

УДК 621.792.02

Обоснование выбора способа подготовки поверхности перед нанесением анаэробного герметика»

Кононенко Александр Сергеевич^(*)

as-kononenko@yandex.ru

SPIN-код: 9768-3916

Нотфуллин Ильдар Фаридович

ildarnot@mail.ru

SPIN-код: 7238-0886

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние методов очистки поверхности (токарная обработка с обезжириванием, волоконный лазер) на адгезию анаэробного герметика к алюминиевому сплаву. Представлены результаты испытаний адгезионной прочности и анализа характера разрушения образцов. Показано, что подготовка волоконным лазером обеспечивает максимальную прочность (11 МПа), что на 57 % выше результата после механической обработки (7 МПа). Установлено, что очистка волоконным лазером значительно повышает адгезионную прочность, эффективно удаляет застывший герметик и может применяться как рекомендуемый метод подготовки поверхности алюминиевых фланцев вместо традиционных способов.

Ключевые слова: фланцевые соединения, анаэробные герметики, лазерная обработка, шероховатость поверхности, адгезионная прочность, когезионное разрушение

Justification of the choice of the method of surface preparation before application of anaerobic sealant

Kononenko Alexander Sergeevich^(*)

as-kononenko@yandex.ru

SPIN-code: 9768-3916

Notfullin Ildar Faridovich

ildarnot@mail.ru

SPIN-code: 7238-0886

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The influence of surface cleaning methods (turning with degreasing, fiber laser) is considered the adhesion of an anaerobic sealant to an aluminum alloy. The results of tests of adhesive strength and analysis of the fracture pattern of the samples are presented. It is shown that fiber laser treatment provides maximum strength (11 MPa), which is 57 % higher than the result after mechanical treatment (7 MPa). It has been found that fiber laser cleaning significantly increases the adhesive strength, effectively removes the hardened sealant and can be used as a recommended method of surface preparation of aluminum flanges instead of traditional methods.

Keywords: flange joints, anaerobic sealants, laser treatment, surface roughness, adhesive strength, cohesive failure

Введение. Фланцевые соединения корпусных деталей являются важными элементами автомобилей, некачественное конструирование, изготовление и сборка которых могут привести к утечкам рабочих сред, экономическим потерям и экологическим рискам [1–3]. Традиционные методы герметизации с использованием прокладок из традиционных материалов (мягких металлов, паронита, картона, фибры, резины) требуют высокого контактного давления, точной геометрии поверхностей и обладают ограниченной стойкостью к температурным перепадам [4], более того, такие прокладки следует изготавливать под конкретную форму фланцевого соединения. Альтернативой выступают анаэробные герметики, позволяющие минимизировать зазор между фланцами, способные заполнять микронеровности и обеспечивать требуемую герметичность при минимальном контактном давлении [5, 6]. Эффективность их применения напрямую зависит от материала сопрягаемых деталей, температуры окружающей среды, размера зазора между сопрягаемыми деталями и подготовки склеиваемой поверхности. Подготовка поверхности обычно включает в себя очистку и обработку поверхности шкуркой, обезжиривание (с помощью обезжиривателей, например, Нефраса) и высушивание от остатков обезжиривателя. Загрязнения, низкая шероховатость или некачественная обработка замедляют полимеризацию и снижают адгезию.

После разборки фланцевого соединения требуется очистка фланцевой поверхности от остатков анаэробного герметика с поверхности фланца. Обычно для этого используют химический и механический методы. Однако данные методы имеют существенные недостатки: химический метод не удаляет весь анаэробный герметик, а механический метод требует демонтажа очищаемой детали, либо изоляции места очистки.

Для подготовки поверхности перед нанесением герметика возможно использовать очистку с помощью лазера [7]. Наиболее часто для этих целей используются механический и лазерный способы очистки. Поэтому в данной статье рассматривается влияние этих способов подготовки поверхности перед нанесением герметика на адгезию анаэробного состава.

Материалы и методы. В качестве образцов в соответствии с ГОСТ 14760-69 были использованы цилиндры из алюминиевого сплава Д16Т диаметром 25 мм и высотой 25 мм. Образцы изготавливались на токарно-винторезном станке, на их поверхности после соответствующей подготовки наносился герметик, происходила герметизация, далее производился разрыв образцов, из-за чего на поверхности образцов оставался герметик в полимеризованном состоянии. В качестве герметизирующего состава использовался анаэробный герметик «Анатерм-508» (производитель НИИ ПОЛИМЕРОВ, Россия).

Во время подготовки поверхности требовалось удалить остатки застывшего герметика и подготовить поверхность перед последующим нанесением герметика. Способы очистки и подготовки поверхности:

- токарная обработка с последующим обезжириванием;
- лазерная очистка волоконным лазером.

Токарная обработка образцов проводилась на токарно-винторезном станке Калашников 250ИТВМ.Ф1 без подачи СОЖ на одинаковых режимах резания для получения одинаковой шероховатости. При механической обработке образцов герметик удалялся. После токарной обработки образцы обезжиривались с помощью обезжиривателя Нефрас (ГОСТ 8505-80).

Лазерная очистка волоконным лазером проводилась на волоконном лазерном гравере SharpMark Fiber GT. Режим обработки в программе SharpLase: мощность 60 Вт; шаг сканирования 40–60 мкм; направление — двунаправленное; продолжительность импульса 150 нс; «Маркир» (мощность 100 %, скорость 2000 мм/с, частота 50 кГц); «Чистка» (мощность 60 %, скорость 2200 мм/с, частота 80 кГц). За счет обработки лазером выжигалась поверхность под герметиком (лазер проходил насквозь), остатки герметика удалялись пинцетом, в случае наличия нагара проводилась повторная обработка на режиме «Чистка». Дальнейшее обезжиривание и очистка не производились.

Замер шероховатости образцов проводился по торцевой поверхности — от оси к периферии образца с помощью мобильного прибора для измерения шероховатости MarSurf PS 10. Прибор и половинки образца устанавливались в кондуктор для снижения влияния позиционирования образца относительно прибора. Базовая длина L_t составляла 1,5 мм.

На подготовленную поверхность половины образца для имитации зазора насыпалось небольшое количество стеклянных шариков $\varnothing 0,1\text{--}0,2$ мм [8], далее на ту же половину наносился герметик. После этого устанавливалась вторая половина образца, производилось центрирование половин образцов с помощью призм, для равномерного распределения верхняя половина образца проворачивалась относительно нижней, а также производилось поджатие верхней половины образца к нижней, для выдавливания излишков состава из зазора между образцами.

Полимеризация герметика между образцами производилась в течение 110 часов в сухом отапливаемом помещении при температуре 25 °С.

Разрыв образцов производился на разрывной машине УТС-Р-250-0,5. Устанавливался режим: растяжение в соответствии с ГОСТ 1497, рабочая скорость 10 м/с, предварительная нагрузка 200 Н. Данные по разрушению образцов записывались в виде точек на графике «перемещение, мм — усилие, Н». По зафиксированным максимальным усилиям рассчитывали разрушающие напряжения.

Результаты и их обсуждение. Результаты по измерению шероховатости и средних значениях разрушающих напряжений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты влияния вида обработки на значение разрушающих напряжений

Вид обработки	R_a , мкм	Среднее значение разрушающих напряжений, МПа
Волоконный лазер	3,5	11
Токарная обработка + обезжиривание	0,5	7

По результатам первого эксперимента было сделано предположение о влиянии шероховатости на значение максимальных разрушающих напряжений, поэтому был проведен дополнительный эксперимент. Результаты по измерению шероховатости и средних значениях разрушающих напряжений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты влияния шероховатости и вида обработки на значение разрушающих напряжений

Вид обработки	Ra , мкм	Среднее значение разрушающих напряжений, МПа
Волоконный лазер	2,7	9
Волоконный лазер	5,3	9
Токарная обработка + обезжиривание	2,5	3
Токарная обработка + обезжиривание	5,2	5

Обработка на волоконном лазере позволила повысить максимальные разрушающие напряжения по сравнению с точением и обезжириванием на 57 %. Было сделано предположение, что данный прирост мог быть связан с повышением шероховатости с $Ra = 0,5$ мкм (после точения) до $Ra = 3,5$ мкм (после волоконного лазера). Для исключения данного фактора была произведена подготовка поверхностей с получением шероховатости соответственно около $Ra = 2,5$ и $Ra = 5,2$ мкм методами токарной обработки с последующей обработкой на волоконном лазере. В итоге подготовка поверхности лазером показала лучший результат, чем стандартный метод подготовки с помощью точения и обезжиривания. Данный эффект можно связать с повышением поверхностной энергии после подготовки лазером [9, 10]. Существуют исследования, подтверждающие эффективность лазерной подготовки поверхности для повышения поверхностной энергии материала [10].

Волоконный лазер позволяет очистить поверхность от герметика, однако требует дополнительной операции — удаления пленки этого герметика с помощью пинцета. Характер разрушения образцов после подготовки поверхности волоконным лазером — когезионный, это свидетельствует о том, что в соединении металл-полимер-металл самым слабым звеном является сам полимер, а не место адгезии полимера к металлу. Когезионный характер разрушения считается наиболее подходящим при герметизации.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что подготовка поверхности с помощью волоконного лазера позволяет отчищать поверхность от застывшего герметика и повысить адгезионную прочность анаэробных герметиков. Поэтому в случае пониженной адгезии анаэробного герметика к алюминиевым деталям из Д16Т рекомендуется подготавливать поверхность с помощью волоконного лазера.

Закключение. Таким образом, анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы.

Очистка поверхности образцов из алюминиевого сплава Д16Т с помощью волоконного лазера продемонстрировала значительное преимущество перед традиционной токарной обработкой с последующим обезжириванием, обеспечив на 57 % более высокую адгезионную прочность герметика к сплаву Д16Т (11 МПа против 7 МПа) и вызвав более предпочтительный когезионный характер разрушения.

На повышение адгезии анаэробных составов к герметизируемой поверхности наибольшее влияние оказывает вид обработки, а не шероховатость этой поверхности.

Список источников

- [1] Глущенко А.А. *Эксплуатация автомобилей и тракторов*. Ульяновск, УлГУ, 2019, 280 с.
- [2] Кононенко А.С., Нотфуллин И.Ф. Теоретическое обоснование применения уплотнительных элементов для обеспечения герметичности фланцевых соединений. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2025, № 1 (369), с. 40–45.
- [3] Кондаков Л.А., Голубев А.И., Овандер В.Б. и др. *Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник*. Москва, Машиностроение, 1986, 464 с.
- [4] Кононенко А.С., Кильдеев Т.А., Соловьева А.А. Особенности восстановления шпиндельных валов металлорежущих станков полимерными материалами и нанокompозициями на их основе. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 2018, № 10, с. 3–8.
- [5] Пинчук Л.С. *Герметизирующие полимерные материалы*. Москва, Машиностроение, 1995, 159 с.
- [6] Пучин Е.А., Лисунов Е.А., Чепурин А.В. *Надежность технических систем*. Москва, Издательство КолосС, 2010, 318 с.
- [7] Moritz W., Doraciak P., Römling L., Scheffler T., Lampke T., Hennin F. Monitoring laser cleaning for enhanced adhesion of FIPG silicone adhesive in automotive industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2025, no. 138, art. no. 103938. <http://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.103938>
- [8] Randall Holmes-Farley S., Minichelli J.L. The mechanism of cure initiation of a surface-activated adhesive. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1991, no. 5 (5), pp. 409–420. <https://doi.org/10.1163/156856191X00468>
- [9] Petrie E.M. *Handbook of Adhesives and Seals*. New York. McGraw-Hill, 1999, 765 p.
- [10] Narbon J.J., Moreno-Díaz C., Arenas J.M. Influence of surface treatment on the surface energy of an aluminium substrate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, vol. 560, pp. 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.09.010>