

На правах рукописи

Галиахметов Тимур Шамилевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ШЕСТИГРАННОЙ ГОЛОВКОЙ ИЗ
НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В
СИСТЕМЕ «ЗАГОТОВКА-ИНСТРУМЕНТ»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением



Магнитогорск - 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический университет
им. Г.И. Носова»
Железков Олег Сергеевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский политехнический
университет», профессор кафедры
«Обработка материалов давлением
и аддитивные технологии», (г. Москва)
Филиппов Юлиан Кириллович;

кандидат технических наук, ведущий
инженер ЦЗЛ ОАО «ММК-Метиз»,
(г. Магнитогорск)
Белан Ольга Анатольевна.

Ведущая организация: ФГБУН «Институт проблем
сверхпластичности металлов РАН», (г. Уфа)

Защита состоится «27» декабря 2018 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.111.03 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнито-горск, пр. Ленина, 38, малый актовЫй зал.

E-mail: dsovet21211103@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте www.magtu.ru

Автореферат разослан « » ноября 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета:



Жиркин Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Стержневые крепежные изделия (болты, винты, шурупы, заклепки, гвозди и т.п.) в количественном выражении являются наиболее массовыми деталями, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Крепеж из коррозионностойких сталей используется в атомной энергетике, нефтяной и газовой промышленности, авиа- и судостроении, медицинской технике, пищевой промышленности и других отраслях.

По данным Министерства промышленности и торговли РФ доля импорта в потреблении крепежных изделий составляет около 46 %, причем, в основном, это изделия повышенной прочности, а также крепеж из коррозионностойких и жаропрочных сталей. Поэтому освоение и расширение производства крепежных изделий из нержавеющей сталей является важной задачей отечественной промышленности по импортозамещению.

Наиболее эффективная технология изготовления крепежа из нержавеющей сталей включает многопереходную холодную объемную штамповку с использованием высокопроизводительных кузнечно-прессовых автоматов (КПА). Однако, специфические свойства нержавеющей сталей (химический состав, структура, структурные превращения при нагреве и пластическом деформировании, интенсивное упрочнение при холодном деформировании, "налипание" на инструмент и др.) создают определенные трудности при штамповке крепежных изделий. При этом возникают проблемы, связанные со снижением качества изделий, высокими затратами материальных, энергетических и трудовых ресурсов. Поэтому основные направления исследований в области производства крепежа из коррозионностойких сталей связаны с поиском новых эффективных марок сталей и смазочных материалов, разработкой способов подготовки металла к штамповке и совершенствованием процессов пластической деформации.

При совершенствовании процессов штамповки крепежных изделий из нержавеющей сталей необходимо использовать современные методы моделирования, что позволит на стадии проектирования технологии осуществлять поиск рациональных схем и режимов деформирования, обеспечивающих получение качественных изделий при снижении затрат на производство. Разработка высокоэффективных технологий штамповки болтов и винтов из нержавеющей сталей на базе современных методов исследования с использованием компьютерного и натурального моделирования является актуальной задачей совершенствования процессов изготовления коррозионностойких стержневых изделий. Поэтому определение рациональных схем и режимов деформирования с использованием современных методов исследования процессов обработки металлов давлением позволит решить актуальную проблему повышения качества изделий из нержавеющей сталей и эффективности производства.

Степень разработанности темы исследования

Исследованию процессов изготовления стержневых крепежных изделий посвящены работы Биллигмана И., Навроцкого Г.А., Петрикова В.Г., Власова А.П., Мокринского В.И., Паршина В.Г., Герасимова В.Я., Бунатяна Г.В., Ва-

сильева С.П., Амирова М.Г., Лавриненко Ю.А., Закирова Д.М., Воробьева И.А., Железкова О.С., Кутяйкина В.Г., Белан О.А. и др. Однако, в работах вышеотмеченных специалистов, в основном, рассматриваются технологии изготовления болтов и винтов из углеродистых и низколегированных марок стали и мало информации о штамповке изделий из нержавеющей стали, при деформировании которых возникают существенные проблемы, связанные со специфическими особенностями этих материалов (интенсивное упрочнение, «налипание» на инструмент, образование вырывов и заусенцев при обрезке головок и т.п.).

Объект исследования – технологические процессы и инструмент для изготовления стержневых крепежных изделий из нержавеющей стали.

Предмет исследования – формоизменение, энергосиловые параметры, напряженно-деформированное состояние, ресурс пластичности в процессах штамповки болтов и винтов с многогранными головками из нержавеющей стали.

Целью работы является совершенствование технологических процессов изготовления стержневых крепежных изделий из нержавеющей стали за счет поиска и применения рациональных схем и режимов деформирования, обеспечивающих высокое качество продукции при снижении затрат на производство.

Задачи исследования:

1. Провести испытания механических свойств горячекатаного металла. Определить рациональные режимы волочения нержавеющей стали. Выполнить испытания калиброванного металла. Построить и описать аналитическими зависимостями кривые упрочнения. Осуществить поиск эффективных подмазочных покрытий и смазочных материалов для штамповки изделий из нержавеющей стали. Выполнить оценку качества заготовок, отрезанных на кузнечно-прессовом автомате.
2. Выполнить конечно-элементное моделирование процессов одно- и двухсторонней обрезки головки на шестигранник. Определить энергосиловые параметры процессов обрезки и напряженно-деформированное состояние в зонах контакта обрезаемой головки с инструментом. Провести сравнительный анализ процессов обрезки и оценить влияние параметров напряженно-деформированного состояния на качество обрезаемой головки.
3. Выполнить компьютерное и натурное моделирование процесса нагружения болта с шестигранной головкой и торцевой лункой. Оценить влияние формы и размеров торцевой лунки на прочность соединения головки со стержнем.
4. С использованием метода конечных элементов осуществить моделирование процесса безоблойной штамповки шестигранной головки болтов из нержавеющей стали с формированием торцевой лунки различной формы и размеров. Определить рациональные режимы деформирования, при которых обеспечивается качественное формирование ребер шестигранника.

5. Усовершенствовать методику поиска рационального многопереходного процесса штамповки на основе комплексного критериального подхода применительно к технологии изготовления стержневых крепежных изделий с шестигранными головками из нержавеющей стали. Выполнить расчеты и разработать рекомендации по выбору рациональной технологии.

6. Разработать новые технические решения, направленные на повышение качества изделий и эффективности процесса штамповки стержневых крепежных изделий из нержавеющей стали. Провести экспериментальные исследования процессов формирования шестигранных головок болтов из нержавеющей стали. Определить рациональные способы и режимы деформирования. Выбрать оборудование для промышленной реализации технологии, разработать технологические карты, спроектировать и изготовить технологический инструмент. Осуществить промышленное опробование. Оценить экономическую эффективность разработок.

Научная новизна

1. На основе конечно-элементного моделирования и экспериментальных исследований получены новые данные и установлены закономерности взаимодействия инструмента и заготовки при формировании шестигранных головок болтов из нержавеющей стали, отличающиеся тем, что их применение позволяет определять рациональные режимы деформирования в процессах одно- и двухсторонней обрезки граней, а также при безоблойной штамповке шестигранника путем выдавливания торцевой лунки различной формы и размеров.

2. По результатам компьютерного и натурного моделирования процесса осевого растяжения стержневого крепежного изделия с шестигранной головкой и торцевой лункой получены данные о напряженно-деформированном состоянии в головке и стержневой части, по которым установлено, что при глубине лунки менее 0,6 высоты головки обеспечивается регламентированная прочность изделия, то есть разрушение происходит по стержню, а не по головке.

3. На основе анализа контактного взаимодействия заготовки и инструмента при объемной постановке задачи с учетом сложной формы контактной поверхности и упруго-пластических свойств деформируемого металла установлены закономерности формирования ребер шестигранника головки при варьировании формы и размеров выдавливаемой торцевой лунки.

4. Выявлен характер распределения нормальных и касательных напряжений, а также критерия разрушения Кокрофта-Лэтэма в зонах, примыкающих к поверхностям среза, при одно- и двухсторонней обрезке на шестигранник головки изделий из нержавеющей стали, что позволило разработать рекомендации по совершенствованию технологии штамповки.

5. Усовершенствована методика поиска рационального формоизменения в многопереходных процессах штамповки изделий сложной формы на основе комплексного критериального подхода применительно к технологии изготовления болтов и винтов из нержавеющей стали, отличающаяся тем, что позволяет дополнительно учитывать критерий продольной устойчивости

штампующей заготовки, критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма, критерий износостойкость инструмента и критерий расхода металла.

Практическая значимость научных результатов:

1. Результаты компьютерного и натурального моделирования процессов формирования шестигранных головок стержневых изделий из нержавеющей стали позволяют осуществлять поиск эффективных технологий изготовления качественных болтов и винтов при снижении затрат на производство.

2. Применение рекомендованных подмазочных покрытий (оксидное и медное, наносимое химико-термическим способом), а также смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) марок Эмбол-4, Форсол, Твол и «Росойл-ШОК» обеспечивает снижение усилий деформирования, исключает «залипание» заготовок на инструмент и повышает его стойкость.

3. Использование разработанных новых технических решений, защищенных патентами на изобретения и полезную модель, позволяет повысить качество штампующих болтов и винтов за счет четкого оформления ребер шестигранника по всей высоте головки и предотвратить образование дефектов. Кроме того, обеспечивается повышение стойкости штампового инструмента и снижаются затраты на производство.

4. Применение усовершенствованной методики поиска рациональных режимов процессов штамповки на основе комплексного критериального подхода позволяет на стадии проектирования технологии определять рациональные режимы пластического деформирования, при которых обеспечивается получение качественных изделий, что существенно снижает затраты на проведение дорогостоящих экспериментов и опытных штамповок.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты компьютерного и натурального моделирования процессов формирования шестигранных головок болтов из нержавеющей стали с использованием одно- и двухсторонней обрезки граней, а также при безоблойной штамповке шестигранника путем выдавливания торцевой лунки различной формы и размеров.

2. Результаты исследования процесса осевого растяжения стержневого крепежного изделия с шестигранной головкой и торцевой лункой, свидетельствующие о том, что при глубине лунки менее 0,6 высоты головки обеспечивается регламентированная прочность болтов и винтов, то есть разрушение происходит по стержню, а не по головке.

3. Закономерности распределения нормальных и касательных напряжений, а также критерия разрушения Кокрофта-Лэтэма в зонах, примыкающих к поверхностям среза, при одно- и двухсторонней обрезке на шестигранник головки изделий из нержавеющей стали.

4. Усовершенствованная методика поиска рационального формоизменения в многопереходных процессах штамповки на основе комплексного критериального подхода, которая позволяет дополнительно учитывать критерий продольной устойчивости штампующей заготовки, критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма, критерий износостойкость инструмента и критерий расхода металла.

Торетическая значимость результатов исследования заключается в следующем:

- выдвинута и обоснована идея повышения качества обрезанных шести-гранных головок крепежных изделий из нержавеющей сталей за счет применения двухсторонней обрезки граней;

- осуществлена адаптация компьютерных конечно-элементных моделей к процессу безоблойной штамповки шестигранных головок болтов и винтов из нержавеющей сталей при выдавливании торцевой лунки различной формы и глубины;

- обоснованы положения усовершенствованной методики поиска рационального формоизменения в многопереходных процессах штамповки применительно к штамповке болтов и винтов с шестигранной головкой из нержавеющей стали.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются применением современных методов механики сплошной среды, теорий пластичности и ОМД, использованием надежного программного комплекса «DEFORM-3D», корректностью постановки задач, а также количественным согласованием результатов математического моделирования с экспериментальными данными (погрешность не превышает 10÷15 %). При этом экспериментальные исследования выполнялись с использованием аттестованных испытательных машин.

Соответствие паспорту специальности. В соответствии с формулой специальности диссертационная работа является прикладным исследованием закономерностей пластического деформирования при формировании шестигранных головок болтов и винтов из нержавеющей стали на основе исследования контактного взаимодействия в системе «заготовка – инструмент». Выполненные исследования направлены на поиск рациональных схем и режимов деформирования, использование которых обеспечивает повышение качества изделий и снижение затрат на производство. Полученные научные результаты соответствуют пунктам 1, 3 и 5 паспорта специальности 05.02.09 «Технологии и машины обработки давлением».

Реализация результатов работы.

Результаты исследований использовались при разработке технологии изготовления винтов М 6х(12÷20) из нержавеющей стали 12Х18Н10Т по ОСТ 1 31501-80, которая внедрена в условиях АО «Белебеевский завод «Автономаль», г. Белебей, Башкортостан. Экономический эффект – 6,2 млн. руб .

Апробация результатов.

Результаты диссертационной работы обсуждались на научно-технических семинарах ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова» и ФГБОУ ВО «УАТУ», а также на технических советах АО «Белебеевский завод «Автономаль». Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Всероссийской НТК «Материалы и технологии XXI века» (г. Пенза, 2001 г); Российской НТК «Кузнецы Урала-2005» (г. В.-Салда, 2005 г.); Международной НТК «Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением» (С.-Петербург, 2005 г.); XI Международном конгрессе прокатчиков (г. Магнитогорск, 2017 г.); Всерос-

сийской конф. «Проволока-крепеж» (г. С.-Петербург, 2017); Международных НТК «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2017-18 гг.), Международной НТК «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2018» (г. Севастополь, 2018).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы одна монография, 17 статей и тезисов докладов (7 в изданиях, рекомендованных ВАК) и получено 8 патентов на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (135 наименований) и приложения. Текст диссертации изложен на 152 страницах машинописного текста, содержит 84 рисунка, 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы совершенствования технологии изготовления стержневых крепежных изделий из нержавеющей сталей с целью повышения качества и эффективности процессов штамповки за счет поиска и применения рациональных схем и режимов деформирования. Сформулированы цель исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности и апробация.

В первой главе на основании анализа патентно-информационных материалов выявлены марки нержавеющей сталей, применяемые при изготовлении коррозионностойкого крепежа, конструкции болтов и винтов с многогранными головками и технологии их изготовления, а также технико-конструктивные особенности применяемого оборудования для штамповки.

Рассмотрены преимущества и недостатки сталей мартенситного; мартенситно-ферритного; ферритного; аустенитно-мартенситного; аустенитного и аустенитно-ферритного классов. Отмечено, что при изготовлении коррозионностойкого крепежа наибольшее применение получили нержавеющей стали аустенитного класса, которые широко применяются для работы в средах средней агрессивности. Стали аустенитного класса интенсивно упрочняются при холодной пластической деформации, что необходимо учитывать при разработке процессов штамповки.

Отмечено, что резьбовые стержневые крепежные изделия (болты, винты, шурупы и т.п.) выполняются с головками, у которых для передачи крутящего момента выполняются элементы в виде шлицев, либо многогранников с четырьмя, шестью и двенадцатью гранями. Наиболее широко используются изделия с шестигранными головками, объем которых составляет порядка 25% от общего объема стержневых крепежных изделий.

На основании анализа патентно-информационных материалов установлено, что при массовом производстве болтов и винтов с резьбой до М27-М30 наибольшее распространение получили методы холодной штамповки с использованием следующих технологий: штамповка бочкообразной головки за один, либо два перехода и обрезка головки на шестигранник; формирование цилиндрической головки с диаметром чуть меньше размера «под ключ» и последующая окончательная штамповка многогранника с выдавливанием лунки на торце.

Рассмотрены конструктивные особенности и технические возможности современных кузнечно-прессовых автоматов (КПА) для массового производства стержневых крепежных изделий. Установлено, что модернизация КПА идет по пути повышения быстроходности, надежности и стабильности работы. При этом новые поколения КПА, создаваемые зарубежными фирмами, оснащаются автоматическими системами диагностики, контроля технологического процесса и качества штампуемых изделий. Отмечена перспективность использования роторных и роторно-конвейерных линий (АРЛ и АРКЛ) для массового производства крепежа.

В конце главы сформулированы задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованию механических свойств горячекатаных и калиброванных сталей марок 12X18H10T и 10X17H13M2T, а так же поиску эффективных подмазочных покрытий и смазочных материалов.

Подготовка нержавеющей сталей к штамповке осуществлялась по традиционной технологии, которая включала обезжиривание, термобработку, подготовку поверхности, нанесение подмазочного слоя и калибровку.

Калиброванный металл подвергался испытаниям на растяжение по ГОСТ 1497-84, по результатам которых определялись механические свойства (σ_{σ} , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ) и записывались диаграммы $P = f(\Delta l)$, где Δl - удлинение образца; P - растягивающее усилие. Испытания проводились на аттестованной электромеханической разрывной машине «LFM» (Швейцария). Обработывая результаты испытаний, определялись механические свойства калиброванных сталей 12XX8H10T и 10X17H13M2T и строились кривые упрочнения, для описания которых использовалась экспоненциальная зависимость, предложенная Г.А. Смирновым-Аляевым:

$$\sigma_i = (\sigma_i)_{nped.} - C e^{-e_i} - C_1 e^{-N e_i}, \quad (1)$$

где: σ_i – напряжения, возникающие в процессе деформации металла; e_i – степень деформации; $(\sigma_i)_{nped.}$, C , C_1 , N – постоянные коэффициенты, которые определялись по построенным кривым упрочнения.

Полученные данные использовались при конечно-элементном моделировании процессов деформирования с использованием программного комплекса «DEFORM-3D».

Проведены исследования, направленные на поиск эффективных смазочных материалов и подмазочных покрытий для холодной штамповки крепежных изделий из нержавеющей сталей. Для оценки технологических свойств СОТС использовался метод деформирования заготовок в коническом отверстии (операции выдавливания и редуцирования). Оценивая эффективность смазочных материалов по силам деформирования заготовок и их выталкивания из матрицы, установлено, что при штамповке крепежа из нержавеющей сталей среди традиционных СОТС наиболее эффективными являются Эмбол-4, Форсол, КТИОЛ и Твол. Среди современных СОТС зарубежного производства эффективны «Макко-Экструдойл-51» и «Экструдинг-641» (фирма «Витко Кемикал», США). Отечественный смазочный материал «Росойл-ШОК» («Опытный завод смазок и оборудования», г. Уфа) и его модификации

по технико-экономическим показателям не уступают лучшим мировым аналогам.

При поиске эффективного подмазочного слоя использовались фосфатное, оксидное и медное покрытия. Медное покрытие на заготовки наносилось тремя методами: электролитическим, химико-термическим и механическим (фрикционное плакирование гибкими металлическими щетками). По результатам испытаний установлено, что наиболее эффективными являются оксидное покрытие и медное, нанесенное химико-термическим способом.

В третьей главе изложены основные результаты моделирования процесса многопереходной штамповки болтов и винтов с шестигранными головками из нержавеющей стали с использованием программного комплекса «DEFORM-3D» (лицензия: Machine 38808). При этом моделировали процесс одно- и двухсторонней обрезки головки на шестигранник и процесс безоблойной штамповки шестигранной головки с выдавливанием торцевой лунки различной формы.

Используя ПК «DEFORM-3D», выполнен поиск эффективных схем и режимов деформирования в процессах одно- и двухсторонней обрезки шестигранных головок болтов. При этом определялись нормальные напряжения и напряжения сдвига, а также критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма (D) в зонах, примыкающих к поверхностям среза. На рисунке 1 представлены поля распределения и графики изменения критерия Кокрофта-Лэтэма по высоте обрезаемой головки.

Выполнено компьютерное моделирование процесса нагружения осевой растягивающей нагрузкой крепежного соединения с болтом, на торце головки которого выполнялась лунка различной глубины. По результатам расчетов определялись осевые σ_z и касательные τ_{yz} напряжения, а также интенсивность напряжения σ_i в продольном осевом сечении болта, как в стержневой части, так и в головке. На рисунке 2 представлены поля распределения интенсивности напряжений σ_i в продольном сечении болта с торцевой лункой различной глубины h .

Строились кривые изменения параметров σ_z , τ_{yz} и σ_i вдоль оси стержня, в месте перехода от головки к стержню и в головке. Для аппроксимации полученных зависимостей использовались полиномы четвертой степени, которые с высокой точностью описывали полученные кривые (коэффициент детерминации $R^2 = 0,95-0,97$).

$$\sigma_z = K_1 x^4 + K_2 x^3 + K_3 x^2 + K_4 x + K_5 \quad (2)$$

На основании результатов расчетов и экспериментальных данных установлено, что при глубине лунки более 0,6 высоты головки изделия, высока вероятность разрушения головки, что недопустимо по нормативно-технической документации.

Предложено изменить форму торцевой лунки и определить глубину выдавливаемого углубления, при которых обеспечивается качественное оформление ребер шестигранника головки. Рассматривалось два варианта формы

торцевой лунки: в виде цилиндра с конусом (рисунок 3,а) и в виде усеченного конуса (рисунок 3, б)

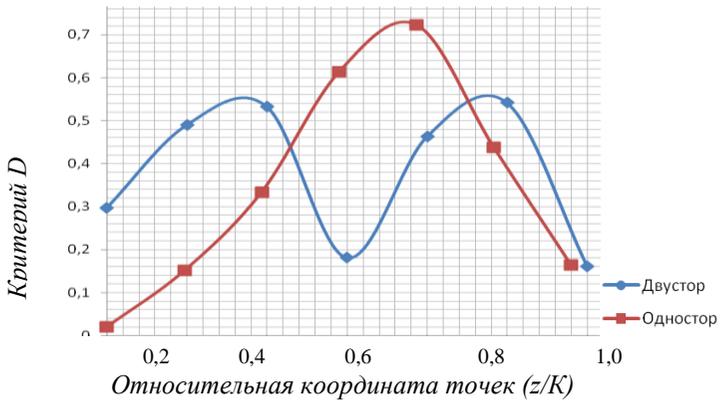


Рисунок 1 - Поля распределения и графики изменения критерия Кокрофта-Лэтэма по высоте обрезаемой головки

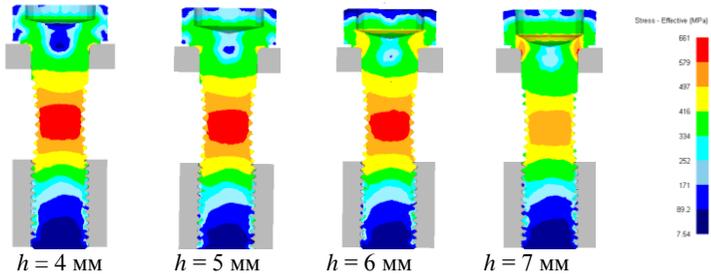


Рисунок 2- Распределение интенсивности напряжений в продольном сечении болта с торцевой лункой различной глубины h

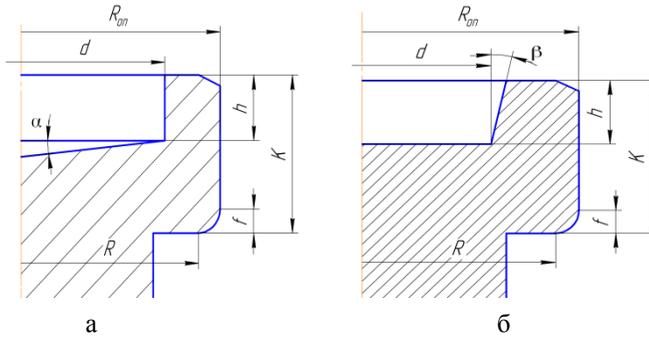


Рисунок 3 – Основные размеры для оценки качества формирования ребер шестигранника при выдавливании лунки

Оценка качества формирования ребер шестигранника осуществлялась с использованием введенных безразмерных параметров: $r=R/R_{on}$ - относительный радиус описанной окружности на опорной поверхности; $z=h/K$ - относительная высота незаполнения ребра, где R - расстояние от оси головки до точки начала скругления ребра на опорной поверхности; R_{on} - радиус описанной окружности шестигранника; K - высота головы; f - высота скругления ребра.

По результатам выполненных расчетов построены графики зависимости параметров r и z от относительной глубины лунки $z=h/K$ для двух вариантов формы лунки (рисунок 4)

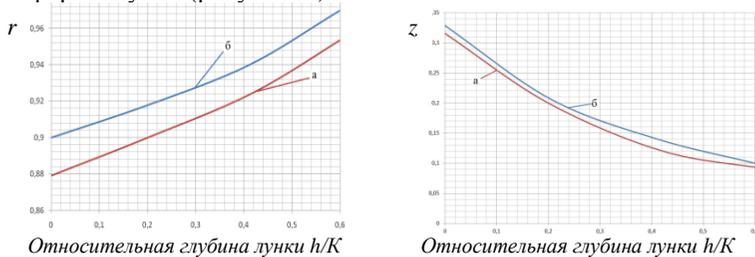


Рисунок 4 – Зависимости параметров r и z от относительной глубины лунки $z=h/K$: а – цилиндр с конусом; б – усеченный конус

По результатам выполненных расчетов определены максимальные усилия штамповки F_{max} и распределение нормальных давлений σ_N на поверхности контакта выступа пуансона с заготовкой (рисунок 5). Эти параметры существенно влияют на стойкость инструмента. При $\sigma_N \geq 3000 \text{ МПа}$ стойкость инструмента неудовлетворительная. На рисунке 6 представлены графики изменения максимальных усилий штамповки (А) и графики изменения нормальных давлений (Б) при формировании

шестигранника с выдавливание лунки в виде цилиндра с конусом и усеченного конуса.

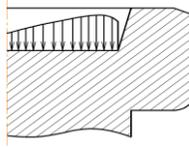


Рисунок 5 - Схема распределения нормальных давлений на поверхности контакта выступа пуансона с заготовкой

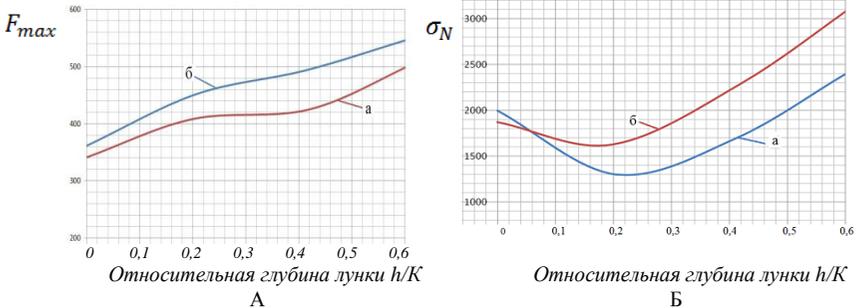


Рисунок 6 – Максимальные усилия штамповки (А) и максимальные нормальные давления (Б) на рабочей поверхности выступа пуансона : а – усеченный конус; б – цилиндр с конусом

Результаты исследований легли в основу разработки нового технического решения (патент РФ на изобретение № 2635495), применение которого позволяет повысить качество изделий и стойкость штампового инструмента, а также снизить на 2-3% расход металла.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований и усовершенствованная методика поиска эффективной многопереходной штамповки с использованием критериального подхода, а также результаты промышленного апробирования разработанной технологии.

Эксперименты проводились на аттестованной гидравлической испытательной машине EU-100 (Германия). При этом записывались диаграммы изменения технологических усилий в процессе деформирования. В ходе экспериментов формировались шестигранные головки болта М12 из стали I2X18H10T. Форма головок представлена на рисунке 7. Для обобщения полученных результатов машинные диаграммы перестраивались в графики с безразмерными параметрами. Расхождение между экспериментальными результатами и данными, полученными на основании компьютерного моделирования, не превышало 10-15%.

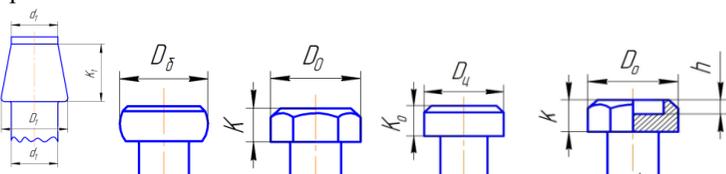


Рисунок 7 – Форма и размеры головок, которые штамповались в ходе проведенных экспериментов

Усовершенствована методика поиска рационального формоизменения в многопереходных процессах штамповки изделий сложной формы на основе комплексного критериального подхода применительно к технологии изготовления болтов и винтов из нержавеющей стали. Суть методики заключается в том, что вначале определяются несколько возможных вариантов технологии с различными режимами и формоизменением на отдельных переходах. Затем, используя современные методы натурального и компьютерного моделирования процессов ОМД, по каждому варианту технологии определяются основные параметры (напряженно-деформированное состояние, энергосиловые параметры, качество изделий и т.п.). Для каждого параметра вычисляется свой критерий: $K_{II} = P_i / P_{max}$, где P_i – параметр для i -го варианта технологии; P_{max} – параметр для варианта технологии, при которой он принимает самое большое значение. Вычисляется итоговый показатель критериальной оценки $K_{\Sigma} = \sum_1^n K_i a_i$, где a_i – весовой коэффициент значимости для i -ого критерия, который определяется с использованием метода экспертных оценок. После проведения соответствующих расчетов за основу принимается технология, по которой итоговый показатель критериальной оценки K_{Σ} принимает минимальное значение.

В работе поиск рациональной технологии осуществлялся с использованием как ранее применяемых критериев (силовой критерий и энергетический критерий), так и с использованием новых критериев: критерия продольной устойчивости, критерия разрушения, критерия износа инструмента и критерия расхода металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ химического состава и проведены испытания механических свойств нержавеющей сталей I2X18N10T и I0X17N13M2T, которые использовались в экспериментах. Определены рациональные режимы подготовки и волочения сталей. Проведены испытания калиброванного металла, определены механические свойства и построены кривые упрочнения сталей, для описания которых использовалась экспоненциальная зависимость Г.А. Смирнова-Аляева. Оценивая эффективность подмазочных покрытий и смазочных материалов по силам деформирования заготовок в коническом отверстии (выдавливание и редуцирование) и их выталкивания из матрицы, установлено, что при холодной штамповке крепежных изделий из нержавеющей сталей:

- наиболее эффективными подмазочными покрытиями являются оксалатное и медное, нанесенное химико-термическим способом;
- среди традиционных СОТС хорошие результаты обеспечивают Эмбол-4, Форсол, КТИОЛ и Твол;
- среди современных СОТС зарубежного производства наиболее эффективными являются «Макко-Экструдойл-51» и «Экструдинг-641» (фирма «Витко Кемикал», США), а отечественный смазочный материал «Росойл-

ШОК» и его модификации по технико-экономическим показателям не уступают лучшим мировым аналогам.

2. По результатам конечно-элементное моделирования процесса формирования шестигранной головки болтов из нержавеющей стали с использованием одно- и двухсторонней обрезки определены нормальные растягивающие и касательные напряжения, а также критерий разрушения Кокрофта-Лэтэма в точках, расположенных вблизи зоны обрезки. Установлено, что при использовании двухсторонней обрезки по сравнению с одно-сторонней: максимальные растягивающие напряжения σ_y в точках, расположенных вблизи зоны деформирования, снижаются в 1,45 раз; максимальные касательные напряжения τ_{yz} - в 1,51 раза; а критерии разрушения Кокрофта-Лэтэма - в 1,28 раз. Вышеотмеченные результаты свидетельствуют о том, что применение двухсторонней обрезки вместо одно-сторонней снижает вероятность образования на гранях головки дефектов в виде трещин, сколов, вырывов и т.п.

3. Выполнены исследования процесса нагружения осевой растягивающей нагрузкой крепежного соединения с болтом, на торце головки которого выполнялась лунка различной глубины. Определялись напряжения в резьбовой части, в головке и вместе перехода от головки к стержню. Установлено, что с увеличением глубины лунки h происходит снижение осевых напряжений в резьбовой части и рост как осевых, так и касательных напряжений в области соединения головки болта со стержнем, а также рост касательных напряжений в головке. Установлено, что при относительной глубине лунки (h / K) более 0,60 повышается вероятность разрушения болта по головке, что недопустимо по нормативно-технической документации. А при (h / K) менее 0,55 ÷ 0,60 разрушение происходит по резьбовому участку без разрушения головки.

4. С использованием метода конечных элементов выполнено моделирование процесса безоблойной штамповки шестигранной головки болтов из нержавеющей стали с формированием торцевой лунки различной формы и глубины. На основании анализа результатов расчетов установлено, что при формировании шестигранной головки за счет выдавливания лунки в виде усеченного конуса по сравнению с выдавливанием цилиндра с конусом: максимальные усилия штамповки снижаются на 13÷15%, а нормальные давления σ_N на поверхности контактные заготовки с инструментом снижаются на 12÷16%; относительный радиус r описанной окружности снижается на 2÷3%, а относительная высота z незаполнения ребра повышается на 5÷10%. Таким образом, применение технологии, включающей формирование шестигранной головки за счет выдавливания лунки в виде усеченного конуса, обеспечивает снижение усилий на инструмент, что повышает его стойкость при незначительном снижении качества оформления ребер.

5. Усовершенствована методика поиска рационального формоизменения в многопереходных процессах штамповки изделий сложной формы на

основе комплексного критериального подхода применительно к технологии изготовления болтов и винтов из нержавеющей стали. Установлено:

- при использовании технологий, включающих высадку бочкообразной головки с последующей её обрезкой на шестигранник, предпочтительно использовать двухстороннюю обрезку;

- при использовании технологий безоблойной штамповки с выдавливанием торцевой лунки, лучший суммарный критерий у технологии, в которой используется комбинированный способа, состоящий из холодной штамповки цилиндрической головки, нагрева до температуры $400\pm 500^{\circ}\text{C}$ и полугорячей штамповки шестигранника с выдавливанием торцевой лунки. Однако такая технология требует создания нового технологического оборудования: либо линии, включающей холодновысадочный автомат, нагревательное устройство и автомат для горячей штамповки, либо соответствующей автоматической роторно-конвейерной линии с ротором для нагрева;

- при использовании технологии, включающей штамповку цилиндрической головки и штамповку шестигранника с выдавливанием лунки в виде усеченного конуса, либо цилиндра с конусом, суммарные критерии при различной глубине лунки отличаются незначительно. Однако применение таких технологий требует согласование с потребителем изделий внесения изменений в нормативно-техническую документацию в части корректировки формы и размеров торцевой лунки.

6. Применение разработанных технических решений (патенты на изобретения и полезную модель) позволяет повысить качество болтов и винтов из нержавеющей стали, повысить стойкость штампового инструмента и снизить затраты на производство.

7. Результаты исследований использовались в условиях АО «Белебеевский завод «Автономаль» при разработке и освоении технологии изготовления винтов М6 с длиной стержня 12 ± 20 мм (ОСТ 1 31501-80) с шестигранной головкой из стали марки 12Х18Н10Т. Экономический эффект - 6,2 млн. руб.

Список публикаций

Монография

Критериальный подход при проектировании технологических процессов производства крепежных изделий и пружинных клемм / С.А. Малаканов, О.С. Железков, **Т.Ш. Галиахметов**, В.А. Арзамасцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И.Носова, 2017. - 102 с.

Рецензируемые издания, рекомендуемые ВАК

1. Железков О.С. Определение энергосиловых параметров процесса штамповки головок болтов с торцевой лункой / О.С. Железков, **Т.Ш. Галиахметов**, В.Л. Стеблянко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2017. - Т.15, № 2.- С. 35-39.

2. Железков О.С. Экспериментальные исследования процесса формирования шестигранной головки болта из нержавеющей стали / О.С. Железков, **Т.Ш. Галиахметов**, С.А. Малаканов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2017.- № 11. - С. 12–18.

3. Железков О.С. Поиск эффективных смазочных материалов и подсмазочных покрытий для штамповки стержневых крепежных изделий из нержавеющей

сталей / О.С. Железков, А.Н. Абрамов, **Т.Ш. Галияхметов** // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2017. - Т. 17, № 4. - С. 47-54.

4. Железков О.С. Исследование процесса формирования шестигранной головки болта из нержавеющей стали 12X18N10T / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.А. Малаканов // Сталь. - 2017. - № 12. - С. 47-49.

5. Железков О.С. Моделирование процесса формирования шестигранной головки болта из нержавеющей стали обрезкой / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.Б. Лизов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2017. - № 12-2. - С. 254-262.

6. Железков О.С. Компьютерное и натурное моделирование процесса растяжения болта с торцевой лункой на головке / О.С. Железков, С.А. Малаканов, **Т.Ш. Галияхметов** // Вестник машиностроения. - 2018. - № 4. - С. 55-57.

7. Zhelezkov O.S. Shaping the Hexa-hedral Head of 12Kh18N10T Stainless Steel Bolt / O.S. Zhelezkov, **T.Sh. Galiakhmetov**, S.A. Malakanov // STEEL IN TRANSLATION. - 2017. - Vol. 47. No. 12. - P. 824-826.

Другие публикации

1. Скворцова С.С. Качество инструмента для производства крепёжных изделий. / С.С. Скворцова, **Т.Ш. Галияхметов**, А.В. Сабадаш и др. // Материалы 1-ой Российской конф. по кузнечно-штамповочному производству «Кузнецы Урала-2005». Под ред. А.А. Богатова. - Екатеринбург, 2005. - С. 344-346.

2. Майстренко В.В. Перспективные требования к сталям для холодной объёмной штамповки (по опыту «Белебеевского завода «Автономаль»)/ В.В. Майстренко, Р.А. Мусин, **Т.Ш. Галияхметов** // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2006, №1. - С. 31-34.

3. Железков О.С. Проблемы изготовления стержневых крепежных изделий из нержавеющей сталей / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, **Т.Ш.**, С.А. Малаканов // Материалы 75-ой международ. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. Т. 1. - С. 120-123.

4. Железков О.С. Испытания подсмазочных покрытий для штамповки болтов из нержавеющей сталей / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.Б. Лизов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением : Международ. сб. науч. тр. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. - С.92-97.

5. Железков О.С. Экспериментальные исследования процесса штамповки болтов с шестигранной головкой / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.А. Малаканов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. Международ. сб. науч. тр. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. - С. 86-91.

6. Железков О.С. Оценка качества заготовок из нержавеющей стали, отрезанных на холодновысадочном автомате / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.Б. Лизов // Качество в обработке материалов. Сб. науч. тр. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017, № 2. - С. 11-13.

7. Железков О.С. Поиск эффективной технологии изготовления болтов с шестигранной головкой из нержавеющей сталей / О.С. Железков, **Т.Ш. Галияхметов**, С.А. Малаканов // Материалы XI международного конгресса прокатчиков. - Магнитогорск: 2017. Т. 2. - С. 270-273.

8. Малаканов С.А. Применение комплексного критериального подхода для поиска эффективных процессов штамповки крепежных изделий / С.А. Малаканов, О.С. Железков, **Т.Ш. Галиахметов** // Тезисы докладов 76-ой международ. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. Т. 1. - С. 156-157.

9. Железков О.С., Малаканов С.А., **Галиахметов Т.Ш.** Экспериментальные исследования процессов изготовления крепежных изделий из нержавеющей стали // Тезисы докладов 76-ой международ. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И.Носова, 2018. Т. 1.- С. 153-154.

10. Железков О.С. Моделирование процесса формирования шестигранной головки болта из нержавеющей стали обрезкой / О.С. Железков, С.Б. Лизов, **Т.Ш. Галиахметов** // Тезисы докладов 76-ой международ. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И.Носова, 2018. Т. 1. - С. 152-153.

Патенты

1. Патент РФ на изобретение № 2226239 МКИ⁷ F 16 В 25/00. Самозащищающий болт / Гильманов Ф.С., **Галиахметов Т.Ш.**, Хайруллин А.А. Оpubл. 27.03.2004. Бюл. № 9.

2. Патент РФ на изобретение № 2240201 МКИ⁷ В 21 К 1/54. Способ изготовления болтов с зачищающими выемками на стержне / Гильманов Ф.С., **Галиахметов Т.Ш.**, Хайруллин А.А. Оpubл. 20.11.2004. Бюл. № 32.

3. Патент РФ на изобретение № 2311569 МКИ⁷ F 16 В 23/00. Резьбовое крепежное изделие с фасонной головкой / Хайруллин А. А., Дмитриев Ю. М., **Галиахметов Т.Ш.** и др. Оpubл. 27.11.2007. Бюл. № 33.

4. Патент РФ на изобретение № 2327065 МКИ⁷ F 16 В 39/28. Резьбовое крепежное изделие / **Галиахметов Т. Ш.**, Мусин Р. А., Дмитриев Ю. М. и др. Оpubл. 20.06.2008. Бюл. № 17.

5. Патент РФ на изобретение № 2328628 МКИ⁷ F 16 В 35/00. Самоконтращийся винт с потайной головкой / Закиров Д. М., **Галиахметов Т. Ш.**, Мусин Р. А. и др. Оpubл. 10.07.2008. Бюл. № 19.

6. Патент РФ на изобретение № 2354718 МКИ⁷ С 21 D 9/22. Способ упрочнения инструмента из быстрорежущей стали / **Галиахметов Т. Ш.**, Фадеев В. В., Кургузов С. А. Оpubл. 10.07.2008. Бюл. № 19.

7. Патент РФ на изобретение № 2635495 МКИ⁷ В21К 1/46. Способ изготовления стержневых изделий с шестигранной головкой / Железков О.С., Малаканов С.А., **Галиахметов Т. Ш.** Оpubл. 13.10.2017. Бюл. № 32.

8. Патент РФ на полезную модель № 178623 МКИ⁷ В21К 1/50. Инструмент для обрезки шестигранных головок стержневых изделий / Железков О.С., **Галиахметов Т. Ш.**, Лизов С.Б. Оpubл. 13.04.2018. Бюл. № 11.