

**УДК 621.9.048.7**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 304**

Милана Владимировна Лобанова<sup>(1)</sup>, Дмитрий Игоревич Кирин<sup>(1)</sup>, Никита Игоревич Родимкин<sup>(2)</sup>, Александр Евгеньевич Шупенёв<sup>(3)</sup>

*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, аспирант 1 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана (МГТУ им.  
Н.Э.Баумана)*

*Научный руководитель<sup>(3)</sup>: А.Е. Шупенёв,  
Кандидат технических наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Лазерные технологии в  
машиностроении"*

Нержавеющая сталь AISI 304 широко применяется в медицинском приборостроении, микроэлектронике и аэрокосмической промышленности благодаря своей коррозионной стойкости и механической прочности. Однако традиционные методы механической и лазерной обработки с использованием длительных импульсов приводят к образованию зоны термического влияния, расплавлению материала, образованию грата и микротрещин, что снижает качество и точность изделий [1]. Фемтосекундная лазерная абляция позволяет минимизировать тепловые эффекты за счет сверхкороткой длительности импульсов, однако для достижения воспроизводимых результатов необходимо точное определение пороговых режимов обработки. Ключевой проблемой является отсутствие надежных методик определения порогового флюенса абляции для конкретного материала с учетом его физико-химических свойств и параметров лазерного излучения.

В эксперименте использовалась нержавеющая сталь AISI 304, которая характеризуется высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью. Образцы представляли собой пластины толщиной 1 мм. Экспериментальные исследования проводились на фемтосекундном лазерном комплексе ТЕТА-10 (ООО «Авеста-проект», Россия), предназначенном для прецизионной обработки материалов и проведения медико-биологических экспериментов. Лазерный комплекс реализует схему усиления чирпированных импульсов на иттербиевой активной среде, обеспечивая формирование ультракоротких лазерных импульсов с регулируемыми энергетическими и временными характеристиками [2].

В ходе экспериментальных исследований на образцах нержавеющей стали AISI 304 проводилось лазерное воздействие при различных значениях мощности излучения. Для каждого режима измерялся диаметр образовавшегося кратера с помощью оптического микроскопа. Полученные данные показали, что при мощности 0,1 Вт абляция отсутствует, поскольку диаметр кратера равен 0. При увеличении мощности до 0,3 Вт впервые зафиксировано образование кратера диаметром 23,22 мкм. Дальнейшее повышение мощности до 3 Вт приводит к закономерному увеличению диаметра кратера до 72,49 мкм. Результаты эксперимента показали, что в исследованном диапазоне режимов начало формирования кратера наблюдается при мощности 0,3 Вт.

Дополнительно было исследовано влияние количества импульсов, наносимых в одну точку, на характер абляционного воздействия. Для этого была взята мощность 0,2 Вт, которая ниже порогового значения. На поверхность образца наносилось большое количество импульсов, однако видимых следов абляции зафиксировано не было [3]. Это подтверждает, что при мощности ниже порога абляции даже многократное воздействие не приводит к удалению материала. Далее была выбрана мощность 0,4 Вт, которая превышает пороговое значение и обеспечивает стабильную абляцию. В первой серии экспериментов в одну точку последовательно подавалось 60 000 импульсов. Во второй серии экспериментов в одну точку наносилось 10 000 импульсов, и эта процедура повторялась шесть раз на одном и том же участке. Данные режимы позволяют сравнить однократное длительное облучение с дробным воздействием при одинаковой суммарной дозе. В ходе эксперимента было установлено, что при мощности выше пороговой абляция наблюдается уже после первого воздействия [4]. При дробном воздействии абляция была визуально зафиксирована уже после первого прохода. Таким образом, при исследованных режимах определяющим фактором является уровень энергии отдельного импульсного воздействия, тогда как увеличение числа импульсов влияет прежде всего на развитие уже начавшегося процесса удаления материала.

В ходе эксперимента также установлены зависимости диаметра кратеров от плотности энергии лазерного излучения. Данные зависимости позволяют проследить, как изменение плотности энергии влияет на геометрические размеры зоны абляции, что является важным параметром для понимания физических процессов, происходящих при взаимодействии фемтосекундных импульсов с поверхностью нержавеющей стали. Полученные результаты могут быть использованы при выборе и оптимизации режимов прецизионной лазерной обработки нержавеющей стали AISI 304.

## Литература

1. Григорьяни, А. Г. *Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьяни, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюрлов ; под ред. А. Г. Григорьянца. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 663 с. : ил. — ISBN 5-7038-2701-*
2. *Koechner, W. Solid-State Laser Engineering / W. Koechner. — 6th rev. and updated ed. — New York : Springer, 2006. — 747 p.*
3. *Liu, J. M. Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes / J. M. Liu // Optics Letters. — 1982. — Vol. 7, No. 5. — P. 196–198.*
4. *Garcia-Lechuga, M. Simple and robust method for determination of laser fluence thresholds for material modifications: an extension of Liu's approach to imperfect beams / M. Garcia-Lechuga, D. Grojo // Open Research Europe. — 2021. — Vol. 1, No. 7. — P. 1–25. — DOI: 10.12688/openreseurope.13073.2.*