

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АКТИВНЫМИ СРЕДАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ

Рябцева А.Н.¹, Фёдорцев Р.В.², Сагаймаруф Г.²

¹ НТЦ «ЛЭМТ», Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

За последние 40 лет лазерные технологические устройства стали дешевле, проще в обслуживании, более компактными, мобильными и доступными. Разработаны сравнительно недорогие и простые системы управления лазерным лучом. Сформировалось четвёртое поколение лазерных источников – волоконные лазеры, которые на порядок опережают предыдущие поколения по технологическим возможностям и качественным показателям. Развитие вычислительной техники позволило создать автоматизированные и роботизированные комплексы для лазерной обработки. Совокупность указанных обстоятельств позволила успешно реализовать на практике физические принципы лазерной очистки и обеспечила развитие указанной технологии.

Как известно, основными свойствами лазерного луча являются монохроматичность, когерентность, малая расходимость и высокая плотность энергии. Эти параметры напрямую определяют характеристики его промышленного использования в качестве технологического инструмента при обработке различных материалов.

Протекающие в зоне обработки физические процессы находятся в прямой зависимости от плотности мощности лазерного излучения которая, как правило, имеет пороговый характер. Вторым существенным аспектом взаимодействия лазерного излучения с веществом, зависящим от его физико-механических и химических свойств, является поверхностный характер поглощения излучения. Это явление приводит к очень высокому значению поглощаемой мощности на единицу объёма вещества и, соответственно, к высоким значениям его параметров, таких, как температура, давление, локальная скорость [1].

В обрабатывающей промышленности наибольшее распространение получили три вида лазеров для очистки поверхностей: CO₂-лазеры, Nd:YAG-лазеры и волоконные лазеры. Особенности строения и принцип действия определённого вида лазера, позволяют выбрать наиболее оптимальный вариант для его применения в каждом конкретном технологическом процессе.

В CO₂-лазере в качестве рабочего тела используется газовая смесь на основе углекислого газа. Длина волны излучения такого лазера – 10,4 мкм, режим работы – непрерывный либо импульсный с модуляцией током накачки. Мало-мощные (менее 500 Вт) CO₂-лазеры используются для обработки органических материалов,

мощные (0,5 – 20 кВт и выше) – для обработки металлов. Недостатком мощных газовых лазеров является необходимость использования расходных материалов, большие габаритные размеры излучателя, необходимость располагать излучатель рядом с зоной обработки, сложная система охлаждения, при этом достоинством является относительно низкая стоимость.

В Nd:YAG-лазерах в качестве рабочего тела используется алюмоиттриевый гранат, активированный неодимом. Длина волны излучения составляет 1,064 мкм, режим работы непрерывный, импульсный, импульсно-периодический, квазинепрерывный. Мощность варьируется от 1 Вт до 5 кВт. Основная область применения – медицина, приборостроение (лазерные дальнометры), а также применяются для обработки определенных видов материалов. Недостатком Nd:YAG-лазеров является наличие тепловой линзы, что приводит к изменению параметров пучка в зависимости от мощности, необходимость постоянной юстировки, наличие расходных материалов. Однако их достоинством является возможность выдавать короткие мощные импульсы, что делает эти лазеры незаменимыми для лазернойковки, очистки и др.

В волоконном лазере в качестве рабочего тела используется кварцевое волокно, легированное ионами редкоземельных металлов, например, иттербия. Длина волны излучения – 1,06 – 1,09 мкм. Мощность от милливатт до 20 кВт. Чаще всего применяются для обработки металлов и большинства пластмасс. Недостатком волоконных лазеров является принципиальная невозможность получить высокую (более 20 кВт) пиковую мощность излучения. Следовательно, все применения, требующие короткого мощного импульса, для волоконных лазеров закрыты. Достоинством же волоконных лазеров является высокий ресурс, технологичность, отсутствие расходных материалов, компактность, возможность передавать излучение по волокну, располагая излучатель вдали от зоны обработки.

Основными направлениями применения лазерной очистки в машино- и приборостроении являются:

- очистка корпусов, рам, каркасов, и пр. от ржавчины, а также их термообработка (нормализация и упрочнение);
- очистка лопаток газотурбинных двигателей от окисных плёнок;

- очистка фильтров и сеток от остатков СОЖ и масляных пятен;
- очистка ТВЭЛов АЭС, деталей атомных подводных лодок и кораблей от радионуклидов, оксидов металлов и кальция;
- очистка железнодорожных вагонов и цистерн от грунтовок, краски, масла и нефтепродуктов;
- зачистка сварных швов от остатков окислы перед покраской;
- очистка пресс-форм штампов от неорганических загрязнений (металлическая пыль, аэрозоль и т.д.);
- очистка поверхностей печатных плат от лака, припоя, пыли и других примесей [2].

Разнородность обрабатываемых материалов и большое количество типов удаляемых загрязнений требует применения лазеров с различной длиной волны и мощностью. В частности для очистки металлов применяют инфракрасные импульсные волоконные лазеры. При технологической очистке металлов помимо качества получаемой поверхности требуется также и производительность процесса обработки. Наилучшим образом эту задачу решают импульсные волоконные лазеры высокой мощности, однако побочным их действием является повреждение основного материала изделия. В ряде случаев могут быть использованы и твердотельные лазеры с коротким импульсом. При лазерной дезактивации радиационно-загрязнённых поверхностей применяются твердотельные лазеры с коротким импульсом. В определённых случаях могут применяться волоконные лазеры.

Основная проблема лазерной очистки – сравнительно высокая цена оборудования и необходимость конкурировать с малозатратными видами очистки, такими, как ручная или пескоструйная обработка. Также существенной проблемой является отсутствие автоматизированного контроля процесса очистки. В ряде случаев из-за образования взвешенного облака отработанных газов невозможен визуальный контроль.

Работы в области создания систем автоматизированного контроля технологического процесса предполагают совмещение технологии лазерной очистки со спектроскопией лазерной искры в режиме реального времени – LIBS.

В процессе осуществления технологии лазерной обработки в автоматизированном режиме практически всегда требуется обеспечить перемещение точки (линии) воздействия лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности материала. На сегодняшний день известны три способа перемещения: сканирующие системы, плоттерные системы (координатные столы) или многокоординатные роботы.

В промышленных установках, построенных на базе СО₂-лазеров, применяются преимущественно сканирующие системы, состоящие из двух зеркал поворачивающихся вокруг перпендикулярных друг другу осей посредством гальваноприводов.

В стационарных волоконных лазерных установках преимущественно применяются плоттерные системы (координатные столы). Функционально такая система состоит из станины, направляющих, двигателей и собственно фокусирующей головки. Доставка лазерного излучения до фокусирующей головки осуществляется посредством оптического волокна. Также распространена схема «неподвижный луч – движущаяся заготовка», в которой вышеописанная система двухкоординатного движения перемещает обрабатываемое изделие.

Второй вариант устройства автоматического перемещения лазерного излучения относительно обрабатываемой поверхности это роботизированные системы на базе манипуляторов, которые представляют собой механическую руку с 5 – 7 степенями свободы.

В качестве подвижных портативных систем очистки, как правило, используют малогабаритные ранцевые волоконные лазеры. Управление и контроль перемещением фокусирующего луча в данном случае осуществляет сам оператор.



Рисунок 1 – Вариант конструкции ручного блока ранцевого волоконного лазера

Таким образом, для выбора типа системы управления лазерным лучом при решении определённой технологической задачи необходимо учитывать следующие параметры: размер поля обработки; размерность траекторий; мощность лазерного излучения; требуемую скорость перемещения луча. В ряде случаев возможно использование гибридной системы управления лучом – например, робот со сканером для лазерной очистки.

1. Современные лазерные технологии – статьи и описания. ООО "Фламма", 2008-2013. СПб.: <http://www.flamma.spb.ru/Articles.aspx>.
2. Вейко, В.П. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. Учебное пособие / В.П. Вейко, В.Н. Смирнов, А.М. Чирков, Е.А. Шахно – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.