

УДК 621.792.02

Оценка эффективности волоконного и CO₂ -лазеров при очистке поверхностей фланцев от 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. Рассмотрена проблема очистки фланцевых поверхностей от анаэробного герметика с использованием лазерных технологий. Приведены результаты сравнения эффективности очистки CO₂-лазером и волоконным лазером на алюминиевых образцах из сплава Д16Т по показателю прочности сцепления нового слоя герметика. Результаты экспериментов показали, что обработка CO₂-лазером приводит к значительному снижению адгезии (до 1 МПа), в то время как волоконный лазер обеспечивает максимальные разрушающие напряжения (до 11 МПа), полностью соответствующее требованиям технических условий. Отмечено, что оба способа требуют принудительного отвода продуктов горения из зоны воздействия лазера, а CO₂-лазерное выжигание оправдано для удаления непотерпевших остатков герметика с последующей доочисткой. Полученные данные демонстрируют перспективность применения для очистки поверхностей от остатков герметиков волоконных лазеров, обеспечивающих герметичность фланцевых соединений без использования химических и механических методов.

Ключевые слова: фланцевые соединения, анаэробные герметики, лазерная обработка, очистка поверхности, адгезионная прочность

Evaluation of the effectiveness of fiber and CO₂ lasers in cleaning flange surfaces from 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 issue of cleaning flange surfaces from anaerobic sealants using laser technologies is considered. The results of comparison of the efficiency of cleaning with a CO₂ laser and a fiber laser on aluminum samples of D16T alloy in terms of the adhesion strength of a new sealant layer are presented. The experimental results showed that CO₂ laser treatment leads to a significant decrease in adhesion (up to 1 MPa), while the fiber laser provides maximum destructive stresses (up to 11 MPa), fully complying with the requirements of technical conditions. It is noted that both outputs require the necessary materials to remove combustion products from the laser impact zone, and CO₂ laser burning is

justified for removing uninsulated polymer particles of the sealant with an after-treatment unit. The obtained data demonstrate high promise for using fiber lasers for cleaning surfaces from sealant residues, ensuring the tightness of flange joints without using chemical and mechanical methods.

Keywords: *flange joints, anaerobic sealants, laser treatment, surface cleaning, adhesion strength*

Введение. На долговечность и эффективность использования машин и оборудования значительное влияние оказывает герметичность фланцевых соединений. Потери рабочих сред в автомобилях из-за недостаточной герметичности фланцевых соединений достигают 30 %. Повышение герметичности уплотнений способствует снижению экономических потерь, экологических рисков, расхода герметизируемых материалов и увеличению ресурса деталей [1–3]. Для герметизации фланцевых соединений используют анаэробные герметики. Они позволяют минимизировать зазор между фланцами, способны заполнять микронеровности и обеспечивать требуемую герметичность при минимальном контактном давлении [4, 5]. Одним из недостатков анаэробных герметиков является сложность демонтажа застывшего состава с фланцевой поверхности.

Подготовка поверхностей фланцев является неотъемлемой частью технологического процесса герметизации фланцевых соединений. Как правило, после разборки фланцевого соединения герметизируемые поверхности очищают от остатков анаэробного герметика с помощью механической обработки поверхности, а также химическим или термическим методами [6]. Однако механический метод требует демонтажа очищаемой детали, либо изоляции места очистки; при нагреве в анаэробных герметиках происходят процессы деструкции при 250–300 °C [7], а химический метод лишь размягчает, но не удаляет весь анаэробный состав.

Лазерные способы хорошо показывают себя при очистке поверхностей от загрязнений [8]. Наиболее часто для этих целей используются волоконные лазеры и СО₂-лазеры. Поэтому в данной статье рассмотрена возможность использования этих способов для очистки от застывшего анаэробного герметика и их влияние на адгезию анаэробного уплотнителя.

Материалы и методы. Для оценки качества очистки поверхности от анаэробного герметика измеряли адгезию вновь нанесенного состава, поскольку его прочность сцепления (максимальные разрушающие напряжения) напрямую отражают эффективность очистки. Образцы: в соответствии с ГОСТ 14760-69 цилиндры из Д16Т (Ø 25 мм, высота 25 мм).

Методика испытаний включала несколько этапов.

1. Очистка поверхности от застывшего герметика выбранным методом (СО₂-лазером или волоконным лазером).

2. Нанесение анаэробного герметика («Анатерм-508», НИИ Полимеров, Россия).

3. Полимеризация герметика.

4. Проведение испытания на разрыв.

После разрыва на поверхности образца остается слой полимеризованного герметика.

Лазерная очистка анаэробного герметика с помощью CO_2 -лазера проводилась на CO_2 лазерном станке для гравирования и резки. За счет обработки лазером анаэробный герметик выжигался с поверхности (рис. 1). Дальнейшее обезжиривание и очистка не производились.



Рис. 1. Выжигание герметика с поверхности образца

Лазерная очистка волоконным лазером проводилась на волоконном лазерном гравере SharpMark Fiber GT. За счет обработки лазером выжигалась поверхность под герметиком (лазер проходил насквозь, рис. 2), остатки герметика удалялись пинцетом, в случае наличия нагара проводилась повторная обработка. Дальнейшее обезжиривание и очистка не производились.



Рис. 2. Выжигание алюминия с поверхности образца

На очищенной поверхности одной из половин образца для имитации зазора равномерно распределяли стеклянные шарики $\varnothing 0,1\text{--}0,2$ мм [9], после чего на эту поверхность наносили герметик и устанавливали вторую половину образца. После полной полимеризации герметика в течение 110 часов при комнатной температуре производили разрыв образцов на разрывной машине УТС112-50. По максимальным усилиям рассчитывали разрушающие напряжения.

Результаты и их обсуждение. Результаты по значениям разрушающих напряжений представлены в таблице.

Результаты влияния вида обработки на значение разрушающих напряжений

Вид обработки	Среднее значение разрушающих напряжений, МПа
СО ₂ -лазер	1
Волоконный лазер	11

В соответствии с ТУ 20.16.53-621-33947252-2019, изм. 1, 2 на анаэробный герметик «Анатерм-508», предел прочности отвержденного материала через 24 часа (что считается полным отверждением) при отрыве может варьироваться от 6 до 12 МПа. СО₂-лазерное выжигание привело к резкому снижению прочности (1 МПа), что скорее всего связано с накоплением остатков продуктов горения на поверхности алюминиевого образца. Однако данный метод подготовки поверхности отлично подходит для очистки от остатков герметика, если часть герметика на поверхности не полимеризовалась. Волоконный лазер позволяет очистить поверхность от герметика, однако требует удаления отслоившейся пленки герметика с помощью пинцета или скребка. В обоих случаях требуется производить отвод продуктов горения от зоны работы лазера. В случае наличия неполимеризовавшейся части герметика можно произвести обработку СО₂-лазером с последующей обработкой с помощью волоконного лазера.

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

Очистка поверхности образцов из Д16Т от анаэробного герметика с помощью волоконного лазера продемонстрировала высокую эффективность, обеспечив нормальные разрушающие напряжения 11 МПа, что полностью соответствует требованиям технических условий (6–12 МПа). Напротив, очистка СО₂-лазером привела к крайне низкой адгезии (1 МПа), неприемлемой для практического применения.

СО₂-лазер может быть полезен для удаления неполимеризовавшихся остатков герметика. Однако требуется дальнейшее удаление нагара с помощью волоконного лазера.

Оба метода лазерной очистки требуют эффективного отвода продуктов горения из рабочей зоны.

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] Пинчук Л.С. *Герметизирующие полимерные материалы*. Москва, Машиностроение, 1995, 159 с.
- [5] Пучин Е.А., Лисунов Е.А., Чепурин А.В. *Надежность технических систем*. Москва, Изд-во КолосС, 2010, 318 с.
- [6] *Химический способ удаления анаэробного герметика*. URL: https://www.henkel-adhesives.com/ee/en/product/general-industrial-cleaners/loctite_sf_7200.html (дата обращения 12.06.2025).
- [7] *High-temperature resistant anaerobic locking glue and preparation method thereof*. CN102604547A, 2012.
- [8] Zhou Z., Sun W., Wu J., Chen H., Zhang F., Wang S. The Fundamental Mechanisms of Laser Cleaning Technology and Its Typical Applications in Industry. *Processes*, 2023, vol. 11, art. no. 1445. <https://doi.org/10.3390/pr11051445>
- [9] 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>