

**Анализ процессов легирования при нанесении покрытий
лазерным лучем**

**Сидашенко А.И. к.т.н., проф., Скобло Т.С. д.т.н., проф.,
Сайчук А.В. к.т.н, доц., Науменко А.А. к.т.н., доц., Манило В.Л. ас.**

*(Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. Петра Василенко)*

Повышение надежности и качества выпускаемых машин и приборов в значительной мере определяется эксплуатационными характеристиками: износостойкостью, твердостью и др.

Задачи исследования. Рассмотреть способность поглощать лазерное покрытие при легировании, совместимость покрытия и основы, высокой адгезии легированного слоя.

Анализ исследований. Значительная часть исследований [1, 2, 4] по лазерному легированию выполнена на оборудовании, основой которых являются CO₂-лазеры. Схема лазерного легирования металла с нанесенным предварительно на его поверхность порошком приведена на рис. 1. Наиболее распространен способ, согласно которому при действии CO₂ - лазера присадочный материал, плавясь, перемешивается с оплаваемым основным, образуя общую ванну жидкого металла.

Изложение основного материала исследований. По мере удаления источника нагрева отвод теплоты в массу холодного металла начинает преобладать над его поступлением, что способствует кристаллизации и формированию наплавленного слоя. При этом кристаллы, как правило, растут в направлении, обратном отводу тепла, т.е. перпендикулярно к поверхности теплоотвода, являющейся плоскостью раздела жидкого и твердого металлов [9].

При лазерном легировании, характеризующемся большой скоростью остывания наплавленного слоя, равновесное состояние расплава не может быть достигнуто, поэтому характер формирования наплавленного слоя будет зависеть от температурного состояния границы между жидкой и твердой фазами при кристаллизации расплавленного металла. Эта граница является важнейшей зоной, в которой протекают процессы, определяющие технологическую и эксплуатационную прочность, плотность нанесенного слоя, а также его коррозионную стойкость. Интенсивность протекания этих процессов и степень их полноты зависят, в первую очередь, от теплофизических свойств компонентов покрытия и основы, а также температурного режима, реализуемого при действии лазерного луча.

Отличительная особенность действия лазерного луча при нагреве металла - несимметричность изотерм как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 2), полученных при перемещении CO₂ - лазера [3, 4], а скорость охлаждения ($-\frac{\partial T}{\partial t}$), ширина x_{\max} и глубина y_{\max} зоны определяются отношением

$$\frac{N}{V} \quad (N - \text{мощность энергии излучения, } V - \text{скорость перемещения луча)} [4].$$

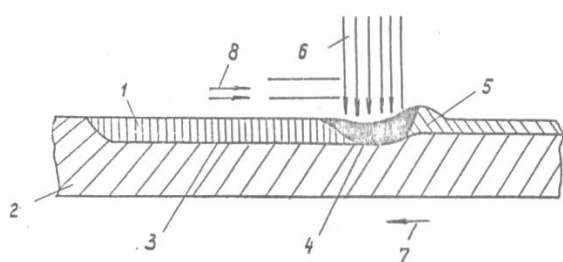


Рис. 1. Схема легирования неподвижным лучом CO₂ - лазера:
 1 – легированный слой; 2 – основной металл; 3 – граница расплавления основного металла; 4 – расплавленное покрытие; 5 – покрытие (шликер); 6 – луч лазера; 7 – направление движения образца; 8 – защитный газ

Такой характер распределения температур обуславливает наличие градиентов сил поверхностного натяжения, вызывающих формирование расплава при плавлении слоя покрытия и основы. Силы поверхностного натяжения на границе расплав - пары металла определяются температурой и концентрацией легирующих элементов [5].

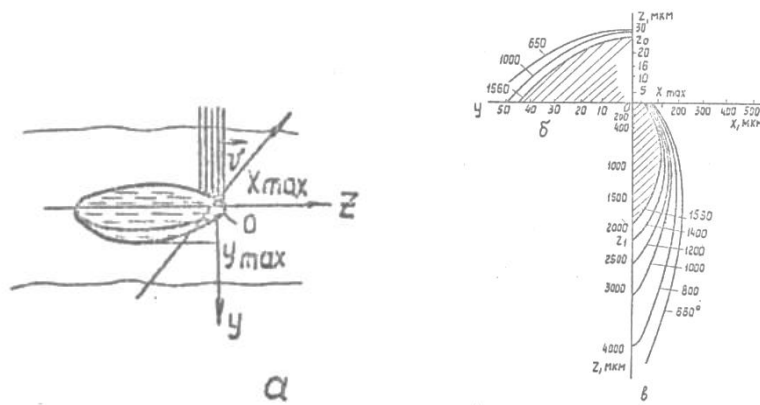


Рис. 2. Схема лазерной сканирующей обработки поверхности: (а) и изотермы T в плоскости y, z (б) и в плоскости x, z (в) [4]

В зоне фокусирования луча температура расплава выше, чем у прилегающих к нему участков. Следовательно, величина сил поверхностного натяжения в зоне фокусировки будет меньше, чем на периферии. Поэтому расплав будет перемещаться от нагретой центральной области в более холодную зону. Под действием силы тяжести расплавленный металл по границе твердое тело жидкая ванна опускается к центральной зоне. Показано [8], что при оплавлении покрытия и основы на глубину 0,3-1 мм лазерным излучением возникает движение расплава от центра зоны к краям, что объясняется наличием сил поверхностного натяжения, градиент которых изменяется от центра (зоны действия луча) к периферии. Это движение передается в глубь зоны плавления за счет сил вязкого трения. Поэтому вследствие непрерывности потока расплав циркулирует от поверхности к дну зоны плавления и затем возвращается к поверхности в центральной части ванны (рис. 3, а). Определена скорость течения расплава от поверхности вдоль переднего фронта зоны плавления к дну. Она, в случае обработки лучом лазера образцов из железа с покрытиями никеля или хрома, составила 5-15 м/с. Расчетные величины скоростей движения расплава в случае облучения CO_2 - лазером железа без покрытия согласуются с экспериментально измеренными скоростями массопереноса [8]. Отмечено в ряде случаев наличие плавления направленных от поверхности вдоль стенок к придонной части. Подобный характер распределения элемента покрытия позволяет объяснить движение

расплава уменьшением силы поверхностного натяжения в зоне нагрева концентрированным источником тепла (термокапиллярный эффект). Силами поверхностного натяжения объясняется также и удержание движущегося расплава в замкнутом объеме. Характер движения расплава и скорости массопереноса дают представление о механизме легирования металлов на всю глубину плавления и эффективную гомогенизацию формируемых сложных сплавов. Процессом массопереноса можно управлять, изменяя фокусировку излучения, градиент температуры на поверхности обрабатываемого объекта или уменьшая температурный градиент коэффициента поверхностного натяжения.

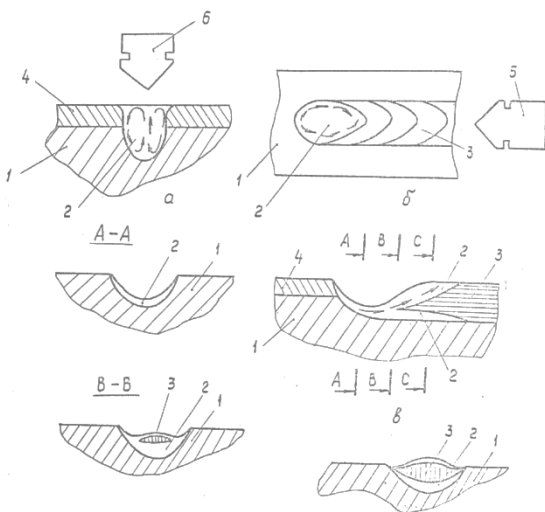


Рис. 3. Схема массопереноса металла при действии CO_2 -лазера:

1 – основа; 2 – расплавленный металл (жидкость); 3 – легированный слой; 4 – покрытие; 5 – направление движения образца; 6 – луч лазера (стрелками показана циркуляция расплава)
 Массоперенос расплава металла при облучении расфокусированным (а) и сфокусированным (б, в) лучом

В практике лазерного легирования применяются три режима обработки [1, 7] непрерывным CO_2 -лазером:

- I. Расфокусированным лучом (плотность мощности $104\text{--}106 \text{ Вт/см}^2$).
- II. Сфокусированным лучом (плотность мощности больше 107 Вт/см^2).
- III. Сканирующим лучом при плотности $106\text{--}107 \text{ Вт/см}^2$.

При взаимодействии лазерного излучения с металлом и атмосферой (схема II) над поверхностью формируется облако плазмы. Так как плазма нагревается и лучом лазера, и расплавом, то создаваемое ею давление приводит к опусканию поверхности расплава (рис. 3, в). При движении образца расплавленный металл перемещается по краям ванны от переднего фронта в

направлении, противоположном движению образца, и обтекает это углубление. Подобный характер массопереноса способствует более тщательному перемешиванию расплава, степень однородности легированного слоя при этом также возрастает.

Обработка сканирующим лучом предполагает перемещение луча высокой плотности с частотой 700 Гц поперек рабочей зоны перемещающейся заготовки в направлении, перпендикулярном движению сканирующего луча. При реализации этого режима обработки существенно улучшается перемешивание расплавленного металла и увеличивается производительность за счет резкого увеличения площади обрабатываемой поверхности. Например, при частоте сканирования 690 Гц и скорости движения образца 3,81 мм/с площадь расплавленной зоны увеличивается в 1160 раз [1]. В работах [1, 6] показано также, что химический состав и структура легированного слоя при обработке сканирующим лучом более однородны.

На рис. 4 приведены зависимости изменения концентрации легирующих элементов по глубине наплавленного металла (порошок ПГ-ХН80СР2) на сталь 45 остросфокусированным излучением CO_2 - лазера (рис. 4, а) и расфокусированным (рис. 4, б) лучом. При реализации режима II (сфокусированный луч) происходит практически полное сплавление основы и легирующего порошка. Так, легированный слой содержит более 80% Fe около 5% Ni и 1–2% Cr при исходном содержании последних в порошке соответственно 80 и 12–15%. В случае реализации режима I (расфокусированный луч) содержание Ni по глубине легированного слоя составляет 70–75%, Cr – 10–15%, а Fe до 5–8%.

Облучение порошкового покрытия расфокусированным лучом обеспечивает равномерное распределение легирующих элементов в легированном слое и более высокую однородность химического состава.

На рис. 5 приведены результаты легирования стали С43 [3] хромом при сканировании лучом CO_2 -лазера. Видно, что сечение легированного слоя зависит от исходной толщины покрытия. При увеличении последней с 0,3 до

0,5 мм концентрация хрома в легированном слое меняется плавно и на глубине до 0,20 мм содержит 100% Cr.

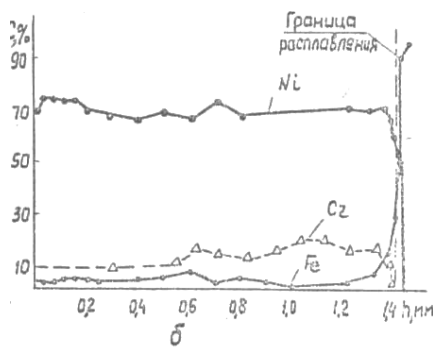
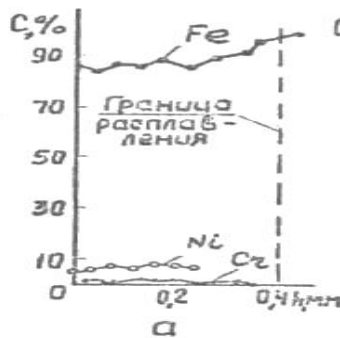


Рис. 4. Изменение концентрации легирующих элементов по глубине направленного металла при обработке шликерного покрытия:

а - остросфокусированным (режим П) лучом,

Дп = 0,7 мм, связка органическая;

б - расфокусированным (режим I) лучом

Дп = 1,75, связка - цапонлак [75]

Таким образом при сканировании луча лазера возможно получение поверхностного слоя большей толщины и однородного по химическому составу. При реализации этой схемы обработки обеспечивается производительность в 1000 раз большая, чем при обработке расфокусированным лучом.

Анализ механизма лазерного легирования с использованием порошковых материалов позволяет сформулировать требования к покрытию, предварительно наносимому на поверхность заготовки.

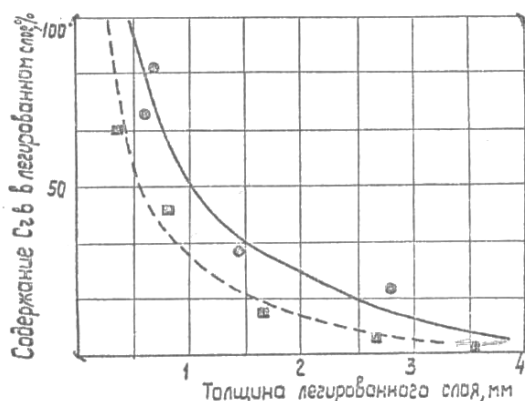


Рис. 5. Распределение хрома в легированном слое стали С 43 при обработке сканирующим лучом CO₂-лазера [С20] исходная толщина покрытия 0,3 и 0,5 мм.

Выводы. Практика применения порошковых покрытий в нашей стране и за рубежом показала, что они перед облучением должны обладать:

– способностью поглощать, по возможности полностью, лазерное излучение;

– способностью выдерживать высокие температуры и плотности мощности излучения без потери физико-механических свойств;

– высокой теплопроводностью, обеспечивающей эффективный перенос теплоты с поверхностного слоя в основу;

– совместимостью покрытия и основы, т.е. оплавлением покрытия и основы при достаточной совместимости их термомеханических свойств, например коэффициентов линейного и объемного теплового расширения;

– высокой адгезией легированного слоя и основы.

При этом выбирают наиболее простые и экономичные способы нанесения покрытий, осуществляя контроль за его толщиной, автоматизируют отдельные операции.

Список литературы:

1. Применение лазеров для обработки материалов. – American Society for Metals – Washington, USA, 1979. – p. 49.

2. Применение лазеров для обработки материалов. – Fiat S.A. Central Staff Turin; Italy European Conference on Optical Systems and top1 1978 April. p. 35-40.

3. А.С. 994582 [СССР]. Установка для нанесения покрытий / Белорус. политехн. ин-т; Авт. изобрет. Ивашин Э.Я., Карпушин В.А. и др.- Заявл. 12.12.81; Оpubл. 1983. МКИ С23С 17/00.

4. Клебанов Ю.Д. С режимах морфизации поверхности металлов при лазерной непрерывной сканирующей обработке.- Физика и химия обработки материалов, 1984, № 3, с. 25-32.

5. Применение высокопроизводительных лазеров в производстве для резки, сварки, термообработки, легирования и т.д. - Werkstattstechnik 1980, № 5, 327-331.

6. Практическое применение наплавки с использованием лазера. – Есэцу гидзюцу, Weld Techn 1983, 31, № 8 , 20-26 (яп.).

7. Наплавка сплава "Nimonic" -75 с использованием газового CO₂-лазера мощностью 2 кВт как источника нагрева.-Metals Technol., 1980, v. 7, № 6, 232-237 (англ.).

8. Боровский И.Б., Городский Д.Д., Шарафеев И.М., Морящев С.Ф. О поверхностном легировании металлов с помощью непрерывного лазерного излучения.- Физическая и химическая обработка материалов, 1984, № I, 19-23.

9. Шихтер С.Я., Резницкий А.М. Наплавка металлов: Справочник.-М.: Машиностроение, 1982.- 71 с.

Анотація

Аналіз процесів легування при нанесенні покриттів лазерним променем

Сідашенко О.І. , Скобло Т.С., Сайчук О.В. Науменко А.О., Маніло В.Л.

Підвищення надійності та якості вироблених машин та приборів в значною мірою визначається експлуатаційними характеристиками: зносостійкістю, твердістю.

Abstract

The analysis of the processes of alloying for applying coatings laser beam

Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Saychuk O.V., Naumenko A.A.,Manilo V.L.

The increase of reliability and quality of the produced machines and devices is to a great extent determined operating descriptions: wearproofness, hardness.