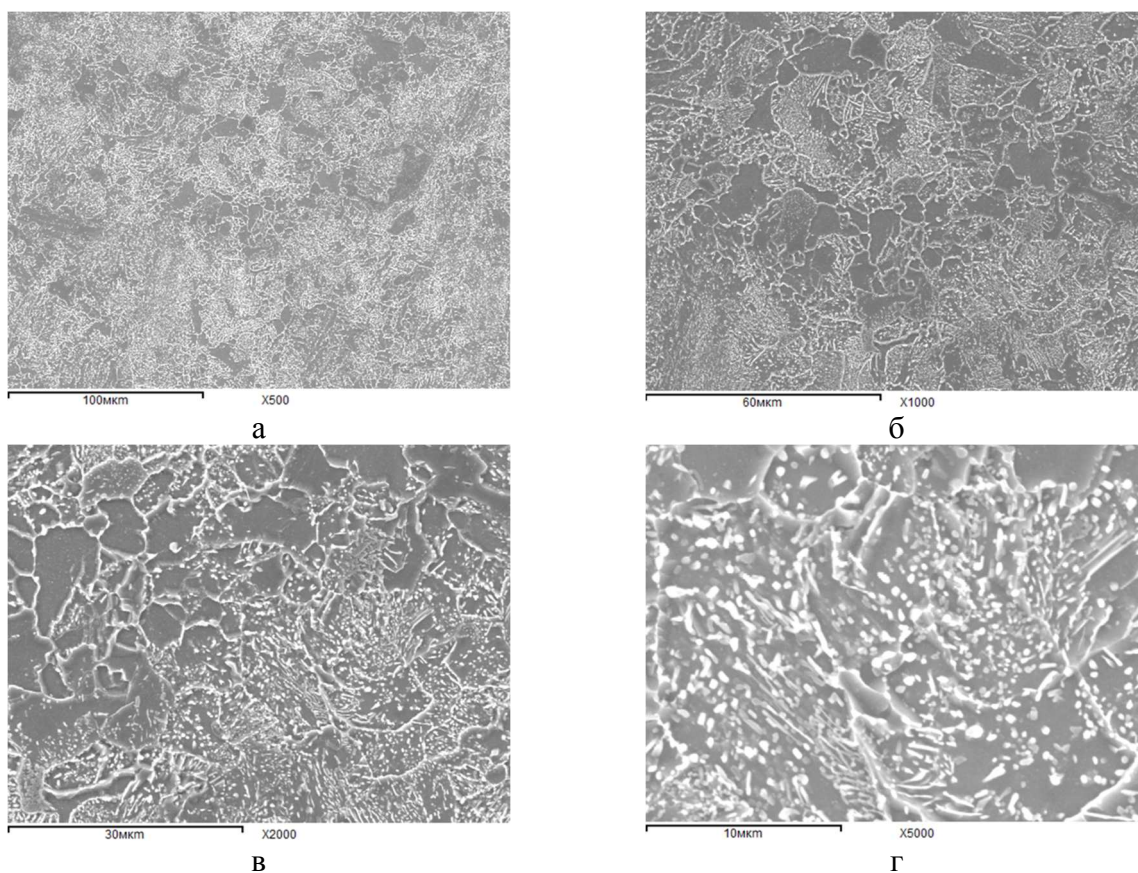


Рисунок 11. Вид микроструктуры образца проката диаметром 22 мм из стали 42CrMo4 (СЭМ) (а – x500, б – x1000, в – x2000, г – x5000) после отжига по режиму №4

Из данных представленных в таблице 6 и рисунках 4 – 11 следует, что режимы №1 и №3 (таблица 2) показали наименьшую эффективность. После сфероидизирующего отжига по этим режимам доля зернистого перлита не превышает 5%. Видно, что выдержка при температурах ниже A_{c1} на $44^{\circ}C$ или выше A_{c1} на $16^{\circ}C$ практически не приводит к увеличению доли зернистого перлита, даже при отжиге образцов проката диаметром 18 мм обладающих исходной бейнитной структурой. Выдержка металла при температуре чуть ниже A_{c1} (режим 2) позволила достичь глобализации 35-40% перлита. Поскольку температура выдержки практически соответствовала температуре A_{c1} , дальнейшее увеличение доли глобулярного перлита без перехода в двухфазную область возможно только при увеличении продолжительности отжига. Показано, что изменение структурного состояния перед сфероидизирующим отжигом не позволяет существенно увеличить долю зернистого перлита. Максимальная доля сфероидизированного перлита получена при отжиге по режиму, в котором осуществлен нагрев до температуры двухфазной области, с последующим медленным охлаждением до температуры ниже A_{c1} на $54^{\circ}C$. При неизменной продолжительности отжига (4 часа) удалось повысить эффективность протекания сфероидизации перлита с 5-40% до 60-70 %.

Результаты определения механических свойств круглого проката диаметром 18 мм и 22 мм из стали марки 42CrMo4 по-

сле сфероидизирующего отжига по экспериментальным режимам (таблица 2) представлены в таблице 7.

Из данных таблицы 7 следует, что механические свойства образцов проката, удовлетворяющие требованиям EN10263-4, разработанным ТУ достигаются только при использовании режима сфероидизирующего отжига № 4, в котором осуществлен нагрев выше A_{c1} на $16^{\circ}C$ с последующим медленным охлаждением до температуры ниже положения двухфазной области.

2.4. Оценка прокаливаемости

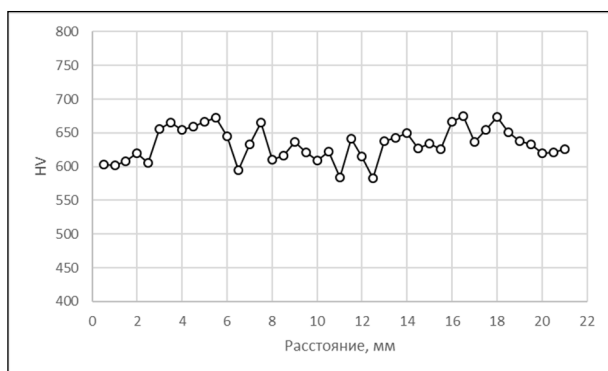
С целью оценки прокаливаемости исследуемого горячекатаного проката из стали марки 42CrMo4, производили закалку в масло образцов круглого проката длиной 120 мм диаметром 22 мм после выдержки при температуре $850^{\circ}C$ и $900^{\circ}C$ в течение 1 часа. После закалки из срединной части закаленных образцов изготовили микрошлифы и определяли микротвердость по всему поперечному сечению с шагом 0,5 мм. Полученные результаты представлены на рисунке 12.

Из данных рисунка 12 следует, что мартенситное превращение стали при закалке в масло протекало по всему поперечному сечению круглого проката диаметром 22 мм. Полученные значения твердости находятся в интервале от 53 до 58 HRC, что полностью удовлетворяет требованиям к стали марки 42CrMo4 в соответствии с EN10263-4 и разработанным ТУ. Установлено, что аустенизация при температуре $900^{\circ}C$ снижает среднее и минимальное значения твердости.

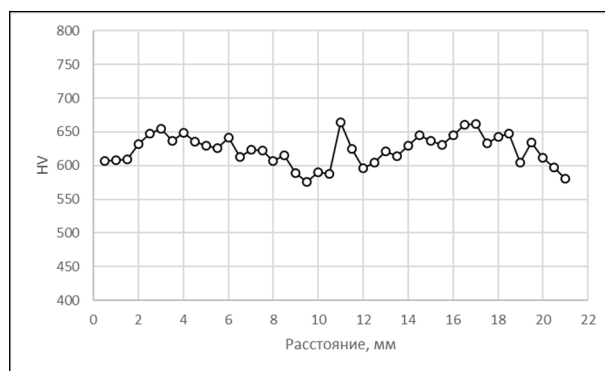
Таблица 7

Механические свойства образцов проката из стали марки 42CrMo4 после сфероидизирующего отжига по экспериментальным режимам

Образец №	Диаметр, мм	Режим сфероидизирующего отжига №	Механические свойства после сфероидизирующего отжига			
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %
м14	18	1	490	710	14,5	65
м15	22	1	360	650	19,5	53
м16	18	2	440	650	18,5	65
м17	22	2	435	630	18,5	65
м18	18	3	525	960	11,0	40
м19	22	3	445	910	11,0	37
м20	18	4	315	580	21,0	67
м21	22	4	350	580	22,0	68



а



б

Рисунок 12. Микротвердость по поперечному сечению образцов проката из стали марки 42CrMo4 диаметром 22 мм: а – 850°C, б – 900°C

2.5. Оценка возможности производства высокопрочных крепежных изделий

Для оценки возможности изготовления высокопрочных крепежных изделий из проката из стали марки 42CrMo4 проводили закалку и отпуск образцов круглого проката диаметром 18 и 22 мм при различных температурах. Методика исследования заключалась в следующем. Изготавливали образцы проката диаметром 18 и 22 мм, длиной 120 мм, которые подвергали аустенизации в трубчатой печи при температуре 850°C в течение 1 часа с последующей закалкой в масло. После охлаждения образцов до комнатной температуры осуществ-

ляли их отпуск в трубчатой печи при температурах от 400 до 550°C. Полученные результаты механических испытаний представлены в таблице 8.

Из данных таблицы 8 следует, что из проката из стали марки 42CrMo4 диаметром 18 и 22 мм по прочностным характеристикам существует возможность получения крепежных изделий различных классов прочности, вплоть до 14.9. Однако, как и в случае круглого проката из стали марки 32CrB4, при производстве крепежных изделий самых высоких категорий прочности 12.9, 14.9 существует проблема обеспечения необходимых значений пластичности (относительного удлинения) и, возможно, других свойств металла готовых изделий.

Таблица 8

Результаты механических испытаний образцов проката после отпуска

Образец №	Диаметр, мм	Температура отпуска, °C	$\sigma_{0,2}$, Мпа	σ_B , Мпа	δ , %	Ψ , %
м24	18	400	1240	1570	4,9	51
м25	22	400	1290	1510	5,1	48
м26	18	425	1240	1540	5,2	49
м27	22	425	1090	1480	5,5	49
м28	18	450	1300	1430	5,3	51
м29	22	450	1030	1400	6,8	53
м30	18	500	1130	1300	5,7	56
м31	22	500	1020	1270	7,6	55
м32	18	550	1020	1180	9,1	57
м33	22	550	1020	1150	8,5	58

3. Обсуждение результатов

Как свидетельствуют представленные выше результаты исследований, произведенный из стали 42CrMo4 круглый прокат, имеет довольно высокие показатели металлургического качества. А именно, содержание неметаллических включений не превышает балла 2,0 по ГОСТ 1778-70. Остаточное общее содержание кислорода не превышает 0,002%, что свидетельствует о его присутствии, в основном, в виде неметаллических включений, в основном представленными алюминатами кальция с присутствием составляющей в виде алюмомагниевого шпинели. Не зафиксировано обогащение осевой зоны проката по содержанию неметаллических включений, кислорода, азота, общее содержание которого характеризуется довольно высоким значением порядка 0,011%. Отмеченное обстоятельство свидетельствует о незначительном развитии ликвационных процессов при кристаллизации и получении стали с довольно однородным составом по объему металла.

Для адекватной трактовки полученных результатов выполнен расчет и анализ условий существования всех возможных типов фазовых выделений в исследуемой стали 42CrMo4. Его выполняли с помощью, разработанной термодинамической, физико-химической модели прогнозирования фазового состава стали [19]. Результаты расчета по описанной модели температурных зависимостей равновесных концентраций фаз, в том числе мольных долей различных карбонитридных выделений и сульфида марганца показаны на рисунке 13.

Как видно из данных рисунка 13 в аустените полученной стали марки 42CrMo4 возможно образование выделений сульфида марганца MnS и нитрида алюминия AlN. В феррите происходит дополнительное образование цементита и карбидов комплексного состава M₂₃C₆ и M₇C₃. Количество образующихся выделений MnS является незначительным из-за низкого содержания серы в стали (таблица 1). Поэтому в прокате из стали марки 42CrMo4 раскатанные выделения MnS не зафиксированы. По всей видимости, они

имеют сферическую форму и малый размер. Это также хорошо согласуется с установленным менее интенсивным развитием ликвационных процессов. В пользу последнего обстоятельства говорит тот факт, что найденное содержание азота в осевой зоне проката ниже, чем в при поверхностной области (см. табл.5). Формирование выделений AlN имеет значительные кинетические затруднения, поэтому может не успевать происходить при горячей прокатке стали. Таким образом, путем расчета с использованием разработанного термодинамического метода фазового состава исследуемой стали установлены закономерности формирования разных типов неметаллических включений (выделений), которые хорошо согласуются с результатами экспериментального исследования характеристик присутствующих неметаллических включений (выделений).

С использованием разработанного метода прогнозирования кинетики превращения переохлажденного аустенита с образованием разных типов структурных составляющих выполнен расчет их доли в формирующейся структуре стали [20]. Полученные результаты представлены в таблице 9.

Как видно из данных таблицы 9 при скоростях охлаждения 0,1-0,3 °C/с, обычно имеющих место при производстве круглого проката, в исследуемой стали должно происходить формирование ферритно-перлитной смеси с высокой долей феррита, что затрудняет протекание процесса сфероидизации перлита, в том числе из-за торможения диффузионных процессов присутствующим в ее составе молибденом. Для образования бейнита, как правило, благоприятствующего процессу сфероидизации необходима более высокая скорость охлаждения. Тем не менее, для проката диаметром 22 мм зафиксировано формирование феррито-перлитной, а диаметром 18 мм – бейнитной структуры. Отмеченное расхождение с результатами прогноза (таблица 9), по всей видимости, может быть связано, как с более высокой скоростью охлаждения при производстве проката диаметром 18 мм, так

и с присутствием определенной погрешности расчета доли разных структурных составляющих в стали.

Все изученные режимы сфероидизирующего отжига можно квалифицировать по трем основным зонам исследованных температур: I - ниже A_{c1} на 50-55°C, II – ниже A_{c1} на 10-15°C, III – выше A_{c1} на 5-20°C. Из полученных данных следует, что отжиг в областях I и III не позволяет эффективно сфероидизировать пластинчатый перлит. Выдержка металла в области II за 4 часа позволяет получить долю глобулярного перлита до 35%. Обнадеживающие результаты получены при нагреве проката до температур области III с последующим постоянным медленным охлаждением в область температур I. Это позволяет заметно

ускорить процесс сфероидизации перлита и получать до 60 – 70% его в глобулярной форме. Причем исходное структурное состояние металла ферритно-перлитное или бейнитное не оказывает решающее влияние на получаемую долю глобулярного перлита. При использовании рассмотренного режима отжига получены близкие результаты по сфероидизации перлита в прокате из стали 32CrV4 [18]. Это, по всей видимости, может быть свидетельством в пользу заключения, что наиболее благоприятные условия для сфероидизации выделений цементита реализуются при его растворении в аустените и последующем выделении в процессе медленного охлаждения.

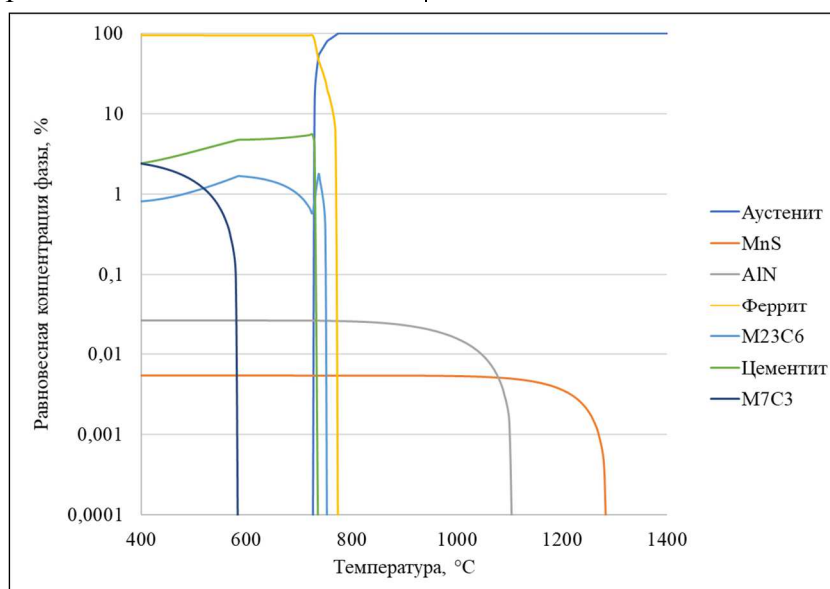


Рисунок 13. Результаты расчета равновесных температурно-концентрационных областей содержания различных фаз в стали марки 42CrMo4 полученного химического состава

Таблица 9

Расчетные доли структурных составляющих, формирующихся при охлаждении с заданной скоростью проката из стали марки 42CrMo4 полученного химического состава

Скорость охлаждения, °C/c	Доля феррита, %	Доля перлита, %	Доля бейнита, %	Доля мартенсита, %
0,05	39	61	0	0
0,06	37	63	0	0
0,07	34	66	0	0
0,08	33	67	0	0
0,09	31	69	0	0
0,1	31	69	0	0
0,2	27	73	0	0
0,3	26	74	0	0
0,4	25	75	0	0
0,5	25	56	19	0
0,6	24	33	42	0
0,7	25	20	55	0

Определяющее влияние на показатели механических свойств производимых высокопрочных крепежных изделий оказывают параметры аустенизации, закалки и последующего отпуска стали. Полученные результаты показывают, что их варьирование приводит к изменению прочностных характеристик, твердости, относительного удлинения, сужения в довольно широких пределах. Возможно достижение необходимого набора значений прочностных характеристик, соответствующих ряду классов прочности вплоть до 14.9. Однако повышение прочности приводит к закономерному снижению пластичности (относительного удлинения) стали. Общая закономерность состоит в том, что снижение температуры отпуска повышает прочность и твердость, но снижает пластичность стали. В том числе, полученные по исследованным режимам закалки и отпуска величины относительного удлинения несколько ниже требуемых для класса прочности крепежных изделий 12.9. Это свидетельствует о целесообразности проведения дополнительных исследований в этом направлении с изучением изменения параметров аустенизации, закалки и отпуска в более широких диапазонах значений.

Заключение

Установлено, что глубина обезуглероженного слоя в горячекатаном прокате из стали марки 42CrMo4 составляет не более 0,6 – 07% и полностью удовлетворяет требованиям разработанных ТУ. Содержание неметаллических включений не превышает балла 2,0 по ГОСТ 1778-70, что свидетельствует о выполнении требований разработанных ТУ.

Найдено, что наиболее эффективный режим сфероидизирующего отжига горячекатаного проката из стали марки 42CrMo4 состоит в нагреве до температуры двухфазной области 760°C (на 16°C выше A_{c1}), с последующим постоянным медленным охлаждением до температуры 690°C (ниже A_{c1} на 54°C). При неизменной продолжительности отжига (4 часа) это позволяет повысить степень протекания сфероидизации перлита с 5-40% до 60-70 %. Установлено,

что механические свойства проката из стали марки 42CrMo4, удовлетворяющие требованиям EN10263-4 и разработанных ТУ, достигаются только при использовании представленного выше оптимального режима сфероидизирующего отжига.

Сталь марки 42CrMo4 обладает высокими показателями прокаливаемости и мартенситное превращение при закалке в масло протекает по всему поперечному сечению круглого проката диаметром 18 и 22 мм. Полученные значения твердости находятся в интервале от 53 до 58 HRC, что полностью удовлетворяет требованиям к стали марки 42CrMo4 в соответствии с EN10263-4 и разработанным ТУ.

Путем расчета, с использованием разработанного термодинамического метода, фазового состава исследуемой стали установлены закономерности формирования разных типов неметаллических включений (выделений), которые хорошо согласуются с экспериментально полученными данными. На основе результатов прогнозирования кинетики превращения переохлажденного аустенита с образованием разных типов структурных составляющих установлено формирование при производстве круглого проката в исследуемой стали 42CrMo4 ферритно-перлитной смеси с высокой долей феррита, что совместно с торможением диффузионных процессов присутствующим в ее составе молибденом, затрудняет протекание процесса сфероидизации перлита.

Установлено, что на прокате из стали марки 42CrMo4 диаметром 18 и 22 мм возможно достижение необходимого набора значений прочностных характеристик, соответствующих ряду классов прочности вплоть до 14.9. Однако, повышение прочности приводит к закономерному снижению пластичности (относительного удлинения) стали. Общая закономерность состоит в том, что снижение температуры отпуска повышает прочность и твердость, но снижает пластичность стали. В том числе, полученные по исследованным режимам закалки и отпуска величины относительного удлинения несколько ниже требуемых для класса прочности крепежных изделий

12.9. Это свидетельствует о целесообразности проведения дополнительных исследований в этом направлении с изучением изменения параметров аустенизации, закалки и отпуска в более широких диапазонах значений.

Библиографический список

1. Pachurin G.V., Fillipov A.A. and Mukhina M.V. Rolled stock structure preparation for cold forging of pearlite steel grades. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 969, 012010 (2020). doi:10.1088/1757-899X/969/1/012010/metal
2. Влияние микроструктуры и поверхностных дефектов на способность круглого проката из специальных легированных сталей к холодной осадке / Степанов А.Б., Арутюнян Н.А., Ивин Ю.А. и др. // *Металлург*. 2016. №7. С. 66-72.
3. Filipov A.A., Pachurin G.V., Goncharova D.A., Nuzhdina T.V., Mukhina M.V., Katkova O.V., Matveev U.I. and Tsapina T.N. Structural and mechanical maintenance of quality of the rolled stock for cold upsetting of metal articles. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 632, 012010 (2019). doi:10.1088/1757-899X/632/1/012010
4. Pang X.P., Hu Y., Tang S.L., Xiang Z., Wu G., Xu T. and Wang X.Q. Physical properties of high-strength bolt materials at elevated temperatures. *Results in Physics*. 13, 102156 (2019). doi:10.1016/j.rinp.2019.102156
5. O'Brien J.M. and Hosford W.F. Spheroidization cycles for medium carbon steels. *Met. Mater. Trans. A*. 33, 1255-1261 (2002). doi:10.1007/s11661-002-0226-y.
6. Ji C., Wang L. and Zhu M. Effect of subcritical annealing temperature on microstructure and mechanical properties of SCM435 steel. *J. Iron Steel Res. Int.* 22, 1031-1036 (2015). doi:10.1016/S1006-706X(15)30108-4.
7. Fu Y., Yu H. and Tao P. On-line spheroidization process of medium-carbon low-alloyed cold heading steel. *Int. J. Miner. Metall. Mater.* 21, 26 (2014). doi: 10.1007/s12613-014-0861-5
8. Lundberg S.E. A vision of wire rod rolling technology for the twenty first century. *Adv. Mater. Res.* 23, 39-44 (2007). doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.23.39
9. Arruabarrena J., López B. and Rodriguez-Ibabe J.M. Influence of prior warm deformation on cementite spheroidization process in a low-alloy medium carbon steel. *Metall. Mater. Trans. A*. 45, 1470-1484 (2014). doi:10.1007/s11661-013-2066-3
10. Jirkova H., Hauserova D., Kueerova L. and Masek B. Energy – and – time – saving low-temperature thermomechanical treatment of low-carbon plain steel. *Mater. Technol.* 47, 335-339 (2013). Available at: <http://mit.imt.si/izvodi/mit133/jirkova.pdf>
11. Долженков И. Е. О морфологии карбидной фазы в сталях для производства метизов и другой металлопродукции холодной деформацией // *Сталь*. 2011. № 11. С. 106.
12. Гуль Ю.П., Соболенко М.А., Ивченко А.В. Комплексная интенсификация сфероидизирующего отжига низкоуглеродистых сталей для холодной высадки // *Сталь*. 2012. №6. С. 44-47.
13. Wang B., Liu Zy., Zhou Xg. and Wang Gd. Improvement of hole-expansion property for medium carbon steels by ultra fast cooling after hot strip rolling. *J. Iron Steel Res. Int.* 20, 25-32 (2013). doi:10.1016/S1006-706X(13)60107-7
14. Karadeniz E. Influence of different initial microstructure on the process of spheroidization in cold forging, *Mater. Des.* 29, 251-256 (2008). doi:10.1016/j.matdes.2006.11.015
15. Влияние режима температурно-деформационной обработки специальных легированных сталей на структурное состояние и свойства проката / Колдаев А.В., Амежнов А.В., Зайцев А.И. и др. // *Металлург*. 2017. №10. С. 30-34.
16. Maity J., Saha A., Mondal D.K. and Biswas K. Mechanism of accelerated spheroidization of steel during cyclic heat treatment around the upper critical temperature. *Phil. Mag. Lett.* 93, 231-237 (2013). doi:10.1080/09500839.2012.758390

17. Saha A., Mondal D.K. and Maity J. An alternate approach to accelerated spheroidization in steel by cyclic annealing. *J. of Materi Eng and Perform.* 20, 114–119 (2011). doi:10.1007/s11665-010-9653-x
18. Stepanov A., Koldaev A., Arutyunyan N., Zaitsev A. Evolution of the structural state and properties of 32CrB4 steel during the production of high-strength fasteners. *Metals.* 12, 366 (2022). doi:10.3390/met12020366
19. Шапошников Н.Г., Родионова И.Г., Павлов А.А. Термодинамическое конструирование коррозионностойких сталей аустенито-мартенситного класса, предназначенных для плакирующего слоя биметалла // *Металлург.* 2015. № 12. С. 45-50.
20. Колдаев А.В. Закономерности выделения избыточных фаз в низкоуглеродистых микролегированных сталях и их влияния на комплекс служебных свойств: дис. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук. Москва, 2016. 150 с.

Information about the paper in English

**D.P. Kanaev, V.M. Tagirova,
A.A. Sokolov, M.V. Zaitseva**
OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MMK-METIZ)
Magnitogorsk, Russia
**A.I. Zaitsev, A.V. Koldaev,
A.B. Stepanov, N.A. Arutyunyan**
Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy
E-mail: aizaitsev1@yandex.ru
Received 09.06.2022

STUDY ON REGULARITIES OF THE EVOLVING STRUCTURAL CONDITION AND PROPERTIES OF
STEEL GRADE 42CRMO4, WHEN PRODUCING HIGH-STRENGTH FASTENERS

Abstract

The industrial specimens of round bars, 18 mm and 21 mm in diameter, from steel grade 42CrMo4 were studied for regularities of the forming and evolving structural condition and properties of steel, when carrying out the integrated technology of producing long products and downstream manufacturing of fasteners by cold upsetting methods. When conducting the study, the authors applied light and scanning electron microscopy methods, local X-ray spectral analysis, tested mechanical properties, measured hardness, determined total oxygen and nitrogen content, and used the thermodynamic and kinetic simulation and calculation methods. At the stage of manufacturing long products, the authors studied characteristics of the metallurgical quality of steel, including a decarburized layer, non-metallic inclusions (precipitates), and content uniformity in steel. The stage of steel preparation for cold upsetting is determined by the dependencies between the degree of spheroidizing a ferrite-pearlite structure and mechanical properties, and the spheroidizing annealing mode for rolled products. Finally, at the stage of producing fasteners, the regularities of achieving mechanical properties were determined depending on steel annealing and tempering parameters.

Keywords: 42CrMo4, round bars, spheroidizing annealing, microstructure, globular pearlite, mechanical properties, metallurgical quality, annealing and tempering, high-strength fasteners.



УДК 621.778

Д.П. Канаев, А.Ю. Столяров, М.В. Зайцева
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный
завод «ММК-МЕТИЗ»

г. Магнитогорск, Россия

E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru

А.Г. Корчунов, Д.В. Константинов
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Россия

E-mail: international@magtu.ru

Дата поступления 17.05.2022

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРНЫХ КАНАТОВ ПРИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация

Исследована динамика изменения механических свойств высокопрочных арматурных канатов конструкции 1x7(1+6) по ГОСТ Р 53772-2010 в процессе механотермической обработки. Для канатов диаметром 12,5 мм изучен характер изменения значений временного сопротивления разрыву, условного предела текучести, полного относительного удлинения при максимальной нагрузке и модуля упругости в области температур нагрева от 360 до 400 °С, скорости обработки от 50 до 65 м/мин при усилии натяжения 64 кН. Показано влияние температуры и скорости механотермической обработки на механические свойства арматурных канатов.

Ключевые слова: арматурные канаты, механотермическая обработка, механические свойства, экспериментальные исследования.

Введение

Арматурные канаты являются высокотехнологичной продукцией метизной отрасли, которая используется в системах пред- и постнапряжения железобетонных конструкций ответственного назначения, при строительстве мостов, атомных электростанций, аэропортов, тоннелей, транспортной инфраструктуры, жилых домов, объектов тепло-, энерго- и водоснабжения, водоотведения.

Значительный интерес представляет сегмент стальных стабилизированных арматурных канатов, выпускаемых во многих промышленно развитых странах и применяемых практически по всему миру. Большая часть этих канатов используется для производства предварительно напряженных железобетонных изделий и конструкций, что позволяет многократно уменьшить количество закладываемого в бетон ме-

талла, и снизить тем самым стоимость железобетонных конструкций при одновременном повышении их качества [1].

Наибольшее распространение по объемам производства и применению получили спиральные стабилизированные арматурные канаты конструкции 1x7(1+6), одинарной свивки с линейным касанием проволок в прядях, имеющие одну центральную и шесть повивочных проволок. Канаты данной конструкции зарекомендовали себя как наиболее эффективный вид высокопрочной преднапряженной арматуры по совокупности служебных характеристик, технологических факторов производства и применения.

В Российской Федерации стабилизированные арматурные канаты производятся в соответствии ГОСТ Р 53772-2010, за рубежом требования к стабилизированным арматурным канатам регламентированы европейским стандартом pr EN 10138-3:2006. Одним из ведущих предприятий страны,

освоившим и успешно выпускающим данный вид продукции является ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».

В отечественной и зарубежной литературе уделяется много внимания особенностям производства арматурных канатов для предварительно напряженных конструкций [2-7]. Продолжаются исследования по разработке технологических приемов для повышения механических свойств арматурных канатов, необходимых в особых условиях эксплуатации. Так, получен арматурный канат с прочностью более 2100 МПа [8], что позволяет использовать его в предварительно напряженных железобетонных конструкциях в сейсмических условиях.

В технологиях производства высокопрочных арматурных канатов широко применяют холодное волочение патентованной стали с высокими степенями деформации с последующей свивкой и механотермической обработкой (МТО). В результате такой обработки сталь имеет феррито-цементитную структуру с межпластинчатым расстоянием 0,1 - 0,2 мкм, а толщина цементитных пластин составляет значение 200 - 400 Å. Такие размеры структурных составляющих стали обеспечивают высокие значения прочностных и пластических свойств канатов [9].

Для устранения неблагоприятных свивочных напряжений, обеспечения высоких значений усталостной и релаксационной стойкости арматурные канаты дополнительно подвергают МТО. Наиболее прогрессивный вариант МТО на современных линиях стабилизации предусматривает кратковременный отпуск канатов с использованием тепла индукционного нагрева при температуре 250-420°C с одновременным приложением растягивающего усилия. При этом напряжения растяжения при обработке достигают значений 30-70% от значения временного сопротивления разрыву каната [9].

Физическая сущность процесса МТО заключается в небольшом пластическом деформировании упрочненного металла при температуре ниже температуры рекристаллизации. Одновременное применение

механического нагружения с отпуском обеспечивает получение высоких упругих и реологических свойств в сочетании с высокими пластическими характеристиками металла. Релаксационная стойкость резко повышается и очень мало изменяется с течением времени [10]. Автор работы [11] считает, что в основе МТО лежат процессы, связанные с образованием заданной дислокационной структуры. Другая точка зрения заключается в том, что повышение релаксационных свойств при МТО зависит в основном от протекания процессов деформационного старения [12]. Авторы работ [13-16] связывают изменение механических свойств высокопрочных арматурных изделий с перераспределением напряженного состояния стали в процессе обработки.

Несмотря на то, что процесс стабилизации в потоке со свивкой стал основным и практически единственным способом механотермической обработки арматурных канатов, многие вопросы, связанные с изменением механических свойств при данном виде технологического воздействия, остаются малоизученными. Также нет единого мнения относительно характера влияния режимов МТО на механические свойства арматурных канатов после операции свивки.

Целью данного исследования является экспериментальное исследование влияния режимов МТО на механические свойства арматурных канатов.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводили в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ с использованием арматурных канатов диаметром 12,5 мм, конструкции 1x7(1+6) из высокоуглеродистой стали марки 80 (таблица 1).

Технологическая схема экспериментального производства включала: патентирование катанки диаметром 11,0 мм, подготовку ее поверхности к волочению, волочение центральной и повивочной проволок со степенью деформации до 86 %, свивку в канатовьюющей машине, МТО на линии стабилизации, охлаждение, намотку и контроль качества каната.

Линия стабилизации была оснащена тремя последовательно расположенными индукционными нагревателями длиной 1,0 м каждый. Для проведения исследований по влиянию режимов МТО на механические свойства канатов варьировали скорость линии стабилизации и температуру нагрева. При этом усилие натяжения на линии стабилизации составляло значение 64 кН и не изменялось в ходе эксперимента. Температуру индукционного нагрева каната изменяли в диапазоне 360-400°С, скорость процесса варьировали в диапазоне 50-65 м/мин. В соответствии с задачами эксперимента на оборудовании была реализована обработка свитого каната на холостом ходу с отключенными индукционными нагревателями при минимальном натяжении.

Значения варьируемых параметров процесса МТО выбирали с учетом технических характеристик линии стабилизации, предназначенной для реализации исследуемого процесса, а также необходимости сохранения экономической эффективности

производства. Экспериментальные режимы МТО представлены в таблице 2.

Исследование механических свойств экспериментальных образцов арматурных канатов проводили по ГОСТ Р 53772-2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия» на электро-механической испытательной машине LFM-400 Walter+Bai AG. Для каждого из исследуемых режимов МТО отбирали 4 образца каната длиной 1 м. Испытание на растяжение проводили на образцах каната в агрегатном состоянии. Исследования динамической микротвердости экспериментальных образцов арматурных канатов выполнялись с использованием ультрамикротестера SHIMADZU DUH-211S в соответствии с ГОСТ Р 8.748 (ИСО 14577-1:2002) Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний.

Таблица 1

Химический состав и механические свойства катанки

Содержание элементов, %						Механические свойства		
C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Относительное сужение ψ , %	Относительное удлинение после разрыва δ , %
0,80	0,48	0,28	0,05	0,02	0,11	1050	27	11

Таблица 2

Экспериментальные режимы механотермической обработки

Маркировка режимов МТО	Скорость линии, м/мин	Температура, °С	Усилие натяжения, кН
50/360	50	360	64
50/380	50	380	
50/400	50	400	
65/360	65	360	
65/380	65	380	
65/400	65	400	
XX (Холостой ход)	Без индукционного нагрева, с минимальным натяжением.		

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты агрегатных испытаний арматурных канатов при различных режимах МТО представлены в таблице 3. Графическая интерпретация результатов испытаний представлена на рисунке 1.

В табл. 4 приведены средние значения параметров стали, полученных при инструментальном индентировании поперечного сечения образцов повивочных проволок канатов при различных режимах МТО.

Анализ динамики изменения механических свойств арматурных канатов, полученных при различных режимах МТО относительно каната, обработанного на холстом ходу, показал, что для всех исследованных режимов наблюдается повышение в различной степени всех оцениваемых механических характеристик (рис.1). Абсолют-

ный прирост значений временного сопротивления разрыву σ_B составляет от 100 до 120 МПа или 5-7 % (рисунок 1,а). Наибольшую чувствительность к технологическому воздействию в результате МТО продемонстрировали показатели условного предела текучести $\sigma_{0,1}$ и полного относительного удлинения при максимальной нагрузке δ_{max} . Прирост условного предела текучести $\sigma_{0,1}$ составил значение от 28 до 36%. Наибольший абсолютный прирост 427 МПа был зафиксирован при температуре нагрева 380°C и скорости обработки 50 м/мин (рисунок 1,б). Показатель полного относительного удлинения при максимальной нагрузке δ_{max} продемонстрировал более чем двукратное увеличение при всех режимах МТО (рисунок 1,в). Значение модуля упругости E показало прирост на уровне 4-6%. Характерное соотношение $\sigma_{0,1} / \sigma_B$ увеличилось в диапазоне от 21 до 27%.

Таблица 3

Механические свойства арматурного каната диаметром 12,5 мм при различных режимах МТО

Механические свойства каната	Режимы МТО (скорость/температура, м/мин/°C)						
	XX	50/360	50/380	50/400	65/360	65/380	65/400
Максимальная нагрузка при разрыве, кН	158,25	167,67	169,41	166,15	168,55	167,4	166,72
Нагрузка при условном пределе текучести 0,1%, кН	108,9	145,7	148,6	139,9	147,7	145,3	143,4
Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	1702	1803	1822	1787	1813	1800	1793
Условный предел текучести $\sigma_{0,1}$, МПа	1170	1566	1597	1504	1587	1562	1542
Отношение $\sigma_{0,1} / \sigma_B$	0,69	0,87	0,88	0,84	0,88	0,87	0,86
Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} , %	1,94	4,26	4,32	4,62	4,01	4,10	4,18
Модуль упругости E , ГПа	187	198	196	198	196	195	196

Таблица 4

Средние значения параметров стали, полученные при испытании на динамическую микротвердость

Режим МТО (скорость / температура, м/мин / °C)	Твердость по шкале Мартенса, НМТ115	Твердость по шкале Мартенса, НМs	Твердость индентирования, НГТ	Ползучесть при индентировании СИТ, %	Упругая составляющая работы при индентировании η_{IT} , %
XX	1970	1172	4309	2,2	46
50/360	2449	2191	3747	2,8	33
50/380	2797	2287	4456	2,5	34
50/400	2216	1859	3685	2,0	40
65/360	3208	2637	4922	2,9	30
65/380	2242	1697	3797	3,8	38
65/400	1965	1520	3266	4,7	36

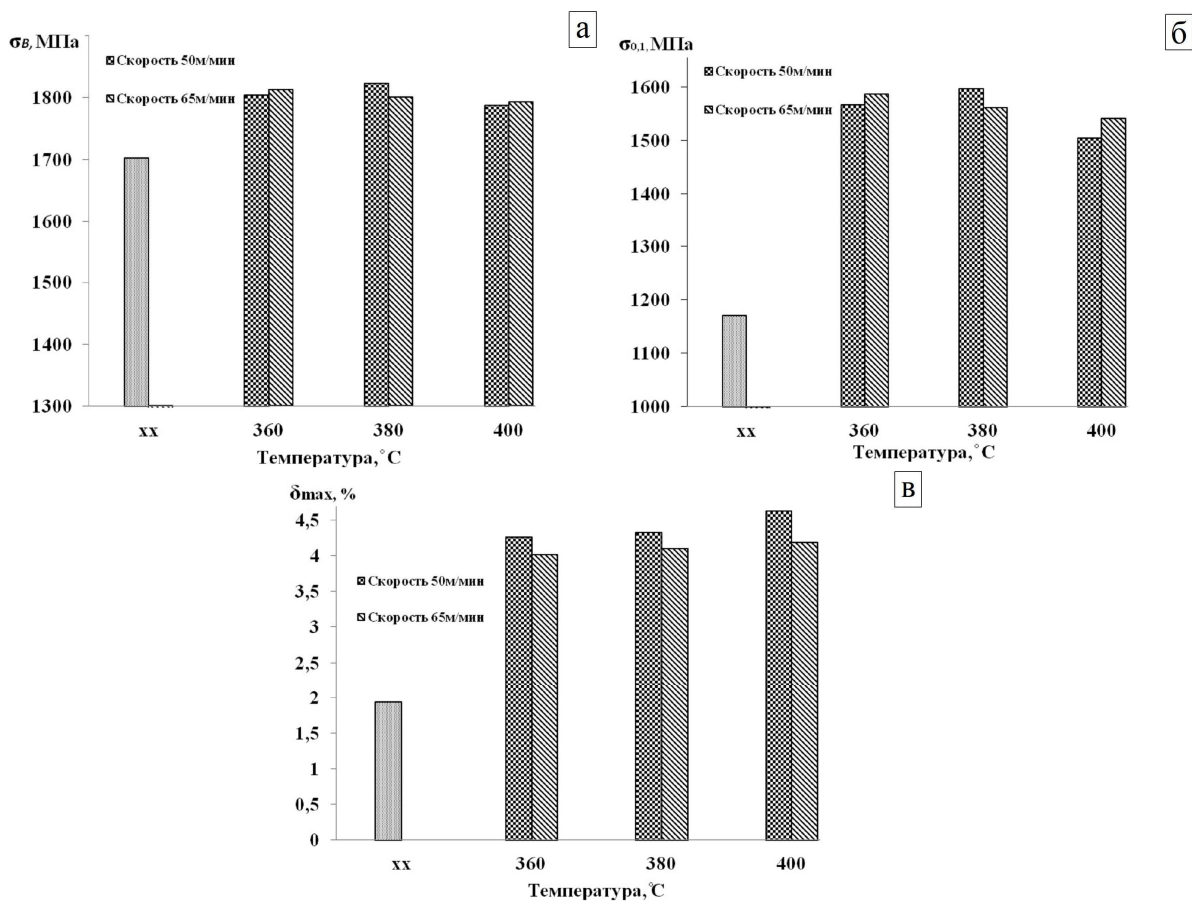


Рисунок 1. Характер изменения механических свойств арматурного каната при различных режимах МТО

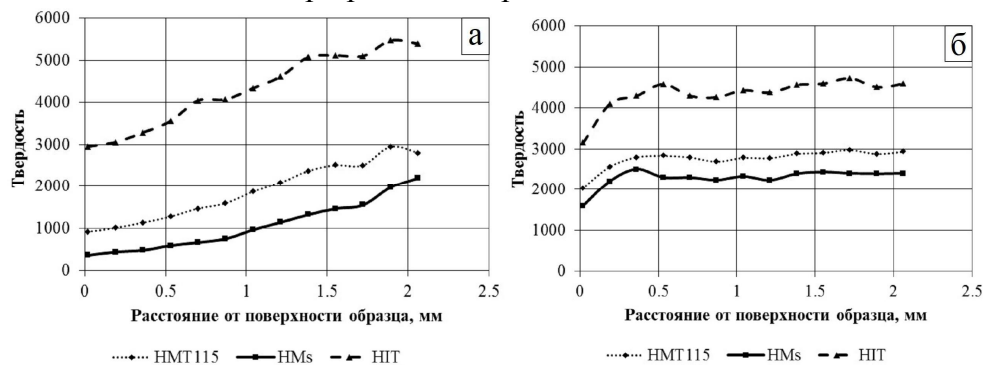


Рисунок 2. Распределение твердости по сечению образцов повивочных проволок каната а – холостой ход, б – режим 50/380

Наблюдаемый благоприятный характер изменения механических свойств каната при МТО, по-видимому, связан с существенным перераспределением остаточных свивочных напряжений при обработке и повышением однородности свойств стали. На рисунке 2 представлены результаты измерений твердости по сечению проволок повива, отобранных от каната, полученного на холостом ходу линии стабилизации и после режима МТО при температуре 380⁰С и скорости обработки 50 м/мин.

Видно, что в результате механотермической обработки распределение твердости по сечению проволоки повива становится значительно более равномерным.

В результате выполненных экспериментов установлено, что наиболее выраженную роль в характере изменения механических свойств каната играла температура обработки. Роль скорости МТО становилась заметной при увеличении температуры. Значимые изменения механических свойств канатов были зафиксированы при

достижении температуры 400⁰С, что может быть объяснено начальными стадиями коагуляции осколков цементитных пластин в микроструктуре стали с увеличением температуры МТО.

Так с увеличением температуры с 360 до 400⁰С показатель полного относительного удлинения при максимальной нагрузке δ_{max} имел тенденцию к незначительному росту (см. рис.1,в). При этом показатели временного сопротивления разрыву и условного предела текучести $\sigma_{0,1}$ также показали незначительное снижение. В диапазоне температур 360-380⁰С изменение скорости обработки с 50 до 65 м/мин слабо отражалось на механических свойствах канатов.

У образцов канатов, обработанных со скоростью 50 м/мин, максимальные значения параметров микротвердости повивочных проволок каната (НМТ115, HMS, НІТ) достигались при нагреве до температуры 360 °С, минимальные значения – при нагреве до температуры 400 °С. При увеличении скорости до 65 м/мин и повышении температуры нагрева от 360 до 400 °С в повивочных проволоках каната максимальные значения параметров микротвердости НМТ115, HMS, НІТ незначительно снижаются. При этом значения показателей НМТ115, HMS, НІТ выше соответствующих значений образца, полученного на холостом ходу (см. табл.4).

Отдельного внимания заслуживают результаты влияния скорости обработки на параметр ползучести СІТ, % (см. табл. 4). Их анализ свидетельствует, что для скорости МТО 50 м/мин при повышении температуры нагрева значения параметра ползучести СІТ, % меняется не значительно, однако при скорости 65 м/мин с ростом температуры нагрева значения показателя ползучести увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению с образцом, полученным на холостом ходу.

Заключение

Выполнены экспериментальные исследования влияния режимов МТО на механические свойства высокопрочных арматурных канатов диаметром 12,5 мм конструкции 1x7(1+6). В ходе экспериментов

на линии стабилизации температура индукционного нагрева составляла значения от 360 до 400 °С, скорость обработки от 50 до 65 м/мин, усилие натяжения 64 кН. В диапазоне исследованных режимов МТО зафиксировано изменение значений временного сопротивления разрыву σ_B , условного предела текучести $\sigma_{0,1}$, полного относительного удлинения при максимальной нагрузке δ_{max} и модуля упругости E относительно исходного состояния свитого каната. Определен количественный прирост механических свойств арматурных канатов в результате МТО. Наиболее значимый рост продемонстрировали показатели условного предела текучести $\sigma_{0,1}$ от 28 до 36% и полного относительного удлинения при максимальной нагрузке δ_{max} - более чем двукратное увеличение при всех режимах МТО. Более значительное влияние на изменение механических свойств арматурных канатов оказывает температура обработки. Роль скорости обработки становится более выраженной в области температур 400⁰С.

Наилучшее сочетание комплекса механических свойств арматурных канатов было достигнуто при температуре индукционного нагрева 380⁰С и скорости обработки на линии стабилизации 50 м/мин. При этом сочетании технологических факторов зафиксировано наиболее равномерное распределение параметров микротвердости в поперечном сечении повивочных проволок каната.

Библиографический список

1. Мадатян С.А. Современный уровень требований к напрягаемой арматуре. Бетон и железобетон. 2005. № 1. С. 8-10.
2. Егоров В.Д., Воронина В.С. Технология производства арматурных канатов в стабилизированном исполнении. Сталь. 1983. № 3. С. 65—66.
3. Costello G.A. Theory of wire rope. Second edition. New York: Springer, 1997. 123 p.
4. Feyrer K. Wire ropes: tension, endurance, reliability. Berlin-Heidelberg -New York: Springer, 2007. 322 p.

5. Probabilistic models for mechanical properties of prestressing strands / Luciano Jacinto, Manuel Pipa, Luhs Oliveira Santos // *Construction and Building Materials*. 2012, Vol. 36, pp. 84-89.
6. Yusuf Aytac Onur. Experimental and theoretical investigation of prestressing steel strand subjected to tensile load // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2016, Vol. 118, pp. 91-100.
7. Prestressing of NSM steel strands to enhance the structural performance of prestressed concrete beams / M. Obaydullah, Mohd Zamin Jumaat, U. Johnson Alengaram, Kh. Mahfuz ud Darain, Md. Nazmul Huda, Md. Akter Hosen // *Construction and Building Materials*. 2016, Vol. 129, pp. 289-301.
8. Mechanical Properties of a New Prestressing Strand with Ultimate Strength of 2160 MPa / Jin Kook Kim, Jeong-Su Kim, and Seung Hee Kwon // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2014, Vol. 18(2), pp. 607-615.
9. Особенности изменения механических свойств холоднодеформированной эвтектоидной стали при механотермической обработке / Корчунов А.Г., Терещенко Н.А., Ефимова Ю.Ю., Дабала М., Долгий Д.К. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. №1. С. 58-62.
10. Лебедев В.Н. Опыт освоения производства высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2010. № 2. С. 74-77.
11. Юхвец И.А. Производство высокопрочной проволоочной арматуры. М.: *Металлургия*, 1973. 264 с.
12. Бабич В.К., Гуль И.Е., Долженков И.И. Деформационное старение стали. М.: *Металлургия*, 1972. 320 с.
13. L. Caballero, J. M. Atienza, M. Elices. Thermo-mechanical treatment effects on stress relaxation and hydrogen embrittlement of cold-drawn eutectoid steels // *Met. Mater. Int.*, Vol. 17, No. 6, 2011, pp. 899-910
14. Ruiz-Hervias, V. Luzin, H. Prask, T. Gnaeupel-Herold, M. Elices Effect of thermo-mechanical treatments on residual stresses measured by neutron diffraction in cold-drawn steel rods. *Materials Science and Engineering A*, 435-436, 2006, pp 725-735.
15. Zeren A., Zeren M. Stress relaxation properties of prestressed steel wires. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, no.141, pp.86-92.

Information about the paper in English

D.P. Kanaev, A.Yu. Stolyarov, M.V. Zaitseva
 OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MMK-METIZ)
 Magnitogorsk, Russia

A.G. Korchunov, D.V. Konstantinov
 Nosov Magnitogorsk State Technical University
 Magnitogorsk, Russia
 E-mail: international@magtu.ru
 Received 17.05.2022

CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES OF PRESTRESSING STRANDS UNDER
 THERMO-MECHANICAL TREATMENT

Abstract

The paper examines how the mechanical properties of high-strength 7-wire (1x7(1+6)) prestressing strands as per GOST R 53772-2010 tend to change under thermo-mechanical treatment. The change dynamics of the following properties was monitored for 12.5 mm strands: tensile strength, yield strength, full elongation at maximum tension force and modulus of elasticity in the temperature range from 360 to 400 °C, the process speed range from 50 to 65 m/min, and at the tension force of 64 kN. The paper shows how the temperature and rate of thermo-mechanical treatment influence the mechanical properties of prestressing strands.

Keywords: prestressing strands, thermo-mechanical treatment, mechanical properties, experimental studies.



УДК 669.018.263/265

А.К. Тихонов, А.А. Сорокин
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им.И.П. Бардина»
г. Москва, Россия
E-mail: a.sorokin@chermet.net
Д.Г. Рузаев
ОАО «АвтоВАЗ»
г. Тольятти, Россия
E-mail: d.g.ruzaev@vaz.ru
Дата поступления 22.04.2022

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО МЕТАЛЛА ДО ВЫСОКОПРОЧНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО КРЕПЕЖА

Аннотация

Представлена хронология событий по сотрудничеству ОАО «ММК-МЕТИЗ» с предприятиями автомобильной отрасли. Перечислены проблемы и задачи по калиброванному прокату, автоматным сталям и металлу для холодной объемной штамповки.

Ключевые слова: калиброванный прокат, автоматные стали, экономное легирование, феррито-перлитная структура, холодная объемная штамповка.

Начало сотрудничества Магнитогорского калибровочного завода (предшественника ММК-МЕТИЗ) с предприятиями автомобильной промышленности и «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» приходится на восьмидесятые годы, когда АО «АвтоВАЗ» осваивало производство переднеприводных автомобилей ВАЗ 2108. Поставки калиброванного проката производились с предприятия г. Константиновка, г. Череповца, г. Серова, находящихся на значительном удалении от конечных потребителей «АвтоВАЗа» и «КАМАЗа» и их заводов-смежников. Это приводило к сложности управления логистическими и технологическими цепочками и в конечном итоге к удорожанию поставок. Было принято решение, чтобы максимальное количество сортового проката для автопрома производить на уральских металлургических предприятиях, то есть в непосредственной близости от конечного потребителя. И одной из таких площадок был выбран Магнитогорский калибровочный завод («МКЗ»), который в основном производил металл для общего машиностроения, с требованиями по качеству значительно более низкими, чем для автомобилестроения. Из автосборочных предприятий первым заказчиком металлопродукции «МКЗ» был «АвтоВАЗ».

Была запрошена возможность производства калиброванного проката в бунтах диаметром от 5,0 до 40,0 мм сталей марок 10, АС14, 12ХН, АС35Г2, 40Х.

Первоначально по заказу АО «АвтоВАЗ» и АО «БелЗАН» в «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» была разработана технологическая документация на подкат и калиброванный прокат автоматных сталей и сталей для холодной объемной штамповки (ХОШ) применительно к оборудованию «МКЗ». Освоение проката новых марок сталей, таких как АС14, АС35Г2, 10 и 20 с селектом по химическому составу, 20Г2Р, 38ХГНМ, 40ХН2МА велось под руководством директора завода, д.т.н. Кривошапова В.В.

При разработке технологии производства автоматных сталей в условиях «МКЗ» основной и достаточно сложной технологической задачей явилось обеспечение равнодисперсности и равномерного распределения включений свинца в металле, в том числе для исключения дефектов макроструктуры проката, приводящих к отбраковке готовых деталей в процессе механической обработки. Микроструктура металлической основы также явилась действенным фактором, определяющим высокий уровень обрабатываемости. Для низко- и

среднеуглеродистых автоматных марок сталей оптимальной микроструктурой основы – феррито-перлитная и перлитная с преобладанием пластинчатой формы цемента. Все допустимые варианты структур обеспечивали требуемую шероховатость обработанных поверхностей изготавливаемой детали с удовлетворительными периодами стойкости режущего инструмента [1].

Таким образом, в результате большого объема совместных исследований и опытно-технологических работ на «МКЗ» была создана промышленная технология производства калиброванного проката свинцовистых и сернисто-свинцовистых автоматных сталей. По механическим и технологическим свойствам, прежде всего повышения на 30% производительности обработки резанием, стали вошли в один ряд с аналогичными отечественными и зарубежными образцами [2-4]. Последующая работа с металлом для автопрома строилась так, чтобы в калибровочном производстве максимально использовался подкат Магнитогорского металлургического комбината ММК. Особенно остро стоял вопрос по экономно легированным бором сталям для ХОШ. АО «БелЗАН» значительные объемы проката из сталей марок 23MnB4 и 30MnB получало из-за рубежа по высоким ценам. В 2012 году под руководством директора АО «ММК-МЕТИЗ» к.т.н. Ушакова С.Н. впервые был получен калиброванный прокат стали марки 20Г2Р из катанки ПАО «ММК». Качество металла соответствовало зарубежным аналогам, и благодаря этому, АО «БелЗАН» ушло от импорта. Исключительная важность этой работы состояла в том, что впервые в России выплавлялась легированная бором сталь без внепечной вакуумной обработки. С прокатного нагрева были получены необходимые механические свойства и группа осадки для ХОШ. Это позволило исключить промежуточные отжиги металла перед калиброванием, то есть значительно удешевить технологический процесс подготовки металла и ХОШ. Более того, было опровергнуто ранее существовавшее мнение, что использование сталей с пластинчатой структурой приводит к

значительному снижению стойкости формообразующего инструмента. На линии «Stelmor» мелкосортного стана «170» с прокатного нагрева получена феррито-перлитная структура: 95% пластинчатого перлита 1 балла, 5% 2 балла по шкале 1 ГОСТ 8233-66. При оценке параметров катанки, таких как: геометрические размеры, химический состав, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, относительное сужение, макроструктура, величина действительного зерна, осадка до 1/3h, качество поверхности, величина обезуглероженного слоя, неметаллические включения, прокаливаемость, были сделаны выводы, что металл полностью соответствует требованиям ГОСТ 10702-2016 и EN 10263-2.2001. Работы по внедрению продукции АО «ММК-МЕТИЗ» в Автопром продолжил Ширяев О.П. Под его руководством был отлажен технологический процесс производства калиброванного проката. Мухин А.А. довел до нужного уровня дисциплину поставок металла на конвейеры производителей автокомпонентов.

Кроме работ по металлопрокату, ученые МГТУ им. Г.И. Носова, АО «БелЗАН», АО «АвтоВАЗ», «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» продолжили сотрудничество в направлении организации в г. Магнитогорске производства автокомпонентов. Так возникло предприятие НПО «БЕЛМАГ» на сегодняшний день – ведущий производитель в России узлов подвески легковых автомобилей (руководитель д.т.н. профессор Гун И.Г.).

В 2020 году ОАО «ММК-МЕТИЗ» приступил к освоению самой сложной метизной продукции – высокопрочного автомобильного крепежа. В рамках «Межотраслевой программы работ по освоению новых видов и улучшению качества металлопродукции для автомобилестроения на период 2018-2023 год», утвержденной заместителем министра промышленности и торговли РФ Морозовым А.Н., между Минпромторгом, ОАО «ММК-МЕТИЗ» и ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» были заключены договора на разработку и организацию промышленных поставок высокопрочного крепежа на ПАО «КАМАЗ». На

данный момент опытные партии колесных болтов проходят стендовые испытания.

В заключении можно с уверенностью сказать, что ОАО «ММК-МЕТИЗ» - это высокотехнологичное, динамично развивающееся предприятие, способное решать все задачи, стоящие перед метизной отраслью России.

Библиографический список

1. А.К. Тихонов. Металловедение и термическая обработка в автомобилестроении. В 2 ч. М.: Metallurgizdat, 2018. – 784 с., 363 ил.
2. Х.Н. Белалов, А.А. Клековкин, Н.А. Клековкина, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов,

М.А. Полякова. Стальная проволока: Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. Техн. Ун-та им. Г.И. Носова, 2011, 689 с.

3. Материалы в автомобилестроении. Ч.1 Металлические материалы, Сборник докладов III Международной научно-практической конференции 19-20 июня 2008 г. Тольятти, издание ОАО «АВТОВАЗ». 2008. – С. 523
4. Материалы в автомобилестроении. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции 18-20 июня 1998 г. Тольятти, издание ОАО «АВТОВАЗ», 1998. – С. 112.

Information about the paper in English

A.K. Tikhonov, A.A. Sorokin

Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy
Moscow, Russia

E-mail: a.sorokin@chermet.net

D.G. Ruzaev

OJSC AvtoVAZ

Tolyatti, Russia

E-mail: d.g.ruzaev@vaz.ru

Received 22.04.2022

STAGES OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT: FROM PROCESSING OF HOT ROLLED STEEL TO MANUFACTURING HIGH-STRENGTH AUTOMOTIVE FASTENERS

Abstract

The paper presents the timeline of the collaboration between OJSC MMK-METIZ and the automotive manufacturing plants. It lists challenges and objectives for gauged bars, free-machining steels and steel for cold upsetting.

Keywords: gauged bars, free-machining steels, lean alloying, ferrite-pearlite structure, cold upsetting



УДК 621.778.8

О.А. Белан, Д.Г. Олейник
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод
«ММК-МЕТИЗ»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: belan.oa@mmk-metiz.ru
Дата поступления 12.04.2022
В авторской редакции

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM ПРИ ОСВОЕНИИ НОВЫХ ВИДОВ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Аннотация

В статье представлены результаты моделирования различных технологических процессов в программном комплексе QForm. Рассмотрены проблемы, возникающие при разработке новых технологических процессов холодной объемной штамповки, либо в процессе производства. Проведен анализ результатов моделирования, позволяющий определить энергосиловые параметры и напряженно-деформированное состояние заготовок по переходам, с целью выбора оборудования для штамповки и оптимальных условий его настройки.

Ключевые слова: крепежные изделия, моделирование, технология, анализ, оборудование, объемная штамповка, деформация, напряжение, параметры, усилие.

Введение

В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» крепежные изделия изготавливаются методами холодной и горячей объемной штамповки. Номенклатура крепежных изделий постоянно растет, появляются новые конструкции крепежных изделий, к которым предъявляются все более жесткие требования, как по геометрическим параметрам, так и по механическим свойствам. С целью сокращения сроков разработки и внедрения новых видов крепежных изделий применяются системы автоматизированного проектирования и моделирования, позволяющие оценить возможность производства, промоделировать несколько вариантов предполагаемой технологии, учесть их достоинства и недостатки, и выбрать наиболее оптимальный вариант.

Основная часть

Оценка возможности производства новых видов крепежа, иногда затрудняется отсутствием опыта изготовления запрашиваемой конструкции изделия. Проведение опытной штамповки — это трудоемкий и затратный способ оценки возможности

производства. На сегодняшний день применение компьютерного моделирования технологических процессов, является наиболее оперативным и экономичным способом. Программный комплекс QForm VX 8.2 на основе метода конечных элементов очень хорошо себя зарекомендовал при решении задач холодной и горячей объемной штамповки, он позволяет на стадии разработки провести оценку изготовления новых видов крепежных изделий, без проведения опытной штамповки [1, 2].

Наиболее часто встречающиеся проблемы и задачи связаны:

- с оценкой возможности изготовления изделия на имеющемся оборудовании;
- с устойчивостью заготовки при формировании головки и редуцировании стержня;
- с распределением усилий деформирования по операциям;
- с оценкой возможности оформления требуемой конструкции изделия, например, ребер многогранных головок.

Оценивалась возможность изготовления на однопозиционном двухударном автомате шурупов по ГОСТ 1144-80 диаметром стержня 6 мм и с увеличенным диаметром головки – не менее 16 мм, вместо 12 мм, рисунок 1.



Рисунок 1. Шуруп с полукруглой головкой и прямым шлицем по ГОСТ 1144-80

Увеличение диаметра головки может привести к потере устойчивости металла при формировании головки. Основным технологическим критерием продольной устойчивости является отношение длины высаживаемой части заготовки L_0 к диаметру d_0 : $K = L_0 / d_0$. Обычно за один удар без продольного изгиба высаживаемой части заготовки, можно получить головку на стержневом изделии при $K \leq 2,3$ [3].

Для головки диаметром 12 мм отношение $L_0 / d_0 = 2,43$. При данном соотношении, головка штампуются за два удара. Сначала формируется предварительная головка, затем окончательная, рисунок 2.

При увеличении диаметра головки до 16 мм, соотношение $L_0 / d_0 = 3,45$.

Для подтверждения возможности получения головки диаметром 16 мм без продольного изгиба заготовки и симметричной относительно оси стержня, было проведено моделирование технологического процесса штамповки. Моделирование технологии проводилось для однопозиционных двуху-

дарных автоматов, применяемых для производства шурупов. Результаты моделирования приведены на рисунке 2. [2].

Моделирование показало, что в процессе формирования головки из-за большого объема металла, происходит искривление заготовки на стадии формирования предварительной головки, приводящее к смещению окончательной головки относительно оси стержня. В процессе производства это приведет к нестабильности технологического процесса и не выполнению требований по соосности головки относительно стержня.

С целью обеспечения стабильного технологического процесса производства шурупов диаметром 6 мм, с полукруглой головкой диаметром 16 мм по ГОСТ 1144-80, рекомендуется применение трехударных автоматов, либо применение для формирования предварительной головки штампов для поперечного выдавливания. Штампы для поперечного выдавливания имеют конструкцию, обеспечивающую жесткое защемление участка заготовки [4, 5, 6]. Отличие поперечного выдавливания от высадки заключается в том, что формирование головки происходит в закрытом объеме, металл постепенно заполняет пространство в полости пуансона и матрицы, без искривления и складок, рисунок 3.

Таким образом, моделирование технологического процесса, позволяет определить, как возможность проведения штамповки, так и определиться с оборудованием и конструкцией технологического инструмента.

В процессе производства нередко встречаются крепежные изделия, сложной конструкции, изготавливаемые точением, например, резьбовой наконечник троса по чертежу X9000.3508074, рисунок 4.

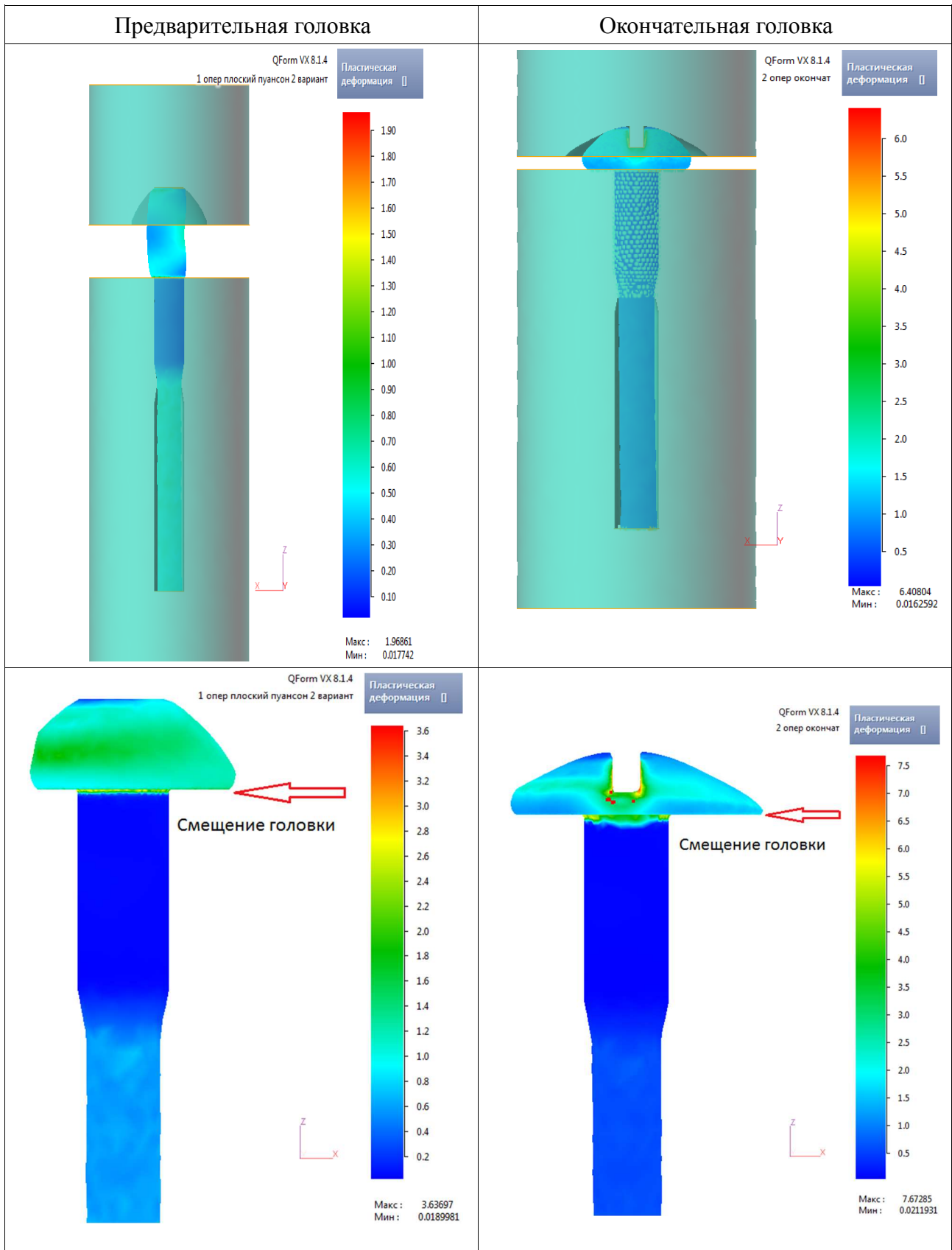


Рисунок 2. Результаты моделирования процесса штамповки шурупа

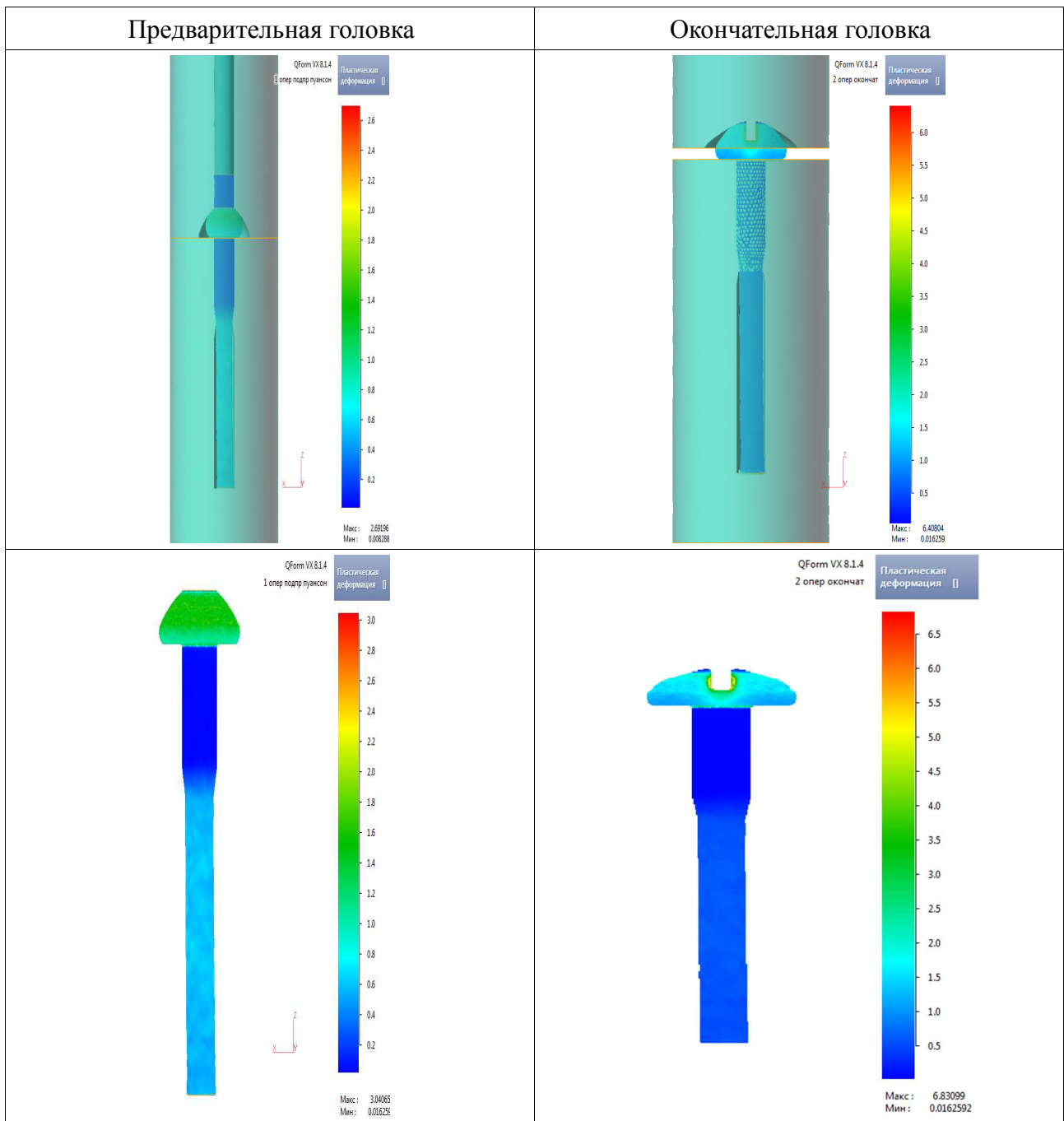


Рисунок 3. Моделирование процесса штамповки шурупа с применением штампа для поперечного выдавливания

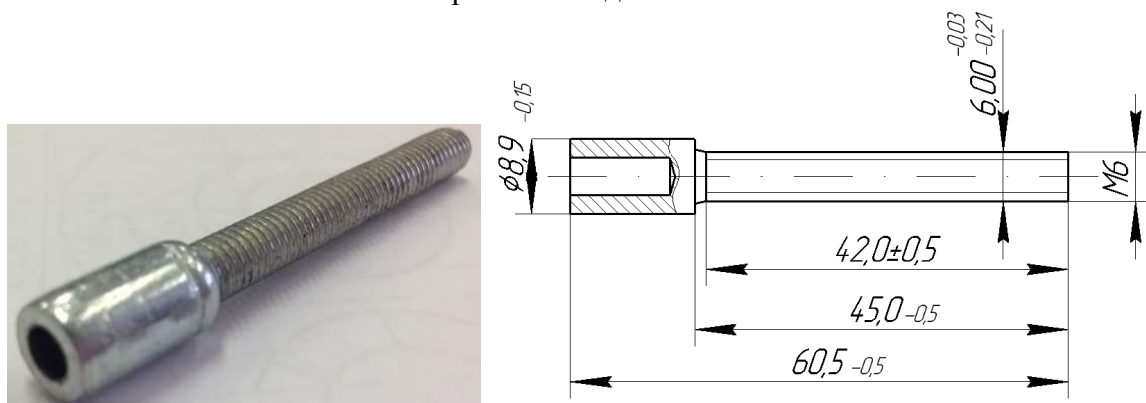


Рисунок 4. Резьбовой наконечник троса по чертежу X9000.3508074

Особенностью резьбового наконечника является то, что он изготавливается точением на токарных автоматах и не изготавливается холодной объемной штамповкой. Форма головки является сложной для штамповки из-за большого объема металла, поэтому требуется специальный подход и новые технические решения [7].

Для оценки возможности получения данного изделия холодной объемной штамповкой применялся программный комплекс

QForm. Программа позволяет оценить работоспособность будущей технологии, моделировать пластическое течение материала, оценивать качество формоизменения по операциям и определять энергосиловые параметры процесса штамповки.

Результаты моделирования технологии в программном комплексе QForm представлены на рисунке 5.

Результаты внедрения технологии представлены на рисунке 6.

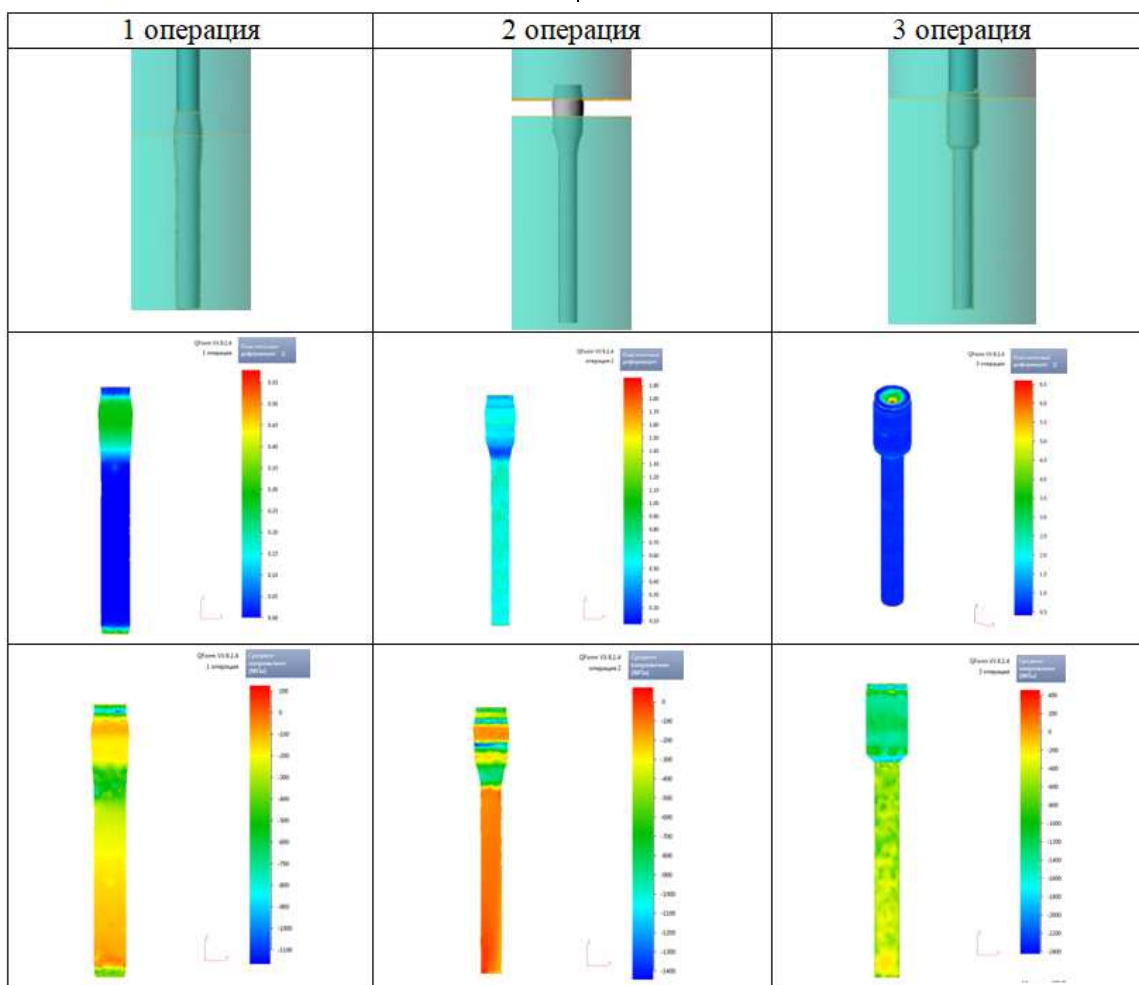


Рисунок 5. Компьютерное моделирование процесса штамповки



Рисунок 6. Технологический процесс изготовления резьбового наконечника троса

Моделирование технологических процессов применяется не только при разработке новых технологий, но и для решения текущих проблем, связанных со стойкостью технологического инструмента.

Болты с увеличенной полукруглой головкой и квадратным подголовком изготавливаются по ГОСТ 7802-81. Аналогом российского стандарта является немецкий стандарт DIN 603. Головка болта состоит из двух частей: полукруглой головки и квадратного подголовка. Такая конструкция болтов получила широкое применение в мебельной промышленности и строительстве, рисунок 7.

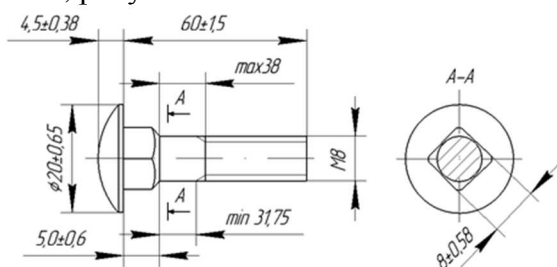


Рисунок 7. Болты М8х60 с увеличенной полукруглой головкой и квадратным подголовком по DIN 603

В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» болты по ГОСТ 7802 и DIN 603 изготавливались на автомате АВ1920 [8]. При производственной необходимости возникла потребность изготавливать болты на автомате

АВ 1919Б. Технические характеристики оборудования приведены в таблице 1.

При изготовлении болтов М8х60 на автомате АВ 1919Б наблюдалась:

- нестабильность технологии;
- низкая стойкость инструмента;
- поломка узлов, отвечающих за формирование окончательной головки в момент выдавливания требуемого диаметра головки и квадратного подголовка.

С целью выявления причин неработоспособности технологии и автомата, необходимо было определить усилия высадки и полученное значение сравнить с номинальным усилием автомата. Штамповка происходит одновременно на всех трех позициях автомата, т.е. для определения общего усилия необходимо определить усилие на каждой операции и суммировать все полученные усилия. Анализ напряженно-деформированного состояния заготовок по операциям и знание усилия деформирования позволит выяснить причины нестабильности процесса. Проведено моделирование трех операций, рисунок 8.

Результаты моделирования и графики определения усилий представлены на рисунке 9, соответственно для каждой операции [9].

Таблица 1

Технические характеристики холодновысадочных автоматов

Наименование параметров	Модели автоматов	
	АВ 1920	АВ1919Б
Число позиций	4	4
Наибольший диаметр стержня изделия, мм	10,0	8,0
Длина стержня изделия, мм	20-100	16-80
Максимальная длина отрезаемой заготовки, мм	100	120
Номинальное усилие, кН	800	500
Производительность, шт/мин	70-210	65-190

Предварительная высадка головки



Окончательная высадка головки



Редуцирование стержня



Рисунок 8. Компьютерное моделирование процесса штамповки

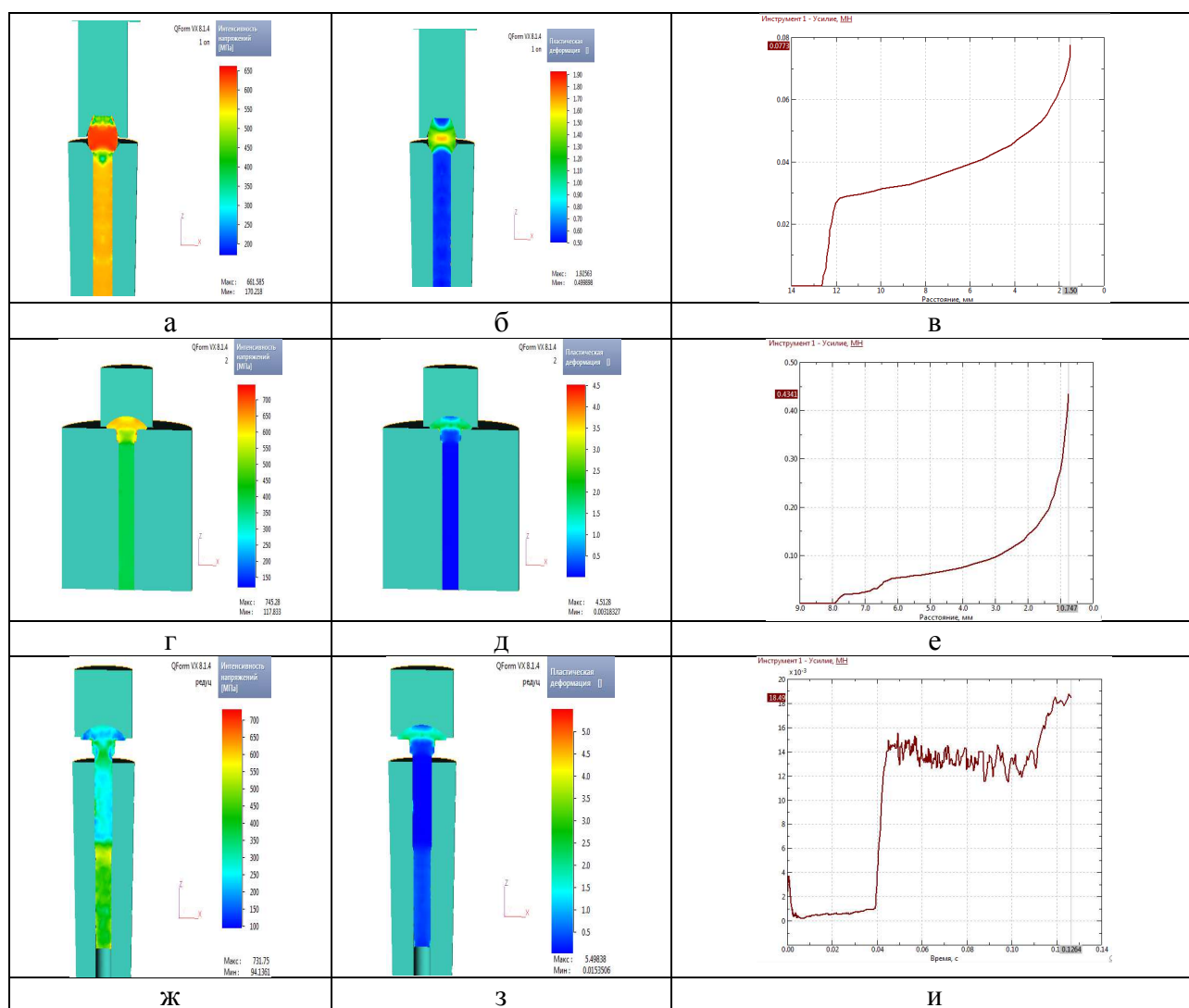


Рисунок 9. Результаты компьютерного моделирования процесса штамповки

Графики усилий на 1 и 2 операциях удобно строить в зависимости от расстояния между пуансоном и матрицей, так как с уменьшением расстояния усилие возрастает. Полученные данные очень важны на второй операции при формировании окончательной головки болта. Из графика (рисунок 9, е) видно, что с уменьшением расстояния между пуансоном и матрицей, резко возрастает усилие. Поэтому необходимо проводить точную настройку автомата, чтобы получить требуемые геометрические параметры головки (диаметр и высота), хорошее заполнение квадратного подголовка и не снижать стойкость инструмента и оснастки.

Из результатов моделирования, рисунок 9 (в, е, и), суммарная сила деформирования составит 529,89 кН, что превышает номинальное усилие автомата АВ 1919Б равным 500 кН.

Проведенный анализ результатов моделирования позволил выяснить причину неработоспособности технологии штамповки болтов М8 по DIN 603 на автомате АВ 1919Б.

Заключение

Таким образом, применение программного комплекса QForm позволяет производить оценку возможности изготовления новых видов крепежных изделий, выявлять и устранять слабые места технологических процессов, тем самым способствуя повышению эффективности производства.

Библиографический список

1. Картунов А.Д., Белан А.К., Белан О.А. Применение трехмерного моделирования при разработке многопереходных процессов штамповки крепежных изделий.

- лий. Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения. Международный сб. науч. тр./ Под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. С.48-54.
2. Картунов А.Д., Белан А.К., Белан О.А. Моделирование процессов холодной объемной штамповки крепежных изделий в программном комплексе QForm // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. 2019. №4. С. 28 – 33.
 3. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. М.: Машиностроение, 1984, 120 с.
 4. Белан А.К., Малышева М.С., Белан О.А. Холодная штамповка головок стержневых изделий методом поперечного выдавливания: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 176 с.
 5. Применение штампов с подпружиненными пуансонами при освоении новых видов крепежных изделий на ОАО «ММК-МЕТИЗ» / Паршин В.Г., Белан А.К., Артюхин В.И., Малышева М.С., Трахтенгерц В.Л., Белан О.А. // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг.: Сборник докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Т.1. С. 248-252.
 6. Белан А. К., Малышева М. С., Белан О. А. Совершенствование процесса поперечного выдавливания на основе математического моделирования // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. 2008. №8. С. 19 – 25.
 7. Дрягун Э.П., Белан А.К., Белан О.А. Разработка технологии холодной объемной штамповки резьбового наконечника троса с применением программного комплекса Qform // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. 2019. №10. С. 26 – 29.
 8. Белан А.К., Белан О.А. Оборудование и технологии изготовления крепежных изделий в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ». Механическое оборудование металлургических заводов. Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова. 2015. №2(5). С.36-41
 9. Картунов А.Д., Белан А.К., Белан О.А. Разработка и моделирование процесса холодной объемной штамповки болтов с увеличенной полукруглой головкой и квадратным подголовком // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. 2018. №12. С. 28 – 32.

Information about the paper in English

O.A. Belan, D.G. Oleynik
 OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MМК-METIZ)
 Magnitogorsk, Russia
 E-mail: belan.oa@mmk-metiz.ru
 Received 12.04.2022

APPLICATION OF QFORM SOFTWARE SUITE FOR LEARNING NEW TYPES OF FASTENERS AND IMPROVING THE EXISTING TECHNOLOGIES AT OJSC MМК-METIZ

Abstract

The paper presents the simulation results of various processes in QForm software suite. It describes the challenges faced, when developing new processes of cold upsetting or manufacturing the products. The authors analyzed the simulation results to determine energy and force parameters and the stress and strain state of workpieces in stages to choose equipment for upsetting and optimum conditions of its adjustment.

Keywords: fasteners, simulation, technology, analysis, equipment, cold upsetting, strain, stress, parameters, force.



УДК 620.173.25

О.С. Железков¹, Т.Ш. Галиахметов², С.Б. Лизов¹

¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Россия

E-mail: ferumoff@mail.ru

²АО «БелЗАН»

г. Белебей, Башкортостан, Россия

E-mail: t.galiakhmetov@belzan.ru

Дата поступления 29.04.2022

В авторской редакции

ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОЛТОВ С ШЕСТИГРАННЫМИ ГОЛОВКАМИ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА

Аннотация

Используя комплексный критериальный подход, выполнен поиск рациональных технологий штамповки стержневых крепежных изделий из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т с шестигранными головками. В расчетах использовались критерий продольной устойчивости, силовой критерий, энергетический критерий, критерий износа инструмента, критерий разрушения и критерий расхода металла. Рассматривалось три варианта технологического процесса: холодная штамповка бочкообразной головки и её обрезка на шестигранник; холодная штамповка цилиндрической головки и безоблойная штамповка шестигранника с выдавливанием лунки; комбинированный способ, включающий холодную штамповку цилиндрической головки, нагрев и полугорячую безоблойную штамповку шестигранной головки с выдавливанием лунки.

Ключевые слова: болты с шестигранной головкой, нержавеющая сталь, критериальный подход, критерий продольной устойчивости, силовой критерий, энергетический критерий, критерий износа инструмента, критерий разрушения штампуемой заготовки, критерий расхода металла.

Введение

Крепежные изделия из коррозионно-стойких сталей широко используются в атомной энергетике, нефтяной и газовой промышленности, авиа- и судостроении, медицинской технике, пищевой промышленности и других отраслях. При изготовлении стержневых крепежных изделий (болты, винты, шурупы и т.п.) используются специальные кузнечнопрессовые машины и многопереходные технологические процессы, включающие разнообразные методы холодного и горячего пластического деформирования (штамповка, высадка, выдавливание, редуцирование, накатка резьбы и т.п.) [1-4]. Поиск рациональных способов, схем и режимов деформирования с использованием современных методов исследования процессов обработки метал-

лов давлением позволяет решать актуальные проблемы повышения качества крепежных изделий и эффективности их производства.

Основная часть

В работах [5,6] изложены основные положения методики поиска рациональной технологии изготовления изделий с использованием многопереходных процессов пластического деформирования на основе комплексного критериального подхода. Согласно разработанной методике, вначале определяется несколько вариантов возможных технологии с различным формоизменением и режимами деформирования. Затем, используя современные методы натурального и компьютерного моделирования процессов ОМД, по каждому варианту технологии определяются основные параметры (напряжения, деформации, силы и работа

деформации, условия устойчивости штампуемой заготовки, ресурс пластичности, качество изделий и т.п.). Для каждого параметра определяется свой критерий:

$$K_{II} = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (1)$$

где P_i – параметр для i -го варианта технологии;

P_{\max} – параметр для варианта технологии, при использовании которой он принимает максимальное значение.

По каждому варианту технологии критерии суммируются и за основу принимается технология, для которой суммарный критерий имеет минимальное значение.

При поиске рациональной технологии изготовления стержневых крепежных изделий с шестигранной головкой рассматривались три варианта технологического процесса:

- холодная штамповка бочкообразной головки и её обрезка на шестигранник (рисунок 1, вариант I);
- холодная штамповка цилиндрической головки и безоблойная штамповка шестигранника с выдавливанием лунки (рисунок 2, вариант II);
- комбинированный способ, включающий холодную штамповку цилиндрической головки, нагрев и полугорячую безоблойную штамповку шестигранной головки с выдавливанием лунки (рисунок 3, вариант III).

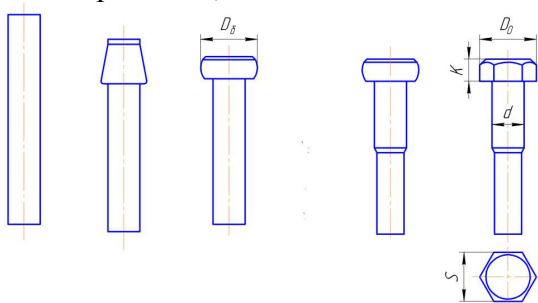


Рисунок 1. Схема технологического процесса изготовления болтов с обрезкой головки на шестигранник (вариант I)

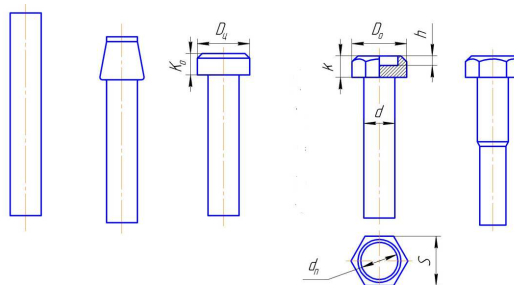


Рисунок 2. Схема технологического процесса изготовления болтов с использованием безоблойной штамповки головки (вариант II)

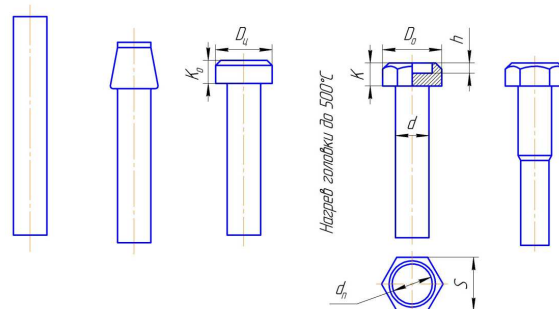


Рисунок 3. Схема комбинированного способа изготовления болтов с использованием полугорячей безоблойной штамповки головки (вариант III)

При моделировании вариантов II и III, когда окончательная штамповка шестигранной головки осуществляется за счет выдавливания торцевой лунки, рассматривалась различная относительная глубина лунки $h/k = 0,3$ и $h/k = 0,6$.

При поиске рациональной технологии использовались критерий продольной устойчивости, силовой критерий, энергетический критерий, критерий износа инструмента, критерий разрушения и критерий расхода металла.

При штамповке болтов стабильность процесса деформирования зависит от относительных размеров штампуемого участка заготовки. Для оценки возможности осуществления процесса штамповки без потери продольной устойчивости штампуемого участка применяется параметр, который называется коэффициентом высадки:

$$k_e = l_0 / d_0, \quad (2)$$

где l_0 – длина высаживаемого участка;

d_0 – диаметр исходной заготовки.

При большой величине k_e возможна потеря устойчивости, то есть продольный

изгиб штампуемого участка заготовки, что приводит к возникновению брака.

На основании теоретических и экспериментальных исследований, а также практического опыта установлено, что при предварительной штамповке головки за один переход коэффициент высадки k_e не должен превышать 2,3. Если $k_e \geq 2,3$, то штамповку головки необходимо осуществлять за несколько переходов [7,8].

Таким образом, критерий продольной устойчивости:

$$K_{ПУ} = \frac{k_{e_i}}{k_{e_{\max}}}, \quad (3)$$

где k_{e_i} - коэффициент высадки по i -ой технологии;

$k_{e_{\max}}$ - коэффициент высадки по технологии, при которой он принимает максимальное значение.

При разработке технологических процессов штамповки крепежных изделий необходимо стремиться к снижению сил деформирования и энергетических затрат, что обеспечивает повышение стойкости технологического инструмента и снижение затрат электроэнергии, что в конечном итоге сказывается на экономической эффективности производства. При разработке новых технологических процессов штамповки крепежных изделий следует подобрать такие способы и методы, при которых требуемая форма изделия получается простейшим путем с наименьшими затратами сил и энергии.

Используя результаты компьютерного или натурального моделирования, для каждого варианта технологии определяются максимальные усилия деформирования и рассчитывается силовой критерий K_c :

$$K_c = \frac{F_i}{F_{\max}}, \quad (4)$$

$$A^* = \int_0^{z_k} [k_1(z)^5 + k_2(z)^4 + k_3(z)^3 + k_4(z)^2 + k_5(z)] dz \quad (6)$$

После соответствующих вычислений получаем работу деформации:

$$A^* = \left[\frac{1}{6} k_1(z)^6 + \frac{1}{5} k_2(z)^5 + \frac{1}{4} k_3(z)^4 + \frac{1}{3} k_4(z)^3 + \frac{1}{2} k_5(z)^2 \right] \Big|_0^{z_k} \quad (7)$$

где F_i - максимальная сила штамповки для i -го варианта технологии;

F_{\max} - максимальная сила штамповки для варианта технологии, при которой F_i принимает самое большое значение.

При нахождении энергетического критерия вначале для каждого варианта технологии на основании либо компьютерного моделирования, либо экспериментальных данных строится диаграмма $F=f(z)$ зависимости силы деформирования F от перемещения инструмента z . Типичная кривая представлена на рисунке 4.

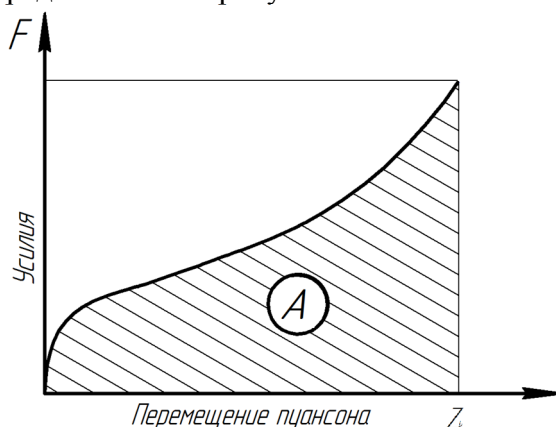


Рисунок 4. Диаграмма зависимости силы деформирования F от перемещения пуансона z

С высокой степенью точности кривую $F=f(z)$ можно аппроксимировать полиномом пятой степени:

$$F = k_1(z)^5 + k_2(z)^4 + k_3(z)^3 + k_4(z)^2 + k_5(z) \quad (5)$$

Работу деформации A^* предлагается определять, как площадь фигуры, ограниченной кривой $F=f(z)$ и осью абсцисс z (заштрихованная площадь участок на рисунке 4.). Для определения заштрихованной площади вычисляется интеграл от уравнения (5) в пределах от 0 до z_k , где z_k - полный ход инструмента за весь этап деформирования:

Рассматриваются различные варианты штамповки болтов и для каждого варианта определяется работа деформации, после чего вычисляется энергетический критерий:

$$K_9 = \frac{A_i^*}{A_{\max}^*}, \quad (8)$$

где A_i^* - работа деформации при штамповке по i - ому варианту технологии;

A_{\max}^* - работа деформации при штамповке по варианту, при котором работа имеет максимальное значение.

Износостойкость инструмента для штамповки крепежа существенно влияет на эффективность производства и этот фактор необходимо учитывать при поиске рациональных технологий. В разработанной методике при определении критерия износостойкости инструмента использовалась энергетическая теория изнашивания твердых тел [9,10], согласно которой объемный износ ΔW пропорционален работе сил на преодоление трения A_{mp} в зоне контакта, то есть:

$$\Delta W = J_\omega \cdot A_{mp}, \quad (9)$$

где J_ω ($\text{м}^3/\text{Дж}$) - показателя энергетической интенсивности изнашивания, который определяется на основании экспериментальных исследований с использованием специального оборудования (машины трения).

В общем случае работа сил трения:

$$A_{mp} = F_{mp} s = \mu F_{\text{норм}}, \quad (10)$$

где F_{mp} - сила трения, Н;

μ - коэффициент трения;

$F_{\text{норм}}$ - сила нормального давления, Н;

s - перемещение металла по поверхности инструмента, м.

В разработанной методике критерий износа инструмента определялся по формуле:

$$K_{II} = \frac{A_{mpi}}{A_{mp\max}}, \quad (11)$$

где A_{mpi} - работа сил трения при штамповке по i -ому варианту технологии;

$A_{mp\max}$ - работа сил трения при штамповке по варианту технологии с максимальными силами трения.

При анализе различных вариантов однотипных процессов пластического деформирования и оценки влияния напряженно-деформированного состояния на образование микродефектов используется известный критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма (Cockcroft & Latham) [11]. Этот критерий можно определить по результатам расчетов, выполненных с использованием программного комплекса «DEFORM-3D».

В общем случае критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма определяется по формуле:

$$D = \int_0^{\varepsilon_i} \frac{\sigma^*}{\sigma_i} d\varepsilon_i, \quad (12)$$

где ε_i – интенсивность деформаций по Мизесу;

σ^* – максимальное главное растягивающее напряжение;

σ_i – интенсивность напряжений по Мизесу.

Относительный критерий разрушения:

$$K_D = \frac{D_i}{D_{\max}}, \quad (13)$$

где D_i - максимальное значение критерия Кокрофта-Лэтэма при штамповке по i -ому варианту технологии;

D_{\max} - максимальное значение критерия Кокрофта-Лэтэма по варианту, при котором этот критерий принимает самое максимальное значение.

Важным экономическим фактором, влияющим на эффективность производства крепежных изделий, является расход металла на единицу выпущенной продукции. Отходы металла возникают в связи с необходимостью удаления переднего и заднего концов прутка или бунта, удаления заготовок при отработке и наладке процесса штамповки, а также при реализации отработанной технологии. Например, в случае использования технологии по варианту I (см. рисунок 1) при обрезке бочкообразной головки на шестигранник срезаемый металл уходит в отходы. А при использовании безоблойной штамповки с выдавливанием

лунки (варианты II и III) обеспечивается экономия металла.

Критерий расхода металла:

$$K_{PM} = \frac{V_i}{V_{max}}, \quad (14)$$

где V_i - объем головки перед окончательным формированием шестигранника для i -ой технологии;

V_{max} - объем головки перед окончательным формированием шестигранника для

технологии, по которой объем максимальный.

Для каждой из рассматриваемых технологий критерии суммируются и за основу берется технология, по которой суммарный критерий принимает минимальное значение. В таблице представлены результаты поиска рациональной технологии изготовления стержневых изделий с шестигранной головкой из нержавеющей стали.

Таблица

Результаты поиска рациональной технологии изготовления болтов из нержавеющей стали

Вариант технологии	Особенности	$K_{ПУ}$	K_C	$K_Э$	$K_{И}$	K_D	K_{PM}	$\sum K$
Штамповка бочкообразной головки и обрезка на шестигранник (вариант I)	Односторонняя обрезка	1	0,89	0,85	1	1	1	5,74
	Двухсторонняя обрезка	1	0,87	0,86	0,81	0,78	1	5,32
Штамповка цилиндрической головки и штамповка шестигранника с выдавливанием лунки (вариант II)	$\frac{h}{K} = 0,3$	0,72	0,93	0,91	0,89	0,61	0,91	4,97
	$\frac{h}{K} = 0,6$	0,63	1	1	0,95	0,65	0,81	5,04
Штамповка цилиндрической головки, нагрев и штамповка шестигранника с выдавливанием лунки (вариант III)	$\frac{h}{K} = 0,3$	0,72	0,83	0,75*	0,84	0,58	0,91	4,63
	$\frac{h}{K} = 0,6$	0,63	0,86	0,77*	0,87	0,60	0,81	4,54

*Примечание: Без учета затрат энергии на нагрев

Заключение

1. При использовании технологий по варианту I, включающих высадку бочкообразной головки с последующей её обрезкой на шестигранник, предпочтительно использовать двухстороннюю обрезку.
2. При использовании технологии, включающей штамповку цилиндрической головки и штамповку шестигранника с выдавливанием лунки (вариант II), суммарные критерии при различной глубине лунки отличаются незначительно.
3. У технологий, включающих безоблойную штамповку с промежуточным нагревом до температуры 400-500°C и

- выдавливанием торцевой лунки (вариант III), лучший суммарный критерий. Однако такие технологии требуют создания нового технологического оборудования: либо линии, включающей холодновысадочный автомат, нагревательное устройство и пресс для горячей окончательной штамповки, либо автоматическую роторную линию с ротором нагрева.
4. Вышеизложенные результаты теоретических и экспериментальных исследований использовались при разработке и освоении технологии изготовления винтов М6 с длиной стержня 12÷20 мм (ОСТ 1 31501-80) с шестигранной головкой из нержавеющей стали марки 12X18H10T в условиях АО «Бел-

ЗАН». (г. Белебей). Экономический эффект - 6,2 млн. руб.

Библиографический список

1. Мокринский, В.И. Новые прогрессивные виды и технологические процессы изготовления крепежных изделий / В.И. Мокринский, О.С. Железков // Сер. Метизное производство. Вып. 2. - М.: Ин-т Черметинформация. - 1990. - С 22.
2. Васильев, С.П. Производство крепежных изделий. / М.: Металлургия - 1981. - С. 102 .
3. Воробьев, И.А. Крепежные изделия для современного машиностроения / И.А. Воробьев, С.В. Овчинников, Г.В. Бунатян, Т.Ш. Галиахметов и др. // Нижний Новгород: МПК-сервис. - 2016. - С. 520.
4. Петриков, В.Г. Прогрессивные крепежные изделия/ В.Г. Петриков, А.П. Власов // М.: Машиностроение. - 1991.- С. 256.
5. Железков, О.С. Поиск рационального формоизменения в многопереходных процессах пластической деформации на основе комплексного критериального подхода/ О.С. Железков, С.А. Малаканов, С.О. Железков / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2015, № 4.- С. 18-22.
6. Малаканов, С.А. Критериальный подход при проектировании технологических процессов производства крепежных изделий и пружинных клемм / С.А. Малаканов, О.С. Железков, Т.Ш. Галиахметов и др. // Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г. И. Носова. 2017. - С. 102.
7. Биллигман И. Высадка и другие методы объемной штамповки / М: Машгиз, 1960. - С. 457.
8. Мисожников, В.М. Технология холодной высадки металлов/ В.М. Мисожников, М.Я. Гринберг //- М.: Машгиз, 1951. - С. 307.
9. Крагельский, И.В. Трение и износ// - М.: Машиностроение. 1968. -С. 480.
10. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (износ и безизносность)// - М.: «Изд-во МСХА», 2001. - С. 616.
11. Cockcroft M.G., Latham D.J. A Simple Criterion of Fracture for Ductile Metals // National Eng. Laboratory Report 240, July 1966, See also "Ductility and Workability of Metals", Journal of the Institute of Metals. - V. 96. - 1968. - P. 33.

Information about the paper in English

O.S. Zhelezkov¹, T.Sh. Galiakhmetov², S.B. Lizov¹

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia

E-mail: ferumoff@mail.ru

²JSC BelZAN

Belebey, Bashkortostan, Russia

E-mail: t.galiakhmetov@belzan.ru

Received 29.04.2022

SEARCHING FOR FEASIBLE TECHNOLOGIES OF MANUFACTURING HEXAGON-HEAD BOLTS FROM STAINLESS STEEL, APPLYING AN INTEGRATED CRITERION APPROACH

Abstract

By applying an integrated criterion approach, the authors searched for feasible technologies of stamping hexagon-head bolts from stainless steel grade 12Kh18N10T. The calculations included a longitudinal stability criterion, a force criterion, an energy criterion, a tool wear criterion, a criterion of damage and a steel consumption criterion. Three options of the process were under consideration: cold stamping of a rivet head and cutting it as a hexagon; cold stamping of a cylindrical head and closed die stamping of the hexagon with a hole extrusion; a combined process, including cold stamping of a cylindrical head, heating and semi-hot closed die stamping of the hexagon head with a hole extrusion.

Keywords: hexagon-head bolts, stainless steel, criterion approach, longitudinal stability criterion, force criterion, energy criterion, tool wear criterion, criterion of damage of the stamped workpiece, steel consumption criterion.



УДК 621.838.222

М.П. Шишкарёв
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет» (ДГТУ)
г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: shishkarevm@mail.ru
Дата поступления 25.03.2022

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ С КОСВЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Аннотация

Показано, что введение косвенного регулирования в адаптивной фрикционной муфте с отрицательной обратной связью позволяет значительно повысить номинальную нагрузочную способность и уменьшить уровень крутильных колебаний в приводе машины за счет демпфирования энергии упругих элементов муфты при ее срабатывании. Установлено, что отсутствует принципиальное ограничение максимального значения коэффициента усиления, связанное с его влиянием на значение номинального вращающего момента, что позволяет повысить точность срабатывания муфты.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, отрицательная обратная связь, косвенное регулирование, управляющее устройство, коэффициент усиления.

Введение

В существующих адаптивных фрикционных муфтах (АФМ) косвенное регулирование силового замыкания пар трения фрикционной группы применяется только при использовании положительной обратной связи [1, 2]. Косвенное регулирование характеризуется изменением силы натяжения замыкающей пружины (группы замыкающих пружин) в зависимости от текущего значения коэффициента трения и осуществляется при помощи управляющего устройства (УУ) обратной связи.

Постановка задачи исследования. Разработка принципиальной схемы АФМ первого поколения с косвенным регулированием и определение ее технико-эксплуатационных характеристик.

Основная часть

Оценим возможность и эффективность применения принципа косвенного регулирования в АФМ первого поколения [3], которые оснащаются одноконтурной отрицательной обратной связью. Оценку эффективности указанного принципа будем производить по основным технико-эксплуатационным характеристикам АФМ – номи-

нальной нагрузочной способности и точности срабатывания [4].

В связи с этим рассмотрим принципиальную схему АФМ, показанную на рисунке 1, а. Соосно расположенные одна относительно другой полумуфты 1 и 2 кинематически связаны между собой в окружном направлении фрикционной группой, состоящей из дисков трения 3 и 4. Диски 3 соединены с барабаном полумуфты 2, а диски 4 – с нажимным диском 5, который установлен на втулке 6 и связан с нею в окружном направлении при помощи направляющей шпонки 7. Слева (по рис. 1, а) фрикционная группа и втулка 6 опираются на опорный диск полумуфты 1 посредством упорных подшипников.

УУ отрицательной обратной связи АФМ состоит из тел качения 8, которые размещены в гнездах со скошенными боковыми стенкам, выполненными во втулке 6 и упорной втулке 9. Упорная втулка 9 слева (по рис. 1, а) опирается на жесткий упор 10 нажимного диска 5, поджимается к упору при помощи пружины 11 и связана с полумуфтой 1 в окружном направлении направляющей шпонкой 12.

Силовое замыкание элементов пар трения фрикционной группы муфты осуществляется при помощи пружины 13.

При настройке АФМ по минимальному значению коэффициента трения [5] для повышения нагрузочной способности муфты УУ не должно функционировать при передаче вращающего момента, рав-

ного настроечной величине. Следовательно, соотношение исходных значений сил натяжения пружин 11 и 13, устанавливаемое при настройке муфты, должно быть таким, чтобы при передаче номинального вращающего момента в приводе машины упорная втулка 9 сохраняла положение осевого равновесия.

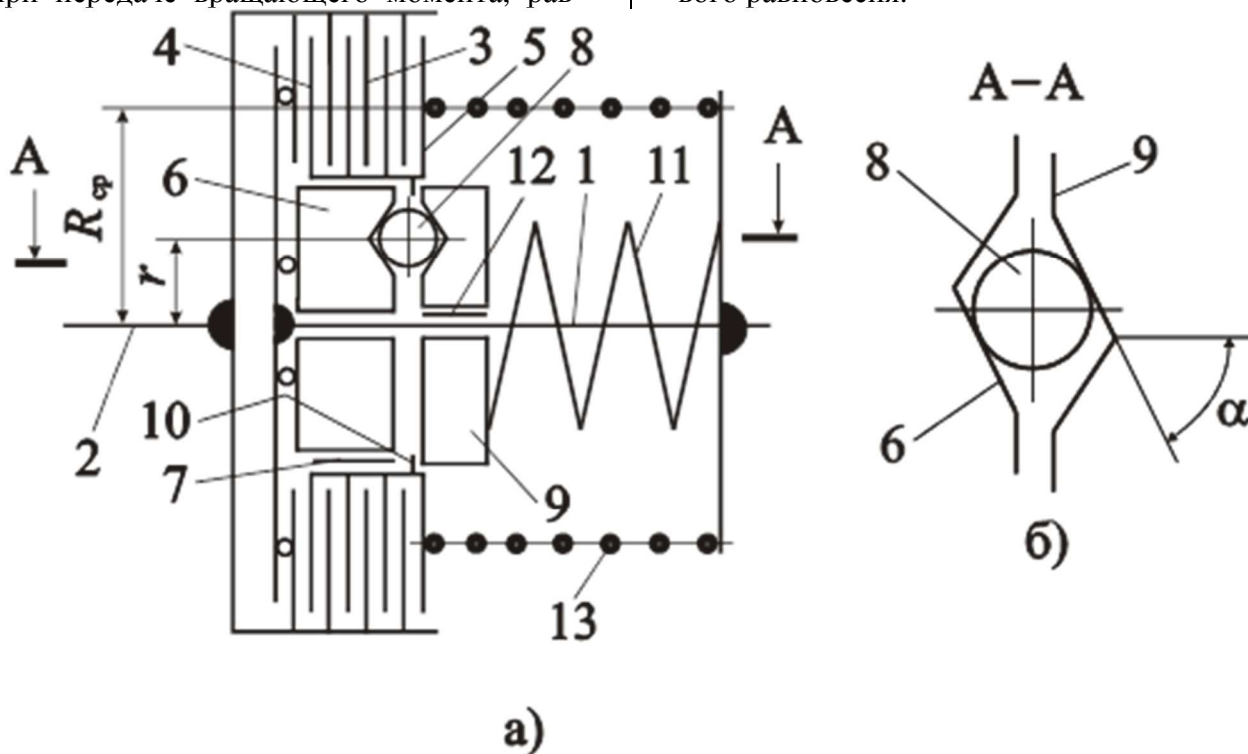


Рисунок 1. Принципиальная схема АФМ первого поколения с косвенным регулированием

В указанный период времени на упорную втулку 9 действуют следующие силы:

- сила натяжения $F_{п1}$ пружины 13;
- сила натяжения $F_{п2}$ пружины 11;
- сила трения $F_{тр}$, действующая между упорной втулкой 9 и направляющей шпонкой 12;
- распорная сила F_p , возникающая при передаче вращающего момента между телами качения 8 и боковыми стенками гнезд втулок 6 и 9.

С учетом изложенного выше запишем уравнение осевого равновесия упорной втулки 9 в следующем виде:

$$F_{п1} + F_p - F_{п2} - F_{тр} = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что в рассматриваемом случае сила давления на упор 10 со стороны упорной втулки 9 равна

нулю.

Для распорной силы F_p запишем следующее выражение:

$$F_p = \frac{T_n}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где T_n – настроечный (номинальный) вращающий момент АФМ; α – угол скоса боковых стенок гнезд под тела качения 8 (рисунок 1, б); r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 8.

Значение силы трения $F_{тр}$ определяется по соотношению [6]

$$F_{тр} = \frac{2T_n}{d} f_1, \quad (3)$$

где f_1 – коэффициент трения между упорной втулкой 9 и направляющей шпонкой 12 ($f_1 = \operatorname{const}$ [7]); d – диаметр ступицы по-

лумуфты 1 в месте сопряжения ее с упорной втулкой 9.

Значение вращающего момента T_n определяется по формуле:

$$T_n = zF_{n1}R_{cp}f_{min}, \quad (4)$$

где z – число пар трения фрикционной группы; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения фрикционных пар; f_{min} – минимальный коэффициент трения.

Подставляя правую часть формулы (4) в формулы (2) и (3), а затем полученные выражения – в уравнение (1), находим:

$$C = \frac{2R_{cp}f_1}{d} + \frac{F_{n2} - F_{n1}}{zF_{n1}f_{min}}, \quad (5)$$

где C – коэффициент усиления (КУ) обратной связи:

$$C = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg}\alpha.$$

Положим, что $d = r$, а $\operatorname{tg}\alpha > 2f_1$, тогда при увеличении коэффициента трения между элементами пар трения и с наступлением перегрузки левая часть уравнения (1) становится положительной. В результате этого упорная втулка 9 начнет перемещаться вправо (по рисунку 1, а) до тех пор, пока действующие на нее силы не будут уравновешены.

В данном случае соответствующее уравнение осевого равновесия упорной втулки 9 принимает вид:

$$F_{n1} - c_1x_i + F_{pi} - F_{n2} - c_2x_i - F_{tpi} = 0, \quad (6)$$

где c_1, c_2 – осевые жесткости соответственно пружин 13 и 11; x_i – текущее осевое перемещение упорной втулки 9, соответствующее значению коэффициента трения f_i ; F_{pi}, F_{tpi} – текущие распорная сила и сила трения в шпоночном соединении.

Текущее значение вращающего момента T_i можно найти, определив соответствующее значение осевого перемещения x_i упорной втулки 9. Для этого определим переменные значения в уравнении (6) (кроме параметра x_i). По аналогии с соотношениями (2) и (3) запишем:

$$F_{pi} = \frac{T_i}{r} \operatorname{tg}\alpha, \quad (7)$$

$$F_{tpi} = \frac{2T_i}{d} f_1. \quad (8)$$

Общий вид формулы для определения значения вращающего момента T_i запишем как:

$$T_i = zR_{cp}f_i(F_{n1} - c_1x_i), \quad (9)$$

где f_i – текущее значение коэффициента трения.

Подставляя правую часть равенства (9) в формулы (7) и (8), а затем в уравнение (6), получаем в результате его решения:

$$x_i = \frac{(1 + zCf_i)F_{n1} - F_{n2} - 2zF_{n1}R_{cp}f_1/d}{(1 + zCf_i)c_1 + c_2 - 2zR_{cp}c_1f_1/d}. \quad (10)$$

Подставляя решение (10) в формулу (9), запишем формулу для определения текущего значения вращающего момента АФМ:

$$T_i = \frac{zR_{cp}f_i(F_{n1}c_2 + F_{n2}c_1)}{(1 + zCf_i)c_1 + c_2 - 2zR_{cp}c_1f_1/d}. \quad (11)$$

Переход от значения коэффициента трения f_{min} к его большему значению приводит к началу функционирования отрицательной обратной связи, поэтому необходима проверка нагрузочной характеристики $T_i(f_i)$ муфты на отсутствие «провала», т. е. отсутствия ситуации, когда возможно выполнение неравенства $T_i < T_{min} = T_n$. В противном случае возможно уменьшение точности срабатывания АФМ.

Решая упомянутое неравенство, с учетом формул (4) и (11) получаем:

$$T_i = T_{min}. \quad (12)$$

Это подтверждает, что обратное, по отношению к упомянутому, неравенство $T_i > T_{min} = T_n$ выполняется.

Равенство (12) получено при подстановке в формулу (11) параметра $f_i = f_{min}$, т. к. при $f_i > f_{min}$ последнее неравенство заведомо выполняется в силу того, что функция (11) является возрастающей по аргументу f_i . Кроме того, при выводе равенства (12) использовано представление параметра F_{n2} через параметр F_{n1} , которое вытекает из следующих рассуждений.

При передаче настроечного вращающего момента T_n значение распорной силы

вычисляется по следующей формуле:

$$F_{pmin} = \frac{T_H}{r} \operatorname{tg} \alpha = z F_{n1} C f_{min}. \quad (13)$$

Уравнение осевого равновесия упорной втулки 9 в данном случае имеет следующий вид:

$$F_{n1} + F_{pmin} - F_{n2} - F_{трmin} = 0.$$

Используя в последнем уравнении формулы (3) и (13), находим:

$$F_{n2} = F_{n1} (1 + z C f_{min}) - \frac{2z F_{n1} R_{cp} f_{min} f_1}{d}. \quad (14)$$

Значение коэффициента точности АФМ определяется по следующей формуле:

$$K_{\tau} = \frac{T_{max}}{T_H} = \frac{f_{max} [c_2 + (1 + z C f_{min}) c_1 - 2z R_{cp} c_1 f_{min} f_1 / d]}{f_{min} [c_2 + (1 + z C f_{max}) c_1 - 2z R_{cp} c_1 f_{max} f_1 / d]}. \quad (15)$$

Формула (15) записана с учетом соотношения (14).

Первая производная функции (15) по переменной C_1 отрицательная, следовательно, увеличение осевой жесткости пружины 13 приводит к повышению точности срабатывания АФМ. Аналогичным образом влияет на точность срабатывания КУ C . Увеличение осевой жесткости пружины 11, наоборот, приводит к снижению точности срабатывания муфты.

Для выработки представления и количественной оценке точности срабатывания муфты рассмотрим графики, изображенные на рис. 2. Кривые 1–3 отражают графики функции (15), построенные при следующих исходных данных: $c_1 = 20$ Н/мм; 30 Н/мм; 40 Н/мм. Остальные исходные данные параметров, принятые при построении кривых: $f_{min} = 0,1$, $f_{max} = 0,8$, $c_2 = 10$ Н/мм, $z = 8$, $R_{cp} = 0,1$ м, $d = 0,05$ м, $f_1 = 0,15$.

Анализ графиков показывает, что исследуемая АФМ обладает высокой точностью срабатывания, причем увеличение КУ, приводящее к повышению точности срабатывания муфты, не сопровождается снижением номинальной нагрузочной способности, т. к. не влияет на значение вращающего момента T_H (см. формулу (4)). Увеличение осевой жесткости пружины 13 дает существенно меньший эффект в отношении

точности срабатывания, чем увеличение КУ: уменьшение значения коэффициента точности K_{τ} при увеличении осевой жесткости c_1 в 2 раза составляет, в среднем, 1,03, тогда как при таком же увеличении КУ – в среднем 1,18.

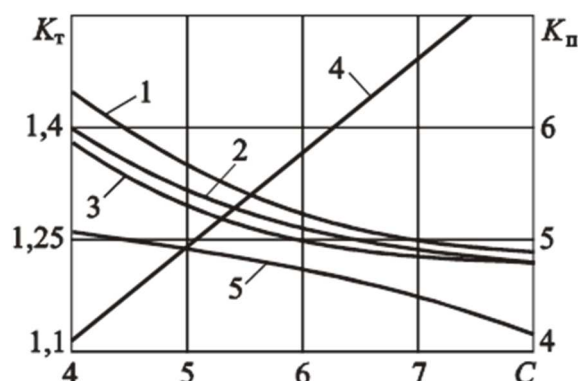


Рисунок 2. Зависимости коэффициента точности и коэффициента повышения номинальной нагрузочной способности АФМ от КУ

Прямая 4 отражает изменение значения коэффициента повышения номинальной нагрузочной способности исследуемой муфты по сравнению с муфтой-аналогом, в которой отрицательная обратная связь функционирует при минимальном значении коэффициента трения. Значение указанного коэффициента определяется по следующей формуле:

$$K_{\pi} = \frac{T_{min1}}{T_{min}} = 1 + z C f_{min}.$$

В последней формуле T_{min} и T_{min1} – соответственно вращающие моменты муфты-аналога и исследуемой муфты при значении коэффициента трения f_{min} .

Кривая 5 на рис. 2 показывает изменение значения коэффициента точности муфты-аналога в функции КУ. Учитывая вычисленное значение K_{τ} , муфта-аналог превосходит исследуемую АФМ по точности срабатывания. Однако, принимая во внимание кривую 4, отметим, что номинальная нагрузочная способность исследуемой АФМ выше.

Для АФМ важной характеристикой является не только точность срабатывания, но и необходимое значение номинального

вращающего момента. Одинаковая номинальная нагрузочная способность муфты-аналога и исследуемой АФМ может быть достигнута за счет увеличения у первой из муфт силы натяжения замыкающей пружины, значение которой кратно значению коэффициента K_n . Масса муфты увеличивается практически прямо пропорционально силе натяжения пружины [8, 9], поэтому данный способ повышения номинальной нагрузочной способности АФМ нерационален.

Номинальную нагрузочную способность муфты-аналога можно также увеличить путем уменьшения значения КУ, что приведет к снижению точности срабатывания муфты [10, 11].

Кроме того, точность срабатывания исследуемой АФМ может быть повышена за счет увеличения КУ, т. к. это не приводит к снижению номинальной нагрузочной способности муфты.

Таким образом, по совокупности показателей номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания исследуемая АФМ обладает очевидным преимуществом по сравнению с муфтой-аналогом.

Заключительным этапом синтеза АФМ является определение диаметра тел качения 8 (рис. 1, а, б) и глубины гнезд со скошенными боковыми стенками на втулках 6 и 9. Воспользуемся для этого формулой (10), с помощью которой определяется значение осевого перемещения упорной втулки 9. С учетом соотношения (14) формулу (10) запишем в следующем виде:

$$x_i = zF_{nl}(f_i - f_{min}) \times \frac{C - 2R_{cp}f_1/d}{(1 + zCf_i)c_1 + c_2 - 2zR_{cp}c_1f_1/d} \quad (16)$$

Обратимся к рисунку 3, на котором изображена схема расположения тела качения 8 в гнезде. Решая треугольник АОВ, находим:

$$OA = \frac{r_{ш}}{\cos \alpha}, \quad (17)$$

где $r_{ш}$ – радиус тела качения 8.

Катет АВ в треугольнике АОВ равен $AB = r_{ш} \operatorname{tg} \alpha$. (18)

Треугольники АОВ и АОС имеют

одинаковые острые углы, поэтому являются подобными. На основании этого и учитывая формулы (17) и (18) получаем:

$$OC = \frac{r_{ш}}{\sin \alpha}. \quad (19)$$

Поскольку оппозитные торцы втулок 6 и 9 располагаются на расстоянии s один от другого, глубина гнезда под тело качения 8, с учетом формулы (19), равна:

$$h_1 = OC - \frac{s}{2} = \frac{r_{ш}}{\sin \alpha} - \frac{s}{2}. \quad (20)$$

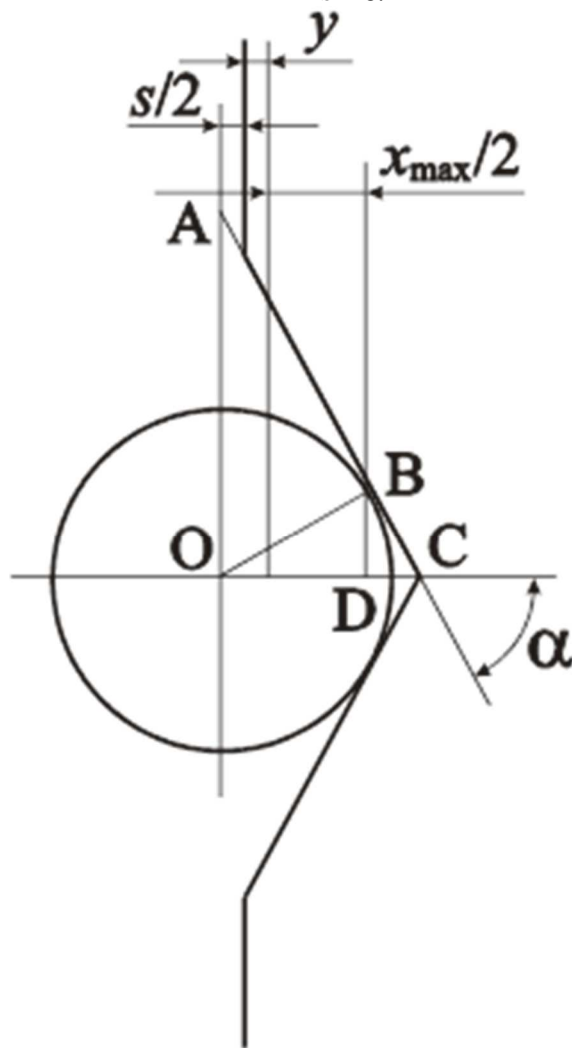


Рисунок 3. Расчетная схема

С другой стороны, необходимая глубина гнезда должна определяться с учетом перемещения x_i . Используя данный подход, из треугольника ВОД находим:

$$OD = r_{ш} \sin \alpha.$$

Отрезок СД равен, с учетом формулы (19):

$$CD = OC - OD = r_{ш} \cos \alpha \operatorname{tg} \alpha. \quad (21)$$

Учитывая удвоенное перемещение

упорной втулки 9 (относительно втулки 6), находим, с учетом формулы (21) при максимальном осевом перемещении x_{\max} :

$$h_2 = CD + \frac{x_{\max}}{2} + y = r_{\text{ш}} \cos \alpha \operatorname{ctg} \alpha_i + \frac{x_{\max}}{2} + y, \quad (22)$$

где y – расстояние между крайней левой точкой контакта тела качения 8 и боковой стенки гнезда и торцом упорной втулки 9, измеренное вдоль оси втулки и гарантирующее исключение выхода тела качения из гнезда.

Приравнивая друг другу правые части соотношений (20) и (22), получаем уравнение, решая которое, находим:

$$r_{\text{ш}} = \frac{x_{\max} + s + 2y}{2 \sin \alpha}. \quad (23)$$

Значение осевого перемещения x_{\max} можно определить по формуле (16) при значении коэффициента трения $f_i = f_{\max}$. Значение угла α определяется при известном значении КУ C по следующей формуле:

$$\alpha = \arctg C \frac{r}{R_{\text{сп}}}. \quad (24)$$

Значения s и y принимаются равными друг другу и составляют $s = y = 2 \dots 3$ мм.

Для уменьшения осевых габаритных размеров муфты необходимо стремиться к уменьшению диаметра тел качения 8. В формуле (23) параметры x_{\max} и $\sin \alpha$ зависят от значения КУ C , согласно соотношениям (16) и (24). Исследование влияния значения КУ C на радиус тела качения $r_{\text{ш}}$

Найденное значение $r_{\text{ш}}$ должно быть проверено по критерию контактного давления между телами качения 8 и боковыми стенками гнезд по следующей формуле:

$$F_N = z F_{\text{пл}} R_{\text{сп}} f_{\max} \frac{c_2 + (1 + z C f_{\min}) - 2 z R_{\text{сп}} c_1 f_{\min} f_1 / d}{[(1 + z C f_{\max}) c_1 + c_2 - 2 z R_{\text{сп}} c_1 f_{\max} f_1 / d] n r \cos \alpha} \leq [F_N],$$

где $[F_N]$ – допустимая нормальная сила в зоне контакта между телами качения 8 и боковыми стенками гнезд [13]; n – число тел качения 8.

Механизм косвенного регулирования АФМ играет положительную роль в качестве демпфера крутильных колебаний при срабатывании муфты. Действительно, в

аналитическим способом затруднительно, поэтому воспользуемся для решения этой задачи графическим способом.

График функции $r_{\text{ш}}(C)$ построен по формуле (23) и показан на рис. 4 (кривая 1). При построении графика приняты те же исходные данные, что и при построении кривой 1 на рис. 3.

На рисунке 4 также показан график функции $x_{\max}(C)$ (кривая 2).

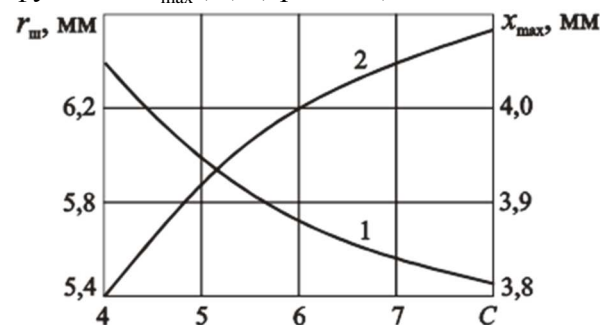


Рисунок 4. Зависимости радиуса тела качения и осевого перемещения упорной втулки 9 от КУ

Графики показывают, что увеличение КУ C приводит к уменьшению радиуса тела качения 8 и к увеличению осевого перемещения упорной втулки 9. Изменение соотношения значений КУ C и $r_{\text{ш}}$ объясняется уменьшением глубины гнезда h_1 с увеличением угла α , т. е. КУ C , согласно формуле (20) [12]. Одновременно с этим возрастает значение осевого перемещения x_{\max} упорной втулки 9, однако, как показал анализ, значение члена $\sin \alpha$ возрастает быстрее. Увеличение x_{\max} с ростом значения КУ C связано с увеличением распорной силы.

начальный период буксования муфты происходит уменьшение значения коэффициента трения, момента сил трения фрикционной группы и, следовательно, величины распорной силы УУ.

Осевое равновесие упорной втулки 9 при этом нарушается, и она начинает совершать осевые колебательные движения в соответствии с колебаниями значения распорной силы. Демпфером колебаний в данном случае является шпоночное соединение между упорной втулкой 9 и полумуфтой 1, трение в котором будет гасить часть энергии пружин, затрачиваемой на движение втулки 9 [14, 15].

Обсуждение и результаты

Введение в конструкцию АФМ первого поколения механизма косвенного регулирования и изменение схемы кинематической связи пар трения фрикционной группы с ведущей полумуфтой существенно повышает номинальную нагрузочную способность и точность срабатывания муфты по сравнению с муфтой-аналогом – базовым вариантом АФМ первого поколения.

В-основном, повышение точности срабатывания АФМ первого поколения с косвенным регулированием обусловлено отсутствием принципиального ограничения максимального значения КУ обратной связи.

В отличие от базового варианта АФМ первого поколения, точность срабатывания АФМ первого поколения с косвенным регулированием можно регулировать не только за счет изменения значения КУ, но и коэффициента осевой жесткости замыкающей пружины.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании адаптивной фрикционной муфты первого поколения с косвенным регулированием для определения значений параметров, обеспечивающих наилучшие показатели муфты при ее эксплуатации.

Выводы

1. Введение косвенного регулирования в АФМ с отрицательной обратной связью позволяет значительно повысить номинальную нагрузочную способность и уменьшить уровень крутильных колебаний в приводе машины за счет демпфирования энергии упругих элементов муфты при ее срабатывании.

2. Отсутствует принципиальное ограничение максимального значения КУ, связанное с его влиянием на значение номинального вращающего момента, что позволяет повысить точность срабатывания АФМ.
3. На точность срабатывания АФМ первого поколения с косвенным регулированием оказывает влияние значение коэффициента осевой жесткости замыкающей пружины.
4. Значение диаметра тел качения УУ обратной связи функционально зависит от КУ и уменьшается с его увеличением.

Библиографический список

1. Шишкарев М.П., Гавриленко М.Д. Определение величины коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт с положительной обратной связью // Известия ОрелГТУ, серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2011. – № 6 – 3 (290). – С. 123–127.
2. Шишкарев М.П., Чан Ван Дык. Обоснование наибольшей точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2015. – № 11. – С. 20–26.
3. Шишкарев М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения с дифференцированными парами трения (ч. 2) // Известия ОрелГТУ. – 2008. – № 3-2/271 (546). – С. 67–71.
4. Тепинкичиев В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 112 с.
5. Шишкарев М.П. Оптимальный способ настройки предохранительных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 3. – С. 16–19.
6. Зельцерман И.М. и др. Фрикционные муфты и тормоза гусеничных машин / И.М. Зельцерман, Д.М. Каминский, А.Д. Оношко. – М.: Машиностроение, 1965. – 238 с.
7. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1974. – 352 с.

8. Шишкарёв М.П. Влияние величины коэффициента усиления на массу адаптивных фрикционных муфт // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 2. – С. 88–93.
9. Запорожченко Р.М. О характеристиках предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1971. – № 1. – С. 48–52.
10. Шишкарёв М.П. Повышение надёжности адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – № 4. – С. 6–9.
11. Запорожченко Р.М. Оптимальные характеристики предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1972. – № 7. – С. 32–36.
12. Запорожченко Р.М. Оптимальные параметры фрикционной предохранительной муфты // Изв. вузов. Машиностроение. – 1974. – № 5. – С. 21–27.
13. Кравчук С.В. Универсальные предохранительные муфты // Приводная техника. – 1998. – № 6. – С. 38–40.
14. Кудинов В.А. О скачке силы трения при переходе от покоя к скольжению // СТИН. – 1993. – № 6. – С. 2–6.
15. Марюта А.Н. Фрикционные колебания в механических системах. – М.: Недра, 1993.–240 с.

Information about the paper in English

M.P. Shishkarev

Don State Technical University (DSTU)

Rostov-on-Don, Russia

E-mail: shishkarevm@mail.ru

Received 25.03.2022

SYNTHESIS AND ANALYSIS OF ADAPTIVE FRICTION COUPLINGS OF THE FIRST GENERATION WITH
INDIRECT CONTROL

Abstract

It is shown that indirect control introduced in an adaptive friction coupling with negative feedback contributes to a significant increase in the rated load capacity and a decrease in the level of torsional oscillations in the machine drive due to damping of energy of elastic elements of the coupling during its actuation. It is established that there is no fundamental limitation of the maximum value of the amplification factor associated with its influence on the nominal torque value, which contributes to higher accuracy of the coupling actuation.

Keywords: adaptive friction coupling, negative feedback, indirect control, control device, amplification factor.



УДК 621.778.8

А.Ю. Столяров, А.Р. Базыков
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод
«ММК-МЕТИЗ»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru
Дата поступления 01.07.2022

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРЕПЕЖА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

Аннотация

В работе предложены технологические решения для освоения инновационных марок сталей и получения крепежа класса прочности 10.9, 12.9, применяемого в автомобилестроении. На основании результатов термодинамического моделирования и проведения физических экспериментов получены режимы сфероидизирующего отжига горячекатаного проката из сталей марки 32CrB4, 36MnB4, 42CrMo4, 40XH2MA, а также режимы термической обработки крепежных изделий. Дополнительно для анализа процесса проведено математическое моделирование процессов штамповки и накатки резьбы, получены схемы напряженно деформированного состояния материала, оценено направление течения металла.

Ключевые слова: автомобилестроение, крепеж, болт, штамповка, термическая обработка, моделирование.

Введение

В 2021 году группой компаний ПАО «ММК» совместно с ЦНИИЧермет имени И.П. Бардина и при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации была развернута научно-исследовательская работа по освоению высокопрочного крепежа для нужд автомобилестроения.

Целью работы являлось получение крепежных изделий повышенных классов прочности: 10.9, 12.9, 14.9 из инновационных марок сталей.

Для изготовления и испытаний болтов налажены контакты с такими заводами производителями как ПАО «КАМАЗ» (Россия), ОАО «МАЗ» (Белоруссия).

Основная часть

Поскольку изделия, предназначенные для автомобилестроения, отличаются повышенными требованиями к качеству, надежности и долговечности всех используемых комплектующих, для производства болтов были разработаны и выплавлены новые марки стали, с дополнительными легирующими элементами: 32CrB4, 36MnB4,

42CrMo4, 40XH2MA. Данные материалы призваны обеспечить одновременно прочностные и пластические свойства готовых изделий. При этом они должны быть технологически пригодными для процесса деформирования, так как изготовление болтов производится на многопозиционных высодочных автоматах [1].

Для освоения были выбраны болты колеса М22х85. Для первых опытных работ к использованию была согласована сталь марки 42CrMo4. Параллельно в рамках сотрудничества с ОАО «МАЗ» было запланировано изготовление болтов М16х135, М16х125 класса прочности 10.9 из общеизвестной стали марки 40Х. Производство болтов включает в себя следующие технологические операции:

- отжиг горячекатаного проката;
 - подготовка поверхности проката;
 - изготовление калиброванного проката;
 - штамповка заготовок болтов и накатка на них резьбы;
 - термообработка готовых изделий.
- Отжиг горячекатаного проката прово-

дился в колпаковых печах с длительной выдержкой и медленным охлаждением. Главной задачей операции было сформировать благоприятную для последующего деформирования микроструктуру стали с максимально возможным содержанием зернистого перлита [2].

При подготовке поверхности проката для дальнейших операций помимо операции травления и удаления окалины производилось нанесение фосфатного покрытия небольшой толщины, предназначенного для улучшения технологичности штамповки болтов и повышения стойкости технологического инструмента.

Для минимизации потерь предварительно было проведено математическое моделирование процесса штамповки болта в программном комплексе *QForm* [3], позволяющее оценить характер напряженно-деформированного состояния заготовки болта на каждом из технологических переходов и направление течения материала в процессе высадки (рисунок 1).

На основе полученных результатов была разработана технология изготовления болта по переходам и спроектирован технологический инструмент. Изготовление инструмента осуществлялось в условиях инструментального цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Штамповка болтов производилась на многопозиционных холодно-высадочных

автоматах и включала в себя следующие переходы:

- отрезка заготовки;
- предварительная высадка головки;
- окончательная высадка головки и формирование фаски;
- редуцирование стержня под накатку резьбы;
- обсечка облоя.

Окончательными операциями обработки давлением являлись накатка резьбы и специального рифления на стержне болта М22х85.

К готовым изделиям предъявлялись требования по ГОСТ IS 898-1-2014 «Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 1. Болты, винты и шпильки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы» и дополнительные требования ПАО «КАМАЗ», касающиеся твердости готовых болтов.

Таблица 1

Содержание основных химических элементов в сталях, %

Марка стали	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>
32CrB4	0,30-0,34	0,6-0,9	0,9-1,2	-
36MnB4	0,33-0,38	0,8-1,1	0,9-1,2	-
42CrMo4	0,38-0,45	0,6-0,9	0,9-1,2	0,15-0,30
40XH2MA	0,37-0,44	0,5-0,8	0,6-0,9	0,15-0,25

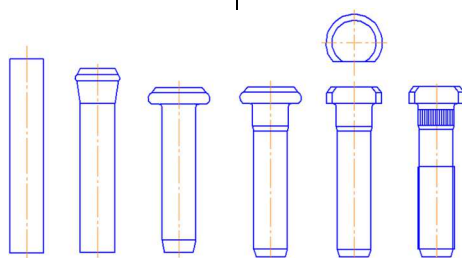


Рисунок 1 Схема высадки болта М22х85 по операциям

Таблица 2

Основные требуемые свойства готовых болтов

	Твердость	Разрушающая нагрузка	Ударная вязкость	Высота безуглероженной зоны
М22х85	37-41 □□□	Не менее 406000 Н	Не менее 27 Дж	Не менее 0,6 мм
М16х135, М16х125	32-39 □□□	Не менее 163000 Н	Не менее 27 Дж	Не менее 0,6 мм

Операцией, формирующей свойства готового изделия, служила термическая обработка, которая осуществлялась в проходной печи тоннельного типа и проходила в определенной последовательности:

- обезжиривание;
- дефосфатирование;
- мойка болтов для удаления остаточной смазки;

- нагрев под закалку в защитной атмосфере;
- закалка в масле;
- отпуск;
- охлаждение болтов в эмульсии.

Для отработки режимов термической обработки предварительно проводились эксперименты в камерных печах на единичных изделиях.

В результате проведенных экспериментов удалось сформировать рекомендации к режиму термической обработки для производства промышленной опытной партии.

После испытаний в условиях завода изготовленные болты М22х85 были направлены в испытательный центр ПАО «КАМАЗ», болты М16х125, М16х135 в адрес ОАО «МАЗ» для проведения оценки со стороны потребителя. Во время проведения испытаний и в ходе переговоров с представителями заказчика стало ясно, что одним из важнейших показателей для крепежа, используемого в автомобилестроении, является предел усталости крепежного изделия, определяемый в ходе проведения циклических испытаний. На основе анализа зарубежной литературы [4, 5], для повышения показателя предложено изготавливать болты с накаткой резьбы после проведения термической обработки (закалка и отпуск). В рамках предварительной проработки вопроса было проведено компьютерное моделирование процесса накатки резьбы в программном комплексе QForm. В результате анализа результатов моделирования было установлено, что во впадинах резьбы после накатки образуются напряжения сжатия, а

изменение напряжений в процессе деформации происходит циклично, что положительно влияет на характер напряженно деформированного состояния изделия. При использовании общепринятой практики накатки резьбы до термической обработки, напряжения по сечению болта снимаются в результате операции отпуска.

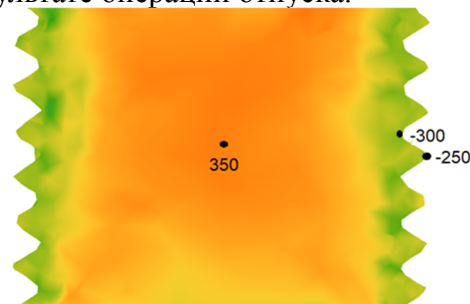


Рисунок 2. Распределение и значения средних напряжений в теле и резьбе болта после операции накатки

Кроме того, в процессе накатки происходит вытягивание зерен металла в основании резьбы. Совокупность факторов затрудняет механизм образования трещин и позволяет повысить предел усталости.

В ходе анализа полученных данных был сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но также с помощью пластической деформации.

В рамках дальнейших намеченных работ запланировано изготовление нескольких партий болтов М22х85 из сталей 40ХН2МА и 36MnB4, их термическая обработка, проведение опытной накатки резьбы на закаленных образцах и отправка образцов в испытательный центр ПАО «КАМАЗ».

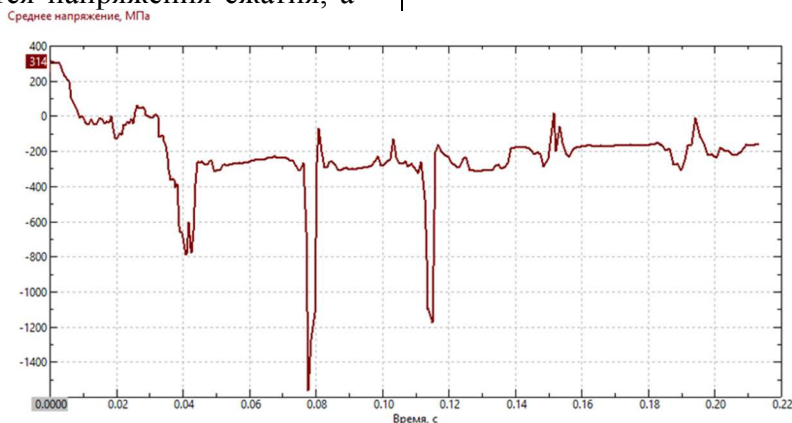


Рисунок 3. График изменения среднего напряжения от времени в точке на поверхности резьбы во время процесса накатки

Заключение

В результате проведенных работ:

- изготовлены болты колеса М22х85 для ПАО «КАМАЗ» с использованием новой марки стали 42CrMo4, отличающейся повышенными прочностными характеристиками при сохранении пластических свойств;
- изготовлены болты М16х135, М16х125 для ОАО «МАЗ»;
- отработаны режимы термической обработки болтов для получения комплекса механических свойств;
- проведено моделирование процесса штамповки заготовок болтов по операциям, накатки резьбы, с анализом напряженно-деформированного состояния;
- сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но также с помощью пластической деформации (накатка резьбы после термической обработки).

Библиографический список

1. Галиахметов Т.Ш. «Производство новых прогрессивных видов крепежа для автомобилестроения в АО «БЕЛЗАН» // Сталь. - 2021. - № 9. - С. 39-41.
2. Зайцев А.И. «Современная технология производство из высококачественного сортового проката методом холодной объемной штамповки (ХОШ) высокопрочных (в том числе, классов прочности 10.9, 12.9, 14.9) крепежных изделий для обеспечения нужд автомобилестроения и других ответственных назначений // Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе. -2022.
3. QForm, лицензия №R2-U2182-250821U147.
4. Marcelo, A.L., Uehara, A.Y., Utiyama, R.M., Ferreira, I. «Fatigue Properties of High Strength Bolts» // Procedia Engineering. - 2011. - №10. - С. 1297-1302.
5. Stephens, R., Bradley, N., Horn, N., Gradman, J. «Fatigue of High Strength Bolts Rolled Before or After Heat Treatment with Five Different Preload Levels» // SAE Technical Paper 2005-01-1321. - 2005, <https://doi.org/10.4271/2005-01-1321>.

Information about the paper in English

A.Yu. Stolyarov, A.R. Bazykov
OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MMK-METIZ)
Magnitogorsk, Russia
E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru
Received 01.07.2022

MANUFACTURING FASTENERS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, USING INNOVATIVE STEEL GRADES

Abstract

The paper contains the proposed technological solutions for learning innovative steel grades and producing fasteners of strength grades 10.9, 12.9 used in the automotive industry. The thermodynamic simulation and physical experiments were conducted to determine the modes of spheroidizing annealing of hot rolled products from steel grades 32CrB4, 36MnB4, 42CrMo4, 40KhN2MA, and heat treatment modes for fasteners. In addition to the process analysis, the authors carried out a mathematical simulation of stamping and thread rolling processes, determined the stress and strain state of the material and evaluated the direction of metal flow.

Keywords: automotive industry, fasteners, bolt, stamping, heat treatment, simulation.



УДК 331.451:621.791.042

И.В. Понурко, Л.Е. Покрамович, А.А. Киреева
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: iponurko@mail.ru
Дата поступления 24.05.2022
В авторской редакции

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОЛОКИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Аннотация

Применение системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья нацелено на то, чтобы обеспечить безопасные в плане здоровья и условий труда рабочие места, предотвратить производственные травмы и ущерб, а также постоянно улучшать показатели в области безопасности труда и охраны здоровья (ОЗБТ). На основе принципов безопасности труда и охраны здоровья необходимо разработать стандарт организации, включающий идентификацию опасностей при производстве проволоки.

Ключевые слова: система менеджмента, безопасность труда, охрана здоровья, производственный фактор, идентификация опасностей, риски.

Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья каждого работника является задачей экономического и социально-политического значения и должно находиться в центре внимания специалистов всех структурных подразделений организации.

Назначение системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (ОЗБТ) состоит в том, чтобы обеспечить среду для управления рисками и возможностями в области ОЗБТ. Для организации важно исключить или минимизировать риски в области ОЗБТ за счет принятия результативных предупреждающих и защитных мер [1]. В систему менеджмента ОЗБТ входят социально-экономические мероприятия, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные мероприятия, организационно-технические, правовые мероприятия (рисунок 1).

Основные принципы обеспечения безопасности условий труда сформулированы в статье 209.1 ТК РФ: предупреждение и профилактика опасностей; минимизация повреждения здоровья работников [2].

Принцип предупреждения и профилактики опасностей означает, что работода-

тель систематически должен реализовывать мероприятия по улучшению условий труда, включая ликвидацию или снижение уровней профессиональных рисков или недопущение повышения их уровней, с соблюдением приоритетности реализации таких мероприятий.



Рисунок 1. Система менеджмента ОЗБТ

Принцип минимизации повреждения здоровья работников означает, что работодателем должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие постоянную готовность к локализации (минимизации) и ликвидации последствий реализации профессиональных рисков.

Эти принципы делятся на ориентирующие, технические и организационные.

Ориентирующие включают в себя принцип системности, принцип деструкции, снижения опасности, ликвидации опасности.

Технические включают в себя принцип расстоянием, принцип прочности, слабого звена, экранирования.

Организационные принцип защиты временем, принцип нормирования, несовместимости, экономичности.

Следует разработать комплекс мер, направленных на локализацию и ликвидацию возможных последствий воздействия вредных производственных факторов. Оценку профессиональных рисков необхо-

димо проводить не только для уже действующих производственных процессов, но и перед вводом в эксплуатацию производственных объектов и вновь организованных рабочих мест [2].

Безопасность труда и охрана здоровья работников включает учет возможных опасных и вредных производственных факторов в соответствии с классификацией ГОСТ 12.0.003-2015 [3] - физические, химические, биологические, психофизиологические воздействия на организм человека, и предусматривает меры, исключаящие их воздействие на персонал (рисунок 2).



Рисунок 2. Опасные и вредные производственные факторы

При непрерывном совершенствовании безопасности труда и охраны здоровья при производстве сварочной проволоки в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» организация стремится достичь повышения результативности путем снижения опасностей трудового процесса и сопутствующих ему рисков. [4]

Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья начинается с идентификации опасностей. На основе статистических данных при производстве проволоки за период октябрь-декабрь 2021 года построили цепочку «Дефект - этап производства - производственный фактор» для идентификации опасностей (рисунок 3).

Дефект	Этап производства	Производственный фактор
Коррозия	Травление	Химический
Наличие грязи на поверхности проволоки	Подготовка поверхности заготовки	Биологический
Несоответствие марки стали	Подготовка сырья	Психофизиологический и социальный
Сомнительные идентификационные признаки	На всех этапах	Физический, химический, биологический, психофизиологический и социальный
Несоответствие диаметра витка	Настройка клетки	Физический, психофизиологический и социальный

Рисунок 3. Цепочка «дефект - этап производства - производственный фактор»

Второй принцип работы группы ПАО «ММК» в области охраны труда промышленной безопасности и охраны окружающей среды гласит: «Работодатель устанавливает стандарты в области охраны труда и

промышленной безопасности и доводит их до сведения каждого работника» [5].

Седьмой принцип гласит: «Необходимо определять источники опасности и оценивать риски» [5].

Таким образом, при производстве проволоки в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» с целью обеспечения труда и охраны здоровья необходимо разработать стандарт организации на базе принципов системы менеджмента организации.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 45001-2020 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 22.11.2021 N 197-ФЗ
3. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
4. Понурко И.В., Покрамович Л.Е., Кирева А.А. Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья при производстве сварочной проволоки в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 80-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. Техн. Ун-та им. Г. И. Носова, 2022. Т.2 С.34.
5. Принципы работы группы ОАО «ММК» в области охраны труда промышленной безопасности и охраны окружающей среды.- утв. Директором ОАО «ММК- МЕТИЗ» С.В. Дубовским

Information about the paper in English

I.V. Ponurko, L.E. Pokramovich, A.A. Kireeva

Nosov Magnitogorsk State Technical University

Magnitogorsk, Russia

E-mail: iponurko@mail.ru

Received 24.05.2022

ENSURING OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY, WHEN PRODUCING WIRE AT OJSC MMK-METIZ

Abstract

The occupational health and safety management system is applied to provide a safe workplace in terms of health and working conditions, prevent occupational injuries and damage, and continuously improve occupational health and safety (OHS) performance. It is required to develop a standard of the organization, including the hazard identification in wire production, following the occupational health and safety principles.

Keywords: management system, occupational safety, health care, production factor, hazard identification, risks.



УДК 621.772

В.А. Харитонов¹, М.Ю. Усанов²

¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: hva-46@yandex.ru

²Филиал ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова»
г. Белорецк, Россия
E-mail: barracuda_m@mail.ru
Дата поступления 21.03.2022

ВКЛАД УЧЕНЫХ МГТУ ИМ. Г.И. НОСОВА В РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРОВОЛОКИ И КАНАТОВ НА ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Аннотация

В связи с 80-летним юбилеем завода описаны наиболее значимые результаты, совместно полученные работниками завода и учеными МГТУ в вопросах производства проволоки и канатов, а также намечены перспективные направления научно-технического сотрудничества в этих направлениях.

Ключевые слова: юбилей, завод, университет, проволока канаты, сотрудничество, новые результаты.

Вот уже 80 лет на территории г. Магнитогорска работает один из флагманов метизной отрасли черной металлургии РФ – Магнитогорский метизно-калибровочный завод – ОАО «ММК-МЕТИЗ». Завод образован путем объединения и ввода в состав ОАО «ММК» двух заводов, начавших свою деятельность в 1942 г.: Магнитогорский калибровочный завод и Магнитогорский метизно-металлургический завод.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова функционирует в г. Магнитогорске с 1934 года.

За это время университет и завод наладили плодотворное сотрудничество как в вопросах подготовки инженерных кадров, так и в вопросах совершенствования и организации производства новых различных видов метизов.

В данной статье рассмотрено взаимодействие работников завода и университета в вопросах производства проволоки различного назначения и стальных канатов. Это ни коим образом не умаляет значимости освоения на заводе других видов метизов и заслуг работников, выполнивших эти работы. Связано это прежде всего с желанием одного из авторов описать то, чему он был или свидетелем, или непосредственным участником. Так

же авторы пытаются дать личное обоснование эффективности внедрения в действующее производство новых разработок или направлений развития уже имеющихся работ.

Основными видами продукции, производимой Магнитогорским метизно-калибровочным заводом, являлась биметаллическая и низкоуглеродистая арматурная проволока. Освоение производства биметаллической проволоки (сталемедной, а затем сталеалюминиевой) началось еще в 50-60 гг. прошлого века. Активное участие в этом процессе принимали Бояршинов М.И., Аркулис Г.Э., Поляков М.Г. и др. [1, 2]. Затем подобные работы проводились на заводе под руководством Коковихина Ю.И. [3]. Принципиально новый технологический процесс производства биметаллической проволоки на заводе был разработан под руководством Стеблянка В.Л. [4]. За эту разработку работники завода и университета в 1999 г. были удостоены премии Правительства Российской Федерации в области науки техники.

Массовое производство низкоуглеродистой арматурной проволоки по ГОСТ 6727 было освоено еще в пятидесятые годы прошлого века. Осуществлялось это с помощью научных сотрудников Всесоюзного научно-

исследовательского института метизной промышленности (г. Магнитогорск) и Научно-исследовательского института бетона и железобетона (г. Москва). При освоении новых видов низкоуглеродистой арматурной проволоки работали совместные научные бригады института и завода. Впервые в стране было освоено производство проволоки холоднодеформированной с четырехсторонним периодическим профилем диаметрами 6,0, 8,0 и 10,0 мм по ТУ 14-170-217-94 «Проволока холоднодеформированная с четырехсторонним профилем для армирования железобетонных конструкций». В этой работе принимали участие Харитонов Вик. А., Корчунов А.Г. и Харитонов А.В. [5, 6].

Были также разработаны и освоены в промышленных условиях новые ресурсосберегающие технологические процессы изготовления арматурной проволоки с многосторонним профилем из термоупрочненной канатки производства ПАО «ММК» [6, 7]. В этой работе от завода активное участие принимала Зайцева М.В., которая по этой тематике успешно защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук [8].

Магнитогорский калибровочный завод специализировался прежде всего на производстве высокоуглеродистой (канатной) проволоки и стальных канатов. На заводе было освоено промышленное производство канатов различных конструкций из пластически обжатых прядей. Работы проводились под руководством Коковихина Ю.И. [3]. На заводе также было освоено производство высокопрочной арматурной проволоки для армирования железобетонных шпал по ТУ 144-1681-91 «Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных шпал».

Весьма перспективной и актуальной совместно проведенной работой на Магнитогорском метизно-калибровочном заводе была разработка промышленных технологических процессов производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения, преднапряженных для высокоскоростных и тяжелонагруженных железнодорожных магистралей [9].

В настоящее время перед заводом стоит сложная, но весьма актуальная задача обеспечения импортозамещения на основе разработки и освоения новых видов высококачественной продукции и ресурсосберегающих

высокопроизводительных процессов их изготовления. На заводе в последнее время проведена модернизация волочильного и канатного оборудования, в качестве инструмента, наряду с традиционными монолитными волокнами используются роликовые волокна, производства ведущих машиностроительных фирм мира. Все это позволяет, используя принцип проектирования технологических процессов под существующее оборудование и повышая эффективность деформационных режимов волочения, успешно решить выше озвученные задачи.

Этому, несомненно, будет соответствовать использование подходов, изложенных в работе [10]. С использованием полей распределения коэффициента жесткости и показателя Лоде-Надаи в коническом очаге деформации полученных с применением дополнительной подпрограммы для Deform-3d, и полей распределения гидростатического напряжения разработана методика оценки напряженного состояния. Построены зависимости изменения гидростатического напряжения на оси проволоки и усилия волочения для различных значений рабочих углов волок и обжатий для стали марки 80. Подобные зависимости могут быть получены для любой марки стали. Установлено, что каждому значению рабочего угла волоки соответствует рациональный диапазон обжатий, при котором обеспечиваются минимальные значения гидростатического напряжения на оси проволоки и усилия волочения. Разработана методика расчета предельного гидростатического напряжения в коническом очаге деформации. Для исключения схемы всестороннего растяжения на оси проволоки предельное значение гидростатического напряжения для углеродистых марок сталей должно быть равным $\sigma_{ср} \leq 0,3\sigma_B$.

Установлено, что при волочении в монолитной волоке наблюдается минимальная разница накопленной степени деформации по периметру в поверхности проволоки. При волочении в монолитных вращающихся волокнах увеличение скорости вращения и уменьшение рабочего угла волоки приводит к снижению усилия волочения и повышению накопленной степени деформации в поверхности проволоки.

При волочении в сдвоенных роликовых волокнах, по сравнению с волочением в монолитных волокнах, значение накопленной степени деформации повышается как в центре,

так и на поверхности проволоки, при этом с увеличением числа роликов уменьшается градиент неравномерности накопленной степени деформации на поверхности проволоки. Установлено, что для многороликовых калибров, в отличие от двухроликовых, накопленная степень деформации в центре ручья минимальная, а в местах разъемов калибра – максимальная.

Впервые исследовано напряженно-деформированное состояние при холодной радиально-сдвиговой протяжке и установлено, что накопленная степень деформации равномерно распределяется по периметру проволоки, при этом ее значение в поверхности выше чем в центре, и растет с уменьшением угла конической части деформирующих роликов; циклический характер действия рабочих напряжений, определяемый вращением деформирующих роликов вокруг заготовки, приводит к «геликоидальному» характеру течения металла и неоднородности напряженного состояния; значение максимального единичного обжатия $\epsilon \leq 20\%$, а минимальный угол конической части ролика $\alpha \geq 2^\circ$; устойчивость процесса и отсутствие «наплывов» на поверхности проволоки обеспечиваются выполнением условия: длина обжатой заготовки за один оборот проволоки должна быть не более $1/3$ длины цилиндрической части ролика.

Разработаны новая методика и алгоритм расчета маршрутов волочения, обеспечивающие возможность получения проволоки заданного уровня качества при минимальных энерго- и материалозатратах. Для автоматизации расчетов основных параметров процесса волочения была разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ. Данная методика может применяться как при проектировании новых, так и при анализе действующих маршрутов волочения и адаптирована для расчета процесса волочения с применением роликовых волок любой конструкции. Показано, что с увеличением диаметра протягиваемой проволоки возможности повышения эффективности волочения в монолитной волоке значительно снижаются. Для устранения этого, в маршрутах волочения необходимо использовать роликовые проволоки различных конструкций, что позволяет повысить значение накопленной степени деформации и ее равномерность, снизить усилие и кратность волочения.

Повысить качество и снизить затраты на производство проволоки различного назначения позволит модульно-комбинированное волочение проволоки [11], включая получение заготовки под волочение процессами ассиметричной холодной плоской прокатки, нового процесса реализацией которого занимается в университете Песин А.М. Показано направление развития способов волочения стальной проволоки за счет совершенствования традиционного волочения в монолитных волоках, и использования новых технологических процессов производства проволоки. Перспективным направлением совершенствования волочения является создание комбинированных способов с использованием двух и более чередующихся схем деформации. Комбинирование позволяет существенно расширить технологические возможности традиционных способов обработки металлов давлением.

Разработан новый способ модульно-комбинированного волочения, в котором единичное обжатие на каждом блоке волочильной машины распределяется между роликовой и монолитной волоками, позволяющий за счет изменения направления течения металла управлять напряженно-деформированным состоянием в очаге деформации и обеспечить повышение механических свойств проволоки. Преимуществом способа является легкая встраиваемость в существующее оборудование с минимальными затратами, совместимость со скоростями грубого и среднего волочения проволоки, отсутствие необходимости синхронизации скорости волочения в роликовой и монолитной волоках.

На основании полученных теоретических и экспериментальных результатов разработаны практические рекомендации по режимам волочения стальной высокоуглеродистой проволоки и энергосиловым параметрам процесса. Показано, что комбинированный способ позволяет осуществлять волочение с большими единичными обжатиями и уменьшить число проходов. Установлено, что при модульно-комбинированном волочении проволоки больших диаметров возможно снижение энергозатрат на $6,5\%$ и в условиях массового производства может быть достигнута существенная экономия электроэнергии.

Предлагается также производить круглую проволоку с ультрамелкозернистой структурой комбинированным процессом

«плоская прокатка – волочение в круглых монолитных волокнах». Причем на стадии классической плоской (листовой) прокатки или плющения круглой заготовки (катанки) ультрамелкозернистая структура формируется процессом ассиметричной холодной (горячей) прокатки. Это позволит повысить качество проволоки и снизить затраты на ее производство.

Весьма перспективным является освоение производства высокопрочной арматурной проволоки диаметром 7,0 мм с высокой длительной прочностью. Это позволит обеспечить отечественное производство верхнего строения пути современных высокоскоростных железных дорог.

В области производства канатов перспективным является освоение производства новых видов арматурных канатов [12-14], а также массовое применение калибрующего обжатия прядей и каната [15]. Проведенные исследования показали, что калибрующее обжатие является простым, эффективным, конкурентоспособным методом обработки, который улучшает напряженное состояние пряди и каната, формирует благоприятные контактные условия, повышает точность изготовления прядей и канатов по диаметру. С целью подробного изучения данного процесса разработана универсальная методика выбора эффективных режимов калибрующего обжатия прядей подвижных канатов, позволяющая оценивать развитость контактных площадок проволок в зависимости от степени обжатия пряди. С применением программного комплекса «DEFORM-3D» проведено моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния обжимаемой витой многослойной пряди, двух проволок смежных слоев и проволоки верхнего слоя пряди, исследована геометрия формируемых контактов проволок. На основе полученных результатов представлены практические рекомендации по применению калибрующих обжатий при изготовлении многослойных прядей подвижных канатов, производству арматурных канатов с периодическим профилем и гладкой поверхностью. Показана перспектива внедрения технологии калибрующего обжатия канатов двойной свивки в целом, которая решает те же задачи одновременно, а не пооперационно. Значительно повысить прочность канатов позволит «глубокое» пластическое обжатие прядей в сочетании с калибрующим обжатием канатов.

Важной задачей, обеспечивающей повышение конкурентоспособности высокоуглеродистой проволоки и изделий из нее, является возможность получения сорбитизированной катанки всего размерного ряда, производимой на стане «170» ПАО ММК. Нужно так же добиться получения катанки с допуском на диаметр не выше $\pm 0,15$ мм. Это в равной степени относится к катанке как высокоуглеродистой, так и низкоуглеродистой. Успешно это можно выполнить с помощью методологии облачных технологий, разрабатываемой на кафедре ТОМ под руководством Тулупова О.Н. и Моллера А.Б.

Таким образом, за многолетнюю совместную работу творческих коллективов МГТУ им. Г.И. Носова и Магнитогорского метизно-калибровочного завода ОАО «ММК-МЕТИЗ» были получены эффективные результаты, в том числе и мирового уровня, по освоению новых видов проволоки и стальных канатов.

Значительный рост технического и технологического уровня завода в настоящее время, позволяет на основе развития научно-технического сотрудничества успешно решить все необходимые задачи, и повысить конкурентоспособность проволоочной и канатной продукции завода на отечественном и мировом рынках.

Библиографический список

1. Бояршинов, М. И. Усиление сцепления лакирующего слоя и сердечника при прокатке. Обработка металлов давлением / М.И. Бояршинов, М.Г. Поляков. – Свердловск: Металлургиздат, 1962. – С. 33-44.
2. Поляков, М. Г. Деформация металла в многовалковых калибрах: автореф. дис. д-ра техн. наук / Поляков М. Г. – Магнитогорск, 1970. – 43 с.
3. Коковихин, Ю. И. Теория и практика применения роликовых волок в стале-проволочно-канатном производстве: автореф. дис. д-ра техн. наук / Коковихин Ю. И. – Магнитогорск, 1974. – 49 с.
4. Стеблянко, В. Л. Создание технологии получения биметаллической проволоки и покрытий на основе процессов, совмещенных с пластическим деформированием: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Стеблянко В. Л. – Магнитогорск, 2000. – 39 с.

5. Корчунов, А. Г. Разработка технологии производства холоднодеформированной низкоуглеродистой арматурной проволоки диаметрами 6,0 и 10,0 мм: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Корчунов А. Г. – Магнитогорск, 2001. – 22 с.
6. Харитонов, А. В. Исследование и разработка технологии изготовления бунтовой арматурной стали класса А500С с использованием холодного профилирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Харитонов А. В. – Магнитогорск, 2003. – 16 с.
7. Разработка и реализация конкурентоспособных технологий производства низкоуглеродистой арматурной проволоки в условиях ОАО "ММК-МЕТИЗ": Монография / А.Д. Носов, Е.П. Носков, В.Е. Семенов, Б.А. Коломиец, В.А. Харитонов, М.В. Зайцева. – Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2008. – 107 с.
8. Зайцева, М. В. Повышение качества арматурной проволоки из низкоуглеродистых марок стали на основе регламентации свойств катанки и совершенствования режимов холодной пластической деформации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Зайцева М. В. – Магнитогорск, 2006. – 20 с.
9. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / Под общей редакцией М.В. Чукина. – М.: Металлургиздат, 2014. – 276 с.
10. Харитонов, В. А. Совершенствование деформационных режимов волочения проволоки из углеродистых марок стали в монолитных и роликовых волоках: монография / В.А. Харитонов, М.Ю. Усанов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. – 133 с.
11. Харитонов, В. А. Модульно-комбинированное волочение проволоки: монография / В.А. Харитонов, Д.Э. Галлямов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 107 с.
12. Пат. 170526 RU, МПК E04C 5/03. Арматурный канат / В.А. Харитонов, Л.М. Зарецкий, О.П. Ширяев, А.Д. Картунов, Д.П. Канаев – № 2016146434. Заявл. 25.11.2016; опубл. 27.04.2017 Бюл. № 12.
13. Пат. 177981 RU, МПК E04C 5/03, D07B 1/0693 / В.А. Харитонов, Л.М. Зарецкий, О.П. Ширяев, А.Д. Картунов, Д.П. Канаев – № 2017138144. Заявл. 01.11.2017; опубл. 19.03.2018 Бюл. № 8.
14. Пат. 2705668 RU, МПК E04C 5/08, D07B 1/06. Способ изготовления арматурного каната / В.А. Харитонов, Л.М. Зарецкий, О.П. Ширяев, Д.П. Канаев – № 2018143725. Заявл. 11.12.2018; опубл. 11.11.2019 Бюл. № 32.
15. Применение калибрующего обжатия при производстве стальных канатов: монография / В.А. Харитонов, А.Б. Иванцов, Т.А. Лаптева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 102 с.

Information about the paper in English

V.A. Kharitonov, M.Yu. Usanov

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia

²Branch of Nosov Magnitogorsk State Technical University
Beloretsk, Russia

E-mail: hva-46@yandex.ru

Received 21.03.2022

CONTRIBUTION OF THE NMSTU SCIENTISTS TO THE DEVELOPMENT OF WIRE AND ROPE
MANUFACTURING AT OJSC MMK-METIZ

Abstract

On the occasion of the 80th anniversary of the plant, the paper describes the most significant outcomes achieved by the plant employees and the NMSTU scientists on the issues of wire and rope manufacturing, and promising areas for the research and development collaboration on these fields.

Keywords: anniversary, plant, university, wire, ropes, collaboration, new outcomes.



УДК 621.993.2

С.А. Кургузов
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия.
E-mail: ksaask@mail.ru

И.А. Красноперова
ГАПОУ ЧО «Политехнический колледж»
Магнитогорск, Россия
E-mail: iakrasnoperova@mail.ru
Дата поступления 24.05.2022

ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ГАЕЧНОГО МЕТЧИКА НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ В ГАЙКЕ

Аннотация

В статье отмечено, что геометрические параметры режущей части стандартных метчиков для формообразования резьбы в отверстии гайки не оптимальны для заданных условий применения. Поэтому спланировали и провели эксперименты по оценке влияния геометрических параметров рабочей части метчика на усилие при нарезании резьбы в процессе изготовления высокопрочной гайки. Целью данных экспериментов поставлена оптимизация режимов резания, а задачи — это уменьшение крутящего момента, приходящегося на метчик, а также облегчение отвода стружки из зоны резания. Решение данных задач позволит повысить работоспособность инструмента и точность резьбовой поверхности отверстия изделия.

Ключевые слова: метчик, гайки, передний угол, гаечные метчики, резьба.

Введение

Для метизных предприятий важным являются вопросы обеспечения заданного уровня потребительских свойств новых и традиционных видов продукции. Производство металлических изделий (метизов) характеризуется широкой номенклатурой типоразмеров, индивидуальными характеристиками каждого изделия, а также многостадийностью производства. В этих условиях эффективно управлять качеством уже на этапе проектирования технологии [1].

Основная часть

При изготовлении гайки одним из наиболее расходных инструментов является метчик, который предназначен для формирования резьбы в отверстии. Данный инструмент ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод» закупает у производителей, выпускающих его по стандарту ГОСТ 1604-71. Вследствие этого получается высокая вероятность того, что геометрические параметры режущей части не

оптимальны для заданных условий применения данного режущего инструмента [2]. Поэтому были проведены эксперименты по оценке влияния геометрических параметров рабочей части метчика на усилие в процессе нарезания резьбы при изготовлении высокопрочной гайки с целью их оптимизации и уменьшения нагрузки, приходящейся на метчик, а также улучшения отвода стружки из зоны резания. Решение данных задач позволит повысить работоспособность инструмента и точность резьбовой поверхности отверстия изделия.

Геометрические параметры рабочей части метчика играют существенную роль в его работе, от них зависит [3]:

- хорошее стружкообразование и стружкоотделение из зоны резания;
- хорошее размещение стружки в стружечных канавках, особенно при обработке глухих отверстий;
- отсутствие резких переходов и концентраторов напряжений;

– стойкость инструмента.

Было исследовано влияние переднего угла γ и угла наклона главной режущей кромки λ , как наиболее влияющих на величину крутящего момента при нарезании резьбы, в частности М22.

Для проведения экспериментов использовали гаечные метчики из стали Р6М5 с прямым хвостовиком ГОСТ 1604-71, предназначенные для нарезания однопроходным способом метрической резьбы, согласно ГОСТ 9150-59. Схема формирования профиля резьбы при изготовлении – генераторная [4].

При проведении экспериментов резьбу нарезали в отверстиях заготовки гайки с пробитым отверстием из стали 40Х. В качестве смазки использовано машинное масло - индустриальное 20.

В качестве образцов инструмента были взяты стандартные метчики. Формообразование требуемых геометрических параметров режущей части инструментов в соответствии с планом эксперимента обеспечивали переточкой метчиков на заточном станке 3А64М эльборовым шлифовальным

кругом чашечного типа с зернистостью абразива 80/63 мкм. Процесс переточки метчиков представлен на рисунке 1.

Приспособление для закрепления метчиков во время переточки – трехкоординатные тиски. Все угловые величины измеряли при помощи универсального маятникового угломера - инклинометра.

В результате переточки данные метчики были приведены в соответствие со следующими геометрическими параметрами:

- метчик № 1- передний угол $\gamma = 10^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$;
- метчик № 2 - передний угол $\gamma = 15^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$;
- метчик № 3 - передний угол $\gamma = 5^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 1,5^\circ$;
- метчик № 4 - передний угол $\gamma = 5^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 3^\circ$.

Для измерения усилия и крутящего момента разработано и изготовлено устройство (рисунок 2), устанавливаемое на токарно-винторезном станке.



Рисунок 1. Переточка метчика на заточном станке

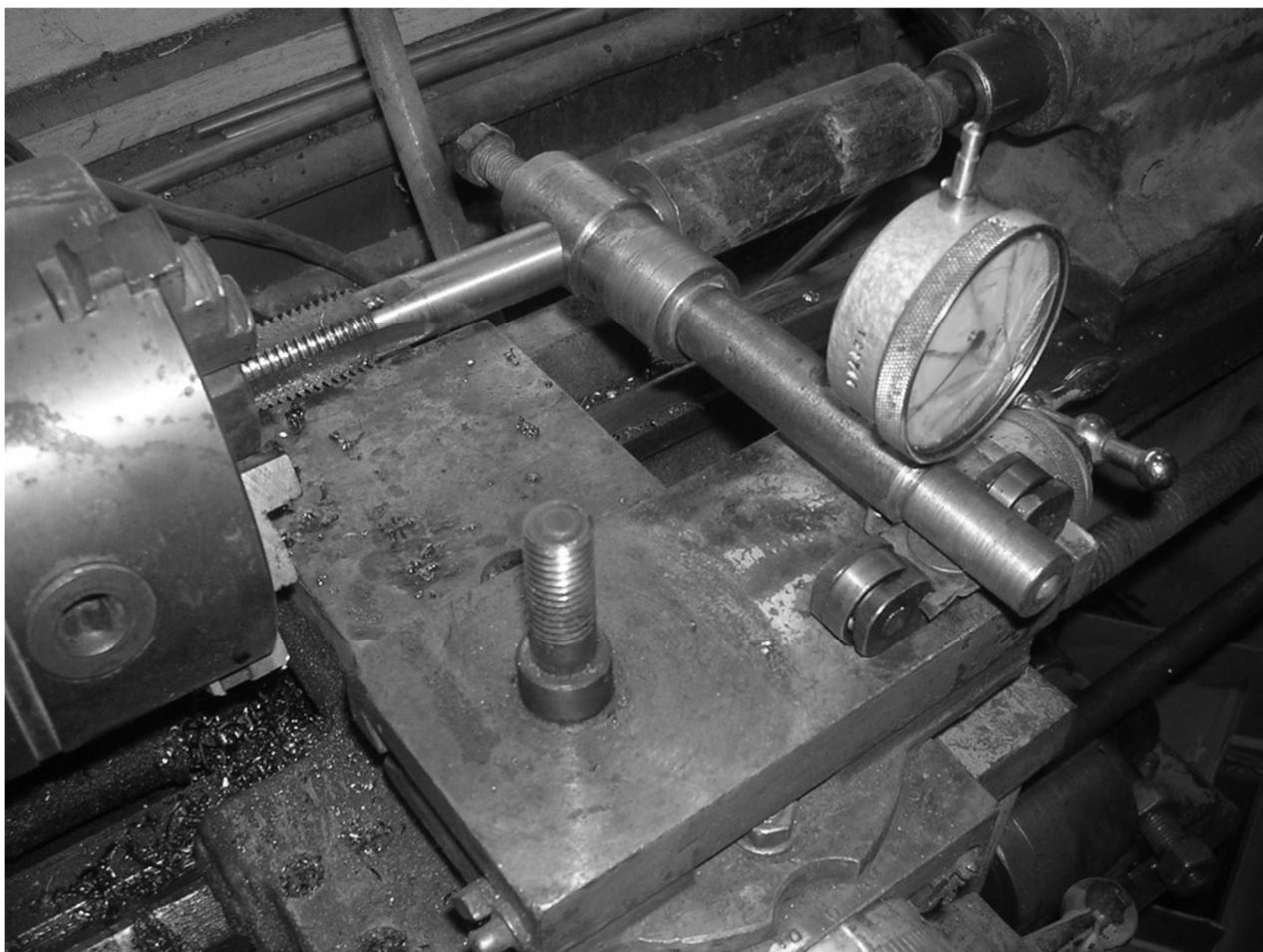


Рисунок 2. Приспособление для измерения усилия

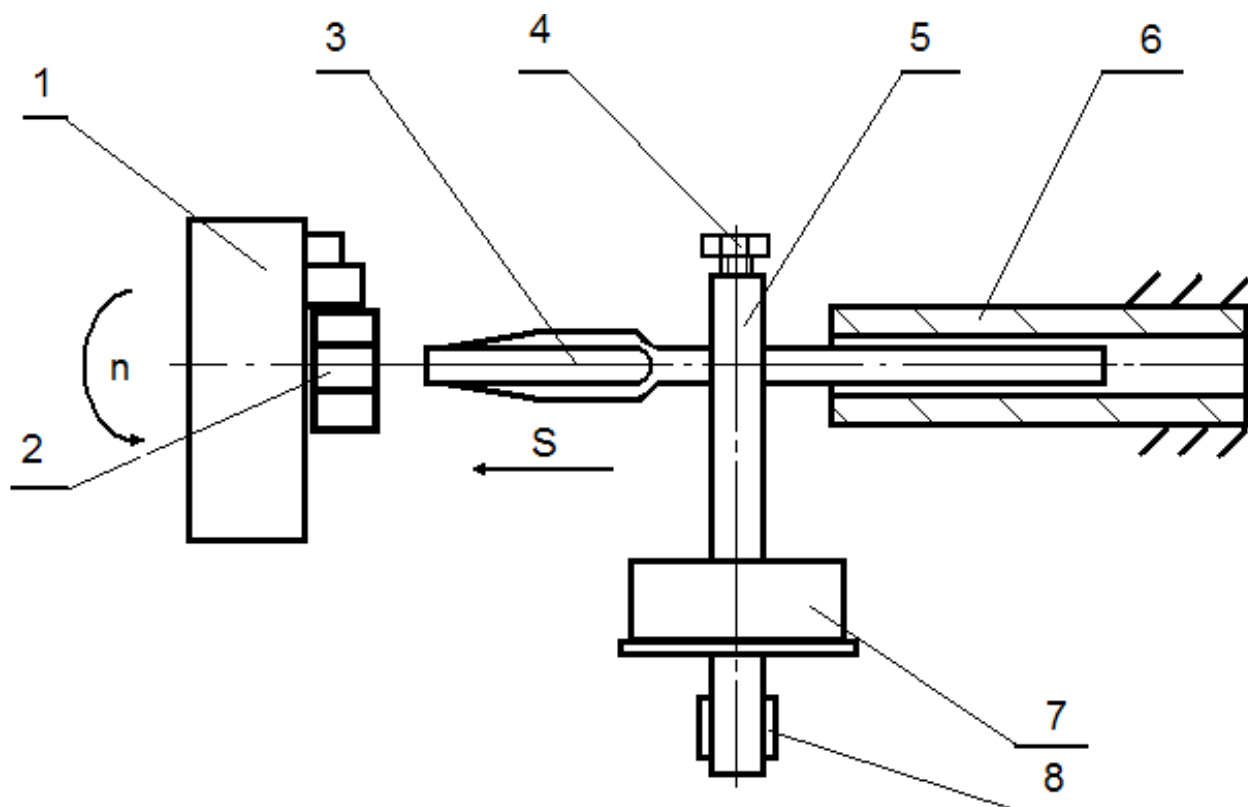
Схема приспособления для измерения усилия показана на рисунке 3.

Данное устройство работает следующим образом. В патрон 1 токарно-винторезного станка зажимаем заготовку гайки 2. Метчик 3 базируем отверстием гайки 2 и втулкой 6, устанавливаемой в пиноль задней бабки. Рычаг 5 со стопорным болтом 4 фиксирует метчик от проворота и опирается на упругий элемент 8. Под действием усилия и, как следствие, крутящего момента при нарезании резьбы под рычаг 5 деформирует элемент 8 упруго. Конец рычага 5 установили на салазки с роликами (на схеме не показаны), которые могут совершать поступательное движение по мере ввинчивания метчика внутрь гайки. Величину указанной деформации измеряли с помощью индикатора 7 часового типа ИЧ-10. Исследования проводили с использованием токарного станка Т4. Все эксперименты были проведены с частотой вращения заготовки в 120 об/мин.

Процесс нарезания резьбы в отверстии гайки не стационарен во времени, поэтому, каждый эксперимент фиксировали на видеокамеру для того чтобы по записям видеокамеры определить наибольшую величину деформации упругого элемента 8. Затем данную величину трансформировали в усилие резания с помощью тарировочного графика, представленного на рисунке 4.

На первом этапе эксперимента установили усилие, формирующееся при нарезании резьбы стандартным метчиком до переточки его геометрических параметров со следующей геометрией режущей части:

- передний угол $\gamma = 5^\circ$;
- угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$.



1 – патрон, 2 – заготовка-гайка, 3 – метчик, 5 – рычаг, 6 – втулка,
7- индикатор часового типа, 8 – упругий элемент

Рисунок 3. Схема приспособления для измерения усилия

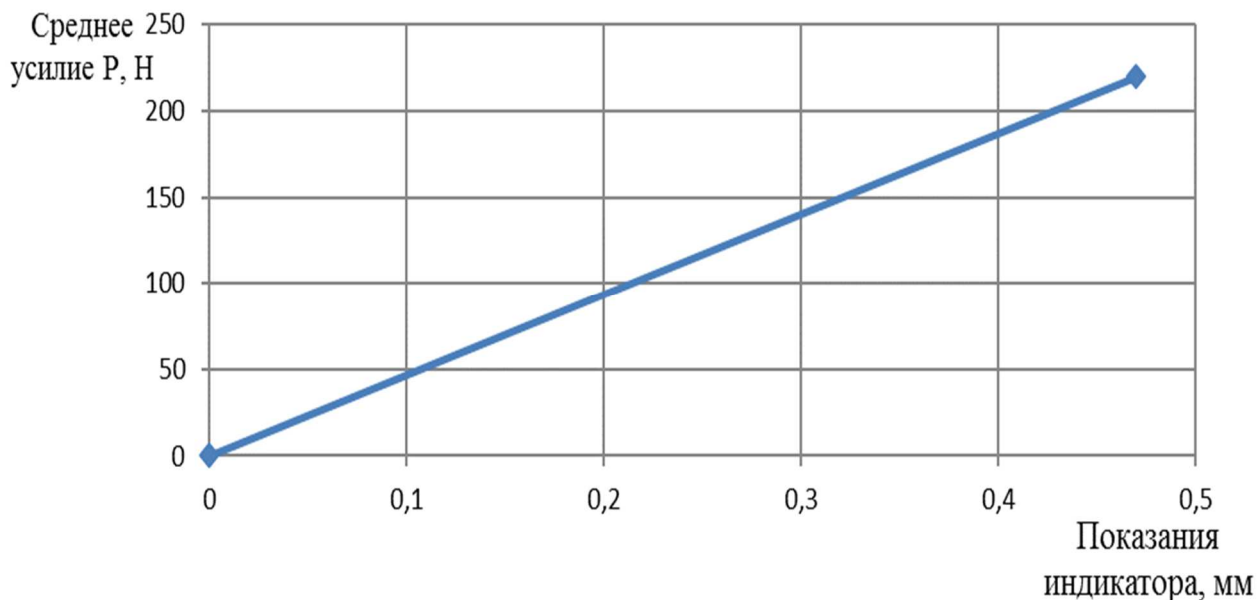


Рисунок 4. Тарировочный график

В процессе обработки заготовки-гайки отклонение стрелки индикатора составило 0,50 - 0,52 мм. Среднее усилие при нарезании резьбы стандартными метчиками (до переточки) составило $P_0 = 250...300$ Н.

На втором этапе эксперимента определили значения усилий при нарезании резьбы метчиками с измененной геометрией соответственно плану эксперимента.

Результаты измерений приведены в таблице.

Влияние геометрических параметров режущей части инструмента на усилие резания

№ метчика	Передний угол γ , градус	Угол наклона главной режущей кромки λ , градус	Показания индикатора, мм	Среднее усилие P , Н
Станд.	5	0°	0,52	250-300
1	10	0°	0,47	170-220
2	15	0°	0,45	160-200
3	5	1,5°	0,43	180-200
4	5	3°	0,46	170-210

Проверку результатов экспериментов по влиянию геометрических параметров режущей части инструмента на усилие резания проводили как на ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод», так и дополнительно в лаборатории резания кафедры МиТОДиМ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Результаты эксперимента показали, что усилие резания снижается за счет изменения геометрических параметров режущей части инструмента. Увеличение переднего угла γ привело к уменьшению усилия резания на 15-20 %. Это происходит за счет уменьшения деформации металла стружки. Увеличение угла подъема главной режущей кромки λ привело к уменьшению усилия резания на 20...28 %. Мы считаем, что в этом случае снижается толщина срезаемой стружки и улучшается смазывание трущихся поверхностей. Дополнительно замечено, что шероховатость передней поверхности канавки снизилась, что также улучшило процесс резания.

Заключение

Из анализа результатов проведенного эксперимента сделаны следующие выводы:

- увеличение переднего угла γ снижает работу при нарезании

резьбы путем уменьшения деформации срезаемого слоя металла;

- увеличение угла λ снижает касательную составляющую относительных перемещений стружки по передней поверхности инструмента и улучшает смазывание при нарезании резьбы;
- снижение усилия также связано с тем, что уменьшилась величина шероховатости передней поверхности, а также уменьшен размер ступеньки, сформированной при стандартной заточке на передней поверхности метчика;
- снижение усилий резания формирует меньшие по величине крутильные деформации стержня инструмента. При этом уменьшается трение по задним поверхностям режущей части метчика и уже сформированными витками резьбы.

Таким образом, модернизация геометрических параметров режущей части метчика позволит привести к повышению точности изделия, а также к повышению работоспособности инструмента.

Библиографический список

1. Пивоварова К.Г. Управление качеством метизной продукции на основе робастного параметрического проектирования // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2021. №3. С. 84-89
2. Ресурсосбережение в метизном производстве: (Теория и практика работы Белорец. металлург. комбината): Коллектив. монография / Зюзин В.И., Клековкина Н.А., Харитонов В.А. и др.; Зюзин В.И. (науч. ред. и сост.). - Магнитогорск, 2001. - 163 с.
3. Метизное производство в XXI веке: (Теория и практика): Межвуз. сб. науч. тр. / М-во образования Рос. Федерации. Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова; Под ред. В.А. Харитонова. - М.: РГБ, 2005.
4. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства / А. Г. Корчунов и др. - Москва: Руда и металлы, 2012. – 161 с.

Information about the paper in English

S.A. Kurguzov
Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia
E-mail: ksaask@mail.ru
I.A. Krasnoperova
Polytechnic College
Magnitogorsk, Russia
E-mail: iakrasnoperova@mail.ru
Received 24.05.2022

EFFECT OF GEOMETRY OF THE NUT TAP CUTTING PART ON FORCE PARAMETERS OF THREAD CUTTING IN NUTS

Abstract

The paper states that geometry of the cutting part of standard taps for threading in the nut hole is not optimal for the given application conditions. Therefore, the authors planned and carried out experiments to evaluate the effect of geometry of the tap cutting part on the threading force, when manufacturing a high-strength nut. The experiments were aimed at optimizing cutting modes. The objectives were to reduce torque attributed to the tap and facilitate the removal of chips from the cutting zone. By fulfilling such objectives, we improve tool performance and accuracy of the threaded surface of the hole of the products.

Keywords: tap, nuts, cutter angle, nut taps, thread

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Арутюнян Наталия Анриевна – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ФХО-1 НЦФХО ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Базыков Артур Рафикович – ведущий инженер ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Белан Ольга Анатольевна – к.т.н., ведущий специалист ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Галиахметов Тимур Шамилевич – к.т.н., генеральный директор АО «Белзан», г. Белебей, Россия

Дрягун Эдуард Павлович – начальник центральной заводской лаборатории ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Железков Олег Сергеевич – профессор, д.т.н., профессор кафедры механики ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Зайцев Александр Иванович – д.ф.-м.н., профессор, директор НЦФХО ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Зайцева Мария Владимировна – к.т.н., главный специалист Технологического центра ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Канаев Денис Петрович – начальник управления перспективного развития и технического перевооружения ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Киреева Анастасия Алексеевна – магистр кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Колдаев Антон Викторович – к.ф.-м.н., начальник лаборатории ФХО-1 НЦФХО ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Константинов Дмитрий Вячеславович – к.т.н., начальник управления по международной деятельности ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Корчунов Алексей Георгиевич – д.т.н., профессор, проректор по международной деятельности ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Красноперова Ирина Александровна – преподаватель ГАПОУ ЧО «Политехнический колледж», г. Магнитогорск, Россия

Кургузов Сергей Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Лизов Салимжан Бурамбаевич – аспирант кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Олейник Дмитрий Геннадьевич – лаборант химического анализа ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Покрамович Людмила Евгеньевна – старший преподаватель кафедры химии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Полякова Марина Андреевна – д.т.н., профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Понурко Ирина Витальевна – к.т.н., доцент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Рузаев Дмитрий Григорьевич – к.т.н., начальник управления инжиниринга материалов АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, Россия

Соколов Александр Алексеевич – к.т.н., Ведущий специалист управления перспективного развития и технического перевооружения ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Сорокин Алексей Александрович – к.т.н., заместитель начальника управления ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Степанов Алексей Борисович – заместитель начальника лаборатории ФХО-1 НЦФХО ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Столяров Алексей Юрьевич – к.т.н., начальник технологического центра – главный технолог ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Тагирова Венера Марсовна – Ведущий специалист технологического центра ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия

Тихонов Аркадий Константинович – д.т.н., советник генерального директора ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия

Усанов Михаил Юрьевич – к.т.н., доцент филиала ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» в г. Белорецк, Россия

Харитонов Вениамин Александрович – к.т.н., профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Шишкарев Михаил Павлович – д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению материалов представляемых для публикации

1. Материалы предоставляются в электронном виде, оформленные в программе MS Word 97-2003.
2. Объем представленных материалов должен быть не менее 6-ти страниц (в режиме оформления одной колонкой на листах формата А4), включая рисунки и таблицы.
3. Формат листа: А4 (210x297 мм).
4. Межстрочный интервал: одинарный.
5. Размер полей слева, справа и сверху страницы 18 мм, снизу 20 мм.
6. Нумерация страниц осуществляется внизу по центру страницы.
7. Шрифт текста: Times New Roman, размер 12 пт.
8. Отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 10 мм.
9. Формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается, размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов.
10. Рисунки должны быть вставлены в текст и обязательно представлены в виде отдельного файла в формате jpeg, tiff, bmp с разрешением не менее 300 dpi. Наличие подрисовочной надписи обязательно.
11. Не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу.
12. Структура текста.
 - 12.1. Индекс УДК.
 - 12.2. Имя, отчество и фамилия авторов, жирный шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт.
 - 12.3. Наименование организации.
 - 12.4. Город, страна.
 - 12.5. Контактный адрес электронной почты (E-mail).
 - 12.6. Название (должно быть набрано прописными буквами не в режиме CAPS LOCK (SHIFT)).
 - 12.7. Аннотация (объем не менее 100 слов).
 - 12.8. Ключевые слова (не менее 8 слов).
 - 12.9. Введение.
 - 12.10. Основная часть.
 - 12.11. Заключение (Выводы).
 - 12.12. Библиографический список.
13. Библиографический список составляется в последовательности ссылок в тексте. В тексте статьи ссылки на литературный источник заключаются в квадратные скобки. Библиографическое описание регламентировано ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Материалы для публикации направлять по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования».

Контактные телефоны: (3519) 29-85-07, 29-84-51.

E-mail: momz-magtu@yandex.ru, momz-magtu@mail.ru с указанием темы электронного письма «Журнал МОМЗ».

Сайт журнала: www.momz.magtu.ru

Контактное лицо, отв. редактор к.т.н. Слободянский Михаил Геннадьевич.

ПРАЙС-ЛИСТ

на размещение рекламы в журнале
«Механическое оборудование металлургических заводов»

№ п/п	Цветная реклама на обложке издания		Черно-белые внутренние полосы	
	Объем	Цена, руб	Объем	Цена, руб
1	2-ая полоса (формат А4)	8000	1 полоса	6000
2	3-ая полоса (формат А4)	8000	½ полосы	4000
3	4-ая полоса (формат А4)	10000	¼ полосы	2000

Статья рекламного содержания		Реклама на сайте издания			
Объем	Цена, руб	Место расположения рекламного контента	Объем / размер	Срок размещения	Цена, руб
1 полоса	3000	Слайдер на главной странице (изображение)	700 x 380 pixels	1-6 месяцев	4000
				6-12 месяцев	6000

Пример оформления рекламного изображения в слайдере на главной странице сайта издания



- Главная
- О журнале
- Автору
- Архив
- Редакция
- Партнеры
- Контакты

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов"

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является бесплатным изданием открытого доступа.



700 x 380 pixels

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является информационным партнером XIV-го международного конгресса сталеплавателей

Научно-технический журнал MOM3

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в журнале «Механическое оборудование металлургических заводов». Журнал «МOM3» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и ему присвоен международный стандартный номер сериального издания ISSN 2311-1364. Сведения о журнале