

УДК 621.792
На правах рукописи

ИГНАТОВ Алексей Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ГЕРМЕТИЗАЦИИ
РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМИ
МАТЕРИАЛАМИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва – 2003



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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Н.А. Ястребова

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
И.М. Буланов
кандидат технических наук, доцент
А.А. Батьков

Ведущая организация: ОАО "Центральный научно-исследовательский технологический институт", г. Москва

Защита диссертации состоится "19" ноября 2003 г. в "14³⁰" часов, на заседании диссертационного совета Д212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный просим отправлять по указанному адресу.

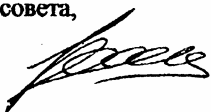
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок (095) 267-09-63.

Автореферат разослан "15" октября 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор

 А.С. Васильев



Подписано к печати "11" сентября 2003 г.

Заказ № 124 г

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Сокращение сроков, уменьшение трудоемкости, себестоимости сборки соединений с прокладками и повышение качества герметизации является важным условием технического прогресса в машиностроении. Особое значение эта проблема приобретает в условиях единичного и серийного производства, характеризующихся большой номенклатурой, малыми партиями на каждый типоразмер прокладок, частой сменой объекта сборки. Использование традиционных твердых прокладок требует применения дорогостоящего оборудования, высокой квалификации рабочих, точности и качества выполнения соединений, высокой трудоемкости обработки, технического обслуживания и ремонта. Одним из решений указанных задач является применение адгезивов.

Условно все применяемые адгезивные материалы можно разделить на термореактивные и термопластичные. Термореактивные адгезивы при отверждении переходят в необратимое нерастворимое и неплавкое состояние. Термопластичные адгезивы после образования соединения сохраняют способность к повторному применению под воздействием температуры.

Герметизация соединений с помощью адгезивов имеет ряд несомненных преимуществ. Только адгезивы способны заполнить все микронеровности на поверхности контакта герметизируемого стыка, устраняя тем самым возможность утечки герметизируемой среды по неплотностям прилегания уплотнения. Адгезивные уплотнения обладают способностью вибро- и шумопоглощения. В отличие от большинства традиционных твердых прокладок (резина, фибра, паронит, фторопласт, металл и др.), адгезивные прокладки можно наносить в режиме безотходного производства. Адгезивные уплотнения можно наносить непосредственно на месте сборки с низкой трудоемкостью процесса и не тратя средства на их транспортировку и хранение.

В настоящее время, еще мало изучены возможности различных адгезивных материалов для создания герметичных разъемных соединений.

Цель работы. Технологическое обеспечение качества герметизации разъемных соединений с термопластичной адгезивной прокладкой путем назначения эффективных условий их изготовления.

Методы исследования. При выполнении работы использовались научные основы технологии машиностроения, теория упругости материалов, методы математической статистики, метод конечных элементов. Аналитические зависимости получены при обработке экспериментальных данных с помощью стандартных компьютерных программ. Разработка математических моделей производилась с использованием метода наименьших квадратов, метода сеточного поиска экстремума функции многих переменных, метода планирования эксперимента и других элементов высшей математики.

Научная новизна работы заключается в выявлении механизма герметизации разъемных соединений с термопластичной прокладкой при условии заполнения макро- и микронеровностей поверхностного слоя материала стыка расплавленным термопластичным адгезивом с одной стороны прокладки, а с другой стороны – устранение путей утечки деформированием термопластичной прокладки в отвержденном состоянии. Определены аналитические зависимости уровня герметизации от величины контактного давления и качества поверхности стыка.

Выявлены закономерности выполнения и управления разработанным методом герметизации разъемных соединений термопластичными материалами для газовой и жидкой герметизируемой среды при различных профилях прокладки.

Установлено влияние внешних воздействий (температура и скорость нанесения) на качество формирования термопластичной прокладки по разъемному стыку в безотходном режиме.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработан новый метод герметизации разъемных соединений с термопластичными прокладками.

2. Предложена методика обеспечения качественной герметизации разъемных соединений с неконтактирующими фланцами и термопластичной прокладкой с учетом выбора марки термопластичного адгезива, действующего на прокладку контактного давления, метода и качества обработки поверхностей разъемного стыка, профиля прокладки и режимов ее нанесения.

3. Представлены конструкторско-технологические рекомендации по обеспечению качества герметичных разъемных соединений с термопластичной прокладкой.

4. Выработаны рекомендации по определению экономической целесообразности применения термопластичной прокладки по сравнению с традиционной твердой, на основе анализа балансовой стоимости и себестоимости производства прокладок.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана; международном научно-техническом семинаре "Современные методы сборки в машиностроении и приборостроении", г. Свалява (Украина), 2001 г.; международной научно-технической конференции "Современные технологии, материалы, машины и оборудование", г. Могилев (Беларусь), 2002 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 174 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, выводов по главам и общих выводов. Содержит 57 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 110 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования и разработки метода герметизации разъемных соединений термопластичными материалами в машиностроении, дана характеристика направленности работы и ее научная новизна.

В первой главе проанализированы конструкции уплотнений и методы герметизации разъемных соединений в машиностроении. Показана актуальность герметизации адгезивами при сравнении с традиционными твердыми прокладками. Рассмотрены технологические методы формирования адгезивных прокладок и методы технологического формирования разъемных адгезивных соединений. Сформулированы цель работы и задачи исследования.

Адгезивы (клеи и герметики) давно и активно применяются при герметизации соединений. Это обусловлено рядом их преимуществ: не образуют гальванические пары, не вызывают рекристаллизацию материалов, блокируют коррозию, обладают способностью к шумо- и вибропоглощению, имеют меньшую массу и габариты (чем традиционные твердые прокладки), обладают независимостью адгезионных и когезионных характеристик от габаритов соединения, способны заполнять все микро- и макронеровности поверхности. Траектория нанесения адгезивной прокладки может быть произвольной.

Опыт применения адгезивов позволил выработать общий технологический процесс сборки соединений, который независимо от сочетаний склеиваемых материалов и применяемого адгезива включает шесть основных этапов:

1. Подготовка поверхностей под нанесение адгезива.
2. Выбор и приготовление адгезива.
3. Нанесение адгезива.
4. Монтаж соединения.
5. Отверждение адгезива.
6. Контроль качества соединения.

В настоящее время, мало изучены возможности различных адгезивов для создания герметичных разъемных соединений. Термореактивные адгезивы давно применяются для герметизации неразъемных соединений. Термопластичные – занимают около 5% от промышленного применения адгезивов и их свойства в области герметизации мало изучены.

Адгезионные явления лежат на стыке многих классических наук — физики, химии, механики. Создание и работу адгезивных соединений изучали многие зарубежные и отечественные ученые — Волькерсен О., Голанд М., Кейгл И., Шилдз Д., Ковачич Л., Фрейдин А.С, Кардашов Д.А., Петрова А.П., Батизат В.П. Вопросам герметизации полимерными материалами посвящены работы Пинчука Л.С., Неверова А.С., Макушкина А.П. и других.

Разгерметизация соединения происходит в результате появления критических зон под действием рабочего давления, внешних сил и моментов.

Рекомендуется применять адгезивы, обладающие упруго-эластичными характеристиками. Герметизация разъемных соединений с термопластичной прокладкой — безотходный процесс, который может быть технологически обеспечен тремя методами: копирования, трафаретной печати, тиснения.

Для обеспечения разборности соединений рекомендуется использовать методы: разрушения, использования разделительных сред и специальных технологий.

Для технологического обеспечения качественной герметизации разъемных соединений с термопластичной прокладкой необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить закономерности формирования термопластичной адгезивной прокладки и механизма герметизации разъемных соединений.
2. Определить физические закономерности и построить математическую модель процесса герметизации разъемного соединения с термопластичной прокладкой.
3. Разработать и исследовать технологический процесс сборки герметичных разъемных соединений с термопластичной прокладкой.
4. Разработать методику технологического обеспечения качества герметизации разъемного соединения с термопластичной прокладкой на основе математической модели.

Во второй главе проведено теоретическое исследование и разработка процесса герметизации разъемных соединений с термопластичной прокладкой.

Полимерные материалы в наибольшей мере отвечают требованиям, предъявляемым к герметизирующим материалам в контактных уплотнениях. Полимеры — химически стойкие, непроницаемые для многих сред, самосмазывающиеся материалы. По деформационно-прочностным характеристикам и степени проявления вязко-упругости они занимают промежуточное положение между жидкостью и твердым телом. В равновесном состоянии полимеры однородны и изотропны. Разборные конструкции, применяемые в машиностроении, предъявляют свои требования к прокладкам: точность соединения по высоте, тиксотропные свойства, упруго-пластичные характеристики. Материал прокладки должен отвечать требованию непрерывности и равномерности шва по всей траектории нанесения.

При герметизации низкого и среднего избыточного давления в машиностроении, в настоящее время, наиболее применимы несколько групп адгезивов. К ним относятся анаэробные адгезивы, тиоколовые герметики, адгезивы на основе силоксановых каучуков и бутилкаучука, а так же термопластичные клеи-расплавы. В результате проведенного анализа наиболее пригодными для герметизирующих прокладок разъемных соединений признаны термопластичные материалы. В качестве материалов-представителей выбраны масло- бензостойкие термопластичные адгезивы: КРП-Л (ТУ6-06-187-91), СТЕК (ТУ21-5744710-48-92).

Показано, что механизм герметизации разъемных соединений с термопластичными прокладками состоит из трех стадий, которые отличаются друг от друга по характеру и количеству микроканалов утечки герметизируемой среды, их геометрическим соотношениям, деформационному состоянию уплотнительной системы. При переходе от одной стадии к другой изменяется и режим течения герметизируемой среды по микроканалам утечки.

Первая стадия характеризуется малыми значениями контактного давления. В уплотнительной системе происходят упругие деформации всех элементов герметизируемого соединения. Сближение поверхностей происходит на уровне самых больших микровыступов высотой примерно равной R_z , образуется система впадин и капилляров произвольной формы. Для упрощения расчетов эти каналы утечки можно рассматривать как плоские щели высотой $(R_z - \varepsilon R_z)$, где ε — относительное сжатие материала прокладки под действием контактного давления, создаваемого силой затяжки болтов.

Основная герметизация стыка происходит на второй стадии. Контактное давление второй стадии значительно превосходит по величине контактное давление первой. Здесь происходит полное перекрытие микронеровностей поверхности фланца в материал прокладки происходит в зоне упруго-пластических деформаций последней. Не перекрытыми остаются только макродефекты поверхности — риски, трещины, раковины и т.п.

На третьей стадии происходит заполнение дефектов поверхности (риски, царапины). Размеры дефектов превышают размеры регулярных микронеровностей, причем дефекты располагаются совершенно случайно. На этой стадии материал термопластичной прокладки входит в зону пластических деформаций. Это вызывает, в том числе, развитие трещин в прокладке.

В результате того, что термопластичную прокладку формируют непосредственно на поверхности разъемного соединения, установлено, что применение адгезивной термопластичной прокладки позволяет уменьшить количество опасных зон утечки до одной. Это значительно снижает риск разгерметизации соединения, в том числе из-за дефектов поверхности фланцев и попадания в зону герметизации инородных тел (рис. 1).

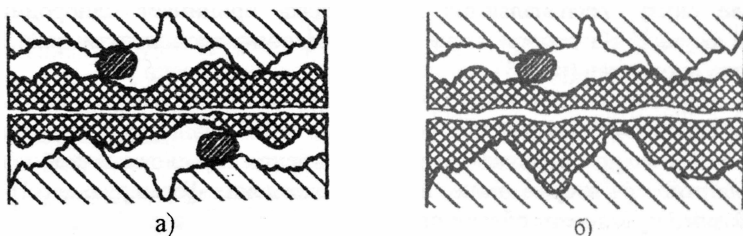


Рис. 1. Заполнение шероховатости поверхностного слоя герметизирующими прокладками: а) традиционной; б) термопластичной

Рассмотренные в работе методики расчета герметичных соединений с прокладками не позволяют провести расчет для соединения с термопластичной прокладкой из-за отличий в стадиях герметизации, физико-механическом состоянии и поведении материала под действием давления.

При разработке технологического процесса нанесения и формирования термопластичной прокладки необходимо учесть ряд особенностей, вызванных применением адгезивного материала. Для уменьшения числа каналов утечки необходимо воспользоваться адгезивными способностями и сформировать прокладку непосредственно на одной из поверхностей герметизируемого соединения. В этом случае наиболее полно используются возможности адгезива по заполнению микронеровностей поверхности. При анализе существующих методов нанесения адгезивных уплотнений установлено, что наиболее эффективным является метод копирования.

При разработке технологического процесса необходимо обеспечить равномерный по геометрическим параметрам профиль прокладки по всей траектории нанесения. Сложность возникает из-за того, что под действием температуры термопласт размягчается и теряет заранее приданный ему внешний вид, его профиль растекается. В тоже время, при нагреве ниже температуры расплавления, он не сможет заполнить микрорельеф поверхности, и адгезионные связи с поверхностью будут слабыми. Исследование, разработка и апробация различных технологических процессов по нанесению и формированию термопластичной прокладки для обеспечения заданного соединения позволили сформировать требуемый технологический процесс. Процесс можно разбить на два этапа: нанесение термопластичной прокладки с заданными габаритными размерами сечения равномерно по всей траектории (рис. 2) и формирование окончательного профиля прокладки (рис. 3).

Суть разработанной технологии сводится к следующему. На заданную траекторию нанесения подается пруток из термопластичного адгезива. Одновременно с передвижением по траектории нанесения происходит параллельное расплавление объема термопластичного адгезива, и прогрев поверхности под нанесение прокладки струей горячего воздуха (рис. 2). На втором этапе нагретый формирующий ролик разогревает термопластичный адгезив сверху. Все твердые включения, которые могли, не расплавятся на первом этапе при нагреве снизу, расплавляются и прокладка принимает однородный по структуре вид. На втором этапе можно сформировать практически любой профиль прокладки (рис. 3).

Разработанный технологический процесс позволяет сократить цикл сборки герметичных разборных соединений в 2–5 раз. Применение вентиляторов значительно сокращает время отверждения термопластичной прокладки. Для этого на втором этапе, после прохождения формирующего ролика, необходимо произвести обдув поверхности прокладки струей холодного воздуха. Как показали эксперименты, достаточно, если это будет струя воздуха комнатной температуры (не выше 20–25 °С).

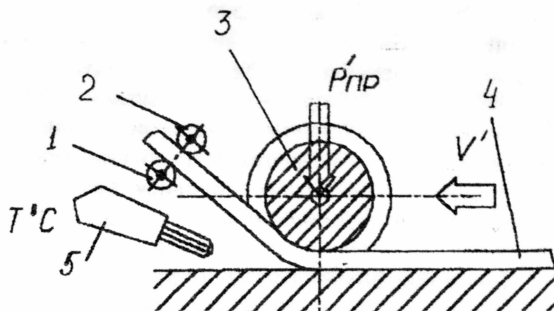


Рис. 2. Нанесение термопластичной прокладки: 1 – прижимной ролик; 2 – подающий ролик; 3 – формирующий ролик; 4 – нанесенный термопластичный адгезив; 5 – сопло подачи горячего воздуха

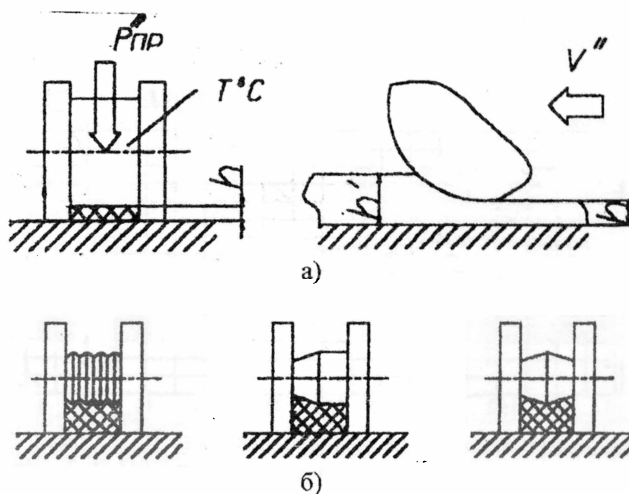


Рис. 3. Формирование профиля термопластичной прокладки: а) формирование плоской прокладки; б) примеры профилей прокладок

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процесса герметизации разъемных соединений с термопластичной прокладкой.

Исследование физико-механических характеристик термопластичной прокладки показало, что модуль упругости адгезивов марок КРП-Л и СТЕК зависит от изменения объема адгезива, что соответствует зоне упруго-пластических деформаций в области применения прокладок.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что допустимое контактное давление в стыке на адгезив марки СТЕК сравнимо с однородной по составу резиной (18 МПа), но с увеличением объема прокладки допустимое контактное давление уменьшается. На всей исследуемой области адгезив КРП-Л по контактному давлению превосходит резину.

Графики допустимых контактных давлений на термопластичную прокладку, построенные в зависимости от элементарного объема сечения прокладки, представлены на рисунке 4. Аналитические зависимости могут быть представлены в следующем виде для термопластичного клея КРП-Л:

$$[q]=-0,000128V^2+0,0427V+39,864$$

для термопластичного клея СТЕК:

$$[q]=-0,000079V^2+0,0346V+21,585$$

где V – объем образца; $[q]$ – допустимое контактное давление на термопластичную прокладку.

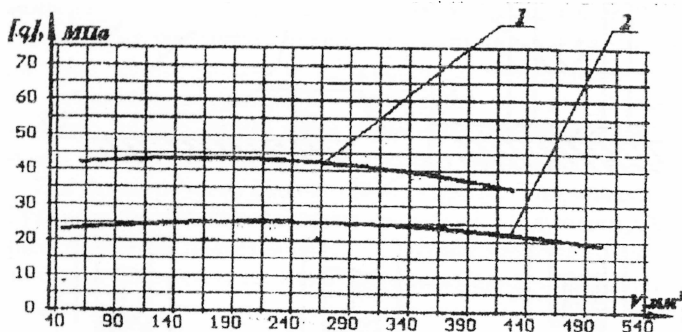


Рис. 4. График зависимости контактного давления $[q]$ от объема образца V для термопластичных адгезивов: 1 - марки КРП-Л; 2 - марки СТЕК

Из представленных зависимостей видно, что лучшие прочностные и упругие характеристики у адгезива марки КРП-Л по сравнению со СТЕК. Для больших габаритов сечения прокладки и для больших контактных давлений на нее следует предпочесть термопластичный адгезив КРП-Л.

В результате проведенных экспериментальных исследований определен прокладочный коэффициент. Прокладочный коэффициент один из важных показателей прокладок из различных материалов. Любая прокладка имеет свой прокладочный коэффициент. Он зависит от комплекса свойств и характеристик конкретного материала в данной герметизируемой среде. При

герметизации масляной среды для термопластичного адгезива марки СТЕК прокладочный коэффициент - $m=2,2$, а для адгезива марки КРП-Л — $m=6,5$. При герметизации воздушной среды для обоих материалов $m=1,3$.

Качество поверхностного слоя элементов герметизируемого соединения оказывает сильное влияние на уровень герметизации. От шероховатости, наличия и формы макро- и микронеровностей зависит как будет происходить процесс герметизации. Анализ механизма герметизации показывает, что наличие третьей стадии герметизации зависит от качества обработки поверхностей стыка. Потенциальными путями утечки герметизируемой среды, являются шероховатость поверхности, волнистость и случайные дефекты после механической обработки. Необходимо определить их влияние, форму и величину, дающие наиболее высокие значения уровня герметизации.

Заполнение термопластичным адгезивом микронеровностей можно увидеть на рис. 5, где представлены фотографии через окуляр микроскопа, отображающие заполнение адгезивом шероховатости $Rz=80$ (рис. 5, а). Здесь металл сверху, а адгезив снизу. Заполнение такой большой шероховатости происходит в зоне упруго-пластических деформаций термопластичной прокладки. При заполнении микрорельефа, оставшегося после обработки торцевым фрезерованием с шероховатостью $Ra=1,6$ (рис. 5, б) адгезив (снизу) заполнив микронеровности поверхности не был подвергнут сильной деформации, как в предыдущем случае.

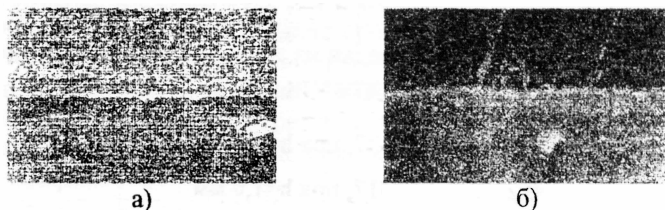


Рис. 5. Заполнение шероховатости поверхности разъемного соединения:

- а) полученного методом цилиндрического фрезерования, термопластичной прокладкой толщиной 1,5 мм из адгезива марки СТЕК
- б) полученного методом торцевого фрезерования, термопластичной прокладкой толщиной 1,5 мм из адгезива марки СТЕК

После обработки экспериментальных результатов исследования герметизации воздушной среды получены аналитические зависимости контактного давления q (МПа) от шероховатости поверхности Ra (мкм), для термопластичной прокладки высотой h (мм) из адгезива марки СТЕК, после ее обработки торцевым фрезерованием

$$q=0,0022Ra+0,3329, \text{ при } h=0,5 \text{ мм}$$

$$q=0,0005Ra+0,2365, \text{ при } h=1,0 \text{ мм}$$

$$q=0,0002Ra+0,0923, \text{ при } h=1,5 \text{ мм}$$

при обработке поверхности цилиндрическим фрезерованием

$$q=-0,0035Ra+4,3025, \text{ при } h=0,5 \text{ мм}$$

$$q=0,0025Ra+3,2956, \text{ при } h=1,0 \text{ мм}$$

$$q=0,0065Ra+2,7465, \text{ при } h=1,5 \text{ мм}$$

Заполнение адгезивом марки СТЕК волнистости (мкм) поверхности, полученной при ее обработке торцевым фрезерованием характеризуется уравнениями

$$q=0,0216 Ra + 4,8873, \text{ при } h=0,5 \text{ мм}$$

$$q=0,0247 Ra + 3,7842, \text{ при } h=1,0 \text{ мм}$$

$$q=0,0291 Ra + 3,5557, \text{ при } h=1,5 \text{ мм}$$

Для термопластичной прокладки из адгезива марки КРП-Л, после обработки поверхности сопряжения торцевым фрезерованием

$$q=0,1058Ra+3,8327, \text{ при } h=1,5 \text{ мм}$$

$$q=0,2883Ra+3,3417, \text{ при } h=1,0 \text{ мм}$$

$$q=0,0519Ra+10,137, \text{ при } h=0,5 \text{ мм}$$

Зависимость давления масляной среды p (МПа) от шероховатости поверхности разъемного стыка, обработанного методом точения, при герметизации термопластичной прокладкой из адгезива марки СТЕК высотой 0,5 мм:

$$p = -0,0217Ra^2 + 0,4297Ra + 5,5138, \text{ при } q=7,8 \text{ МПа}$$

$$p = -0,0333Ra^2 + 0,5741Ra + 3,3197, \text{ при } q=5,2 \text{ МПа}$$

$$p = -0,0216Ra^2 + 0,3888Ra + 1,742, \text{ при } q=2,6 \text{ МПа}$$

Анализ полученных выражений показывает зависимость величины контактного давления от высоты прокладки, которую рекомендуется выполнять от 0,5 до 1,5 мм. Наибольший уровень герметизации соединения обес-

печивает метод точения сопрягаемой поверхности, несколько хуже метод торцового фрезерования, а также цилиндрического фрезерования.

Определение эффективных условий сборки герметичных соединений с термопластичной прокладкой позволило получить аналитические зависимости скорости нанесения прокладки (V_n) из адгезива марки КРП-Л от температуры нанесения (T) при герметизации воздушной среды

$$V_n = 0,003T - 1,2$$

для прокладки из адгезива марки СТЕК

$$V_n = 10^{-5} T^2 - 0,003T + 0,9,$$

где V_n - скорость нанесения (мм/с); T - температура нанесения струей горячего воздуха ($^{\circ}\text{C}$).

Определена температура поверхности нанесения прокладки при температуре струи горячего воздуха равной 200 $^{\circ}\text{C}$, 300 $^{\circ}\text{C}$, 400 $^{\circ}\text{C}$, 500 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$. Для стали 40X поверхность нагревается соответственно на 44 $^{\circ}\text{C}$, 64 $^{\circ}\text{C}$, 88 $^{\circ}\text{C}$, 112 $^{\circ}\text{C}$, 131 $^{\circ}\text{C}$. Для материала Д16 получены значения: 42 $^{\circ}\text{C}$, 63 $^{\circ}\text{C}$, 81 $^{\circ}\text{C}$, 102 $^{\circ}\text{C}$, 120 $^{\circ}\text{C}$. Для практики рекомендуется использовать коэффициенты перевода к температуре нагрева поверхности нанесения от температуры струи горячего воздуха: для стали - 4,5; для алюминиевых сплавов - 4,9.

Формирование окончательного профиля прокладки осуществляется на втором этапе разработанного технологического процесса нагретым роликом. Получены аналитические зависимости формирования профиля прокладки в рекомендуемом диапазоне температур:

для адгезива марки СТЕК при температуре формирования окончательного профиля $T^{\circ}\text{C}$

$$V''_{\max} = -1,4857 h + 3,9143 \text{ (при } T = 208^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\min} = -1,4857 h + 3,8143 \text{ (при } T = 208^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\max} = -1,0857 h + 2,9143 \text{ (при } T = 193^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\min} = -1,0857 h + 2,8143 \text{ (при } T = 193^{\circ}\text{C)}$$

для адгезива марки КРП-Л при температуре формирования окончательного профиля $T^{\circ}\text{C}$

$$V''_{\max} = -0,2571 h + 0,8429 \text{ (при } T = 208^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\min} = -0,2571 h + 0,7429 \text{ (при } T = 208^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\max} = -0,2 \text{ h} + 0,6 \text{ (при } T = 193 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$

$$V''_{\min} = -0,2 \text{ h} + 0,6 \text{ (при } T = 193 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$

где $V''_{\max}$ – наибольшая скорость формирования окончательного профиля прокладки при данной температуре (см/с); $V''_{\min}$ – наименьшая скорость формирования (см/с); h – высота прокладки (мм).

При определении закономерностей процесса герметизации жидкой среды (машинного масла) термопластичными прокладками, был проведен многофакторный эксперимент, позволивший создать на экспериментальной базе методику расчета герметичных разъемных соединений. В процессе проведения эксперимента варьировались высота прокладки, метод обработки поверхностей разъемного стыка (обработка точением и торцевым фрезерованием), шероховатость поверхности и контактное давление на прокладку. Математическое моделирование проведено в четвертой главе данной работы.

В рамках описываемого эксперимента было проведено исследование влияния профиля прокладки на уровень герметизации, который можно повысить изменением профиля термопластичной прокладки. Например, при значении контактного давления до 5,2 МПа прокладка с “трехзубым” профилем обеспечивает уровень герметичности более чем на 40% превышающий уровень герметичности плоской прокладки (рис. 6). Для оценки ожидаемого уровня герметизации разъемного соединения рекомендуется использовать коэффициент профиля термопластичной прокладки:

$$k^q_{\text{прф}} = p_{\text{сл}} / p_{\text{пл}}$$

где $p_{\text{сл}}$ – рабочее давление среды, герметизируемое сложнопрофильной прокладкой; $p_{\text{пл}}$ – рабочее давление среды, герметизируемое плоской прокладкой.

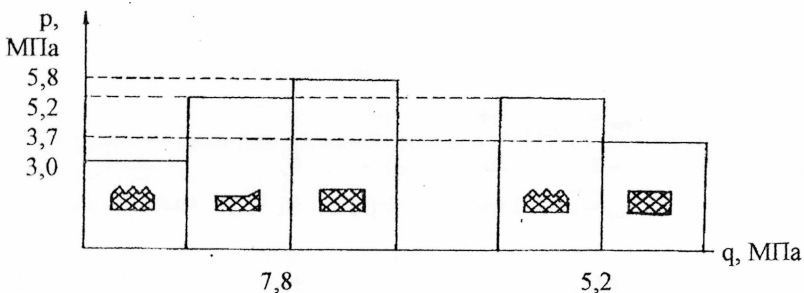


Рис. 6. Диаграмма зависимости герметизируемого давления масляной среды от профиля термопластичной прокладки из адгезива марки СТЕК под действием контактного давления 5,2 и 7,8 МПа, при герметизации разъемного стыка, обработанного методом торцевого фрезерования с шероховатостью поверхности $Ra\ 3,36$

Результаты исследования показали, что, изменяя лишь профиль термопластичной прокладки, можно увеличить уровень герметичности изделия. Такой способностью не обладают традиционные твердые прокладки. Для изменения профиля прокладки достаточно сменить формирующий ролик, что не несет дополнительных капиталовложений в оборудование.

В четвертой главе получены математические модели процесса герметизации жидкой среды в разъемных соединениях термопластичными прокладками для стыков, обработанных методом точения:

$$p = 0,944 R_a^{0,101} q^{0,939}$$

Для стыков, обработанных методом фрезерования:

$$p = 40,905 e^{\left(-\frac{9,018}{R_a} + 0,318 R_a \right)} q^{0,888}$$

где p – давление среды (МПа), q – контактное давление (МПа), R_a – шероховатость поверхности разъемного стыка (мкм).

Проанализированы различные варианты нанесения термопластичной прокладки и разработаны конструкторско-технологические рекомендации, позволяющие обеспечить заданное качество и повысить уровень герметизации соединения путем выбора эффективных условий их изготовления (метод обработки разъемных поверхностей, их шероховатость, величины контактного давления, высота прокладки) и конструкции соединения.

Разработана методика проектирования технологического процесса герметизации разъемных соединений с термопластичными прокладками, состоящая из следующих этапов:

1. Выбор материала термопластичной прокладки.
2. Определение физико-механических характеристик материала.
3. Определение показателей качества поверхностного слоя разъемного стыка, и выбор метода его обработки.
4. Определение показателей качества поверхности под нанесение термопластичной прокладки, и выбор метода ее обработки.
5. Определение режимов нанесения и формирования термопластичной прокладки в разъемном соединении.
6. Определение уровня герметичности соединения с помощью математической модели процесса и определения коэффициента профиля прокладки.

Технико-экономическое исследование изготовления герметичных соединений с термопластичной и паронитовой прокладками показало экономическую целесообразность применения термопластичных материалов в герметичных разъемных соединениях.

На рис. 7 показан график изменения удельной себестоимости герметичного соединения, приходящейся на одно изделие. Из графика видно значительное превышение удельной себестоимости паронитовой прокладки над термопластичной при малых партиях заказа. Для партий выпуска изделий одного типоразмера от 50 до 300 штук разница по себестоимости отличается в 11 раз. Такое большое отличие происходит из-за большей трудоемкости, а следовательно и себестоимости сборки и обработки поверхности герметизируемого стыка в случае применения паронитовой прокладки. Отсюда вывод, применение термопластичных герметизирующих прокладок для партий менее 300 штук одного типоразмера значительно выгоднее, чем традиционных твердых прокладок. Эта тенденция сохраняется и при больших партиях выпуска, но в меньшей степени.

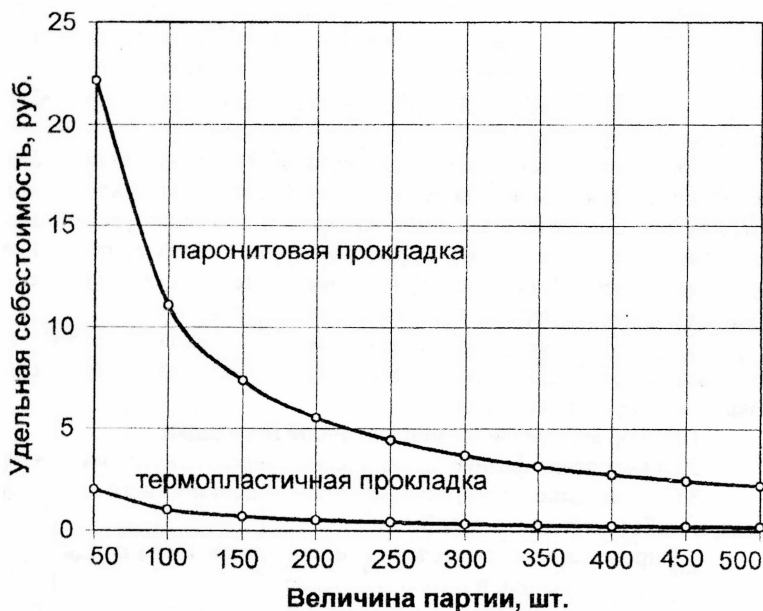


Рис. 7. Влияние величины партии изготовления на себестоимость герметичного соединения

Общие выводы и рекомендации

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований метода герметизации разъемных соединений выявлены физические закономерности формирования и механизм герметизации термопластичной прокладки.

2. Для получения герметичного разъемного соединения заданного качества рекомендуется термопластичные прокладки формировать в два этапа непосредственно по поверхности стыка в безотходном режиме. Использование направленного потока воздуха (не выше 20-25 °С) в зону нанесения прокладки сокращает время отверждения адгезива от 2,5-5 часов до 5-30 мин.

3. При проектировании процесса сборки разъемных соединений с термопластичной прокладкой следует применять разработанные математические модели в системах технологической подготовки производства.

4. Полученные закономерности нанесения и формирования профиля термопластичной прокладки позволили разработать инженерную методику назначения рациональных режимов сборки соединений заданного качества.

5. Для обеспечения качественной герметизации разъемного соединения рекомендуется выполнять толщину герметизирующих прокладок из термопластичного адгезива от 0,5 мм до 1,5 мм, шероховатость поверхности под нанесение адгезива в пределах $Ra=1,6...20$ мкм, а шероховатость ответной поверхности, сопрягаемой с отвержденным адгезивом — $Ra=3...4$ мкм. Для исключения перегрева и возникновения областей с непрочными адгезивными связями термопластичный клей марки КРП-Л следует наносить на поверхность при температуре струи воздуха 500...600 °С, при скоростях нанесения от 0,3 до 0,6 мм/с соответственно. Адгезив СТЕК – при температуре 200...600 °С, при скоростях нанесения от 0,5 до 3 мм/с.

6. Формирование окончательного профиля прокладки рекомендуется проводить в диапазоне температур от 193 °С до 208 °С, при силе прижима ролика к поверхности, не превышающей 30 Н. Скорости формирования в зависимости от высоты прокладки и температуры находятся в пределах от 0,1 до 0,7 см/с для адгезива КРП-Л, и в пределах от 0,7 до 3,2 см/с для СТЕК.

7. Применение термопластичных герметизирующих прокладок при партии выпуска изделий менее 300 штук дает снижение себестоимости изготовления соединений в 11 раз по сравнению с традиционными прокладками.

8. Промышленная реализация разработанного метода герметизации в плоских неподвижных разъемных соединениях показала его экономичность, универсальность и сокращение времени технологического процесса изготовления и сборки уплотнений, например при сборке агрегатов коробки передач и двигателя автомобилей ЗИЛ-131 и КамАЗ-4310 – с 24 часов до 5 – 30 мин. Предложенная технология может быть использована в любых температурно-климатических режимах на открытых площадках.

9. Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс для обучения студентов 4-6 курсов технологических и конструкторских специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Бойцов Ю.И., Игнатов А.В., Килимник Т.В. Влияние технологических факторов на герметичность плоских соединений с адгезивными прокладками // Технология металлов. - 2001. — №8. — С. 22-25.
2. Игнатов А.В. Актуальность использования адгезивных материалов для герметизации узлов //Современные методы сборки в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. международного научно-технического семинара. – Свалява (Украина), 2001. – С. 28-30.
3. Игнатов А.В. Виды уплотнений и методы герметизации плоских стыков в машиностроении // Технология металлов. – 1999. – № 9. – С. 19-24.
4. Игнатов А.В. Поэтапное формирование качества клеевого соединения металлов // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2002. – № 9. – С. 17-22.
5. Игнатов А.В. Применение адгезивных материалов при герметизации плоских стыков в машиностроении //Современные технологии, материалы, машины и оборудование: Тез. докл. международной научно-технической конференции. – Могилев (Беларусь), 2002. – С. 60-61.
6. Игнатов А.В. Формирование технологического процесса сборки клеевого соединения // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2000. – № 2. – С. 24-27.
7. Игнатов А.В., Бойцов Ю.И., Килимник Т.В. Герметизация неподвижных соединений с термопластичной прокладкой // Технология металлов. – 2001. — №2. — С. 30-32.
8. Килимник Т.В., Игнатов А.В., Бойцов Ю.И. Математическая модель сборки герметичного стыка с адгезивным уплотнением // Технология металлов. – 2001. — №3. — С. 17-20.
9. Пат. 2198741 (РФ). Способ нанесения клеевого слоя на поверхность детали и установка для его осуществления / А.В. Игнатов // Изобретения. – 2003. – № 5.