

## КОРРЕКТИРОВАНИЕ ФОРМЫ КАНАЛОВ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРУЕМОЙ ПЛАЗМОЙ

Елизавета Александровна Баландина<sup>(1)</sup>, Михаил Михайлович Чунаев<sup>(2)</sup>

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>, бакалавр 2 года<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерная физика и технология»*

*ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия имени В.А.Дегтярева»*

*Научный руководитель: М.Н. Ериков<sup>(1)</sup>, С.А. Солохин<sup>(2)</sup>*

*доцент кафедры «Лазерной физики и технологии»<sup>(1)</sup>,*

*кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Лазерной физики и технологии»<sup>(2)</sup>*

Сегодня технология лазерного сверления конструкционных материалов достаточно широко востребована и находит практическое приложение во многих отраслях науки техники [1-2]. Изделия с использованием глубоких каналов диаметром в несколько десятков микрон активно применяются в опто- и микроэлектронике, авиастроении, а также других наукоемких высокотехнологичных отраслях современной промышленности. Однако существенным недостатком лазерной технологии остается конусность обрабатываемых отверстий, что, во многом связано, со спецификой формирования профиля светового пучка фокусирующей системой, особенностями распространения луча в глубоком капилляре, а также рядом других факторов.

В современном производстве устранить конусность и добиться высокой степени цилиндричности боковых стенок каналов удается для образцов малых толщин (обычно не более 1-2 мм), что существенно сдерживает внедрение и активное использование лазерной технологии. Однако, как показывает практика, технологические недостатки обработки удается минимизировать при управлении процессами лазерной генерации и оптимизации параметров луча.

Так, ранее уже был предложен метод формирования сверхглубоких каналов хорошего технологического качества в различных, в том числе твердых и жаропрочных материалах, при адаптированном управлении режимом генерации лазера в процессе воздействия на обрабатываемую мишень [3]. При этом были показаны возможности увеличения глубины и уменьшения времени формирования канала отверстия при подавлении плазменной экранировки, увеличении скорости фронта разрушения и обеспечении выноса материала на каждом временном этапе формирования глубокого канала. Использование специального пассивного лазерного затвора на кристалле  $\text{LiF:F}_2^-$  с переменным начальным пропусканием позволяло плавно и в широких пределах изменять энергетические и временные параметры выходного излучения (энергию импульсов, их длительность и частоту повторения) лазера [4]. В настоящей работе с использованием данной методики управления модуляцией излучения лазера отработаны технологические приемы по повышению качества сверления глубоких каналов в образцах из различных конструкционных материалов.

Суть работы заключается в реализации такого режима работы лазера, при котором внутри уже просверленного канала специально инициируется лазерно-индуцируемая плазма. При этом управление процессом лазерной генерации обеспечивает перемещение области локализации плазмы по оси канала, что позволяет использовать ее в качестве рабочего инструмента для корректирования профиля формируемого канала.

Экспериментальная часть работы выполнялась с использованием мощного одномодового петлевого ИАГ:Nd-лазера с самообращением волнового фронта и пассивной модуляцией добротности [5]. Управление режимом генерации осуществлялось с помощью изменения оптического пропускания пассивного лазерного затвора. В качестве обрабатываемых материалов использовались сталь, алюминий, а также твердые тугоплавкие материалы – никелевый сплав Inconel 718 и керамики:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , AlN и SiC.

При проведении исследований на этапе окончания процесса сверления сквозного отверстия в образце специально инициировалась лазерно-индуцируемая плазма путем уменьшения оптического пропускания пассивного лазерного затвора. При этом уменьшение пропускания позволяло смещать область локализации плазменного факела вверх ко входу в канал, а при увеличении пропускания – вперед по ходу пучка. Такое периодическое изменение пропускания затвора позволяло контролируемо увеличивать диаметр отверстия в месте локализации плазмы и обеспечить финишную чистовую корректировку формы канала. При выполнении работы были получены полностью цилиндрические отверстия диаметром 300 мкм и глубиной 7 мм в детали «лопатка турбины», выполненном из никелевого сплава Inconel 718. Эксперименты с использованием керамических материалов  $Al_2O_3$ , AlN и SiC позволили получить цилиндрические каналы глубиной до 3 мм и диаметром 80–300 мкм.

Таким образом, исследованный в работе метод инициирования лазерно-индуцируемой плазмы внутри просверленного канала с ее последующим многократным перемещением по оси глубокого канала позволил существенно минимизировать, а в ряде случаев, полностью устранить конусность геометрической формы каналов и получить цилиндрические отверстия глубиной до 10 мм и диаметром 80–300 мкм в различных конструкционных материалах.

### **Литература**

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. М., Машиностроение, 1985.
2. Токарев В.Н. Квантовая электроника, 36, 624 (2006).
3. Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Осико В.В. и др. Квантовая электроника, 37, 99 (2007).
4. Басиев Т.Т., Федин А.В., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н. Известия АН. Серия физическая, 9, 1909 (1999).
5. Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Сметанин С.Н., Федин А.В. ДАН, 408, 614 (2006) [Doklady Physics, 51, 296 (2006)].