

К.т.н. Афанасьева О.В., Коптяков А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

Лазерная очистка металлов

Очистка поверхности является одной из базовых технологий во многих отраслях промышленности. Для некоторых видов производств – сварочного, лакокрасочного, гальванического – очистка поверхности является актуальным вопросом, так как высокое качество очистки поверхности гарантирует высокий ресурс и надежность работы различных изделий.

Очистка в общем виде представляет собой операцию удаления поверхностных слоев, образованных любыми загрязнениями или покрытиями, иногда даже включая основной слой материала.

Необходимо отметить, что очистка поверхности заключается не только в удалении органических и неорганических загрязнений с поверхности и нанесенных ранее покрытий, которые потеряли свои служебные свойства в процессе эксплуатации, она может сопровождаться сопутствующими эффектами (улучшением трибологических свойств поверхности, активацией поверхности, перераспределением остаточных поверхностных напряжений), и, как следствие, изменением механических, коррозионных, физико-химических и других свойств поверхности.

В настоящее время существует и успешно используются в промышленности достаточно много традиционных методов очистки поверхности (механических, ультразвуковых, химических, электрохимических и др.). Отметим ряд недостатков, характерных для этих методов. Механическая очистка с помощью металлических щеток или абразивных лент и кругов может привести к повреждению изделия и плохо справляется с загрязнениями в труднодоступных местах. Пескоструйная обработка оказывает серьезное

негативное воздействие на здоровье работников и связана с использованием расходных материалов. Химическая, электрохимическая и ультразвуковая очистки требуют специального оборудования и реагентов (растворов солей, кислот, щелочей), которые необходимо хранить, использовать и регенерировать определенным образом, что существенно удорожает стоимость такой обработки. Кроме того, эти виды очистки можно проводить только в стационарных условиях.

Лазерная очистка бесконтактна и может проводиться дистанционно. Лазерный пучок, как инструмент, не подвержен износу, в отличие, например, от резца или фрезы, применяемые при механической обработке. Эффект «безизносности» дает пучке лазера большие экономические преимущества, и обеспечивает высокую воспроизводимость технологических процессов. Применение мощных и компактных лазеров нового поколения позволяет проводить очистку поверхности в «полевых» условиях.

Взаимодействие падающего потока лазерного излучения с материалом зависит от трех составляющих – меры отраженного, поглощенного и прошедшего излучения. Отраженное и прошедшее излучение не отдает энергию материалу, таким образом, очистка определяется количеством поглощенной энергии. Поглощательная способность зависит от длины волны падающего излучения, которая также определяет мощность падающего излучения [1].

С уменьшением длины волны увеличивается энергия лазерного излучения:

$$E = \frac{ch}{\lambda}, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка,

c – скорость света в вакууме,

λ – длина волны. К тому же с уменьшением длины волны уменьшается отражательная способность материалов, а, следовательно, большее количество энергии будет поглощено обрабатываемым материалом.

Основными механизмами лазерной очистки являются испарительный и ударно-механический. Физические процессы, происходящие при лазерной

очистке поверхности, зависят в основном от плотности мощности лазерного излучения на поверхности.

При очистке испарением излучение импульсного лазера фокусируют на поверхности детали, причем размер пятна должен быть такой, чтобы плотность мощности излучения за период импульса приводила к быстрому повышению температуры поверхностного слоя до температуры его быстрого разрушения (испарения или сублимации). Ориентировочная величина такой плотности мощности составляет от $10^7 \dots 10^{10}$ Вт/см². При фокусировке в пятно размером порядка 0,5 мм для формирования такой плотности мощности достаточно лазера со средней мощностью всего 10 Вт [2].

Значительную роль в данном типе очистки играют параметры обрабатываемого материала. Наиболее существенные из них – теплопроводность, скрытая теплота испарения и коэффициент отражения лазерного излучения. Если исходить из того, что весь удаляемый материал испаряется, то количество материала, которое можно удалить с помощью лазера, будет ограничиваться величиной скрытой теплоты испарения. Максимальная глубина слоя испаряемого материала определяется следующим образом:

$$D = \frac{E_0}{A\rho(C(T_1 - T_0) + L)} \quad (2)$$

где C – удельная теплоемкость,

T_1 – температура кипения материала,

T_0 – температура окружающей среды,

L – скрытая теплота парообразования,

A – облучаемая площадь,

ρ – плотность материала,

E_0 – энергия, полученная под действием лазерного импульса.

Формула дает лишь приблизительную оценку, т.к. теплофизические параметры материалов изменяются в зависимости от температуры образца и длины волны излучения.

Суть ударно-механической очистки заключается в следующем: при облучении лазером частицы загрязнения ее поверхность резко нагревается, в результате чего генерируются сильные колебания, которые, проходя через частицу, вызывают уменьшение ее адгезии к поверхности и провоцируют незамедлительный отрыв. Оторвавшиеся частицы собираются в специальной фильтрационной установке [3].

Наиболее характерным загрязнением для стальных изделий является ржавчина (оксид железа Fe_2O_3). С помощью лазера можно эффективно удалять толстые толщины лакокрасочных покрытий и рыхлую ржавчину глубиной до 0,8 мм [4]. В данной работе при подборе режимов очистки использовался лазерно-гравировальный станок на базе CO_2 лазера Reci мощностью 130 Вт. Очистка металлических пластин проводилась на различных режимах, параметры которых приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры режимов очистки

Режим	Количество проходов, N	Мощность, P (%)	Скорость обработки, S (мм/с)	Шаг, L (мм)
I	1	90	150	0,1
II	1	50	150	0,1
III	1	70	150	0,1
IV	2	90	250	0,1
V	2	50	250	0,1

Вид поверхности образцов до обработки и после очистки на различных режимах показано на рис. 1.1.

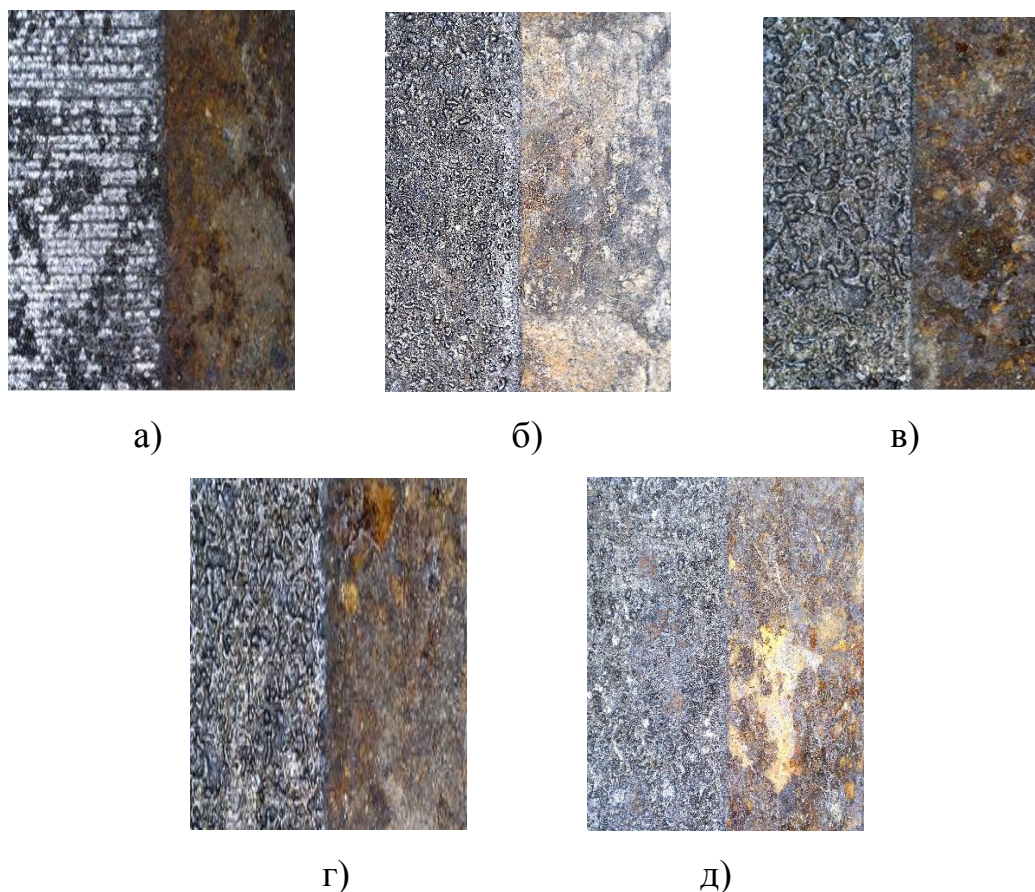
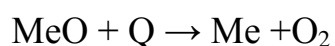
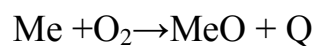


Рисунок 1.1 – Вид поверхности стальных образцов до и после очистки от ржавчины:

а – режим I, б – режим II, в – режим III, г – режим IV, д – режим V.

Металлографические исследования показывают, что на поверхности ржавчины наблюдается металлизация ее верхних слоев, форма частиц ржавчины глобулярная, размеры глобул различны. Эти образования не имеют серьезной адгезии с металлом и легко удаляются.

Под действием лазерного луча происходят простые реакции:



При избытке энергии происходит восстановление металла из ржавчины, т.к. система локально перенасыщена световой энергией лазерного излучения. Система «ржавчина – металл» переходит в более устойчивое состояние при освобождении атомов кислорода [4].

Исследования поверхности показали, что мощность излучения оказывает существенное влияние на качество очистки. С увеличением мощности металлизация поверхности увеличивается, но при этом возрастает и глубина проплавления. При работе по режимам I...III (рис. 1.1, а...в) остаются неметаллизированные участки, очевидно, что одного прохода при очистке от загрязнений толщиной 0,6...0,8мм недостаточно.

При повторной обработке поверхность нижележащих слоев металла приобретает металлический блеск, можно подобрать такие режимы, которые не приводили бы к плавлению поверхности на глубину более 40 мкм.

Металлизация (восстановление) поверхности позволяет сохранять геометрические размеры изделия и его механические свойства. При очистке сетчатых изделий загрязнения эффективно удаляются не только с поверхности, но и из внутреннего объема отверстий. Учитывая разное поглощение излучения с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм металлами (основа) и неметаллами (загрязнения), можно рекомендовать лазерную очистку также для удаления накипи, остатков лакокрасочных покрытий и других материалов.

Таким образом, не меняя механические свойства детали или изделия и не приводя к сколько-нибудь существенному (более 20°C) нагреву основы, можно добиваться избавления от ржавчины бесконтактным лазерным методом.

Литература:

1. Технологические процессы лазерной обработки/ Под ред. А.Г. Григорьянца – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. <http://infomirspb.ru>
3. <http://www.mirprom.ru/public/lazernaya-ochistka>
4. http://www.photonics.su/files/article_pdf/4/article_4176_421.pdf
5. <https://mirprom.ru/public/lazernaya-ochistka-glubokih-povrezhdeniy.html>