

*аспирант Антропов И.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Розглянуто особливості формування структури поверхневого шару сталей після лазерної обробки для різних технологічних режимів, проведено порівняння з експериментом. Приведені експериментальні залежності ступеня корозійних втрат зразків, що були оброблені в різних режимах.

Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов основана на использовании лазерного луча в качестве интенсивного поверхностного теплового источника, действующего в течение короткого промежутка времени, составляющего от единиц до сотен миллисекунд, в зависимости от выбранного режима и целей, преследующихся при проведении поверхностной обработки. Глубина закаленного при лазерной обработке может достигать от 0,5 до 1,5 мм.

В настоящее время уже накоплено большое количество данных по взаимодействию лазерного луча с различными материалами, особенно с поверхностью металлов и сплавов [1-3], однако вопрос корректного выбора режима поверхностной обработки все еще остается актуальным. Целью данной работы является выявление степени влияния режима лазерной обработки на коррозионные свойства поверхности стальных деталей, прошедших лазерную поверхностную обработку.

Тепловой источник, образующийся в металле при поглощении излучения лазера, работающего в режиме свободной генерации, можно считать [4] поверхностным, причем в большинстве случаев имеет место [5] нормальное пространственное распределение мощности излучения, т.е. можно принять, что по пятну обработки интенсивность распределена по закону

$$q(r) = q_0 e^{-kr^2}, \quad (1)$$

где $q_0 = \gamma q_{\max}$ – максимальная плотность мощности теплового источника;
 γ – коэффициент использования лазерного излучения;

q_{\max} – максимальное значение плотности мощности излучения в радиальном сечении луча;

k – коэффициент, обратный удвоенному квадрату параметра сжатия;

r – радиальное расстояние от данной точки до центра пятна.

Если принять, что и временное распределение энергии излучения также может быть описано посредством функции распределения Гаусса, то окончательно (1) примет вид

$$q(r,t) = q_0 e^{-\alpha(t-\frac{\tau}{2})^2} e^{-kr^2}, \quad (2)$$

где α – характеризует временное сжатие плотности мощности во времени, τ – время излучения лазера.

Процесс теплопереноса в металле при облучении его поверхности лазером, как показано в [6], может быть описан классическим уравнением теплопроводности

$$c\rho \frac{\partial T(x,y,z,t)}{\partial t} + \nabla(\lambda \nabla T(x,y,z,t)) = q(x,y,t), \quad (3)$$

где c – теплоемкость, ρ – плотность, λ – теплопроводность металла.

Поскольку изменение теплоемкости и теплопроводности с температурой взаимно компенсируют друг друга [4], то можно считать уравнение (3) линейным, тогда его решение [7] представляется в виде

$$\Delta T(r,z,t) = \begin{cases} \frac{2\langle q \rangle e^{-kr^2} \sqrt{at}}{\lambda} \int_0^\infty \Phi^*(\xi) d\xi & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \\ \frac{z}{2\sqrt{at}} \\ \frac{2\langle q \rangle e^{-kr^2} \sqrt{a}}{\lambda} \left(\int_0^\infty \Phi^*(\xi) d\xi - \sqrt{t-\tau} \int_0^\infty \Phi^*(\xi) d\xi \right) & \text{при } t > \tau \\ \frac{z}{2\sqrt{a(t-\tau)}} \end{cases}, \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности металла,

$\Phi^*(\xi)$ – дополнение к интегралу вероятности.

Для проведения коррозионных испытаний использовались образцы из ст40, ст3, У8, ШХ15, обработанные импульсным лазерным излучением с диаметром пятна 1 мм при различных значениях коэффициента перекрытия (рисунок 1), энергия излучения 1,5 мДж. Обработанная площадь составляла около 15% общей площади поверхности.

На рисунке 1 показаны теоретически рассчитанное по (4) температурное поле вдоль радиальной составляющей зоны одноимпульсного воздействия с течением времени и микрофотография структуры зоны лазерного воздействия на образце из ст3. Хорошо видно, что зоны, которые были нагреты выше температуры A_{C3} (850°C) претерпели фазовый переход ($0\text{-}400$ мкм), на расстоянии выше 400 мкм, где произошел нагрев и выдержка при температурах вплоть до A_{C3} в течении времени порядка $5\text{-}10$ мс наблюдается частичное измельчение структуры и перераспределение примесей. Как известно [8], процесс образования и роста новой фазы связан не только с установлением неравновесной концентрации примесных включений, но и стимулирует вынос на периферию зоны обработки дислокаций.

Характер перераспределения неоднородностей определяется течением диффузионных процессов, которые тем интенсивнее, чем выше значение температуры. Таким образом, режим обработки с перекрытием ЗТВ может вызвать увеличение числа дефектов на пограничном участке двух соседних зон. Влияние коэффициента перекрытия (рисунок 2) на перераспределение включений хорошо прослеживается на образцах со сравнительно большим содержанием углерода (рисунок 3).

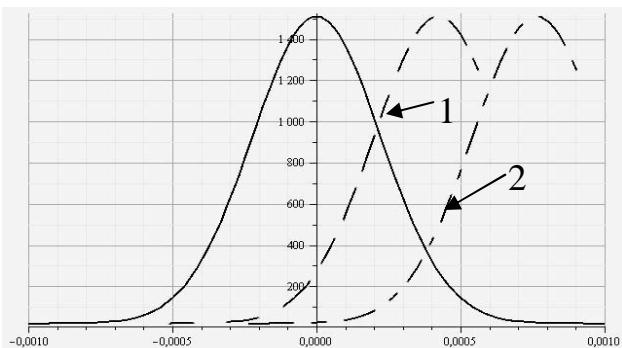


Рисунок 2 – Распределение температуры на поверхности образца при перекрытии зон обработки: 1 – $0,6$; 2 – $0,2$

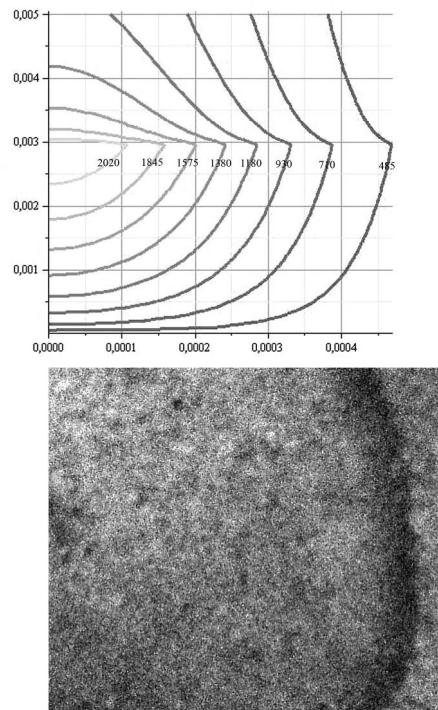


Рисунок 1 – Рассчитанные изотермические кривые для поля температур вдоль радиального направления в пятне обработки и микроструктура стали ст3 после лазерной обработки

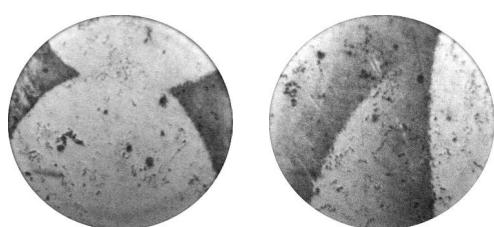


Рисунок 3 – Упрочненные зоны на образцах из У8 после обработки с различным коэффициентом перекрытия: а) $\text{Кп} \sim 0$, б) $\text{Кп} \sim 0,3$

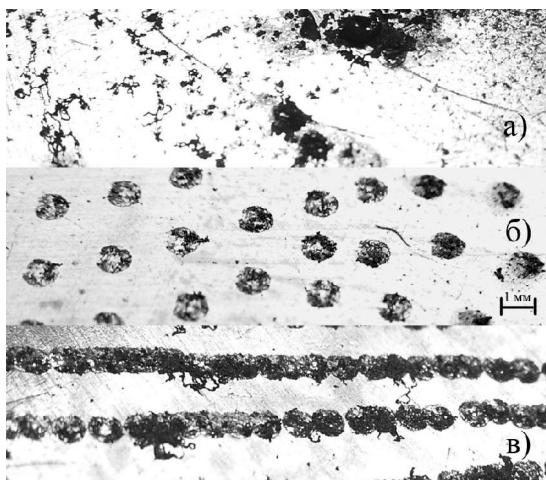


Рисунок 4 – Поверхность образцов, прошедших коррозионные испытания: а) контрольный; б) без перекрытия; в) Кп~0,1

Области с повышенным содержанием дефектов, по всей видимости, должны обладать сравнительно низкой коррозионной стойкостью по сравнению с зонами одноимпульсной лазерной обработки.

На рисунках 4 и 5 показаны поверхность образцов из ст40, прошедших коррозионные испытания во влажной среде и экспериментальные кривые степени коррозионных потерь. Исходя из приведенных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Процесс коррозионного разрушения интенсивно идет на периферии зон лазерного воздействия, в то время как основная, необработанная, часть поверхности практически не подвергается коррозии;
2. Потеря массы обработанных образцов связана со временем экспоненциальной зависимостью;
3. Лазерная обработка влечет снижение коррозионных потерь до 30-35%;
4. Обработка с отличным от нуля значением коэффициента перекрытия приводит к незначительной интенсификации коррозионного процесса.

Рассмотрены особенности формирования структуры поверхности слоя сталей после лазерной обработки для различных технологических режимов, проведено сравнение с экспериментом. Приведены экспериментальные зависимости степени коррозионных потерь образцов, прошедших обработку в различных режимах.

The features of structure forming of surface layer after different technological modes of laser treatment are considered , comparing to the ex-

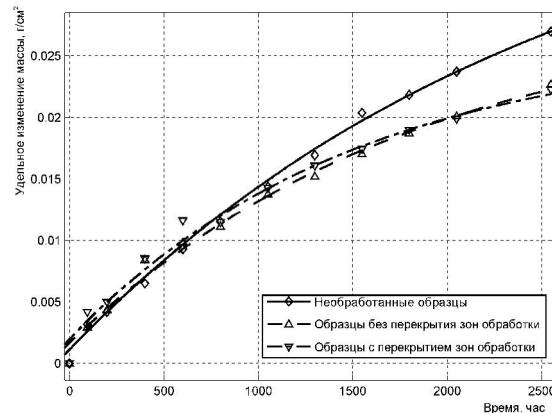


Рисунок 5 – Зависимость удельного изменения массы образцов от времени пребывания в атмосфере с повышенной влажностью

periment is given. Experimental dependences of corrosive losses degree of standards, which was treated in the different modes, are shown.

Библиографический список

1. В.С. Постников, С.А.Белова. Морфология упрочняющих фаз в слоях, полученных лазерным легированием / Физика и химия обработки материалов, 1998, №2, с. 33-36
2. Воздействие лазерного излучения на материалы / Р.В. Арутюнян, В.Ю. Баранов, Л.А. Большов и др. – М.: Наука. 1989. – 367 с.
3. Промышленное применение лазеров / Под ред. Г. Кёбнера; Пер. с англ. А.Л. Смирнова; Под ред. И.В. Зуева. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
4. Взаимодействие лазерного излучения с металлами / Прохоров А. М., Конов В. И., Урсу И., Михэилеску И. Н. – М.: Наука, 1988. – 537 с.
5. В. Бруннер. Справочник по лазерной технике. /Пер. с нем. под ред. А.П. Напарто维奇а. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 544 с.
6. Антропов И.И. Взаимодействие лазерного излучения с поверхностью металлов, имеющих поликристаллическое строение / Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 26 – Алчевск: ДонГТУ, 2008, С. 353-363.
7. Г. Карслоу, Д. Егер. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
8. Любов Б.Я. Диффузионные процессы в неоднородных твердых средах. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 296 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Денищиковом Ю.С.