

М355985

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

ОЛИМБАЕВ Рамазан Омербекович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ В
МАШИНОСТРОЕНИИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ КЛЕПКОЙ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана и Карагандинском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор

В.С.КОРСАКОВ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ

доктор технических наук, профессор
кандидат технических наук, доцент

П.Г.АЛЕКСЕЕВ

Д.Ф.БРИХОВЕЦ

Ведущее предприятие - Павлодарское научно-производственное объединение "Сборочные механизмы" МТ и СХМ СССР

Защита диссертации состоится "19" ноября 1979 г.
в 14.30 часов на заседании специализированного Совета по технологии машиностроения К-053.15.15 МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.

Н.Э. Баумана.

Получить автореферат просим высылать по указанному адресу, заверенные печатью, ученому секретарю

октябрь 1979 года.

М355985

Р.К.МЕШЕРЯКОВ

кз. Л от 27 / IX 1979 г.

Актуальность темы. В основных направлениях развития народного хозяйства СССР на десятую пятилетку большое внимание уделяется повышению эффективности технологических процессов и качеству выпускаемой продукции. Важное значение для решения этой проблемы приобретает разработка и внедрение оборудования для принципиально новых технологических процессов.

В настоящее время с развитием автоматизированного производства намечается тенденция развития конструкций, разборка которых в процессе эксплуатации или ремонта не предусматривается. Анализ литературных и производственных данных в стране и за рубежом показывает, что клепка является одним из распространенных методов сборки неразъемных соединений пластическим деформированием. Современные методы сборки соединений клепкой не всегда обеспечивают требуемого качества изделия и эффективности процесса сборки. В промышленности до настоящего времени отсутствуют достаточно научно-обоснованные методы расчета усилий клепки при сборке соединений, а также обоснованные рекомендации по выбору рациональных режимов технологии сборки, учитывающие конструктивно-технологические параметры клепаных соединений, что приводит к увеличению трудоемкости процесса сборки и снижению качества клепаного соединения. Перспективным методом является сборка соединений статико-импульсной клепкой. Отличительной особенностью данного метода сборки является комбинированное статико-импульсное воздействие деформирующих сил, что способствует значительному снижению усилия клепки и более качественному выполнению клепаного соединения. Настоящая работа посвящена исследованию технологии сборки соединений в машиностроении статико-импульсной клепкой.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследование технологии сборки соединений статико-импульсной клепкой и разработка практических рекомендаций по выбору и расчету рациональных режимов процесса сборки.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) для обоснования выбора оборудования и режимов сборки соединений разработать методику расчета усилий клепки;
- 2) исследовать влияние режимов процесса сборки статико-импульсной клепкой на прочностные характеристики соединений;
- 3) исследовать влияние конструктивно-технологических параметров клепаных соединений на процесс сборки статико-импульсной клепкой;

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1355985

Олжабаев Р.О. Исследование

4) разработать практические рекомендации по выбору и расчету рациональных режимов процесса сборки статико-импульсной клепкой;

5) исследовать возможности сборки соединений статико-импульсной клепкой и перспективы развития сборочного оборудования в условиях автоматизации;

6) разработать, провести производственные испытания и внедрение полуавтоматической установки для сборки соединений статико-импульсной клепкой.

Методика исследований. Многообразие одновременно действующих факторов при исследовании сборки соединений статико-импульсной клепкой потребовало разработки такой методики, в которой учитывались бы особенности нового метода сборки и разработка принципиально нового сборочного оборудования статико-импульсного действия. Поэтому каждый этап работы проводился по соответствующей конкретной методике. Основным методом исследований явилось сопоставление результатов экспериментальных и расчетных данных. Для проведения исследования технологии сборки соединений статико-импульсной клепкой был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, позволяющий изменять режимы клепки в широком диапазоне. Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием методов математической статистики.

Научная новизна. Принципиально новым в работе является установление закономерностей протекания сборки соединений статико-импульсной клепкой и разработка на этой основе методики расчета и выбора рациональных режимов сборки. Научная значимость работы заключается в обобщении результатов исследований процесса сборки статико-импульсной клепкой, в определении путей совершенствования технологии сборки клепаных соединений. На основе исследований разработаны принципиально новые схемы сборочных механизмов статико-импульсного действия^{х)}.

Практическая ценность. На основе теоретических и экспериментальных исследований технологии сборки соединений статико-импульсной клепкой разработаны практические рекомендации по выбору и расчету рациональных режимов сборки. В результате внедрения нового метода сборки статико-импульсной клепкой прочность и жесткость соединений возросла в 1,6-2,9 раза при испытаниях статической и ударной нагрузками. Поэтому этот метод наиболее эффективен для

х) Авторские свидетельства СССР № 440274, 476070, 513782, 523750

М В Т У

им. Н. Э. Баумана

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

сборки клепанных соединений, работающих под действием ударных и вибрационных нагрузок. Экономический эффект от внедрения одной полуавтоматической установки для сборки соединений статико-импульсной клепкой на целиноградском заводе сельхозмашин составил 23,037 тысяч рублей в год. От повышения ресурса работы сборочного узла и соответствующего сокращения потребных запчастей ожидается годовой экономический эффект 64,37 тысяч рублей.

Апробация работ. Отдельные разделы и работа в целом докладывались и обсуждались на: 1) научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства", МВТУ им. Н.Э. Баумана, М., 1976...1979 г.г.; 2) заседаниях кафедры "Технология машиностроения", XIX...XXIII научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Карагандинского политехнического института, Караганда, 1974...1978 г.г.; 3) республиканской конференции "Пути ускорения технического прогресса и повышение его эффективности на машиностроительных предприятиях Казахстана", Алма-Ата, 1976 г.; 4) всесоюзном семинаре "Перспективы механизации сборочных работ на предприятиях Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР", Павлодар, 1978 г.; 5) всесоюзном семинаре "Передовой опыт в технологии, механизации и автоматизации сборочных процессов в машиностроении", Харьков, 1978г.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 12 работ, в том числе получено 4 авторских свидетельства на изобретение.

Объем работ. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложения. Работа содержит 136 страниц машинописного текста, 23 таблицы, 48 рисунков и 123 наименований литературных источников, в том числе 24 иностранных.

Во введении обосновывается актуальность проведения исследований технологии сборки соединений статико-импульсной клепкой и направление исследований.

В первой главе приведен анализ конструктивных особенностей клепанных соединений, методов и средств их сборки, применяемых в современном машиностроении. Проведенный анализ показал, что современные методы сборки не всегда обеспечивают требуемого качества соединения и эффективности технологического процесса клепки.

Советские ученые-машиностроители добились определенных успехов в вопросах технологии сборки машин и технологических основах автоматизации сборочных процессов. Следует отметить работы проф. Кована В.М., Корсакова В.С., Новикова М.П., Малова А.Н., Балакина Б.С., Рабиновича А.М. и др., которые обеспечили создание науч-

ной базы технологии сборки машин, позволяющей творчески совершенствовать технологические процессы сборки. В работах проф. Григорьева В.П. и др. рассматриваются особенности выполнения технологических процессов сборки клепаных конструкций из легких сплавов. Однако отдельные вопросы исследования технологических процессов сборки клепаных соединений в машиностроении, изыскание новых эффективных методов и средств сборки изучены недостаточно.

В научно-технической литературе до настоящего времени отсутствуют достаточно научно-обоснованные методы расчета усилий клепки при сборке соединений. Поэтому при выборе универсального или проектировании специального сборочного оборудования требуемое усилие клепки часто определяют путем проведения специальных экспериментов или же используют весьма приближенные эмпирические зависимости.

В промышленности также отсутствуют рекомендации по выбору обоснованных режимов технологических процессов сборки, учитывающие конструктивно-технологические характеристики клепаных соединений. Это приводит к увеличению трудоемкости процесса сборки и снижению ресурса работы клепаных узлов. Нередко отдельные ведомства и предприятия разрабатывают для своих нужд сборочное оборудование различных конструкций, принимая за основу рекомендации по клепке соединений из различных материалов.

В настоящее время для сборки клепаных соединений применяется прессовая и ударная клепка. Прессовая клепка обеспечивает лучшее качество клепаных изделий, облегчает условия труда по сравнению с ударной клепкой. Однако применение клепальных машин статического действия вызывает непроизводительные расходы мощности на деформирование. Поэтому при выборе сборочного оборудования статического действия тоннаж прессующего устройства обычно выбирают на 30-50 % больше расчетного усилия клепки.

Анализ теоретических исследований, а также экспериментальные кривые усилия осадки при прессовой клепке показали, что более 70 % осадки стержня заклепки происходит при усилии, равном 0,4 от полного усилия образования замыкающей головки заклепки, т.е. большая часть усилия осадки при прессовой клепке расходуется на формирование замыкающей головки заклепки. Известно, что для процесса высадки наиболее приемлема ударная или вибрационная нагрузка. При таком нагружении деформация приобретает локальный характер, что вызывает интенсивную деформацию в зоне замыкающей головки

заклепки. Таким образом, анализ распределения кривых усилия осадки показывает, что для повышения эффективности процесса сборки клепаных соединений, клепку необходимо вести при совместном воздействии статического усилия и энергии ударных импульсов.

Разработан новый метод сборки соединений статико-импульсной клепкой. Отличительной особенностью метода сборки является то, что одновременно с приложением усилия статического деформирования по оси заклепки, равного 0,3-0,4 от полного усилия осадки, к торцам заклепки прикладываются ударные импульсы. На основе нового метода сборки разработаны принципиально новые схемы сборочных механизмов статико-импульсного действия, защищенные авторскими свидетельствами СССР.

В сборочных машинах с неподвижной поддержкой механизм статического деформирования и механизм ударных импульсов расположены по одну сторону стола машины (авт.свидетельства № 476070, 513782). Эти устройства имеют небольшие габариты, легко встраиваются в поточную или автоматизированную линию сборки, могут выполняться в виде подвесных скоб или стационарных сборочных установок. При выполнении с подвижной поддержкой механизмы статического деформирования и ударных импульсов расположены противоположно и соосно друг к другу (авт.свидетельство № 523750). Сборочные устройства данного типа наиболее эффективны для осаживания заклепок больших диаметров, выполненных из различных материалов, в том числе и высокопрочных. Для групповой клепки панелей клепаных конструкций разработана схема гидравлического сборочного пресса статико-импульсного действия с пульсатором давления, где в качестве промежуточного звена используется рабочая жидкость, находящаяся под определенным давлением (авт.свидетельство № 440274).

В работе проведен анализ конструктивных особенностей клепаных соединений с распределением клепаных изделий: по диаметрам, материалам и типу заклепок; применяемых марок материалов по толщинам клепаных соединений и клепальных работ по методу клепки. Определены основные конструктивно-технологические параметры клепаных соединений, которые позволяют обосновать выбор оптимальных режимов технологических процессов сборки.

На основе проведенного анализа современного состояния вопроса и сформулированы те задачи, решению которых посвящена данная работа.

Во второй главе представлены результаты теоретических и экс-

периментальных исследований усилия сборки клепаных соединений методами пластической деформации, которые были выполнены под руководством научного консультанта-доктора технических наук, профессора МВТУ им. Н.Э.Баумана А.Г. Овчинникова.

В результате силового анализа схемы деформации заклепок, которые решались энергетическим методом баланса работ, были определены удельные усилия деформирования на каждом рабочем участке и выведены расчетные формулы для определения деформирующих усилий и работ деформации при образовании замыкающих головок заклепок различных форм.

Схема деформации заклепки с плоской замыкающей головкой состоит из двух цилиндрических участков: на первом участке происходит равномерная деформация стержня заклепки и заполнение отверстия соединения, на втором участке - формирование замыкающей головки. Уравнение баланса работ для данной схемы деформации имеет вид:

$$A = A_{D_1} + A_{T_1} + A_{D_2} + A_{T_2} + A'_{T_2}, \quad (1)$$

где A_{D_1}, A_{D_2} - работа деформации формы на участках I и 2;
 A_{T_1} - работа сил контактного трения на цилиндрическом участке I;
 A_{T_2}, A'_{T_2} - работа сил контактного трения на поверхности торцов заклепки со стержнем закладной и замыкающей частями.

Условия течения металла рассматриваются на этих двух участках совокупности определяющих усилие образования плоской замыкающей головки. Деформация осесимметричная. Элементарные силы трения, т.е. касательные напряжения на контактных поверхностях τ_A считаем постоянными, не зависящими от координат, деформацию считаем однородной. Работа деформации и работа сил трения на рабочих участках деформации заклепки определяются

$$A_{D_1} = \bar{\sigma}_s \iiint \epsilon_i \rho d\rho d\theta dz, \quad A_{T_1} = \iint \tau_A u_{\theta} dF, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_s$ - истинное напряжение текучести, кгс/мм²;

ϵ_i - интенсивность деформации;

τ_A - элементарная сила трения (касательное напряжение) на контактной поверхности;

u_{θ} - перемещение u_{θ} на контактной поверхности.

Полное усилие образования плоской замыкающей головки заклепки

$$\rho = \sigma_{s1} \frac{\pi d^2}{4} \left(1 + 4\mu_1 \frac{h}{d}\right) + \sigma_{s2} \frac{\pi D^2}{4} \left(1 + \frac{2}{3}\mu_2 \frac{D}{H}\right), \quad (3)$$

где D и H - диаметр и высота замыкающей головки заклепки;
 d и h - начальный диаметр и высота стержня заклепки;
 μ_1 и μ_2 - коэффициент контактного трения на участках I и 2.
 Удельное усилие деформирования

$$\rho = \sigma_{s1} \left(1 + 4\mu_1 \frac{h}{d}\right) + \sigma_{s2} \left(1 + \frac{2}{3}\mu_2 \frac{D}{H}\right) \quad (4)$$

Полное усилие образования потайной замыкающей головки определяется как равнодействующая сил на двух рабочих участках: цилиндрическом и коническом. Для определения работы деформации и сил контактного трения на коническом участке были использованы сферические координаты с радиусом a и b шарового сектора и углом при вершине 2γ . Полное усилие образования потайной замыкающей головки заклепки

$$\rho = \sigma_{s1} \frac{\pi d^2}{4} \left(1 + 4\mu_1 \frac{h}{d}\right) + \sigma_{s2} \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{\mu_2}{\sin \gamma} + \frac{2}{1 + \cos \gamma}\right) \ln \frac{F}{f} + \\ + \sigma_{s3} \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\mu_3}{3} \cdot \frac{D}{H}, \quad (5)$$

где $\frac{F}{f} = \frac{D^2}{d^2} = \frac{b^2}{a^2}$; 2γ - угол при вершине конуса.

Аналогично определяется полное усилие образования полукруглой замыкающей головки заклепки

$$\rho = \sigma_{s1} \frac{\pi d^2}{4} \left(1 + 4\mu_1 \frac{h}{d}\right) + \sigma_{s2} \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{\mu_2}{\sin \gamma} + \frac{2}{1 + \cos \gamma}\right) \ln \frac{F}{f} + \\ + \sigma_{s3} \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\mu_3}{\sin \gamma} \ln \frac{F}{f} \quad (6)$$

В работе разработана методика расчета деформирующих усилий и работы деформации при ударной и статико-импульсной клепках. Работа деформации определяется по известной величине удельного усилия деформирования ρ на рабочих участках

$$A_D = \psi_c V \int_h^{h_0} \rho \frac{dh}{h} \quad (7)$$

Отсюда работа деформации при образовании плоской замыкающей головки примет вид:

$$A_D = \sigma_{s1} \psi_c V_1 \int_h^{h_0} \left(1 + 4\mu_1 \frac{d}{h}\right) + \sigma_{s2} \psi_c V_2 \int_H^{h_0} \left(1 + \frac{2}{3}\mu_2 \frac{D}{H}\right) \frac{dH}{H}, \quad (8)$$

где V - постоянный объем осаживаемого тела заклепки;

ρ - переменное удельное усилие деформирования;

ψ_c - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается напряжение текучести при увеличении скорости деформации.

Аналогично определяется работа деформации при образовании потайной и полукруглой замыкающей головки заклепок. При статико-импульсной клепке вначале определяют работу деформации на цилиндрическом участке, а работа деформации при образовании замыкающей головки заклепки определяется по известному значению ρ удельного усилия деформирования по формуле (7).

Для практического использования формул, полученных на основе теории обработки металлов давлением, экспериментально определены истинные значения текучести σ_s в зависимости от степени деформации ϵ_z . Экспериментальными исследованиями установлено, что наиболее интенсивное увеличение напряжения текучести имеет место в начальной стадии деформации, а при больших степенях деформации изменение напряжения текучести незначительное. Для практических расчетов усилия клепки, на основе экспериментальных исследований рекомендованы коэффициенты упрочнения. На основе экспериментальных данных усилия образования замыкающих головок заклепок были построены графики усилия клепки, которые подтвердили правильность разработанной методики расчета деформирующих усилий клепки. Расхождение приведенных значений экспериментальных и расчетных кривых находится в пределах 5 %.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой на прочностные характеристики соединений. В результате исследования определены рациональные режимы процесса сборки, даны рекомендации по выбору и расчету основных параметров статико-импульсной клепки.

В качестве объекта исследования были использованы образцы клепаных соединений, заклепки диаметрами 4, 5, 6 и 8 мм с полукруглой, потайной и плоской головками по ГОСТ 10299-68 - ГОСТ 10300-68; материал $\sigma_b = 32-38$ кгс/мм², относительная толщина клепаного соединения $S/d = 1$, материал пакета сталь 08 ($\sigma_b = 33$ кгс/мм²).

Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленной сборочной установке статико-импульсного действия путем осциллографирования процесса клепки. Для определения усилия клепки применялся тензометрический динамометр с наклеенными тензодатчиками. Тарировка тензометрического динамометра производилась

на специальном стенде с определенным усилием предварительного поджатия и энергией ударных импульсов, а также на гидравлическом прессе усилием до 14 тс через каждые 300 кгс. Работа деформации и частота ударных импульсов при образовании замыкающей головки заклепки определялись из осциллограммы процесса клепки

$$A_0 = A_{0y} \cdot n_y, \quad n_y = n_1 \cdot V_{np} \cdot 60, \quad (9)$$

где n_1 - число ударных импульсов на единицу длины осциллограммы;
 V_{np} - скорость протяжки ленты осциллографа, м/с.

По данным осциллограммы строили график "усилие-осадка", значение осадки Δh бралось после каждого импульса с учетом упругих деформаций заклепки и сборочного приспособления. Для записи усилия осадки, работы деформации и величины осадки заклепки применялся осциллограф НЮБ с тензоусилителем УТ-4М. Прочность и жесткость клепаных соединений, выполняемых при различных режимах процесса сборки, определялись испытаниями ударной и статической нагрузками клепаных соединений на срез и отрыв.

Основными режимами процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой являются усилие предварительной осадки $P_{ст}$, энергия и частота ударных импульсов при образовании замыкающей головки заклепки.

Статическое усилие предварительной осадки $P_{ст}$ определяется из условия качественного заполнения стержнем заклепки отверстия соединения. Для определения диапазона варьирования $P_{ст}$ были проведены проверочные экспериментальные исследования усилия клепки, которые показали, что около 70 % осадки стержня заклепки происходит при усилии, равном 0,3-0,4 от полного усилия осадки $P_{пр}$. Диапазон варьирования $P_{ст}$ установлен в пределах $P_{ст} = 0; 0,1 P_{пр}; 0,2 P_{пр}; 0,3 P_{пр}$ и $0,4 P_{пр}$. При $P_{ст} = 0$, что соответствует ударной клепке, осадка заклепки производится ударом с определенной энергией и частотой ударных импульсов, без предварительной осадки стержня заклепки. При $P_{ст} = 0,1 P_{пр} \dots 0,4 P_{пр}$, что соответствует статико-импульсному режиму клепки, осадка заклепки производится с определенным усилием предварительной осадки, энергией и частотой ударных импульсов. Исследованиями установлено, что с увеличением усилия предварительной осадки $P_{ст}$ от нуля, что соответствует ударной клепке, до $0,4 P_{пр}$ - с постоянной частотой и энергией ударных импульсов, время клепки уменьшается на 55-75 %, а работа деформации на 70-76 %. С увеличением энергии удара от 1,2 до 2,4

кгс.м время клепки уменьшается на 48-62 %, а работа деформации на 25-30 %. Частота ударных импульсов в основном определяет производительность процесса клепки. С увеличением частоты ударов от 1500 до 3500 уд/мин время клепки уменьшается на 44-56 %.

В работе показано, что деформация отверстия соединения в зоне закладной головки $\omega_{зк}$ при сборке соединений статико-импульсной клепкой $R_{ст} = 0,3 R_{пр}$ в 1,3-2,1 раза выше по сравнению с прессовой и ударной клепках. Это объясняется тем, что при статико-импульсном воздействии деформирующих сил происходит значительное снижение контактных сил трения между стержнем заклепки и отверстием соединения, что способствует высокой пластичности металла и качественному заполнению стержнем заклепки и упрочнению отверстия соединения. При статико-импульсном воздействии усилия происходит повышение твердости материала соединения и стержня заклепки в зоне отверстия на 24-36 % по сравнению с прессовой и ударной клепкой. Распределение твердости по зонам упрочнения при сборке соединений статико-импульсной клепкой показывает, что твердость в различных точках соединения нарастает плавно без скачков и точек концентраций напряжений, в результате повышаются прочностные характеристики соединений. Экспериментальными исследованиями установлено, что при сборке соединений статико-импульсной клепкой разрушающее усилие клепанных соединений на отрыв увеличивается на 24-30 %, усилие среза на 24-44 %, а жесткость соединения в 1,8-2,8 раза выше по сравнению с прессовой и ударной клепками при испытаниях статической и ударной нагрузками.

Для установления оптимальных режимов процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой были выбраны частные и обобщающие критерии оптимальности. Анализ экспериментальных данных влияния режимов технологического процесса сборки на прочностные характеристики соединений показал, что функции $y_1 = f_1(T_0)$ и $y_2 = f_2(A_{\pi})$ монотонно убывающие. В качестве критерия оптимальности процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой выбираем $A_{\pi} \rightarrow \min$, как наиболее значимый с точки зрения цели исследования. Это объясняется тем, что время клепки T_0 при статико-импульсном режиме весьма незначительное и находится в пределах, обеспечивающих высокую производительность процесса сборки. Аналогично выбираем критерий оптимальности $\omega_{зк} \rightarrow \max$, характеризующий прочностные качества соединения. В качестве обобщающего критерия оптимальности принято отношение
$$K = \frac{\omega_{зк}}{A_{\pi}} \rightarrow \max$$

В результате экспериментальных исследований были установлены оптимальные режимы процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой. Приведены практические рекомендации по выбору и расчету основных параметров процесса сборки.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния конструктивно-технологических параметров (КТП) клепанных соединений на процесс сборки статико-и. пульсной клепкой.

В промышленности отсутствуют достаточно обоснованные рекомендации по выбору рациональных режимов технологического процесса сборки, учитывающие КТП клепанных соединений, что приводит к увеличению трудоемкости процесса сборки, снижению ресурса работы клепаного узла. В работе исследованы влияние основных КТП клепанных соединений, диаметра отверстия соединения под заклепку d_0 , размеров замыкающей головки заклепки l_3 , величины деформации отверстия соединения ω % и относительной толщины сборочного узла s/d на процесс сборки соединений статико-импульсной клепкой.

Установлено, что с увеличением зазора посадки стержня заклепки d_0/dc от номинального до максимального значения в пределах допуска, время клепки возрастает на 40-80 %, а работа деформации при образовании замыкающей головки заклепки увеличивается на 23-43 %. Разрушающее усилие отрыва образцов клепанных соединений возрастает на 7-9 %, а усилие среза на 10-18 %. Оптимальное значение коэффициента γ , определяющего посадку стержня заклепки d_0/dc , установлено $\gamma = 1,010-1,016$.

Размеры замыкающей головки заклепки оказывают значительное влияние на процесс сборки и прочностные характеристики клепанных соединений. Экспериментальными исследованиями установлено, что с увеличением размеров замыкающей головки заклепки l_3 в пределах допуска по ГОСТ 10299-68 - ГОСТ 10303-68, время клепки возрастает на 55-95 %, а работа деформации на 30-55 %. Разрушающее усилие на отрыв увеличивается на 4-6 %, усилие среза на 10-30 %, а жесткость клепаного соединения возрастает в 2,6 раза. Значительное влияние на величину деформации отверстия соединения ω % оказывают размеры замыкающей головки заклепки l_3 . С увеличением l_3 от 11,4 до 15 мм деформация отверстия соединения возрастает в 1,4-1,8 раза в зоне замыкающей головки и в 1,5-3,3 раза в зоне закладной головки. В результате исследования установлено

оптимальное значение коэффициента K , определяющего размеры замкавой головки, $K = 1,45-1,55$.

Экспериментальные исследования влияния относительной толщины пакета S/d на процесс клепки и прочностные характеристики клепанных соединений показали, что с ростом относительной толщины пакета S/d от 0,5 до 2,5 время клепки возрастает в 1,7-2,6 раза, а работа деформации заклепки в 1,3-2,3 раза. Установлено, что относительная толщина клепаного соединения S/d в основном определяет прочностные характеристики соединений. Оптимальная зона равнопрочности для клепанных соединений, выполненных из стальных листовых материалов и заклепок с $\sigma_B = 32-38 \text{ кгс/мм}^2$, находится в пределах $S/d = 1,0-1,25$.

В пятой главе исследованы возможности технологии сборки соединений статико-импульсной клепкой в условиях автоматизации и перспективы развития автоматического сборочного оборудования на основе использования принципа агрегатирования и системы программного управления. В работе на основе исследований разработан ряд конструктивных модификаций сборочных механизмов для сборки соединений статико-импульсной клепкой.

Установлено, что для обеспечения надежной установки заклепки в условиях автоматической сборки, допуски на размеры отверстий клепанных соединений могут быть увеличены в 1,5-2 раза без заметного снижения прочностных характеристик соединений.

В работе осуществлена практическая реализация результатов исследований в производство. Разработана конструкция, изготовлена и внедрена в производство полуавтоматическая установка для сборки соединения статико-импульсной клепкой. Разработана методика расчета основных параметров сборочной установки. Производственные испытания сборочной установки подтвердили эффективность разработанного метода сборки соединений статико-импульсной клепкой. В результате производственных испытаний установлено, что разрушающее усилие на отрыв и срез при сборке соединений статико-импульсной клепкой увеличилось на 32,5-60,7 %, а жесткость клепаного соединения возросла в 2,9 раза по сравнению с заводской сборкой. Результаты производственных испытаний метода сборки соединений статико-импульсной клепкой на разработанной полуавтоматической установке подтверждены актом завода.

Производственные испытания показали, что клепаные узлы, полученные сборкой статико-импульсным методом, отвечают всем тех-

ническим требованиям. Сборочные установки статико-импульсного действия имеют существенные преимущества по сравнению с действующими. Регулирование усилия предварительной осадки энергии и частоты ударных импульсов в широком диапазоне осуществляется нормализованной гидроаппаратурой, что дает возможность использовать без реконструкции одну машину для сборки соединений с заклепками различных диаметров и материалов, что особенно важно при разнообразной номенклатуре изготавливаемого изделия.

На основе проведенных исследований и производственных испытаний разработаны типовые самодействующие силовые головки статико-импульсного действия с автоматической подачей заклепок в зону сборки. Силовые головки могут выпускаться в трех модификациях. Базовая модификация I обеспечивает склепывание соединений стальными заклепками диаметром 4-6 мм. Модификация II и III соответственно для диаметров 8-12 мм и 14-16 (20) мм. В работе даны рекомендации по выбору и расчету силовых головок, приведена их техническая характеристика. Разработанные типовые сборочные механизмы могут быть использованы при индивидуальной клепке в виде подвесных скоб, а также в автоматической линии путем встраивания типовых силовых головок в действующие многопозиционные сборочные автоматы, тем самым расширяя их технологические возможности. Исследованиями установлено, что при сборке соединений статико-импульсной клепкой в условиях автоматизации количество технологически переходов сборки может быть уменьшено за счет объединения отдельных переходов (вставка заклепки и ее осадка и др.) Это позволяет сократить количество рабочих позиций сборочного автомата, а также габариты установки. В работе решаются также вопросы групповой клепки. Так за счет расширенных допусков на диаметры отверстий под заклепки, могут быть увеличены допуски на расположение осей заклепок сопрягаемых деталей, что позволяет значительно упростить компоновку сборочного автомата и технологической оснастки, повысить их надежность и производительность. При этом допуски на длины заклепок не имеют решающего значения, так как конструкция разработанных устройств позволяет производить осадку каждой заклепки на заданную величину. Это достигается автоматическим контролем качества соединений по ходу сборки путем встраивания в сборочные приспособления специальных датчиков, которые по высоте предварительной осадки дают команду на необходимое коли-

чество ударных импульсов для окончательного формирования замыкающей головки. Это повышает качество соединений и производительность сборки. При этом устраняются традиционные виды брака присущие обычной клепке (неполнота заполнения отверстия под заклепку, сбой головки, несимметричность головок и др.).

Для обоснования эффективности внедрения сборочных машин статико-импульсного действия была рассчитана технологическая себестоимость сборки лапы сошника сеелки СЗС-2, I на разработанной и существующей заводской клепальной установке. Годовой экономический эффект от внедрения одной сборочной полуавтоматической установки статико-импульсного действия, подтвержденный расчетами завода, составил 23,037 тыс. рублей. От повышения ресурса работы клепаного изделия и соответствующего сокращения количества запасных частей ожидается экономический эффект 64,37 тыс. рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих литературных и производственных материалов показал, что в промышленности отсутствуют достаточно научно-обоснованные методы расчета усилий клепки и рекомендации по выбору рациональных режимов процесса сборки, учитывающие конструктивно-технологические параметры клепаных соединений.

2. В результате теоретических исследований различных схем деформации заклепок, которые решались энергетическим методом баланса работ, были определены удельные усилия деформирования на каждом рабочем участке и выведены расчетные формулы для определения усилия клепки при образовании замыкающих головок заклепок различных форм.

3. На основании исследований, для сборки клепаных соединений, работающих под действием ударных и вибрационных нагрузок, разработан новый метод сборки статико-импульсной клепкой и устройства для реализации предлагаемого метода сборки, защищенные авторскими свидетельствами СССР № 440274, 476070, 513782, 523750.

4. При сборке соединений статико-импульсной клепкой трудоемкость процесса снижается на 55-75%, а работа деформации при образовании замыкающей головки заклепки на 70-75% по сравнению с ударной клепкой.

Деформация отверстия соединения под заклепку ω % увеличивается в 1,3-2,1 раза, а твердость на 24-36% по сравнению с прессовой и ударной клепкой. Разрушающее усилие среза увеличивается на 30-45%, усилие отрыва на 27-30%, а жесткость соединения в 1,8-2,9 раза при испытаниях статической и ударной нагрузками.

5. В результате теоретических и экспериментальных исследований процесса сборки соединений статико-импульсной клепкой разработаны рекомендации по выбору и расчету рациональных режимов сборки.

6. Приведены практические рекомендации по выбору оптимальных конструктивно-технологических параметров клепаных соединений:

а) оптимальное значение коэффициента γ , определяющего посадку стержня заклепки d_0/d_c , установлено $\gamma = 1,010-1,016$;

б) оптимальное значение коэффициента K , определяющего размеры замыкающей головки заклепки, установлено $K = 1,45-1,55$;

в) относительная толщина склепываемого пакета S/d в основном определяет прочностные характеристики соединений. Оптимальная зона равнопрочности для клепаных соединений, выполненных из стальных листовых материалов и заклепок с $\sigma_s = 32-38 \text{ кгс/мм}^2$, находится в пределах $S/d = 1,0-1,25$.

7. Исследованы возможности сборки соединений статико-импульсной клепкой в условиях автоматической сборки. Разработан ряд конструктивных модификации сборочных машин статико-импульсного действия на основе принципа агрегатирования. Для обеспечения надежной установки заклепки в условиях автоматизации, допуски на размеры отверстий под заклепку могут быть увеличены в 1,5-2 раза без снижения прочности соединений.

8. Разработана и внедрена в производство полуавтоматическая установка для сборки соединений статико-импульсной клепкой. Годовой экономический эффект от внедрения одной сборочной установки, подтвержденный расчетами завода, составил 23,037 тыс. рублей. От повышения ресурса работы клепаного изделия и соответствующего сокращения количества запасных частей ожидается экономический эффект 64,37 тыс. рублей в год.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. К вопросу теории расчета деформирующих усилий клепки. В сб. "Перспективы механизации сборочных работ на предприятиях Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения". Павлодар, 1978 (соавтор В.С.Корсаков).

2. Исследование и технологические возможности статико-импульсной клепки. В сб. "Передовой опыт в технологии механизации и автоматизации сборочных работ в машиностроении". М., ЦНТО Машпром, 1978.

3. Некоторые результаты исследования процесса статико-импульс-