

На правах рукописи

Семашко Владимир Владимирович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ КРЕПЕЖНЫХ
ИЗДЕЛИЙ С ГОЛОВКАМИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С
ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
И КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением.
Технические науки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Магнитогорск - 2012

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

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Железков Олег Сергеевич.

Официальные оппоненты: Мезин Игорь Юрьевич
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» зав. кафедрой «Технологии, сертификация и сервис автомобилей»;

Соколов Александр Алексеевич
кандидат технических наук, ОАО «ММК-МЕТИЗ», начальник Центральной заводской лаборатории.

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (г. Челябинск).

Защита состоится 26 апреля 2012 г. в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.111.03 при ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВПО «МГТУ», малый актовй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Автореферат разослан «22» марта 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Жиркин Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ*

Актуальность работы. Повышение эффективности производства стержневых крепежных изделий является актуальной проблемой метизной промышленности. В условиях современных рыночных отношений производство должно быть ориентировано на изготовление прогрессивных крепежных изделий в сочетании с низкой себестоимостью и высоким качеством продукции. В современных конструкциях железнодорожного пути с использованием железобетонных шпал широко используются стержневые крепежные изделия с головками прямоугольного сечения – болты клеммные (ГОСТ 16016–79, ОСТ 32.161–2000) и болты закладные (ГОСТ 16017–79).

Массовое производство клеммных болтов осуществляют холодной объемной штамповкой (ХОШ) с использованием высокопроизводительных пресс-автоматов. К недостаткам применяемых технологий следует отнести:

- низкое качество изделий вследствие образования сколов и заусенцев на гранях и опорной поверхности головок болтов;
- существенный расход металла (5-8% от массы крепежных изделий);
- низкая стойкость штампового инструмента.

Поэтому очевидна необходимость проведения соответствующих исследований и разработки математических моделей и методик, применение которых в расчетах процессов штамповки крепежных изделий позволит с высокой точностью определять напряженно-деформированное состояние (НДС) в штампуемой заготовке и инструменте, энергосиловые параметры процессов деформирования, что обеспечит высокую надежность поиска рациональных схем и режимов технологических процессов, а также оптимальных конструкций штампового инструмента.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является повышение эффективности производства стержневых крепежных изделий с головками прямоугольного сечения за счет совершенствования технологии холодной штамповки и конструкции штампового инструмента на основе компьютерного и натурального моделирования.

Для реализации указанной цели в работе последовательно решаются следующие **задачи**:

1. Численное моделирование и исследование процессов обрезки граней головок и ХОШ болтов клеммных, разработка методики расчета НДС и энергосиловых параметров штамповки с целью определения рациональных режимов и конструкции штампового инструмента

2. Разработка математической модели оптимизации конструктивных параметров штампового инструмента применительно к технологии безоблойной штамповки головок болтов клеммных, в основу которой положен метод конечных элементов.

* Работа выполнялась при поддержке гранта губернатора Челябинской обл. за 2011 г.

3. Разработка новых технических решений, направленных на снижение расхода металла при штамповке и повышение стойкости штампового инструмента.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Закономерности влияния формы режущей кромки инструмента на распределение напряжений в зоне контакта заготовки с обрезной матрицей.

2. Методики компьютерного моделирования процессов односторонней и двухсторонней обрезки граней головок, облойной и безоблойной штамповки болтов.

3. Математическая модель оптимизации конструктивных параметров штампового инструмента применительно к технологии безоблойной штамповки головок болтов клеммных.

Научная новизна.

1. Установлены закономерности взаимодействия инструмента и заготовки в процессах односторонней и двухсторонней обрезки граней головок болтов, определены рациональные схемы и режимы обрезки, а также конструктивные параметры обрезного инструмента. Впервые установлено влияние формы режущей кромки обрезной матрицы на распределение контактных напряжений в зоне контакта заготовки с матрицей.

2. Разработаны методики определения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров процессов облойной и безоблойной штамповки головок клеммных болтов, отличающиеся тем, что позволяют учитывать особенности формы головки изделия и конструкции штампового инструмента.

3. Впервые разработана математическая модель оптимизации конструктивных параметров штампового инструмента применительно к технологии безоблойной штамповки головок болтов клеммных, в основу которой положен метод конечных элементов.

Практическая значимость. Разработанные методы позволяют рассчитывать энергосиловые параметры процессов обрезки граней и безоблойной штамповки головок прямоугольного сечения стержневых крепежных изделий, определять напряженно-деформированное состояние заготовки и оптимальную геометрию штампового инструмента на каждом технологическом переходе, что дает возможность технологам и конструкторам металлургических, метизных и машиностроительных предприятий разрабатывать технологические процессы, проектировать инструмент и оборудование, применение которых обеспечивает получение качественных изделий.

Использование разработанной конструкции обрезного инструмента (патент РФ № 88589 на полезную модель) обеспечивает увеличение срока его службы на 30÷40%.

Использование усовершенствованной технологии безоблойной штамповки болтов клеммных по ГОСТ 16016-79 и спроектированного

инструмента для ее осуществления, позволяет экономить металл на $10,0 \div 11,6\%$ от массы изделия и повышает стойкость инструмента на 10-12%.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением. Технические науки.

Реализация работы. Результаты работы использовались на ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» (далее ОАО «ММК-МЕТИЗ») при разработке технологий производства болтов клеммных и проектировании штампового инструмента.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы изложены и обсуждены на научно-технических конференциях различных уровней: ежегодных научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (2007-2011 гг.); на Седьмом (г. Москва, 2007 г.) и Восьмом (г. Магнитогорск, 2010 г.) Конгрессах прокатчиков; на конкурсе УМНИК (г. Магнитогорск, 2009 г.); на Третьем (г. Челябинск, 2010 г.) и Четвертом (г. Челябинск, 2011 г.) Международных промышленных форумах «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении».

Публикации. Основные положения и результаты работы изложены в 15 научных публикациях, из них 2 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, одном патенте на полезную модель РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и 7 приложений. Текст диссертации изложен на 149 страницах машинописного текста, иллюстрирован 123 рисунками, содержит 14 таблиц. Библиографический список включает 152 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении в краткой форме обоснована актуальность проводимых исследований, решаемых в диссертационной работе, отмечены цель и научная новизна работы.

В первой главе диссертации представлен обзор стержневых крепежных изделий с головками прямоугольного сечения и основных технологий их изготовления.

Проблемы совершенствования производства крепежных изделий нашли отражение в работах Г.А. Навроцкого, Ю.А. Миропольского, В.М. Мисожникова, М.Я. Гринберга, В.Г. Петрикова, М.Г. Амирова, И.А. Биргера, Г.Б. Иосилевича, В.И. Мокринского, О.С. Железкова, В.Я. Герасимова, С.П. Васильева, Л.С. Кохана, Д.М. Закирова, Ю.А. Лавриненко, Г.В. Бунатяна, И.Ю. Мезина, И. Биллигмана и др.

Проведен подробный анализ основных способов формирования головок прямоугольного сечения стержневых крепежных изделий холодным пластическим деформированием, включающие процессы обрезки и безоблойной

штамповки. Выявлены основные недостатки известных технологических процессов.

Обзор отечественных и зарубежных литературных данных показал, что в последнее время для моделирования и анализа процессов обработки металлов давлением (ОМД) широко применяются специализированные инженерные программные комплексы. Представленный анализ основных методов решения задач в теории ОМД показал, что наиболее совершенным, достоверным и перспективным является метод конечных элементов, весьма успешно реализуемый на современных ЭВМ.

На основании проведенного анализа определена цель работы и сформулированы основные задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов обрезки граней головок болтов клеммных по ОСТ 32.161-2000 (рис. 1).

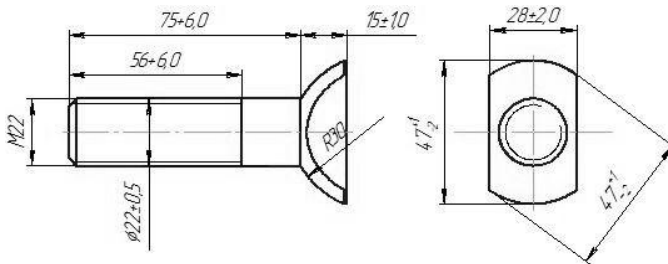


Рис. 1. Болт клеммный по ОСТ 32.161-2000

Теоретические исследования процессов, рассматриваемых в данной работе, проводились с использованием трёхмерного численного моделирования методом конечных элементов (МКЭ) на базе программного комплекса «DEFORM-3D™». При решении задач использовали следующие допущения: схема напряжённо-деформированного состояния – трёхмерная; процесс является изотермическим; эволюция микроструктуры и фазовые превращения в стали не учитываются; инструмент абсолютно жёсткий; деформируемый материал – однородный и изотропный во всём объёме; модель материала заготовки – упруго-пластичная. В процессе моделирования заготовка разбивалась на 50000 объёмных элементов, тип элементов – тетраэдры. С целью апробации конечно-элементных моделей и сравнения результатов моделирования с практическими данными, проводились экспериментальные исследования процессов обрезки граней головок болтов клеммных в условиях ЦЗЛ ОАО «ММК-МЕТИЗ». Результаты экспериментальных исследований сравнивались теоретическими результатами компьютерного моделирования процессов. Разница между экспериментальными и расчетными дан-

ными не превышает 12%, что подтверждает достоверность разработанных математических моделей.

Представлены результаты теоретических (рис. 2) и практических исследований процесса односторонней обрезки граней, влияние обрезного инструмента на энергосиловые параметры процесса, напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки и качество болтов. На основании проведенных исследований процесса установлено, что образование сколов на гранях опорной поверхности головки обусловлено отсутствием контакта заготовки с матрицей (рис. 3).

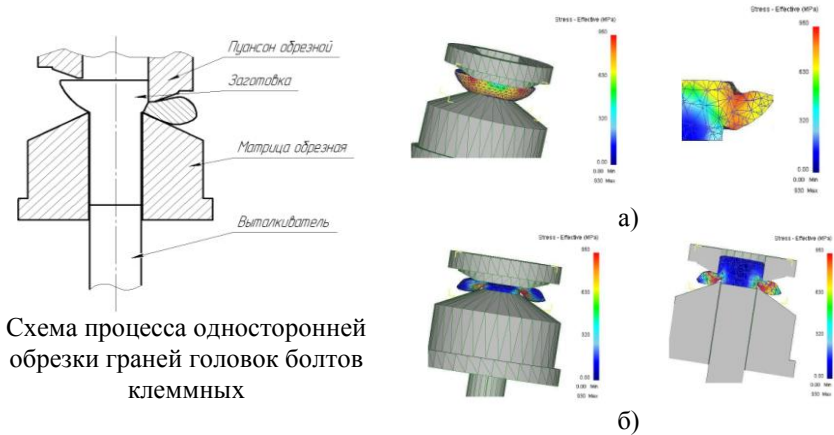


Схема процесса односторонней обрезки граней головок болтов клеммных

Рис. 2. Поля изменения интенсивности напряжений при моделировании МКЭ: а – на первом этапе обрезки; б – на втором этапе обрезки



Рис. 3. Образование сколов на гранях опорной поверхности головки: а – моделирование МКЭ; б – эксперимент

С целью повышения качества изделий проведены исследования нового способа обрезки граней головок болтов клеммных и инструмента для его осуществления. Суть нового технического решения заключается в том, что

обрезку осуществляют с двух сторон – со стороны матрицы и со стороны пуансона (рис.4). Для этого у матрицы на рабочем торце выполняют паз, ширина которого равна расстоянию между гранями головки болта и составляет $0,95 \div 0,99$ от аналогичного расстояния у пуансона. Результаты теоретических и практических исследований процесса двухсторонней обрезки показали, что качество изделий повышается, однако, стойкость матриц снижается на $20 \div 30\%$. Установлено, что причиной преждевременного выхода из строя инструмента является возникновение значительных контактных напряжений на режущих кромках матрицы.

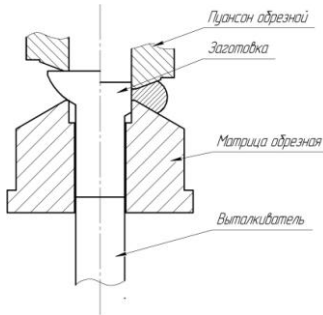


Схема процесса двухсторонней обрезки граней головок болтов клеммных

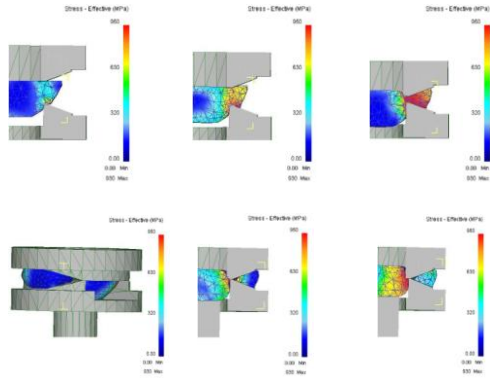


Рис.4. Поля изменения интенсивности напряжений при моделировании МКЭ процесса двухсторонней обрезки граней головок болтов клеммных

Результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов обрезки граней головок болтов клеммных легли в основу нового технического решения. Предложено изменить форму режущих кромок матрицы и увеличить площадь контакта заготовки с инструментом в наиболее нагруженной зоне, что обеспечивает снижение контактных напряжений. На режущих кромках матрицы перпендикулярно углублению выполняются сквозные пазы в виде сегмента радиусом, равным $0,75 \div 0,85$ от радиуса сферы опорной поверхности головки, и высотой, равной $0,15 \div 0,2$ от высоты головки болта. Применение разработанной конструкции позволяет снизить контактные напряжения на режущих кромках матрицы и повысить ее стойкость. Полученный результат отражает эффективность применения матрицы новой конструкции при обрезке граней головки болта клеммного – стойкость предлагаемого инструмента увеличиться на $30 \div 40\%$;

На основании проведенных исследований разработана новая конструкция обрезной матрицы для обрезки головок стержневых изделий с криволинейной опорной поверхностью, на которую получен патент РФ на

полезную модель [7]. Разработанная конструкция инструмента ММ.01.06.09 принята к внедрению на ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Третья глава диссертации посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса штамповки болтов клеммных по ГОСТ 16016-79.

Представлены результаты теоретических (рис.5) и экспериментальных исследований применяемого на ОАО «ММК-МЕТИЗ» процесса изготовления болтов клеммных по ГОСТ 16016-79. На основании проведенных исследований процесса выявлен ряд недостатков: существенный расход металла при обрезке обля на тонну изделий (5-6% от массы крепежных изделий); низкая стойкость штампового инструмента третьего перехода, обусловленная значительными усилиями штамповки, возникающими вследствие перегруженности данного перехода технологическими операциями.

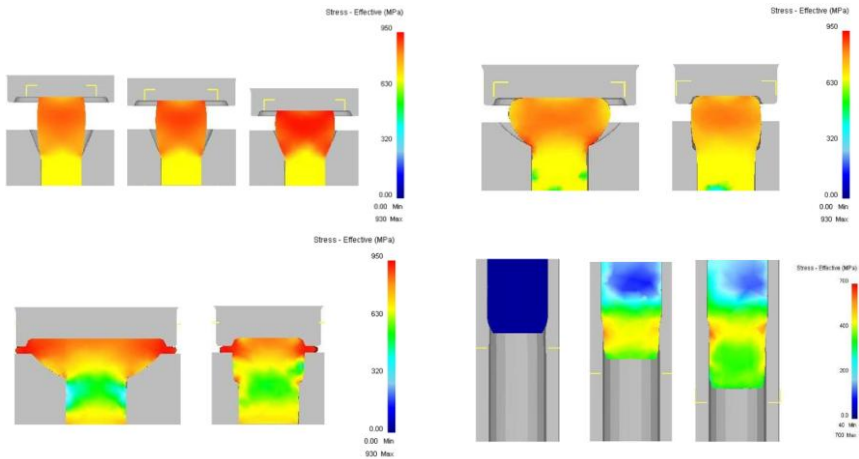


Рис.5. Поля изменения интенсивности напряжений при моделировании МКЭ процесса штамповки болтов клеммных

Существенно снизить расход металла возможно за счет изменения конструкции клеммных болтов, у которых на торцевой поверхности головки предлагается формировать углубление с применением безоблойной штамповки (рис.6). Наличие торцевой лунки не противоречит нормативной документации на данный вид крепежных изделий, согласно ГОСТ 16016-79 допускается изготовление болтов с углублением в торце головки, глубиной не более 0,3 высоты головки. Применение технологии безоблойной штамповки позволяет исключить из технологического процесса операцию по обеске обля, что, в свою очередь, дает возможность перенести процесс редуцирования с третьего перехода на четвертый.

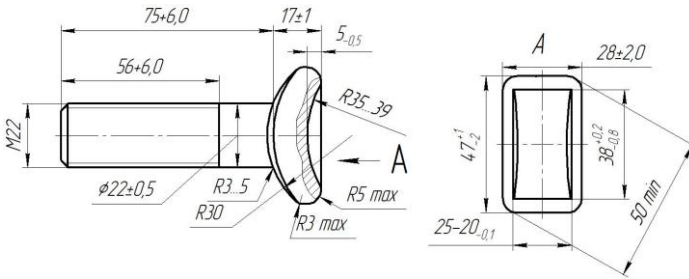


Рис.6. Предлагаемая конструкция болта клеммного по ГОСТ 16016-79 с торцевой лункой сегментного сечения

На основе компьютерного моделирования с использованием МКЭ разработана методика расчета НДС и энергосиловых параметров процесса штамповки головок болтов клеммных.

С целью оценки возможности применения безоблойной штамповки при изготовлении болтов клеммных проведено компьютерное моделирование МКЭ на базе программного комплекса «DEFORM-3D™». Результаты расчета НДС и энергосиловых параметров процесса штамповки головок болтов клеммных использовались при разработке конструкции штампового инструмента (рис.7). Предложено на рабочем торце пуансона выполнить выступ в виде сегмента со следующими рациональными геометрическими параметрами: радиус кривизны (R) – $1,0 \div 1,30$ радиуса сферы опорной поверхности головки изделия, высота (H) – $0,25 \div 0,30$ высоты головки изделия, ширина (B) – $0,65 \div 0,85$ ширины последней.

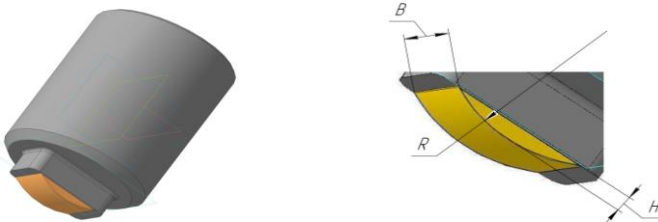


Рис.7. Пуансон новой конструкции

Четвертая глава посвящена совершенствованию технологии и конструкции инструмента для изготовления болтов клеммных на основе оптимизации геометрических параметров штампового инструмента применительно к технологии безоблойной штамповки.

Задача поиска оптимальной геометрии выступа пуансона для окончательной безоблойной штамповки головки болта клеммного сводится к нахождению минимального усилия при минимальном расходе металла. В

качестве переменных проектирования принимаются высота (H), ширина (B) и радиус (R) выступа пуансона. Граничные условия сформулированы из условий соответствия размеров головки болта ГОСТу 16016-79.

Постановка задачи оптимизации сформулирована следующим образом – требуется найти в n -мерном пространстве области целевых функций представленных в системе:

$$P = \begin{cases} f(A, R), R \in (30; 39); \\ f(A, H), H \in (3,0; 5,4); \\ f(A, B), B \in (20; 25). \end{cases} \quad (1)$$

где: P – усилие штамповки; A – ход; H – высота выступа пуансона; B – ширина выступа; R – радиус выступа.

$H \in (3,0; 5,4)$; $B \in (20; 25)$; $R \in (30; 39)$ – интервалы варьирования факторов целевых функций.

Критерием оптимизации параметров данного штампового инструмента является соблюдение основных геометрических форм головки болта клемного:

$$\begin{aligned} 16 \leq h \leq 18 \text{ мм}; \\ 45 \leq b \leq 48 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (2)$$

Вычислительные работы и визуализация результатов проводились в среде программного комплекса «MatLab». Массивы целевых функций графически изображены в виде поверхностей. Для визуализации и оценки значимости каждого из массивов разработан алгоритм и написана программа на языке «MatLab». Таким образом, получена область значений, где факторы варьирования выражены в безразмерной величине по оси факторов (рис.8).

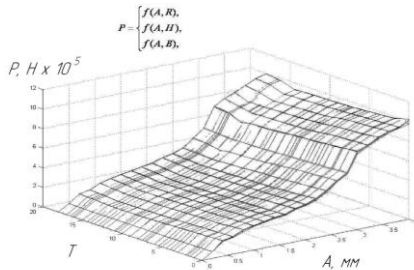


Рис.8. Область, описывающая изменение параметра P , при различных значениях факторов H, R, B , сведенных к одному интервалу безразмерной величины T

Построена средняя поверхность, корреляционно связывающая целевые функции каждого из факторов варьирования. Посредством инструмента для аппроксимации и интерполяции «Curve Fitting Toolbox» выведена регрессионная зависимость, позволяющая описать поверхность по заданным точкам. Данная регрессионная зависимость имеет вид:

$$\begin{aligned}
 P_T = f(A, T) = & -553,9 + 4,219 \cdot 10^5 \cdot A - 80,18 \cdot T - 1,599 \cdot 10^5 \cdot A^2 \\
 & - 1,253 \cdot 10^4 \cdot A \cdot T + 10,47 \cdot T^2 - 5,318 \cdot 10^4 \cdot A^3 + 9891 \cdot A^2 \cdot T + \\
 & + 429,4 \cdot A \cdot T^2 + 5,257 \cdot 10^4 \cdot A^4 - 3413 \cdot A^3 \cdot T - 243,8 \cdot A^2 \cdot T^2 - \\
 & - 7987 \cdot A^5 + 369,7 \cdot A^4 \cdot T + 46,37 \cdot A^5 \cdot T^2
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Для нахождения оптимального значения параметра P разработан алгоритм минимизации (рис.9), в основу которого положен ротатабельный трехфакторный ортогональный комплексный план для получения базы данных и последующей её обработки. Обработка скомпонованной базы данных выполняется в программном комплексе «MatLab».

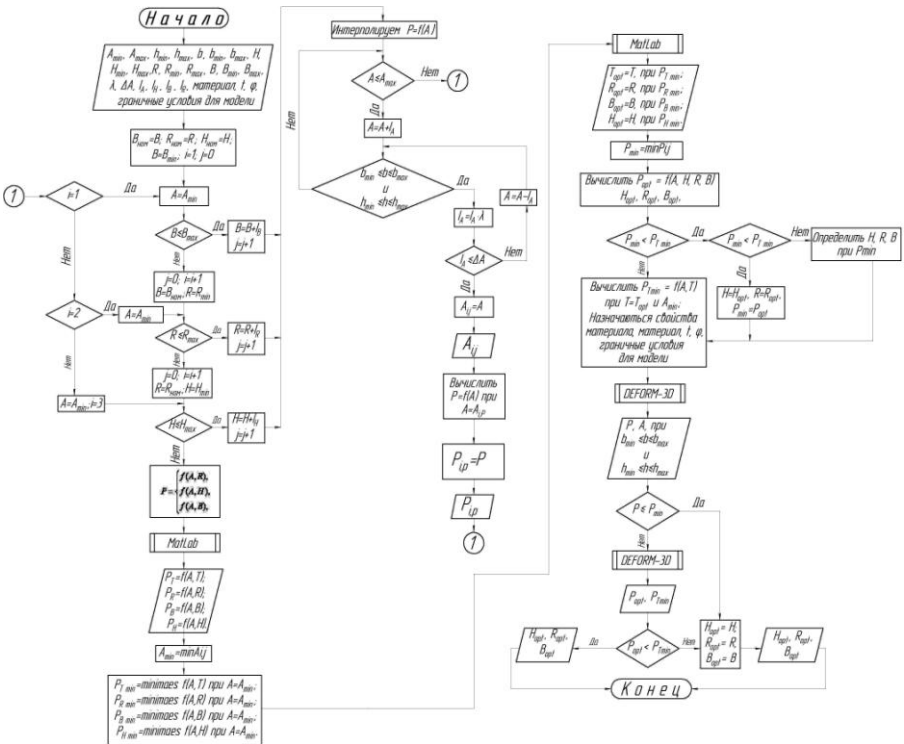


Рис.9. Блок – схема алгоритма минимизации параметра P и нахождения оптимальных значений факторов H, R, B

Посредством программных комплексов «MatLab» и «DEFORM–3D» решалась задача минимизации, где за исходные данные приняты целевые функции, описывающие влияние факторов на параметры штамповки, в том числе и целевая функция средней поверхности.

$$P_{\min} = \begin{cases} f(A, R), R \in (30; 39); \\ f(A, H), H \in (3,0; 5,4); \\ f(A, B), B \in (20; 25). \end{cases} \rightarrow \min \quad (4)$$

$$P_{T\min} = f(A, T) \rightarrow \min \quad (5)$$

$$T \in [0; 18]$$

Посредством минимизации получены значения параметров P_{\min} и $P_{T\min}$ при $A=A_{\min}$. Сравнивая результаты выполнения требований (2) выбран минимальный параметр и определены значения факторов (H , R , B), соответствующие минимальному значению P . Данные факторы следует считать оптимальными.

Интерполяционные функции, восстановленные методом сплайнов, где факторы варьирования сведены к одному интервалу безразмерной величины T , представлены ниже:

– зависимость, связывающая параметр P и значения фактора R ;

$$P_R = f(A, T) = 3,234 \cdot 10^5 + 2,065 \cdot 10^5 \cdot A - 1,342 \cdot 10^4 \cdot T + \\ + 1,928 \cdot 10^5 \cdot A^2 - 1,225 \cdot 10^4 \cdot A \cdot T + 7820 \cdot T^2 + 8,394 \cdot 10^4 \cdot A^3 + \\ + 8999 \cdot A^2 \cdot T + 461 \cdot A \cdot T^2 - 5,194 \cdot 10^4 \cdot A^4 + 3207 \cdot A^3 \cdot T + \\ + 1646 \cdot A^2 \cdot T^2 - 2,074 \cdot A^5 + 4424 \cdot A^4 + 2502 \cdot A^5 \quad (6)$$

$$SSE = 0,06e^{-1}.$$

– зависимость, связывающая параметр P и значения фактора H ;

$$P_H = f(A, T) = -4290 + 4,391 \cdot 10^5 \cdot A + 2014 \cdot T - \\ - 2,24 \cdot 10^5 \cdot A^2 - 6486 \cdot A \cdot T - 819,7 \cdot T^2 - 9136 \cdot A^3 + \\ + 4711 \cdot A^2 \cdot T + 600,8 \cdot A \cdot T^2 + 117,6 \cdot T^3 + 4,246 \cdot 10^4 \cdot A^4 - \\ - 1711 \cdot A^3 \cdot T - 155,8 \cdot A^2 \cdot T^2 - 47,16 \cdot A \cdot T^3 - 7,516 \cdot T^4 - \\ - 7329 \cdot A^5 + 212,6 \cdot A^4 \cdot T + 19,16 \cdot A^3 \cdot T^2 + 2,315 \cdot A^2 \cdot T^3 + \\ + 1,539 \cdot A \cdot T^4 + 0,1784 \cdot T^5 \quad (7)$$

$$SSE = 0,08e^{-1}.$$

– зависимость, связывающая параметр P и значения фактора B ;

$$\begin{aligned}
 P_B = f(A, T) = & -754,4 + 4,536 \cdot 10^5 \cdot A - 4490 \cdot T - \\
 & - 2,381 \cdot 10^5 \cdot x^2 - 6873 \cdot A \cdot T + 1795 \cdot T^2 - 1536 \cdot A^3 + \\
 & + 5204 \cdot A^2 \cdot T + 235,2 \cdot A \cdot T^2 - 288,8 \cdot T^3 + 4,032 \cdot 10^4 \cdot A^4 - \\
 & - 1796 \cdot A^3 \cdot T - 136,2 \cdot A^2 \cdot T^2 - 16,49 \cdot A \cdot T^3 + 18,99 \cdot T^4 - \\
 & - 7090 \cdot A^5 + 200,1 \cdot A^4 \cdot T + 27,25 \cdot A^3 \cdot T^2 - 0,408 \cdot A^2 \cdot T^3 + \\
 & + 0,9821 \cdot A \cdot T^4 - 0,4302 \cdot T^5
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$SSE = 0,07e^{-1}.$$

Адекватность модели подтверждается критерием минимального значения параметра SSE, который в нашем случае не превышает значение равное $0,08e^{-1}$. SSE – сумма квадратов ошибок, параметр характеризующий точность уравнения регрессии. При стремлении параметра SSE к нулю точной регрессионной модели возрастает.

Согласно проведенным расчетам, оптимальная геометрия выступа пуансона для формирования головки болта клеммного по ГОСТ 16016-79, с учётом реологии свойств материала заготовки (сталь марки 10), составляют: $R=37,0$ мм; $B=24,2$ мм; $H=4,2$ мм.

Сущность разрабатываемой технологии штамповки крепежных изделий заключается в том, что на третьем переходе формируют головку болта с торцевой лункой без образования облоя (рис.10). Наличие торцевой лунки позволит снизить массу конечного изделия. С целью снижения усилий штамповки на третьем переходе операцию по редуцированию участка стержня под накатку резьбы переносят на четвертый переход.

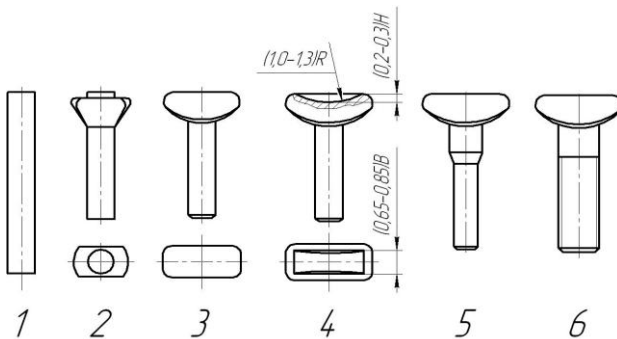


Рис.10. Технология изготовления болтов клеммных по ГОСТ 16016-79:

- 1-отрезка заготовки; 2-первая предварительная штамповка головки;
- 3-вторая предварительная штамповка головки и формирование фаски;
- 4-окончательная безоблойная штамповка головки с торцевой лункой;
- 5-редуцирование участка стержня под накатку резьбы;
- 6-накатка резьбы.

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, применение усовершенствованной технологии безоблойной штамповки и разработанной конструкции штампового инструмента позволит: экономить металл на 10-11,6% от массы клеммного болта; снизить усилия штамповки на третьем технологическом переходе, повышая стойкость штампового инструмента данного перехода на 10-12 %.

В условиях калибровочно-прессового цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» проведены промышленные исследования и изготовление опытной партии клеммных болтов М 22×75 по ГОСТ 16016-79 для рельсовых креплений железнодорожного пути с использованием разработанной конструкции штампового инструмента (рис.11). Безоблойная штамповка осуществлялась на четырехпозиционном автомате-комбайне КА-74 (фирма «Malmedi», Германия). Проведенные испытания показали, что по механическим свойствам (разрушающая нагрузка $P_p = 135$ кН, предел прочности $\sigma_t = 421$ МПа) отштампованные болты клеммные М22х75 полностью соответствуют требованиям нормативно-технической документации для болтов класса прочности 4.8 (ГОСТ Р 52627-2006).

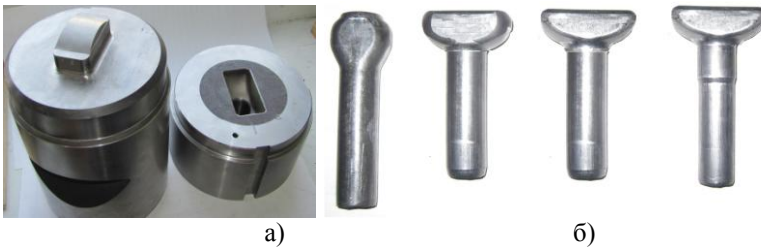


Рис.11.Инструмент для безоблойной штамповки (а) и заготовки по переходам разработанного технологического процесса изготовления болтов клеммных по ГОСТ 16016-79(б)

На основании проведенных исследований усовершенствована технология изготовления болтов клеммных безоблойно, разработана конструкция штампового инструмента, подана заявка на патент – «Способ штамповки клеммных болтов», заявка № 2011140549 от 05.10.2011.

Разработана технологическая карта ВТК ММК-МЕТИЗ 2011.05 «Болты клеммные М22-8g х75 ГОСТ 16016-79 для рельсового скрепления железнодорожного пути» и комплект рабочих чертежей инструмента ММ.01.05.11, ММ.02.05.11, для изготовления болтов клеммных. Техническая документация принята к внедрению на ОАО «ММК-МЕТИЗ». Экономический эффект от внедрения технологии составляет 2070 рублей на тонну продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований диссертации, определяющие научную новизну и практическую значимость работы, заключаются в следующем.

1. Разработана методика компьютерного моделирования процесса обрезки граней головок болтов клеммных, в основу которой положен метод конечных элементов на базе программного комплекса «DEFORM-3D». Используя разработанную методику, выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров процессов односторонней и двухсторонней обрезки граней головок болтов клеммных. Проведенные экспериментальные исследования показали, что расхождение теоретических и экспериментальных результатов не превышает $8 \div 18\%$, что свидетельствует об адекватности компьютерных моделей.

2. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований процессов обрезки граней установлено, что образование сколов на опорной поверхности головки при односторонней обрезке обусловлено отсутствием контакта заготовки с матрицей, а причиной преждевременного выхода из строя матриц при двухсторонней обрезке является возникновение больших контактных напряжений на режущих кромках.

3. На основе метода конечных элементов разработана методика компьютерного моделирования процессов облойной и безоблойной штамповки головок болтов клеммных; выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров процессов. Экспериментальные исследования процессов штамповки болтов клеммных по ГОСТ 16016–79 показали сравнительно хорошее совпадение теоретических и экспериментальных результатов (расхождение не более $8 \div 15\%$).

4. На основе проведенных исследований процесса установлено:

- при облойной штамповке головок болтов клеммных масса облоя составляет $4,6 \div 5,3\%$ от массы изделия;

- на третьем переходе при окончательной штамповке головки и редуцировании участка стержня под накатку резьбы возникают максимальные усилия, что является причиной низкой стойкости штампового инструмента данного перехода.

5. На основе компьютерного и натурного моделирования процесса безоблойной штамповки головок болтов клеммных определены рациональные геометрические параметры выступа на рабочем торце пуансона третьего перехода. В продольном сечении выступ в виде сегмента со следующими геометрическими параметрами: высота – $0,25 \div 0,30$ высоты головки изделия, ширина – $0,65 \div 0,85$ ширины головки, радиус выступа $1,0 \div 1,30$ радиуса сферы опорной поверхности головки изделия.

6. Разработана математическая модель поиска оптимальных конструктивных параметров штампового инструмента применительно к технологии безоблойной штамповки головок болтов клеммных. На основании выполненных исследований определены оптимальные геометрические параметры вы-

ступа на рабочем торце пуансона в продольном сечении в виде радиус сегмента, для формирования головки болта клеммного по ГОСТ 16016-79 (радиус выступа $R=37,0$ мм; ширина выступа $B=24,2$ мм; высота выступа $H=4,2$ мм), которые обеспечивают получение головок требуемого качества при минимальном расходе металла. Адекватность разработанной математической модели подтверждается низким критерием параметра SSE (сумма квадратов ошибок), который не превышает $0,08e^{-1}$.

7. Разработано новое техническое решение – «Инструмент для обрезки головок строжневых изделий с криволинейной опорной поверхностью», патент РФ № 88589 на полезную модель. Применение разработанной конструкции обрезающего инструмента обеспечивает увеличение срока его службы на $30 \div 40\%$ за счет снижения контактных напряжений на режущих кромках.

Разработана технологическая карта ВТК ММК-МЕТИЗ 2011.05 «Болты клеммные М22-8gx75 ГОСТ 16016-79 для рельсового скрепления железнодорожного пути» и комплект рабочих чертежей инструмента ММ.01.05.11, ММ.02.05.11, для изготовления болтов клеммных. Экономический эффект от внедрения технологии составляет 2070 рублей на тонну продукции.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Железков, О.С. Прогрессивные конструкции высокопрочных болтов для монтажа металлоконструкций [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, Н.П. Морозов // Производство конкурентоспособных метизов: Сб. науч. тр. под редакцией А.Д. Носова. –Магнитогорск. – 2007. – С. 50-51.

2. Семашко, В.В. Влияние геометрических факторов рабочей зоны матрицы на энергосиловые параметры при изготовлении деталей [Текст] / В.В. Семашко, К.В. Федотов, М.Н. Максимов // Инновации молодых ученых: Сб. докл. 65-й науч.-техн. конференции. –Магнитогорск. – 2007. – С. 72-73.

3. Железков, О.С. Малоотходные технологии изготовления стержневых крепёжных изделий [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, С.А. Семихатский и др. // Труды VII конгресса прокатчиков (Москва, 15-18 октября 2007 г.). М.: Объединение прокатчиков. – 2007. – С. 361-363.

4. Семашко, В.В. Совершенствование технологии подготовки металла для холодной штамповки клеммных болтов [Текст] / В.В. Семашко, С.А. Семихатский, А.И. Кузнецова // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрег. сб. науч. тр. –Магнитогорск. – 2009. – С. 207-210.

5. Железков, О.С. Исследование процесса обрезки граней головок болтов [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, С.А. Семихатский // Процессы и оборудование металлургического производства: Межрег. сб. науч. тр. –Магнитогорск. – 2009. – С. 139-142.

6. Железков, О.С. Исследование процесса обрезки граней головок клеммных болтов с применением метода конечных элементов [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, С.А. Семихатский // Материалы 67-й научно-технической конференции: Сб. докл. –Магнитогорск. – 2009. – С. 180-183.

7. **Патент на полезную модель 88589 Российская Федерация, МПК В 21 К 1/50, В 21 К 1/44.** Инструмент для обрезки головок стержневых изделий с криволинейной опорной поверхностью / Железков О.С., Семашко В.В., Павлов А.М. и др. Оpubл. 20.11.2009. Бюл. № 32.

8. Железков, О.С. Совершенствование конструкции инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов по ОСТ 32.161-2000 [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко // Третий международный промышленный Форум «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении»: Сб. докл. –Магнитогорск. – 2010. – С. 155-158.

9. Железков, О.С. Моделирование процесса обрезки граней головок клеммных болтов с использованием метода конечных элементов [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 36. – Магнитогорск. – 2010. – С. 65-67.

10. Железков, О.С. Совершенствование процесса безоблойной штамповки головок клеммных болтов по ГОСТ 16016-79 [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Сб. докл. 68-й науч.-техн. конференции. –Магнитогорск. – 2010. – С. 300-302.

11. Железков, О.С. Совершенствование конструкции инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко // Вестник МГТУ им. Г.И.Носова. – 2010. – №4. – С.41-43 (**рецензируемое издание из перечня ВАК**).

12. Железков, О.С. Малоотходные технологии изготовления стержневых крепежных изделий с головками [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, Н.П. Морозов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрег. сб. науч. тр. –Магнитогорск. – 2011. – С. 135-139.

13. Семашко, В.В. Совершенствование процесса обрезки граней головок клеммных болтов и инструмента для его осуществления [Текст] / В.В. Семашко, О.С. Железков, // КШП. ОМД. – 2011. – №2. – С. 29-33 (**рецензируемое издание из перечня ВАК**).

14. Железков, О.С. Разработка малоотходных способов изготовления стержневых крепежных изделий [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, Н.П. Морозов // Четвертый международный промышленный Форум «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении»: Сб. докл. –Магнитогорск. – 2011. – С. 54-56.

15. Железков, О.С. Перспективные способы снижения металла при изготовлении стержневых крепежных изделий [Текст] / О.С. Железков, В.В. Семашко, Н.П. Морозов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Сб. докл. 69-й науч.-техн. конференции. –Магнитогорск. – 2011. – С. 173-177.