

УДК 621.792
На правах рукописи

Винокурова Маргарита Эдуардовна

**СБОРКА РЕГУЛИРУЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КЛЕЕВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук



Москва, 2017

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Игнатов Алексей Владимирович

Официальные оппоненты: **Непомилуев Валерий Васильевич**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры организации
производства и управления качеством,
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет
имени П. А. Соловьева»

Моргунов Юрий Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии и
оборудования машиностроения ФГБОУ ВО
«Московский политехнический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»

Защита состоится _____ 2017 г. _____ на заседании
диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я
Бауманская ул., д.5, стр. 1.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на сайте
www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63

Автореферат разослан _____ 2017 г.

Ученый секретарь совета
д.т.н., доцент



В.П. Михайлов

Актуальность работы. Снижение трудоемкости и себестоимости изготовления продукции, повышение качества сборки цилиндрических соединений является важным условием развития современного машиностроения. Сборочные операции в машиностроении характеризуют как самые трудоемкие и ответственные, так как именно на этом этапе формируется окончательное качество получаемой продукции. Цилиндрические соединения, встречающиеся в машиностроении, превышают половину всей номенклатуры собираемых изделий. Доля клеевых соединений постоянно увеличивается, приводя к замещению клеевыми соединениями таких традиционных методов сборки как сварку, пайку и соединения с натягом. Клеевые цилиндрические соединения встречаются в современном машиностроении при установке подшипников в корпуса и на валы, установке втулок, звездочек, роторов, шкивов на валы и т.д. В настоящее время при сборке цилиндрических клеевых соединений существуют особенности связанные с перерасходом клеевой композиции, получаемым качеством изделия, возможностью регулирования взаимного положения сопрягаемых деталей, что приводит к увеличению трудоемкости и себестоимости изготовления продукции. Таким образом, исследование, направленное на повышение качества сборки цилиндрических клеевых соединений является актуальным.

Перспективным путем решения актуальной задачи повышения качества сборки клеевых цилиндрических соединений является создание оригинального метода сборки и методики проектирования сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Цель работы. Технологическое обеспечение машиностроительного производства при сборке регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Основные задачи исследования:

1. Разработка и исследование метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.
2. Технологическая отработка конструкции регулируемых цилиндрических клеевых соединений.
3. Проектирование методики сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.
4. Изучение технико-эксплуатационных показателей регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Научная новизна состоит в выявлении закономерностей выполнения и управления процессом сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений, установлении влияния конструкционно-технологических параметров изделия на эксплуатационные характеристики регулируемых цилиндрических соединений.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении оригинального способа сборки и методики проектирования сборки, регулируемых цилиндрических клеевых соединений в условиях машиностроительного предприятия. Реализация указанного способа сборки позволила сократить трудоемкость технологического процесса сборки цилиндрических клеевых соединений, с возможностью регулирования их взаимного положения в 2 раза по

сравнению с существующими способами сборки цилиндрических клеевых соединений. Внедрение данного способа, привело к уменьшению себестоимости изготовления продукции на 357521 руб. в год, что подтверждено актом о внедрении.

Методы исследования. Использовались фундаментальные и прикладные положения технологии машиностроения, гидравлики, теории адгезии, инструменты математической статистики, программное обеспечение для обработки экспериментальных результатов.

На защиту выносятся следующие положения:

- методика проектирования сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений с возможностью регулирования взаимного положения сопрягаемых деталей в требуемом положении;

- результаты экспериментального исследования конструкторско-технологических параметров, обеспечивающих качество сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений;

- рекомендации по определению экономической целесообразности внедрения в производство разработанного оригинального метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

- экспериментальные закономерности формирования технико-эксплуатационных зависимостей выполнения технологического процесса сборки.

Личный вклад автора:

Автором разработан оригинальный метод сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений (патент № 2017117296), позволяющий обеспечить требуемое качество изделия в цеховых условиях.

Произведена отработка конструкции регулируемых цилиндрических клеевых соединений на технологичность. Разработана методика сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений. Изучены технико-эксплуатационные показатели регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Все результаты диссертационной работы получены лично автором или при его непосредственном участии в результате проведения экспериментальных и расчетных работ. Во всех необходимых случаях заимствования чужих результатов в диссертации приведены ссылки на литературные источники.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на: Международной научно-технической конференции «Страна живет, пока работают заводы». Курск, 2015; IV Международной научной конференции IV Международного балтийского морского форума «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии». Калининград, 2016; II Международной научно-технической конференции «Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы - перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов». Курск, 2016; II Международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии». Нижний Новгород, 2016; V Международной научной конференции V Международного балтийского

морского форума «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» Калининград, 2017. Результаты исследования частично получены и применялись в рамках выполнения научного проекта по гранту РФФИ 15-08-06447.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 10 научных работах, из которых 2 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, общим объемом 3,11 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы. Общий объем работы составляет 127 страниц, в том числе 116 страница текста, 44 рисунков, 13 таблиц, списка литературы из 106 наименований.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность решаемых в диссертационной работе научных задач, формулируется основная идея и научная новизна работы.

В первой главе проведен анализ цилиндрических соединений, применяемых в машиностроении, определены особенности технологического процесса сборки современных цилиндрических клеевых соединений, проанализированы основные требования к выборке клеевых композиций при сборке неподвижных соединений в машиностроении.

Цилиндрические соединения, встречающиеся в машиностроении, превышают половину всей номенклатуры собираемых изделий в машиностроении. К наиболее распространенным неподвижным цилиндрическим соединениям в машиностроении относят: шпоночные и шлицевые соединения, соединения с натягом, клеевые соединения. Тенденция к увеличению доли клеевых соединений в машиностроении неслучайна и связана с целым рядом преимуществ при сборке неподвижных соединений. Клеевые соединения способны гасить вибрации и шум, имеют высокую коррозионную стойкость, обеспечивают герметичность соединения и не требуют обработки поверхностного слоя до высокого качества точности (8...10 качество точности).

В настоящее время, как показал анализ рынка, благодаря использованию клеевых соединений происходит снижение расходов на производство изделий до 60% и экономия времени на их сборку до 40-70%. Проведенные исследования ряда зарубежных компаний показывают, что применение клеевых соединений позволяет в 2 – 2,5 раза снизить трудоемкость сборки по сравнению с традиционными способами сборки, высвободить до 34000 человеко-часов в производственном процессе, понизить материалоемкость конструкций до 10 %. Внедрение клеевых технологий не требует высокой квалификации рабочих, а процесс их обучения не требует больших временных затрат.

Получение качественного клеевого соединения во многом зависит от правильного выполнения всех основных этапов технологического процесса сборки: 1) Подготовки поверхности под склеивание, 2) Выбора и приготовления клея, 3) Нанесения клея, 4) Монтажа соединения, 5) Отверждения клея, 6) Контроля качества соединения.

На первом этапе особое внимание уделяют получаемому качеству поверхностного слоя, так за рекомендуемую принимают шероховатость $Ra=1,6...3,2$ мкм, так как именно такие значения обеспечивают хорошее заполнение зазора клеем и исключают появление концентраторов напряжений. На втором этапе проверяется однородность клея, производится приготовление клея и введение в него дополнительных компонентов. На третьем этапе выбирается способ и метод нанесения клея, устройства нанесения, в зависимости от оснащенности и типа производства. На четвертом этапе фиксируют соединение с помощью специальной оснастки и задают давление, для вытеснения пузырьков воздуха. На пятом этапе для отверждения клея прибегают к использованию устройств нагрева для ускорения отверждения клея. На шестом этапе производят контроль качества изделия в зависимости от его назначения. Неответственные изделия проверяют визуально, ответственные методами разрушающего и неразрушающего контроля.

При выборе клеевых композиций для сборки неподвижных соединений в машиностроении предъявляется ряд требований: обеспечения качества получаемого соединения, жизнеспособность, теплопроводность, электропроводность, стойкость, тиксотропия, температура полимеризации клея, структурный состав, смачиваемость поверхности, вязкость и др.

Среди работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных клеям, наибольшее признание получили работы Ковачич Л., Кардашов Д.А., Петрова А.П., Каблов В.А. и др. Вопросам сборки клеевых соединений посвящены работы Зининой И.Н., Терехина А.В., Евсеева А.А., Олевского В.А., Плотникова В.М., Чиж И.С., Беляева В.В., Горшкова Л.В. и других.

Научные исследования по сборке клеевых соединений давно и успешно проводятся на кафедре «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана такими учеными как: Игнатовым А.В., Джафаровой Ш.И., Голицыном М.Н., Ястребовой Н.А., Мельниковым Г.Н.

При реализации технологического процесса сборки в реальном производстве, существует ряд нерешенных вопросов. Так, во время сборки цилиндрических клеевых соединений не производится регулирование положения сопрягаемых деталей, не учитываются геометрические параметры соединения. Современные методы сборки клеевых цилиндрических соединений не могут решить в полной мере проблемы перерасхода дорогостоящей клеевой композиции, что приводит к ухудшению внешнего вида изделия. Равномерность нанесения клея плохо поддается контролю, а правильное распределение клея и быстрое его отверждение диктует необходимость применения дополнительных устройств и механизмов. Необходимость снижения себестоимости и трудоемкости при проектировании технологических процессов сборки на фоне указанных трудностей позволяет сформулировать цель настоящей работы.

Цель исследования – технологическое обеспечение машиностроительного производства при сборке регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Объект исследования – технологический процесс сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Во второй главе разработана новая методика и метод сборки цилиндрических клеевых соединений, с возможностью регулирования положения сопрягаемых деталей в процессе их сборки. Данный метод и методика позволяют производить сборку деталей в вертикальном положении, исключая вытекание и перерасход клеевой композиции, обеспечивая благоприятные условия для отверждения клея.

Клеевые соединения позволяют упростить технологический процесс сборки ответственных соединений, например сдвоенных направляющих технологического оборудования (Рис. 1, а), применяемых в таких узлах, как: блоках штампов, в современной измерительной технике и т.д.

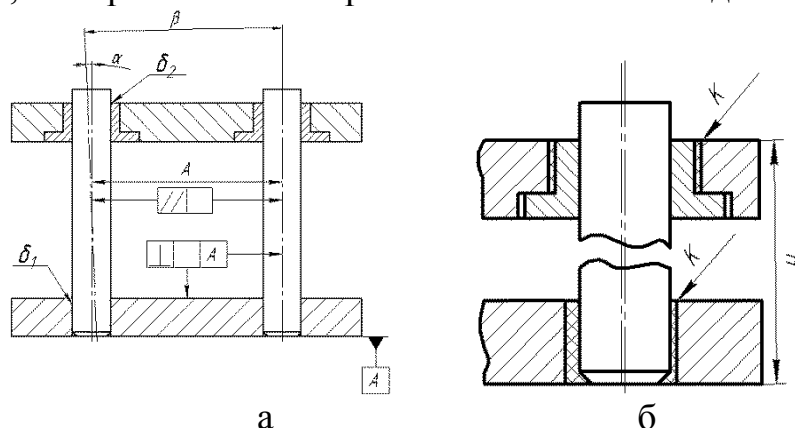


Рис.1. Сборка цилиндрических направляющих:
а - при запрессовке, б - при склеивании

При применении клеевого соединения взамен прессового, в таких конструкциях, возможно, производить обработку отверстий с более грубым качеством и большего диаметра в нижней плите под направляющие, а в верхней под подшипники (Рис. 1, б). Получаемые в соединении зазоры заполняют соответствующей клеевой композицией. За счет возможности регулирования взаимного положения направляющих в клеевом зазоре обеспечиваются эксплуатационные требования к изделию. После регулирования, направляющие фиксируются в требуемом положении до отверждения клеевой композиции.

Однако, несмотря на возможности современных клеевых композиций, существуют особенности, неблагоприятно влияющие на качество соединения и конечную стоимость продукции. При сборке цилиндрических соединений, в настоящее время существует несколько способов нанесения клеевых композиций: 1) Клеевые композиции наносят по спирали, для чего требуется технологическая оснастка, обеспечивающая вращательное и поступательное движения направляющей в отверстие. 2) Клеевые композиции наносят внутрь отверстия под давлением. В таком случае, при сборке возможно вытеснение клеевой композиции из клеевого шва. 3) Нанесение клеевой композиции производится несколькими локальными витками с последующей установкой направляющей в отверстие. Равномерность такого нанесения обеспечивается лишь в процессе сопряжения. При таких способах нанесения происходит перерасход клеевой композиции, вытеснение ее из зоны сборки, что приводит к ухудшению внешнего

вида соединения, трудно обеспечить равномерность нанесения и вытеснение пузырьков воздуха из клеевого шва.

При механизации и автоматизации работы, используют дополнительные устройства, позволяющие повысить качество и уменьшить время сборки. Например, устройств нагрева, применяемые для изменения вязкости клея и увеличения скорости отверждения. Также используют устройства для перемещения сопла, подающего клеевую композицию.

Представленные особенности приводят к увеличению трудоемкости и себестоимости изготовления выпускаемой продукции.

Для решения представленных задач был разработан оригинальный метод сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений (Рис. 2).

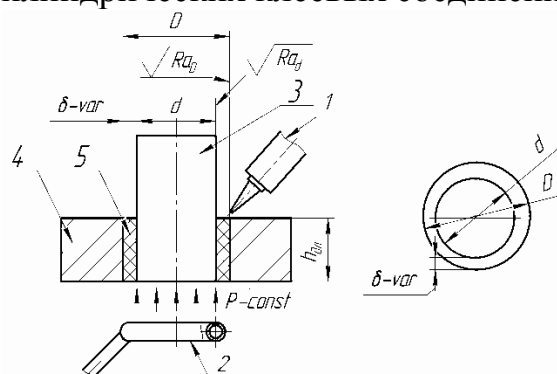


Рис. 2. Принципиальная модель сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений: 1- дозатор, 2- насадка, 3- вал, 4- втулка, 5- клеевая композиция, δ - величина зазора, d - диаметр вала, D - диаметр втулки, Ra_d - шероховатость наружной поверхности вала, Ra_D - шероховатость внутренней поверхности втулки, $h_{дл}$ - длина сопряжения, P - величина давления воздушной среды

Вал поз. 3, устанавливается во втулку поз. 4, регулирование положения сопрягаемых деталей осуществляется за счет создаваемого в соединении зазора поз. 5. Посредством дозатора поз. 1 в зону сборки поз. 5, подается клеевая композиция определенной вязкости. Посредством насадки поз. 2 с подачей воздушного потока, в зоне сборки регулируется давление воздушного потока, необходимого для предотвращения вытекания клеевой композиции из зоны сборки поз. 5, а также регулируется температура для ускорения отверждения клея.

Разрабатываемый метод сборки предусматривает технологическую оснастку для сборки соединения, которая позволяет производить регулировку и фиксацию соединения в требуемом положении.

При сборке регулируемых цилиндрических клеевых соединений величина зазора в разных направлениях соединения варьируется из-за возможности регулирования сопрягаемых изделий по: 1) углу наклона, 2) по положению сопрягаемых деталей, 3) смешанно. Точность измерений определяется техническими требованиями на изготовление, при анализе которых подбирается соответствующая измерительная оснастка.

Разрабатываемый метод имеет ряд оригинальных особенностей. В зону сборки через насадку, установленную в основании сборочной единицы, подается

поток воздушной среды, в котором регулируется давление и температура. Такой прием позволяет предотвратить вытекание нагнетаемого клея из зазора, обеспечить равномерность заполнения зазора в соединении, варьировать скорость отверждения клеевой композиции. Метод предусматривает возможность использования дозирующих устройств, что позволит повысить технико-экономические показатели нового метода сборки. При известных геометрических параметрах и пропорции зазора соединения, можно рассчитать дозу клеевой композиции, что сократит перерасход клея. Подача клея в зону сборки через дозатор предусматривает его нагнетание с избыточным давлением. Таким образом, образуется замкнутая поверхность, заполненная клеевой композицией в которой направляющая может свободно перемещаться, а ее положение может регулироваться до отверждения клеевой композиции. Сама клеевая композиция «запирается» в замкнутом объеме и полимеризуются при благоприятных условиях, исключающих ее вытекание, выпучивание или вспенивание. В случае разнотолщинности зазора, возникновении эксцентриситета, необходимо варьировать температуру и давление воздушного потока по секторам, что создаст благоприятные условия для одновременного отверждения клея во всем клеевом шве.

Рассмотренные особенности позволили сформировать два основных подхода к формированию технологического процесса сборки цилиндрических клеевых соединений с использованием предложенного метода в зависимости от оснащённости производства, требуемых условий сборки, габаритов изделия.

Первый подход заключается в выполнении следующих основных этапов: 1) Сопряжение собираемых изделий в требуемом положении, 2) Заливка создаваемого зазора клеевой композицией. 3) Регулирование положения сопрягаемых деталей. Данный подход наиболее применим для малогабаритных изделий, так как для изделий большой массы потребуется применение дополнительного оборудования для возможности регулирования взаимного положения сопрягаемых деталей.

Второй подход сборки цилиндрических соединений осуществляется путем выполнения следующих основных этапов технологического процесса сборки: 1) Сопряжения изделий. 2) Регулирования взаимного расположения изделий в соединении. 3) Заливка зазора требуемой клеевой композицией.

Благодаря предлагаемой методике сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений по каждому из рассматриваемых подходов, становится возможным: 1) производить регулирование и фиксацию деталей в требуемом положении, 2) исключить перерасход и вытекание дорогостоящей клеевой композиции, 3) применять любые готовые клеевые композиции, 4) сократить время технологического процесса сборки, 5) регулировать скорость отверждения клеевой композиции, 4) повысить качество сборки цилиндрических соединений, 7) снизить трудоёмкость и себестоимость сборки.

При разработке технологического процесса сборки необходимо выявить поведение клеевой композиции в создаваемом зазоре соединения. Многие ученые занимались вопросами течения жидкостей в зазорах: Никурадзе А.И., Альтшуль

А.Д., Мурин Г.А. и др. Было установлено, что клей в кольцевом зазоре имеет ламинарное течение. При ламинарном движении шероховатость поверхности, как выявлено на диаграммах состояния Никурадзе А.И. не оказывает влияния на сопротивление течения жидкости. Однако шероховатость оказывает влияние на смачиваемость поверхности клеем, а, следовательно, на прочность соединения.

Расход клеевой композиции, протекающий через кольцевой зазор при соосном расположении деталей и при возникновении эксцентриситета, рассчитывается по представленным формулам:

$$Q = \frac{\pi D \Delta p \delta^3}{12 \mu L}, \quad (1)$$

где μ - коэффициент динамической вязкости (Па·с), D - диаметр внутренней цилиндрической поверхности (мм), Δp - перепад давлений (Па), δ - величина зазора (мм), L -длина зазора или высота сопряжения (мм).

Для случая кольцевого зазора образованного эксцентричными цилиндрическими поверхностями, расход жидкости определяют:

$$Q_3 = Q (1 + 1,5 \varepsilon^2) = \frac{\pi D \Delta p \delta^3 (1 + 1,5 \varepsilon^2)}{12 \mu L}, \quad (2)$$

где Q - расход жидкости в зазоре при соосном расположении цилиндрических поверхностей (мм³/с), ε - относительный эксцентриситет.

Потери напора в кольцевом зазоре возникают исходя из длины сопряжения и возникающих местных сопротивлений, расположенных на этой длине. Однако при ламинарном течении клея учитываются лишь потери напора по длине сопряжения:

$$h_{\text{дл}} = \frac{128 \nu L}{\pi g D^4} Q, \quad (3)$$

где V -скорость течения клея в зазоре ($V = \frac{\Delta p \delta^2}{12 \mu L}$), мм/с.

В результате была выработана методика проектирования сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений, которая впоследствии была дополнена исходя из полученных экспериментальных данных.

Третья глава содержит результаты проведенного экспериментального исследования с композициями различной вязкости по определению рекомендуемых режимов сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений. Проведены испытания цилиндрического клеевого соединения с анаэробной композицией на сдвиг при различной величине создаваемого зазора соединения. Проведен регрессионный анализ результатов исследования, по результатам которого получены зависимости. Разработана конструкция установки для реализации разработанного метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Для проведения экспериментального исследования и получения точных характеристик, была разработана классификация, где клеи были разбиты на 8 подгрупп, в соответствии с которыми подбирался имитационный материал. Имитационный материал создавался на основе органического клейстера, и вязкость материала подбиралась с помощью аттестационного, тарированного прибора Вискозиметр ВЗ-246. Указанный материал позволяет производить

регулирование совместного положения деталей соединения без ограничения времени жизнеспособности. Для исследования оригинального метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений была спроектирована и выполнена экспериментальная установка (Рис. 3), которая позволяет регулировать величину создаваемого зазора в пределах от 0,01 до 0,5 мм на сторону, осуществлять сборку при асимметричном положении собираемых деталей в пределах 0,5 мм, выполнять сборку при угле наклона собираемых деталей от 0 до 5°.

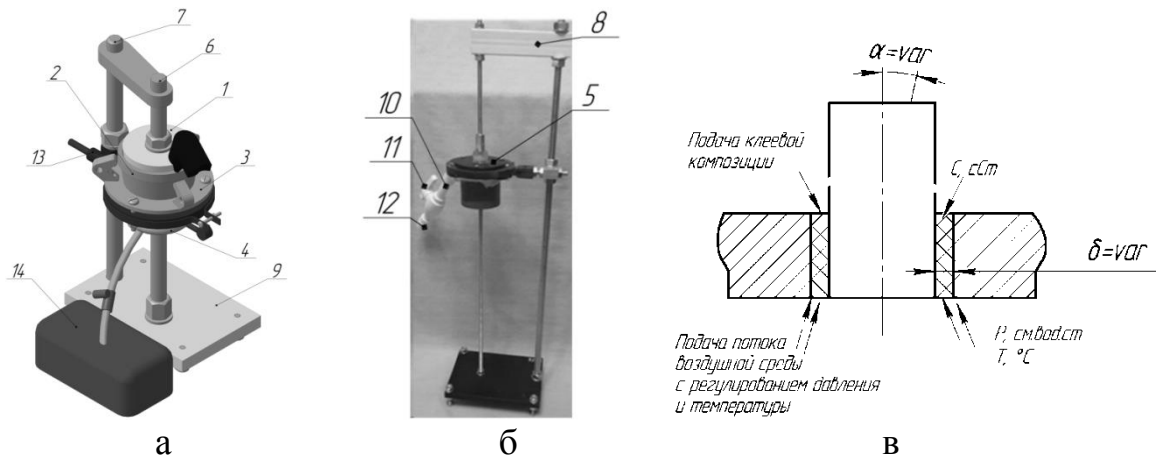


Рис. 3. а - Модель экспериментальной установки для подбора рекомендуемых режимов сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений: 1 – вал, 2 – стеклянная втулка, 3 - регулирующая оправка, 4 - насадка, 6 - направляющая Ø10мм, 7 - направляющая Ø12мм, 9 - основание, 13 - регулировочные винты, 14 – источник давления; б - конструкция экспериментальной установки: 5 - вкладыш, 8 - выверенная планка, 10 – мановакуумметр, 11- регулирующего вентиль, 12 – шланг, для подсоединения источника давления; в - иллюстрация нового метода сборки: С – вязкость клеевой композиции, Р - величина давления воздушной среды, Т – температура воздушной среды, δ- величина зазора, α – угол наклона деталей

В зону сборки посредством насадки поз. 4 от источника давления поз. 14 подается поток воздушной среды с параметрами различной величины. Регулирование величины потока осуществляется как с помощью самого устройства подачи поз. 14, так и посредством вентиля поз. 11, расположенного на входе насадки поз. 4. Величина давления считывается прибором мановакууметром поз. 10, установленным на входе насадки после вентиля. Втулка поз. 2 устанавливается во вкладыш поз. 5 на регулирующей оправке поз. 3 в требуемом положении. Вал поз. 1 закрепляется на направляющей (поз. 6) Ø 10мм соосно втулке поз. 2, задавая своим положением требуемую величину зазора, рассчитываемого геометрически. Благодаря конструкции регулирующей оправки поз. 3, можно изменять положение вала и втулки относительно друг друга, варьируя эксцентриситет и угол наклона деталей.

В создаваемый при сборке зазор подается клеевая композиция определенной вязкости. В ходе экспериментального исследования определяется

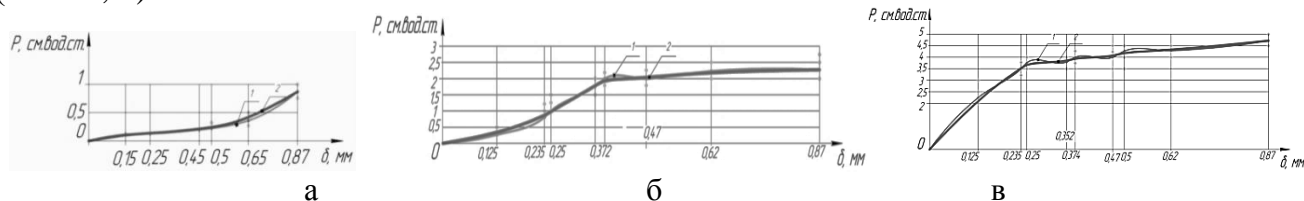
величина давления необходимая для удерживания клеевой композиции в соединении. В качестве критериев качественного заполнения клеем зазора сопряжения были выбраны пузырьки воздуха в массе клея, выпучивание клеевой композиции со стороны подачи клея, выдавливание со стороны подачи избыточного давления воздушной среды, неравномерные потоки при значительном эксцентриситете взаимного положения вала и втулки.

Подача в зону сборки потока воздушной среды, в котором регулируется давление и температура является отличительной особенностью метода. Такой прием позволяет предотвратить вытекание клея из зазора, обеспечить равномерность заполнения зазора в соединении, варьировать скоростью отверждения клеевой композиции. Предлагаемый метод не имеет ограничений по существующим клеевым композициям и позволяет использовать клеи различной вязкости. В случае применения многокомпонентных клеев, необходимо предварительное смешивание компонентов.

Подача клея в зону сборки предусматривает его нагнетание с избыточным давлением. Метод предусматривает возможность использования дозирующих устройств, что позволит повысить технико-экономические показатели нового метода сборки.

Эксперимент проводился в следующей последовательности: на оправку экспериментальной установки поз. 3 устанавливается прозрачная стеклянная втулка поз. 2, для возможности оценки заполняемости зазора. Вал поз. 1 устанавливается в отверстие втулки поз. 2, создавая требуемую величину зазора. Соосность вала относительно втулки обеспечивается выверенной планкой поз. 8. В образованный между соединениями зазор с помощью насадки поз. 4, снизу в зону сборки подается давление воздушного потока, а сверху в зону сборки подается клеевой материал определенной подгруппы вязкости. С помощью вентиля поз. 11 производится регулирование давления воздушной среды, а мановакуумметром поз. 10 контролируется его величина. Давление увеличивается до тех пор, пока клеевой материал не перестанет вытекать из соединения. Данные эксперимента получены при комнатной температуре 20°C. Величина зазора на сторону между соединяемыми деталями составляла: 0,125; 0,15; 0,176; 0,187; 0,235; 0,25; 0,293; 0,312; 0,352; 0,372; 0,382; 0,41; 0,45; 0,468; 0,47; 0,5; 0,62; 0,65; 0,744; 0,87; 1 мм, данные величины зазора определялись с помощью геометрических расчетов исходя из высоты подъема вала относительно втулки.

В результате экспериментального исследования получены следующие данные: 1) Для композиций вязкостью 20...300сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,15 до 0,87 мм лежат в пределах 19,6...81,4 Па. Для определения величины давления воздушной среды, при рассматриваемых зазорах, можно воспользоваться выведенной зависимостью: $P(\delta) = 2.1\delta^2 - 1.2\delta + 0.3$ (Рис. 4, а).



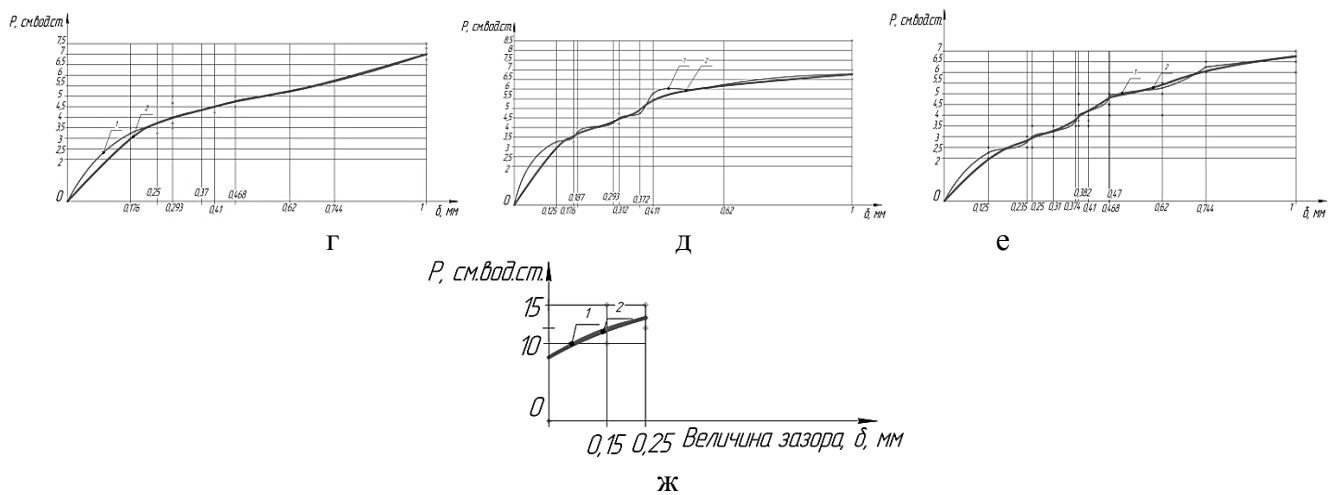


Рис. 4. Зависимость величины давления воздушного потока от создаваемого зазора для композиций вязкостью: а- от 20 до 300 сСт, б - от 300 до 1000 сСт, в - от 1000 до 1200 сСт, г - от 1200 до 1500 сСт, д - от 1500 до 2000 сСт, е - от 2000 до 2500 сСт, ж - от 2500 до 5000 сСт, 1- экспериментальный график, 2- аппроксимированный график

2) Для композиций вязкостью 300...1000сСт, рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,125 до 0,87 мм лежат в пределах 31,4...235,3 Па. Для определения величины давления воздушной среды, выведена зависимость: $P(\delta) = -5.9\delta^2 + 8.6\delta - 0.7$ (Рис. 4, б). 3) Для композиций вязкостью 1000...1200сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,125 до 0,87 мм лежат в пределах 237,8...470,7 Па. Для определения величины давления воздушной среды, получена зависимость: $P(\delta) = -4.7\delta^2 + 7.3\delta + 1.8$ (Рис. 4, в). 4) Для композиций вязкостью 1200...1500сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,176 до 1 мм лежат в пределах 316,2...688,4 Па. Для определения величины давления воздушной среды, выведена зависимость: $P(\delta) = -0.3\delta^2 + 4.6\delta + 2.6$ (Рис. 4, г). 5) Для композиций вязкостью 1500...2000сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,125 до 1 мм лежат в пределах 320,3...686,4 Па. Для определения величины давления воздушной среды, получена зависимость: $P(\delta) = -5.5\delta^2 + 10.4\delta + 1.9$ (Рис. 4, д). 6) Для композиций вязкостью 2000...2500сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,125 до 1 мм лежат в пределах 222,2...641,3 Па. Для определения величины давления воздушной среды, получена зависимость: $P(\delta) = -3.8\delta^2 + 9.9\delta + 0.8$ (Рис. 4, е). 7) Для композиций вязкостью 2500...5000сСт рекомендуемые режимы сборки при величинах зазоров от 0,15 до 0,25 мм лежат в пределах 1176,8...1340,5 Па. Для определения величины давления воздушной среды, выведена зависимость: $P(\delta) = 13.4\delta + 10$ (Рис. 4, ж).

Благодаря данным зависимостям, при известной величине зазора, можно определить рекомендуемую величину давления воздушной среды для каждой подгруппы вязкости. Погрешность сходимости данных не превышает 4,3%.

Создавая известные рекомендуемые режимы сборки, стало возможным проводить эксперимент для клеевой композиции любой вязкости и химической природы. Для проверки прочности получаемых по данному методу изделий были

изготовлены экспериментальные образцы из стали 45 с шероховатостью поверхностного слоя $Ra=2,5\text{мкм}$. Втулки изготовлены с одинаковым наружным размером $\text{Ø}55\text{H}14$ мм. Внутренний размер отверстия втулки $\text{Ø}38_{-0,05}$ мм. Для эксперимента изготовлено шесть валов из стали 45 таким образом, что в результате соединения с втулкой 1 вала, образуется зазор – 0,1мм, 2 вала – 0,2 мм, 3 вала – 0,3 мм, 4 вала – 0,4 мм, 5 вала – 0,5 мм, 6 вала – 0,7 мм. Длина сопряжения во всех образцах составляла 11мм.

Перед склеиванием поверхность каждого из образцов подвергалась обезжириванию ацетоном, а затем сушке в течение 15 минут. После сушки образцы закреплялись на экспериментальной установке. Эксперимент проводился при температуре окружающей среды $20\text{ }^\circ\text{C}$. Температура воздушного потока, подаваемого в зону сборки через насадку составляла $25\text{ }^\circ\text{C}$. Температура определялась с помощью спиртового технического термометра.

Эксперимент проводился в следующей последовательности: на оправку поз. 3 экспериментальной установки устанавливалась стальная втулка поз. 2, вал поз. 1 устанавливался в отверстие втулки, создавая требуемую величину зазора. Соосность вала относительно втулки обеспечивается выверенной планкой поз. 8, угол наклона втулки относительно вала выставляется 0° . В образованный между соединениями зазор с помощью насадки поз. 4, снизу в зону сборки подавалось известное давление воздушного потока 0,3...2,4 см.вод.ст, для композиций низкой вязкости 300...1000сСт.

После отверждения клея образцы подвергались испытанию на сдвиг на разрывной машине ИР 5143-200. По полученным данным была получена зависимость: $\sigma(\delta) = 2.8\delta^2 - 27.1\delta + 27.1$, отражающая взаимосвязь прочности на сдвиг от создаваемого зазора при рекомендуемых условиях сборки для клеевой композиции Loctite 638, график изображен на Рис. 5. Погрешность сходимости данных не превышает 1,98%.

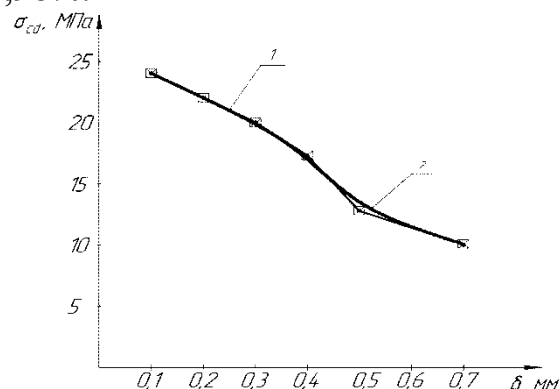


Рис. 5. Зависимость прочности на сдвиг клеевой анаэробной композиции Loctite 638 с вязкостью $\nu=250$ сСт от создаваемого зазора: 1- экспериментальный график, 2- аппроксимированный график

Исходя из полученных данных можно заключить, что прочность соединения напрямую зависит от зазора.

В четвертой главе назначены условия по внедрению метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений, разработаны варианты

исполнения рабочих органов установки, а также предложены пути сокращения времени выполнения технологического процесса сборки. Окончательно сформирована методика сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений.

Было выявлено, что в значительной мере на получение качественного клеевого соединения влияет неравномерность зазора в результате сложившегося эксцентриситета. Таким образом, для обеспечения экспериментально выявленных режимов сборки в рамках одного соединения при наличии эксцентриситета, необходимо обеспечить различные значения давления подаваемой воздушной среды и ее температуры. Такие условия привели к необходимости перехода к многосекционной конструкции насадки.

Было выработано два конструктивных решения для реализации многосекционной насадки: 1) конструкция с индивидуальным источником подачи воздушной среды (Рис. 6, а).

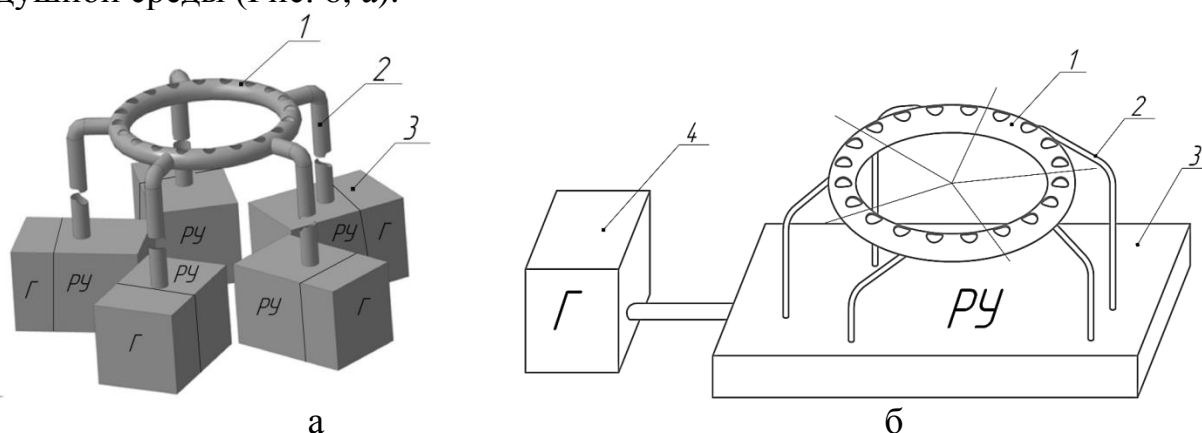


Рис. 6. Конструкция секционной насадки: а – с индивидуальными источниками подачи воздушной среды, б – с регулирующим устройством, 1 - насадка, 2 – трубопровод, 3 - регулирующее устройство, 4 - генератор подачи воздушной среды

2) Конструкция с регулирующим устройством (Рис. 6, б).

В результате проведенного исследования было выявлено, что при использовании клеевых композиций низкой вязкости, с образованием эксцентриситета при разнице зазоров от 12% необходимо прибегнуть к использованию шестисекционной насадки. При применении клеевых композиций средней и высокой вязкости, с образованием эксцентриситета при разнице зазоров от 12% достаточно использовать четырехсекционную насадку, а при разнице от 16% - шестисекционную насадку.

Для сокращения времени технологического процесса сборки было предложено внедрение в исполнительные органы рабочей установки нагревательных элементов в виде оребренных ТЭНов. В результате проведенного исследования было установлено, что такое конструктивное решение позволяет уменьшить трудоемкость выполнения операций не менее чем в 2 раза, а данная инновация становится рентабельной с 35 изделия в партии (Рис. 7).

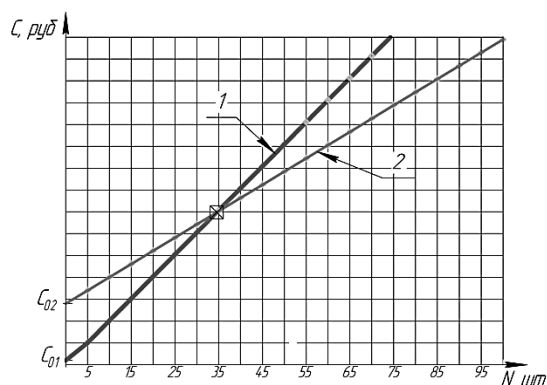


Рис. 7. Зависимость себестоимости изготовления продукции от годовой программы выпуска: 1 - при использовании рабочей установки без ТЭНа, 2 - при использовании рабочей установки с ТЭНом

Конечным результатом проведенного диссертационного исследования является разработанная методика оригинального метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений: 1) Подготовка поверхности под склеивание: а) физическая подготовка: визуальная проверка на наличие дефектов, удаление механических повреждений, обработка до шероховатости поверхности $Ra = 1,6 \dots 3,2 \mu\text{м}$; б) химическая подготовка: обезжиривание: тампоном, распылением, окунаем и т.д. 2) Выбор и приготовление клея: выбор клеевой композиции в соответствии с разработанной классификацией по показателю вязкости, смешивание многокомпонентных клеев по рекомендациям завода-производителя, подача клеевой композиции за время ее жизнеспособности. 3) Нанесение клея: выбор способа и устройства нанесения: а) при крупносерийном производстве (при использовании автоматических устройств нанесения и дозаторов): определить режима работы дозирующего устройства и расход клеевой композиции, произвести корректировку данных при подаче клея под давлением: $P_{\text{нов.}} = Q_{\text{выяв.}} + P_{\text{доп.}}$; б) при мелкосерийном производстве (при использовании форсунок, механических устройств нанесения) произвести расчет расхода клеевой композиции. 4) Монтаж соединения: а) сборка соединения на разработанной установке, в вертикальном положении с подачей рекомендуемых режимов сборки, б) выбор подхода для реализации технологического процесса сборки: в случае малогабаритных изделий (регулирование положения за счет вала) - сопряжение, заливка клеевой композиции, регулирование взаимного положения деталей; в случае крупногабаритных изделий (регулирование за счет корпусной детали) - сопряжение деталей, регулирование положения, заливка зазора клеем, в) подача рекомендуемых режимов сборки: 1) 20...300сСт - 19,6...81,4 Па ($P(\delta) = 2.1\delta^2 - 1.2\delta + 0.3$), 2) 300...1000сСт - 31,4...235,3 Па ($P(\delta) = -5.9\delta^2 + 8.6\delta - 0.7$), 3) 1000...1200сСт - 237,8...470,7 Па ($P(\delta) = -4.7\delta^2 + 7.3\delta + 1.8$), 4) 1200...1500сСт - 316,2...688,4 Па ($P(\delta) = -0.3\delta^2 + 4.6\delta + 2.6$), 5) 1500...2000сСт - 320,3...686,4 Па ($P(\delta) = -5.5\delta^2 + 10.4\delta + 1.9$), 6) 2000...2500сСт - 222,2...641,3 Па ($P(\delta) = -3.8\delta^2 + 9.9\delta + 0.8$), 7) 2500...5000сСт - 1176,8...1340,5 Па ($P(\delta) = 13.4\delta + 10$). 5) Отверждение клея: а) задание условий отверждения исходя из химической природы клея, б) использование многосекционной насадки в зависимости от величины

эксцентриситета, в) применение оребренных ТЭНов, для снижения трудоемкости сборки и увеличения скорости отверждения. б) Контроль качества соединения: а) для неответственных деталей производить контроль визуально или с помощью анализ по косвенным характеристикам: $\sigma(\delta) = 2.8 \delta^2 - 27.1 \delta + 27.1$, б) для ответственных деталей произвести неразрушающий контроль по косвенным факторам (пустоты, включения и т.д.) или разрушающий контроль на образце представителе с определением вида разрушения.

Общие выводы по диссертации

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований оригинального метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений выявлены рекомендуемые режимы, позволяющие управлять технологическим процессом сборки соединений с целью достижения требуемого качества сборки и снижения трудоемкости.

2. При проектировании технологического процесса сборки клеевых соединений рекомендуется применять шероховатость поверхностей сопряжения в пределах $Ra = 1,6 \dots 3,2$ мкм для хорошего заполнения зазора клеевой композицией.

3. При использовании клеевых композиций с вязкостью выше 2000 сСт, возможно использовать подогрев клеевой композиции для увеличения текучести клея. Температура подогрева определяется техническими характеристиками на клей, установленными заводами – производителями.

4. Разработана методика проектирования сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений, позволяющая обеспечить требуемое качество изделия в цеховых условиях.

5. Получены эмпирические зависимости, для выбора режима сборки клеевых соединений в рамках разработанного оригинального метода: $P(\delta) = a \cdot \delta^2 + b \delta + c$, где δ – величина зазора; a, b, c – коэффициенты, зависящие от условий выполнения соединения.

6. Установлено, что для клеевых композиций низкой вязкости при увеличении зазора от 0,125 до 0,87 мм, величина давления воздушной среды, для удерживания клея составляет 9,8...196 Па; для клеевых композиций средней вязкости в создаваемом зазоре, который изменяется от 0,125 до 1 мм, необходимо приложить величину давления воздушного потока 197...735,5 Па; для клеевых композиций высокой вязкости в создаваемом зазоре от 0,125 до 1мм, величина давления воздушного потока составляет 736...1471 Па.

7. Получена эмпирическая зависимость, для определения усилия на сдвиг в зависимости от создаваемого в сопряжении деталей зазора: $\sigma(\delta) = a \delta^2 + b \delta + c$, где δ – создаваемый в соединении зазор, a, b, c – коэффициенты, зависящие от химической природы клея, зазора в соединении и склеиваемых материалов.

8. Установлено, что внедрение оребренного ТЭНа в исполнительные органы установки для реализации оригинального метода сборки, позволяет снизить трудоемкость выполнения операций в 2 раза и является действенным решением для условий производства с годовой программой выпуска от 35 изделий в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Исследование инновационного метода сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. №6. С. 250 - 256. (1,15/0,8 п.л.)
2. Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Исследование технологического способа повышения качества сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. Эл. № ФС 77 – 48211. ISSN 1994-0408. № 6. <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/1305>. DOI: [10.7463/0617.0001305](https://doi.org/10.7463/0617.0001305) (1,96/1,05 п.л.)
3. Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Инновационный метод сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии: Тез. докл. II Межд. науч.-технич. конф. Н.Новгород. 2016. С. 121-123. (0,35/0,25 п.л.)
4. Игнатов А.В., Винокурова М.Э., Тагильцев С.В. Исследование технологического метода сборки цилиндрических клеевых соединений // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии: Тез. докл. IV Межд. науч. конф. Калининград. 2016. С. 88-90. (0,35/0,25 п.л.)
5. Игнатов А.В., Винокурова М.Э., Тагильцев С.В. Разработка инновационного метода сборки цилиндрических клеевых соединений // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: Тез. докл. II Межд. науч.-технич. конф. Курск. 2016. С. 201-205. (0,6/0,45 п.л.)
6. Игнатов А.В., Винокурова М.Э., Тагильцев С.В. Сборка регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Страна живет, пока работают заводы: Тез. докл. Межд. науч.-технич. конф. Курск. 2015. С. 72-76. (0,6/0,45 п.л.)
7. Игнатов А.В., Тагильцев С.В., Винокурова М.Э. Обработка отверстий сборочными расточными оправками // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: Тез. докл. II Межд. науч.-технич. конф. Курск. 2016. С. 193-197. (0,6/0,2 п.л.)
8. Игнатов А.В., Тагильцев С.В., Винокурова М.Э. Обработка отверстия расточными оправками с эффектами виброгашения // Страна живет, пока работают заводы: Тез. докл. Межд. науч.-технич. конф. Курск. 2015. С. 360-364. (0,6/0,2 п.л.)
9. Игнатов А.В., Тагильцев С.В., Винокурова М.Э. Растачивание отверстий с виброгасящими оправками // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии: Тез. докл. IV Межд. науч. конф. Калининград. 2016. С. 91-94. (0,46/0,15 п.л.)
10. Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Разработка оригинальной технологии сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии: Тез. докл. V Межд. науч. конф. Калининград. 2017. С. 71-73. (0,35/0,25 п.л.)