

УДК 621.375.826

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1064 НМ В ЛАМИНАРНУЮ СТРУЮ ВОДЫ**Дубровин Глеб Николаевич<sup>(1)</sup>*Аспирант 1 курса<sup>(1)</sup>**кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.В. Богданов,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Технология комбинированной гидролазерной резки известна уже более 30 лет. Лазерный луч распространяется до обрабатываемой детали в струе воды на основе полного внутреннего отражения подобно распространению по волокну. Как только струя воды в стабильном диапазоне сталкивается с заготовкой излучение поглощается материалом. Получающееся в результате тепло плавит и испаряет зону абляции.

Технология гидролазерной резки позволяет обрабатывать: полупроводники, металлы, керамики, алмазы и композитные материалы. Особенность метода в целом ряде преимуществ: высокое качество поверхности реза без грата, параллельные стенки реза без зоны термического влияния, отсутствие компенсации положения фокуса, возможность резки под углом. На площадке НТО «ИРЭ-Полус» был создан лабораторный стенд для отработки технологии гидролазерной резки.

При вводе излучения в струю положение перетяжки луча лазера относительно сопла может повлиять на потери средней мощности. Известны различные подходы к вводу излучения для волоконных квазинепрерывных лазеров мультикиловатного диапазона мощности (длина волны 1064 нм) и наносекундных импульсных лазеров с длиной волны 532 нм [1]. В данной работе исследуется влияние положения перетяжки на эффективность ввода в струю для различных волоконных лазеров: квазинепрерывного, наносекундного, короткого наносекундного и одномодового источника.

Эксперименты показали, что средняя мощность излучения уменьшается по длине струи: часть мощности поглощается водой и поглощение определяется по закону Бугера-Ламберта.

$$I = I_0 \cdot e^{-k_\lambda \cdot z}, \quad (1)$$

$I$  – интенсивность пучка на длине струи  $z$ ,  $I_0$  – интенсивность до ввода в струю,  $k_\lambda$  – коэффициент поглощения излучения в воде.

Разработана методика оценки потерь средней мощности при вводе лазерного излучения в струю воды. Экспериментально подтверждено: при заглублении фокальной плоскости вглубь сопла уменьшается количество потерь излучения до определённого значения заглубления. Схема перемещения перетяжки относительно среза сопла представлена на Рис.1:

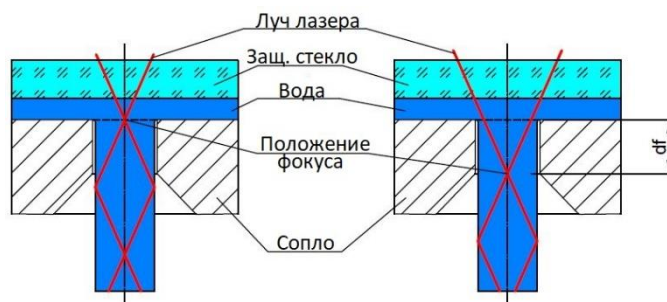


Рис. 1. Положение фокуса соответствует срезу сопла (слева), заглублиение фокуса на величину  $df$  (справа)

Получены значения потерь средней мощности на длине струи 20 мм (Таблица 1). Оптическая схема для экспериментов с QCW-лазером была в двух конфигурациях: с коллиматором с фокусным расстоянием 85 и 120 мм.

Таблица 1. Эффективность ввода излучения

Тип лазера	Средняя мощность	Длительность импульсов	Потери средней мощности	
			Сопло 140 мкм	Сопло 80 мкм
QCW (f 85)	15,8 Вт	0,01 мс	31,6 %	33,8 %
QCW (f 120)	15,8 Вт	0,01 мс	36,6 %	40,8 %
Наносекундный	14,9 Вт	100 нс	29,3 %	30,3 %
Короткий наносекундный	7,5 Вт	5 нс	27,6 %	30,8 %
Одномодовый	49,5 Вт	0,05 мс	27,5 %	-

Выбор параметров, обеспечивающий наименьшее количество потерь позволяет достичь максимальной производительности и наилучшего качества гидролазерной обработки, например, при резке технических алмазов (Рис. 2).



Рис. 1. Боковая поверхность реза синтетического алмаза толщиной 4 мм (параметры шероховатости поверхности: Ra 2,63 мкм, Rz 16,84 мкм)

Основными результатами проведения данной работы являются: ввод лазерного излучения импульсных волоконных источников с длиной волны 1064 нм в ламинарную струю воды, формируемую сапфировыми соплами диаметром 80 и 140 мкм. Разработана методика контроля эффективности ввода. Экспериментально подтверждено, что наименьшее количество потерь средней мощности достигается при заглублиении фокальной плоскости ниже среза сопла. Максимальная средняя мощность, полученная на расстоянии 20 мм от среза сопла, составляет 220 Вт. Продемонстрирована возможность разделения различных материалов технологией гидролазерной резки. Характерной особенностью полученных образцов являются низкие параметры шероховатости поверхности и отсутствие грат.

## Литература

1. Yan Liu, Meirong Wei, Tao Zhang, Hongchao Qiao, Hui Li. Overview on the development and critical issues of water jet guided laser machining technology // Optics and Laser Technology. 2021. Vol. 137. DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106820