

На правах рукописи



ЧЕКАНОВ МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА СБОРКИ  
НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
НЕДЕФОРМИРУЕМЫМИ ЗАКЛЕПКАМИ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бийск - 2006

Работа выполнена в Бийском технологическом институте (филиале) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель: - кандидат технических наук, доцент  
И.А. Титов

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор  
А.В. Кутышкин

- кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник А.И. Осколков

Ведущая организация: ФГУП ФНПЦ «Алтай» г. Бийск

Защита состоится "15" декабря 2006 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.01 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Отзывы в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью организации, просьба направлять по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

Автореферат разослан "10" ноября 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Ю.О. Шевцов

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы.**

Несмотря на появление новых, высокоэффективных технологий сборки неразъемных соединений деталей заклепочные соединения продолжают применяться в машиностроении и автомобилестроении в узлах машин, работающих при динамических нагрузках, при получении соединений деталей из металлов имеющих неудовлетворительную свариваемость, соединений деталей из разнородных металлов, а также соединений металлических деталей с композиционными.

Наиболее широкими технологическими возможностями обладает метод сборки, позволяющий получать заклепочные соединения без предварительной подготовки отверстий в соединяемых деталях. При этом используются специальные недеформируемые заклепки, т.е. заклепки, не изменяющие свою форму и размеры в процессе получения соединений. Сборка осуществляется за счет пластической деформации металла одной из соединяемых деталей. При этом в условиях производства повышается производительность сборки (в среднем в 5 раз по сравнению с традиционной клепкой), достигается значительное снижение затрат на подготовку производства (на 20%) за счет снижения количества операций при сборке (отсутствуют операции сверления, зенкования отверстий под заклепки). Кроме того, облегчается монтаж и ремонт конструкций в непроизводственных условиях.

Способ получения соединений с применением недеформируемых заклепок в России практически не используется. Основными причинами этого является отсутствие инженерных методов проектирования технологических процессов сборки деталей недеформируемыми заклепками, а также сведений о прочности, долговечности получаемых соединений и методик прогнозирования их ресурса.

Поэтому совершенствование технологии сборки недеформируемыми заклепками, обоснованное назначение оптимальных технологических параметров, обеспечение получения качественных соединений с требуемым ресурсом работы, является актуальной задачей.

### **Цель работы.**

Повышение производительности и качества сборки неразъемных соединений, получаемых с помощью недеформируемых заклепок.

### **Задачи исследования.**

1. Разработать математическую модель процесса соединения деталей недеформируемыми заклепками.
2. Исследовать на основе математической модели изменение механических характеристик металла соединяемых деталей в процессе

сборки в зоне установки недеформируемых заклепок и определить конструктивные параметры заклепок, обеспечивающие требуемое качество и повышенную прочность получаемых соединений.

3. Провести экспериментальную оценку прочности и надежности соединений деталей недеформируемыми заклепками.

#### **Методы исследования.**

Для решения поставленных задач использовались основные уравнения теории пластичности, метод моделирования на многослойном материале, учитывающий эйлерово – лагранжевый подход к описанию кинематики процесса получения заклепочного соединения и непосредственное использование аппарата центрально – разностной аппроксимации частных производных. Численные решения для расчетных моделей были получены с использованием пакета прикладных программ Mathcad.

Исследования по оценке качества соединений на прочность при циклических нагрузках проводились с помощью созданной испытательной машины, оснащенной компьютеризированной системой измерения амплитуды нагрузки, прикладываемой к соединению и зазора, возникающего в процессе нагружения между заклепкой и соединяемыми деталями.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с использованием методов математической статистики.

#### **Научная новизна.**

1. На основе проведенного физического моделирования процесса сборки разработана математическая модель, позволяющая определять с учетом свойств металла каждой из собираемых деталей энергосиловые параметры операции, степень упрочнения металла соединяемых деталей в зоне установки заклепок.

2. Получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать прочность соединений недеформируемыми заклепками на циклическую усталость.

#### **Практическая ценность.**

1. Разработана конструкция недеформируемой заклепки (патент РФ на полезную модель № 34660), позволяющая повысить эксплуатационные свойства получаемых неразъемных соединений, производительность процесса сборки, а также расширить область применения процессов получения неразъемных соединений.

2. Сформулированы практические рекомендации по разработке технологических процессов сборки деталей недеформируемыми заклепками: назначению рациональных размеров недеформируемых заклепок, параметров сборочной оснастки, выбору материала и режимов

термообработки заклепок, определению энергосиловых параметров процесса сборки.

3. Разработана штамповая оснастка и переносное сборочное импульсное устройство на базе монтажного пистолета ПЦ – 84 для получения соединений деталей недеформируемыми заклепками.

#### **Реализация работы.**

Работа выполнялась в рамках госбюджетных НИР Бийского технологического института «Исследование процессов формообразования деталей импульсными методами», «Исследование процессов формообразования заготовок и сборки деталей с использованием энергонасыщенных материалов». Испытательная машина и технологическая оснастка используются в учебном процессе Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ им. И. И. Ползунова при подготовке инженеров по специальности 120100 «Технология машиностроения».

#### **Апробация работы.**

Основные результаты работы докладывались на Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г. Бийск, 2002 – 2006 гг.); Всероссийской научно-технической конференции «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях» (г. Бийск, 2004 г.); международной конференции «6<sup>th</sup> International Siberian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005: Workshop Proceedings» (г. Новосибирск, 2005 г), международной научно – технической конференции «Современные технологические системы в машиностроении» (г. Барнаул, 2006 г.).

#### **Публикации.**

По материалам диссертации опубликовано 8 работ и получен патент РФ на полезную модель.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников в количестве 118 наименований, приложений и содержит 120 страниц основного машинописного текста, 68 рисунка, 4 таблицы. Общий объем работы 165 страниц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновываются актуальность решаемой научной задачи, необходимость расширения технологических возможностей процессов сборки неразъемных соединений, сформулирована цель исследования, научная новизна, практическая ценность и основные по-

ложения диссертации, выносимые на защиту.

**В первой главе** дан обзор методов сборки заклепочных соединений, конструкций применяемой оснастки и приспособлений для сборки. Приведены и проанализированы конструктивные и технологические характеристики заклепочных соединений. Отмечена большая роль в развитии методов сборки неразъемных заклепочных соединений таких авторов, как В.Г. Кононенко, Н.В. Лачинов, А.А. Луковцев, Н.И. Шинкевич, А.И. Ярковец, Н. Liebig, J. Mutschler, A. Hesterman.

**Во второй главе** представлены результаты физического и математического моделирования процесса сборки деталей недеформируемыми заклепками.

Физическое моделирование проводилось на основе метода слоистых моделей с соблюдением геометрического подобия, и показало, что процесс сборки недеформируемыми заклепками можно разбить на пять этапов. Первый этап соответствует началу внедрения недеформируемой заклепки в верхнюю соединяемую деталь. При этом слои металла сдвигаются в вертикальном направлении на величину соответствующую глубине внедрения заклепки. На втором этапе продолжается дальнейшее смещение слоев соединяемых деталей, растет пластическая деформация, слои под заклепкой начинают срезаться. Третий этап характеризуется внедрением конического участка головной части заклепки. Происходит дальнейший рост пластической деформации, параллельно идет процесс отделения отхода, вырубаемого заклепкой. Четвертый этап соответствует окончанию процесса постановки недеформируемой заклепки в соединяемые детали. При этом кольцевая канавка заклепки не заполнена металлом нижней соединяемой детали. На пятом этапе выступ матрицы внедряется в нижнюю деталь, что приводит к пластическому течению металла в кольцевую канавку заклепки, обеспечивая окончательное получение соединения.

При физическом моделировании на каждом этапе процесса модель соединяемых деталей разрезалась по осевой плоскости заклепки и фиксировалась картина искаженных слоев модели, наносилась сетка, полученная с помощью линий семейства  $j=\text{const}$  (рисунок 1).

При обработке полученных результатов, установлены функциональные зависимости текущих координат  $z$ , расчетных точек  $M_{i,j}$ :

$$z_{i,j}^* = a_1 + a_2 x_j^2 + a_3 x_j^3 + a_4 x_j^4, \quad (1)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – коэффициенты полиномиальной функции;  $r$  – координаты точек после деформации по оси  $r$ .

Как показали численные исследования коэффициенты полиномиальной функции  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  в свою очередь являются функциями начальных высот точек  $Z$  на исходных границах слоев модели:

$$a_1 = 250 - 1,4 \cdot 10^2 \cdot Z_i; \quad a_2 = 21 \cdot Z_i - 40; \quad a_3 = 2 - 1,1 \cdot Z_i; \\ a_4 = 2,7 \cdot 10^{-2} \cdot Z_i - 0,05; \quad a_5 = 5 \cdot 10^{-4} - 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot Z_i. \quad (2)$$

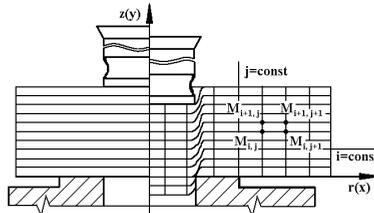


Рисунок 1. – Расчетная схема обработки результатов физического моделирования

Полученные функции (1, 2) позволяют определить компоненты тензора логарифмических деформаций, которые в свою очередь совместно с известными уравнениями Генки-Ильюшина образуют систему уравнений, применив к которой аппарат центрально-разностной аппроксимации можно рассчитать поле напряжений в любой точке зоны постановки заклепки в соединяемые детали. Значения напряжений позволяют определять энергосиловые параметры процесса и степень упрочнения металла соединяемых деталей.

Численное моделирование процесса постановки недеформируемых заклепок осуществлялось по разработанной программе, реализованной в среде MatCAD.

На рисунке 2 представлены результаты численного и экспериментального исследования упрочнения соединяемых деталей в процессе сборки недеформируемыми заклепками. Точки на графиках экспериментальные значения, линии 1, 2 – расчет по математической модели.  $\sigma_i$  – интенсивность напряжения,  $\sigma_b$  – предел прочности соединяемых материалов. Величина  $r$  – текущее значение радиуса от точки контакта недеформируемой заклепки с соединяемой деталью,  $r_3$  – радиус заклепки.

Экспериментальная картина упрочнения металла соединяемых деталей при сборке недеформируемыми заклепками, показанная на рисунке 3, была получена на основе исследований макрошлифов соединений различных металлов и сплавов. Приведенные результаты позволяют объяснить повышение прочности соединений, полученных недеформируемыми заклепками, а также подтверждают адекватность разработанной математической модели.

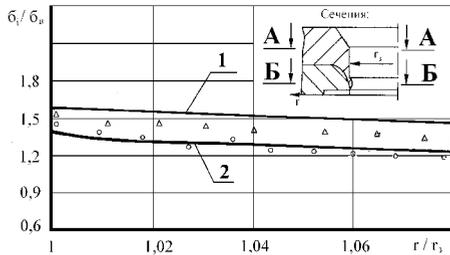


Рисунок 2. – Упрочнение соединяемых материалов в зоне контакта с недеформируемой заклепкой:  
1 – сечение А-А; 2 – сечение Б-Б

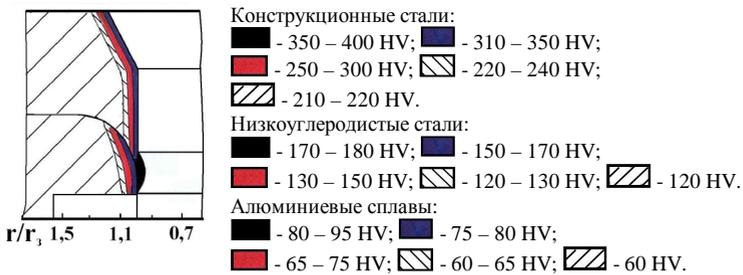


Рисунок 3. – Характер упрочнения соединяемых материалов при сборке недеформируемыми заклепками

Для оценки достоверности результатов, полученных при численном моделировании, также проводилось сравнение расчетного и измеренного усилия операции сборки. На рисунке 4 показано изменение значения усилия в процессе сборки при различном технологическом зазоре  $d$  (материал соединяемых деталей сталь 08, общая толщина соединения  $S = 4,2$  мм, диаметр недеформируемых заклепок, используемых при сборке деталей, 5,3 мм). Точки на графиках соответствуют расчету по модели, величина  $u$  соответствует перемещению заклепки в процессе сборки. График усилия до спада характеризует постановку недеформируемых заклепок в соединяемые детали (процесс подобен вырубке-пробивке), дальнейший резкий рост усилия характеризует процесс внедрения выступа матрицы в нижнюю деталь, в результате чего канавка недеформируемой заклепки заполняется металлом нижней соединяемой детали, обеспечивая, таким образом, окончательное получение соединения.

Разность расчетного и экспериментального значений усилия составила в среднем 7%, что подтверждает адекватность предложенной математической модели.

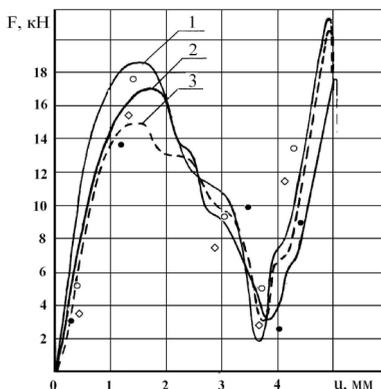


Рисунок 4. – Изменение усилия в процессе сборки недеформируемыми заклепками при различном технологическом зазоре:

1 –  $d = 5\%$  от  $S$ ; 2 –  $d = 8\%$  от  $S$ ; 3 –  $d = 10\%$  от  $S$

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований заклепочных соединений на прочность, на усталость при циклических нагрузках, металлографических исследований зоны постановки заклепок, а также характера изменения границы контакта соединяемых деталей в зоне постановки недеформируемых заклепок.

Как показали экспериментальные исследования на изменение границы контакта деталей при получении соединения, влияет, прежде всего, зазор между заклепкой и рабочим инструментом (матрицей). При получении соединений технологический зазор между заклепкой и матрицей позволяет металлу верхней детали втягиваться в зазор увеличивая, тем самым, площадь контакта деталей в зоне соединения. За счет этого повышается прочность соединений при циклических нагрузках (см. рисунок 6). Также зазор между заклепкой и матрицей влияет и на величину технологического усилия процесса сборки соединений (см. рисунок 4). С увеличением зазора происходит значительное снижение усилия постановки недеформируемых заклепок.

Для количественной оценки влияния упрочнения металла соединяемых деталей в зоне постановки заклепки на повышение надежности проведены исследования соединений, полученных постановкой заклепок в заранее просверленные отверстия и недеформируемой заклепкой. Исследования позволили определить, что упрочнение деталей при сборке позволяет повысить прочность соединений на срез в среднем на 30%.

Результаты проведенных испытаний заклепочных соединений на срез, в зависимости от твердости и формы недеформируемой за-

клепки (материал заклепок сталь 38ХА), представлены на рисунке 5.

Данные исследования позволили определить диапазон твердости недеформируемых заклепок 36 – 42HRC, обеспечивающий наибольшую прочность и технологичность соединения. Сравнительный анализ прочности соединений заклепками различной формы показал, что соединения, полученные при помощи разработанных недеформируемых заклепок, имеют на 20 – 30% выше прочность по сравнению с соединениями, полученными при помощи заклепок, имеющих форму, предложенную в патенте США №5678970.

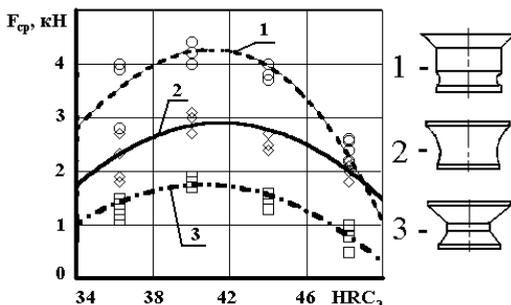


Рисунок 5. – График зависимости усилия среза от твердости заклепки:

1 – предлагаемая недеформируемая заклепка; 2, 3 – заклепки, имеющие формы, предложенные в патенте США №5678970

O, •, à - экспериментальные значения;

$\frac{3}{4}$  - аппроксимирующие функции

Проведённый сравнительный анализ прочности соединений недеформируемой заклепкой и типовых заклёпочных соединений по ГОСТ 14803 – 85 показал, что прочность соединения недеформируемой заклепкой в 1,3 раза выше, чем у типового заклёпочного соединения, в котором в качестве материала заклепки используется сталь 10, 15, и примерно равна прочности соединений, где в качестве материала заклёпок используется сталь 20Г2, 30ХМА, 12Х18Н9Т.

Для оценки надежности соединений листовых деталей недеформируемыми заклепками были проведены исследования заклёпочных соединений на срез при действии циклических нагрузок с использованием разработанной и изготовленной для этих целей испытательной машины, оснащенной компьютеризированной контрольно-измерительной аппаратурой. Измерения проводились с постоянными амплитудными значениями силы  $F_a$  при синусоидальной форме цикла. Для контроля амплитудных значений силы и определения осевых пе-

ремещений использовались специально сконструированные тензодатчики.

Исследования показали, что в процессе нагружения заклепочного соединения, происходит увеличение зазора между заклепкой и соединяемыми деталями, причем скорость его изменения различна во времени. По результатам исследований получена зависимость для определения долговечности (количество циклов до разрушения) соединенных недеформируемыми заклепками:

$$N = 2 \cdot 10^9 \cdot F_{\max}^{-\left(\frac{6,2+d}{1,6 \cdot d}\right)}, \quad (3)$$

где  $F_{\max}$  – амплитуда нагружения при синусоидальной форме цикла, Н;  $d$  – диаметр недеформируемой заклепки, мм.

На рисунке 6 показаны сравнительные результаты испытаний на усталость заклепочных соединений, где кривые 1, 2 – соединения предлагаемой недеформируемой заклепкой (общая толщина соединяемых листов 3 и 4 мм, диаметр заклепок 4 и 5,3 мм соответственно), кривая 3 – соединения недеформируемой заклепкой, имеющей форму по патенту США №5678970 (общая толщина соединяемых листов 3 мм, диаметр заклепок 4 мм) и кривая 4 – соединения стандартной заклепкой (общая толщина соединяемых листов 4 мм, диаметр заклепок 5 мм по ГОСТ 10300 – 80). В качестве материала недеформируемых заклепок применялась сталь 38ХА, материал стандартных заклепок сталь 30ХМА. Материал соединяемых деталей во всех испытаниях – сталь 10. По шкале  $F$  отложено максимальное усилие цикла  $F_{\max}$ . Величина  $N$  – предельное количество циклов при нагружении. Точки на графиках – экспериментальные значения, кривые – аппроксимируемые зависимости, полученные с помощью метода наименьших квадратов. При этом условный предел выносливости для соединения предлагаемой недеформируемой заклепкой составил  $F_R = 1000$ Н, а усталостная долговечность  $N_0 = 5 \cdot 10^4$  циклов - для соединений суммарной толщиной 3мм, и  $F_R = 1300$ Н,  $N_0 = 10^5$  циклов - для толщины соединяемых листов 4 мм. Для соединения недеформируемой заклепкой, имеющей форму по патенту США №5678970 условный предел выносливости равен  $F_R = 900$ Н, а усталостная долговечность  $N_0 = 3 \cdot 10^4$  циклов (общая толщина соединяемых листов 3 мм). Для заклепочных соединений, полученных с помощью стандартных заклепок (диаметр заклепок 5 мм по ГОСТ 10300 – 80), условный предел выносливости равен  $F_R = 1300$ Н, а усталостная долговечность  $N_0 = 8 \cdot 10^4$  циклов.

Соединения листовых металлов предлагаемыми недеформированными заклепками по сравнению с соединениями, получаемыми с помощью заклепок, имеющих форму, предложенную в патентах США

№5678970, и соединениями стандартными заклепками, имеют более высокие показатели надежности при циклическом нагружении.

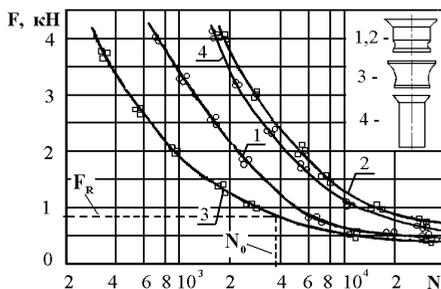


Рисунок 6. – Кривые усталости заклепочных соединений при циклическом нагружении:

- , O - экспериментальные значения;  $\frac{3}{4}$  - аппроксимирующие функции

Проведенные металлографические исследования показали, что металл соединяемых деталей в зоне постановки заклепки упрочняется, зерна получают большую деформацию, что положительно сказывается на прочности соединений, исключается возможность появления трещин в соединяемых деталях. При соединении деталей недеформируемыми заклепками происходит плотное заполнение отверстия по всей высоте заклепки, в то время как в соединениях, где использована заклепка, имеющая форму по патенту США №5678970, заполнение неплотное, имеются большие пустоты, что отрицательно сказывается на прочности соединений. Также следует отметить, что у соединений, полученных с помощью заклепок, имеющих форму по патенту США №5678970, происходит разрушение головной части заклепки при переменных нагрузках.

**В четвертой главе** представлены технологические рекомендации по проектированию процесса сборки деталей с помощью недеформируемых заклепок.

По результатам численных и экспериментальных исследований предложена конструкция недеформируемой заклепки, на которую получен патент РФ на полезную модель №34660, и установлены конструктивно - геометрические параметры заклепок, при которых достигаются наилучшие прочностные показатели соединений. Должны выполняться следующие соотношения:

$$h = 0,075d, b = 3h, r = 0,133d, \quad (4)$$

где  $h$  – высота от торца основания заклепки до канавки;  $b$  – ширина канавки;  $r$  – радиус канавки;  $d$  – диаметр стержня заклепки.

Основные размеры недеформируемых заклепок, которых сле-

дует придерживаться при их изготовлении, представлены в специально разработанных таблицах, полученных на основе анализа соотношения толщины соединяемых деталей и диаметра заклепки. При выборе твердости заклепок следует руководствоваться результатами исследований влияния твердости заклепок на прочность соединений, изложенными в третьей главе.

Установлено, что недеформируемые заклепки позволяют проводить сборку листовых деталей из алюминиевых сплавов, стальных деталей (в том числе с различными покрытиями) толщиной от 0,5 до 7 мм, а также соединять детали из труднодеформируемых металлов (с пределом прочности до 600МПа) общей толщиной до 5 мм, металлические и композиционные материалы толщиной до 5 мм. При этом твердость недеформируемых заклепок должна быть в 1,5 - 1,6 раза выше твердости металла соединяемых деталей. При соединении деталей из композиционных материалов с металлическими их следует располагать со стороны постановки заклепки. При сборке деталей из цветных сплавов недеформируемая заклепка должна иметь специальное покрытие.

Разработана методика расчета исполнительных размеров инструмента для сборки деталей недеформируемыми заклепками, сформулированы практические рекомендации по назначению размеров рабочего инструмента (рисунок 7):

$$d_n = D, d_b = (3 - 4) \cdot D, d_m = d + z_t,$$

$$d_k = (1,7 - 1,8) \cdot d_m, h_k = (0,11 - 0,13) \cdot d_m \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр головки заклепки;  $d$  – диаметр стержня заклепки;  $z_t$  – двусторонний зазор.

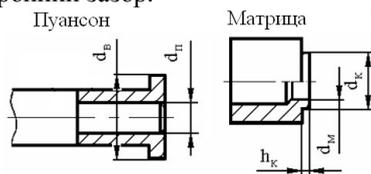


Рисунок 7. – Инструмент для получения соединений недеформируемыми заклепками

Получены номограммы для определения усилия сборки деталей в зависимости от толщины, свойств соединяемых деталей и диаметра применяемых заклепок.

На рисунке 8 приведен алгоритм проектирования технологического процесса сборки деталей недеформируемыми заклепками. Исходными данными для проектирования является чертеж собранного узла с приведенными требованиями по прочности и внешнему виду.

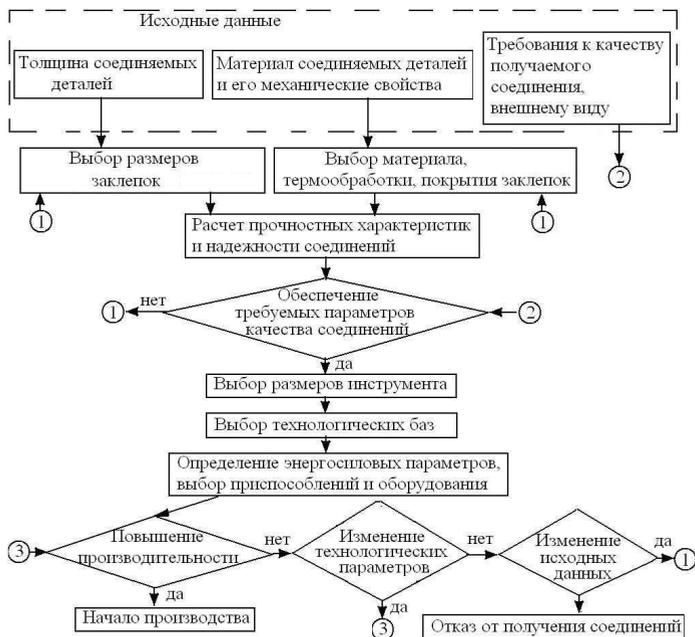


Рисунок 8. – Алгоритм проектирования технологического процесса сборки деталей недеформируемыми заклепками

Разработаны конструкции штамповой оснастки и переносного импульсного устройства на базе монтажного пистолета ПЦ – 84 для получения соединений с помощью недеформируемых заклепок.

### Основные результаты и выводы по работе.

1. Разработана математическая модель, позволяющая, с учетом свойств металла каждой из собираемых деталей, определять энергосиловые параметры операции, степень упрочнения металла соединяемых деталей в зоне установки заклепок. Расчетная модель реализована в виде программы на ЭВМ. Экспериментальными исследованиями подтверждена адекватность модели. Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями усилия сборки составило 7%.

2. Спроектирована и изготовлена испытательная машина для определения надежности соединений деталей из листовых материалов недеформируемыми заклепками при действии циклических нагрузок, оснащенная компьютерной измерительной системой для регистрации силовых параметров и зазоров в соединениях в процессе циклического нагружения образцов.

3. Проведенные экспериментальные исследования показали, что прочность на срез соединений недеформируемыми заклепками выше прочности стандартизованных заклепочных соединений на 15 – 20%, условный предел выносливости выше на 10%, усталостная долговечность возрастает в среднем в 1,5 раза.

4. Металлографические исследования показали, что при соединении деталей из листовых металлов предлагаемыми недеформируемыми заклепками происходит плотное заполнение зазора по всей высоте заклепки, что повышает эксплуатационные характеристики соединений. Помимо этого металл соединяемых деталей в зоне деформирования упрочняется, зерна получают большую деформацию, что положительно сказывается на прочности соединений, исключается возможность появления трещин в соединяемых деталях.

5. Разработана конструкция недеформируемой заклепки (патент на полезную модель №34660), позволяющей улучшить эксплуатационные свойства сборочных соединений. Получены рациональные соотношения размеров конструктивных элементов заклепки на основе критерия ее максимальной прочности.

6. Сформулированы практические рекомендации по разработке технологических процессов сборки деталей недеформируемыми заклепками: назначению размеров сборочной оснастки, выбору материала недеформируемых заклепок, диапазону необходимой твердости недеформируемых заклепок для получения качественных соединений, определению энергосиловых параметров процесса сборки.

7. Техничко-экономические расчеты показали, что сборка деталей предлагаемыми недеформируемыми заклепками позволила повысить производительность в среднем в 4 – 7 раз. Разработанная конструкция недеформируемой заклепки, методика проектирования технологического процесса сборки деталей приняты к использованию на ФГУП БПО «Сибприбормаш». Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения результатов работы составит 344 тыс. рублей.

### **Основные положения диссертации изложены в следующих работах:**

1. Верещагин П.В., Чеканов М.А. Соединение листовых деталей недеформируемыми элементами с использованием энергии порохов. // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 2 – ой межрегиональной научно – практической конференции с международным участием 26 – 27 сентября 2002 года. – Бийск, БТИ АлтГТУ: Изд-во АлтГТУ, 2002.–С.15-18.

2. Чеканов М.А., Верещагин П.В., Титов И.А. Моделирование

процесса получения соединения недеформируемой заклепки. // Известия ТулГТУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. Вып. 1. – Тула: ТулГТУ, 2003. – С. 34 – 39.

3. Чеканов М.А., Верещагин П.В., Титов И.А., Шавандин Д.Б. Выбор формы и материала недеформируемого элемента для соединения листовых деталей. // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 3 – ей Всероссийской научно – практической конференции 25 – 26 сентября 2003 года. – Бийск, БТИ АлтГТУ: Изд-во АлтГТУ, 2003. – С.254 – 259.

4. Верещагин П.В., Чеканов М.А., Титов И.А. Соединение листовых деталей заклепками без предварительного получения отверстий под заклепки // Обработка металлов, 2004. – №2. - С. 19 – 20.

5. Патент на полезную модель №34660 Россия, МПК F16 B19/04. Недеформируемая заклепка/ М.А. Чеканов, П.В. Верещагин, И.А. Титов.; заявл. 16.04.2003; опубл. 10.12.2003 в Б. И. №34.

6. Чеканов М.А. Исследование надежности соединения листовых материалов недеформируемыми заклепками. // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 4–ой Всероссийской юбилейной научно–практической конференции 23–24 сентября 2004 года. – Бийск, БТИ Алт ГТУ: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С. 119 – 123.

7. Петров С.А., Чеканов М.А., Абанин В.А., Титов И.А. Измерительная система для контроля прочности соединения тонколистовых материалов. // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвузовский сборник. – Бийск, БТИ АлтГТУ: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С.270 – 273.

8. Petrov S. A., Chekanov M. A., Abanin V. A., Titov I. A. Measuring System for Research of Toughness Rivet Joints of Sheet Materials// 6<sup>th</sup> International Siberian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2005. – P. 61 – 63.

9. Чеканов М.А., Титов И.А. Совершенствование технологии сборки неразъемных соединений пластическим деформированием соединяемых элементов // Ползуновский вестник, 2006. – №2 – 2. – С. 186 – 189.

---

Подписано в печать 07.11. 2006 г. Формат 60x84 1/16

Печать – ризография. Ус.п.л. 0,93

Тираж 100 экз. Заказ 2006 – 93

Отпечатано в ИИО БТИ АлтГТУ.