

содержащих частицы наноразмерного уровня, с заданными характеристиками методом импульсной лазерной абляции металлических материалов.

Работа выполнена в рамках задания 2.25 Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии».

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмин, П. Г. Физические процессы, определяющие свойства наночастиц, полученных при лазерной абляции твердых тел в жидкости: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.21 / П.Г. Кузьмин; ИОФ им. А.М. Прохорова РАН. – Москва, 2015. – 144 с.

2. Пячин, С.А. Новые технологии получения функциональных наноматериалов: лазерная абляция, электроискровое воздействие / С.А. Пячин, М.А. Пугачевский // Хабаровск, 2013 – 38 с.

3. Сидоровнина, Т. Ю. Лазерная абляция металлов в жидкости. [Электронный ресурс] / Т.Ю. Сидоровнина, В.А. Тимошенко, А.Н. Савкин, Ю.В. Голубенко // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.

4. Гончаров, В.К. Формирование коллоидных растворов металлов в воде методом лазерной абляции / В.К. Гончаров, Козадаев, М.И. Маркевич, М.В. Пузырев, А.М. Чапланов // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф., 20-23 окт. 2009 г., Минск. В 3 т. – Т. 3. редкол.: Н.М. Олехнович (пред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2009. – 406 с.

УДК 621.791.72

МИКРОТВЕРДОСТЬ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРОМ ВАЛИКОВ ИЗ СПЛАВА ЦГ-12Н-01

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Лазерная наплавка – это технология создания покрытий из материалов разной природы на металлической подложке с использованием в качестве источника энергии лазерного луча [1-4]. Это гибкая технология, которая позволяет нанести покрытие из порошка подаваемого транспортирующим газом в ванну расплава, образуемую на поверхности основы лазерным лучом. Данная технология может использоваться как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных или поврежденных поверхностей. В противоположность традиционным методам наплавки зона теплового воздействия при лазерной наплавке ограничена несколькими миллиметрами, по этой причине зона термических напряжений также невелика, деформации минимальны, а механические характеристики основы практически не изменяются.

Исходя из вышесказанного, лазерная наплавка является весьма перспективным методом нанесения покрытий. Осуществление процесса лазерной наплавки предъявляет высокие требования к качеству покрытий, которое характеризуется такими параметрами как микроструктура, распределение микротвердости и состав покрытия.

В настоящей работе нами предпринята попытка исследовать фактическое распределение элементов и микротвердость в наплавленных покрытиях из самофлюсующегося сплава на основе никеля нанесенных лазерной наплавкой.

Для выполнения исследований использовали лазерный технологический комплекс, включавший газовый CO₂ - лазер непрерывного действия с мощностью излучения 1000 Вт и координатную систему, обеспечивавшую необходимое перемещение луча лазера относительно образцов. Наплавка покрытий производилась на образцы из стали 45 на различных режимах. В качестве наплавочного материала использовался порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля – ПГ-12Н-01, с грануляцией 20-80 мкм.

Распределение элементов определяли на поперечных шлифах валиков с помощью рентгеновской дифракционной системы SmartLab RIGAKU (X-ray diffraction system). Измерение микротвердости производилось при помощи микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г: в поперечном направлении – по линии симметрии валиков из основы к поверхности покрытия с шагом 0,05 мм; в продольном направлении - на уровне 0,1 мм выше основы, с таким же шагом.

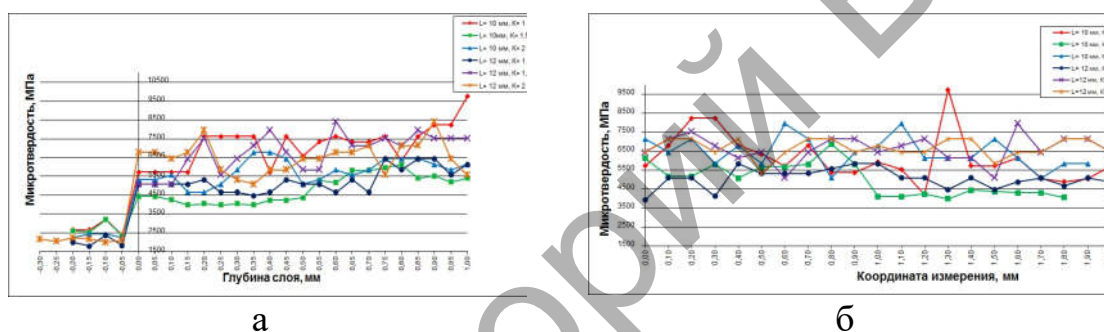


Рисунок 1 – Распределение микротвердости по глубине (а) и в продольном направлении покрытия (б) при скорости наплавки V=80 мм/мин

Из приведенных графиков распределения микротвердости в поперечном направлении (рисунок 1 а) и в продольном направлении покрытия (рисунок 1 б) хорошо видно, что она находится примерно на одном уровне по всей глубине и ширине покрытия для различных дистанций наплавки L и шагов наплавки K. Имеющиеся небольшие колебания микротвердости свидетельствуют о достаточно равномерном распределении фаз в покрытии, когда, из-за высокой скорости охлаждения ($10^3 - 10^5$ K/c), большинство упрочняющих элементов остаются в твердом растворе γ -Ni матрицы. Небольшие изменения микротвердости связаны скорее всего с супернасыщением этими элементами γ -матрицы, которое связано с повторными нагревами уже наплавленного валика при наплавке соседних валиков, когда в предшествующем валике могут выделяться некоторые интерметаллические фазы, особенно вблизи ванны расплава и в переходной зоне к твердой фазе.

Полученные данные по распределению элементов в различных точках поперечного сечения валиков при разных режимах лазерной наплавки свидетельствовали о том, что зависимости содержания элементов от режимов наплавки в исследованных пределах имеют линейный характер.

Поэтому для сокращения количества выполняемых экспериментов и получения наиболее достоверных данных использовалась методика полного факторного эксперимента (ПФЭ). Обработка данных экспериментов производилась при помощи специальной программы, составленной на основе редактора электронных таблиц Microsoft Excel 2010.

Эксперименты проводились по плану ПФЭ 2^2 , каждый эксперимент повторялся два раза. В качестве факторов влияющих на содержание элементов $y(Ni)$, $y(Fe)$, $y(Cr)$, $y(Si)$ (%_{вес.}) были выбраны:

z_1 – скорость наплавки v (мм/мин), $z_{1min} = 40$, $z_{1max} = 120$;

z_2 – дистанция наплавки l (мм), $z_{2min} = 10$, $z_{2max} = 14$.

В результате были получены уравнения регрессии в натуральных переменных для содержания Ni, Fe, Cr, Si (%_{вес.}):

$$y(Ni) = 21,25 - 0,269 \cdot v + 2,875 \cdot l;$$

$$y(Fe) = 71,75 + 0,431 \cdot v - 4,875 \cdot l;$$

$$y(Cr) = 4,35 - 0,06 \cdot v + 0,75 \cdot l;$$

$$y(Si) = 1,265 - 0,01545 \cdot v + 0,114 \cdot l.$$

Зависимости, построенные на основе приведенных уравнений, приведены на рисунке 2.

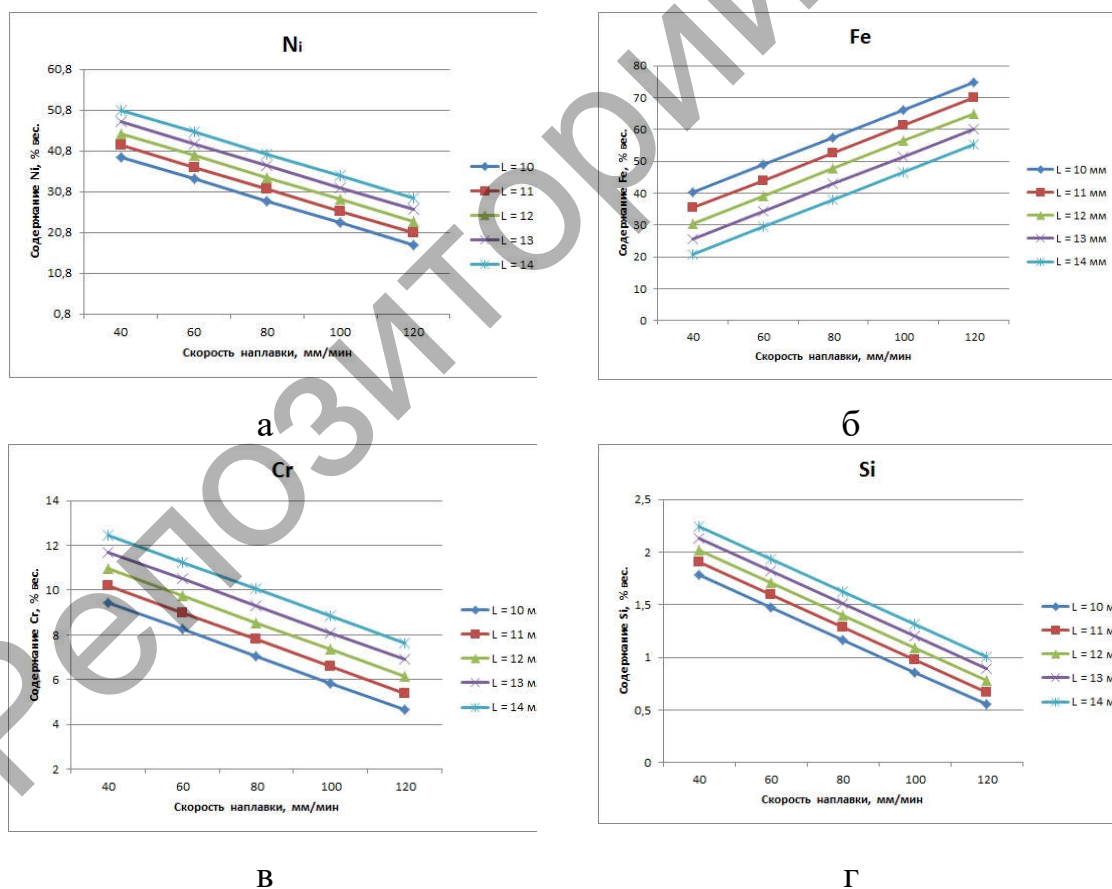


Рисунок 2 – Зависимости содержания Ni (а), Fe (б), Cr (в), Si (г) в %_{вес.} в наплавленном слое из сплава ПГ-12Н-01 от скорости лазерной наплавки

Как видно из приведенных данных, наибольшее содержание никеля (рисунок 2 а), хрома (рисунок 2 в) и кремния (рисунок 2 г) в покрытии наблюдается

при дистанции наплавки $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы) в случае, когда имеет место минимальный переплав основы. Наименьшее содержание никеля, хрома и кремния в покрытии имеет место при дистанции наплавки $L = 10$ мм (фокус луча под поверхностью основы), что может свидетельствовать о сильном переплаве поверхности основы, когда часть этих элементов из покрытия переходит в последнюю. С увеличением скорости наплавки наблюдается уменьшение содержания никеля, хрома и кремния в покрытии.

В процессе наплавки имеет место ожелезнение материала получаемого покрытия. При этом содержание железа в покрытии (рисунок 2 б) для всех зон валликов минимально при дистанции $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы), что хорошо согласуется с наименьшим переплавом основы в этом случае. Наибольшее же содержание железа в покрытии наблюдается при дистанции $L = 10$ мм (фокус под поверхностью основы), т.е. когда происходит наибольший переплав основы и взаимное перемешивание покрытия с основой. При этом степень переплава достаточно высока, т.к. содержание железа в покрытии может достигать 70%_{вес.}, в то время как содержание никеля падает до 20%_{вес.} (в исходном порошке содержание никеля составляет порядка 70%_{вес.}, а содержание железа – 3-4%_{вес.}). С увеличением скорости наплавки содержание железа в покрытии увеличивается.

Полученные данные о равномерном распределении микротвердости и содержания элементов в поперечном сечении покрытия при лазерной наплавке свидетельствуют о том, что при лазерной наплавке, когда поперечное сечение валика сопоставимо с диаметром лазерного пятна, происходит равномерный прогрев и перемешивание материала покрытия по всему его объему.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lon, John C. Laser processing of Engineering Materials: principles, procedure and industrial application/ John C. Lon. – Burlington: Elsevier Butterworth-Heintmann, MA, 2005.
2. Steen, William M., Laser Material Processing, third Ed./ William M. Steen. – London: Springer, 2003.
3. Toyserkani, E. Laser Cladding/ E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. - Boca Raton, Florida: CRS Press, 2005.
4. De Hosson, J. Th. M. Functionally graded materials produced with high power lasers/ J. Th. M. De Hosson, V. Ocelic// Proceeding of ASTRA – 2003. - Hyderabad, India, 2003. P. 368-376.

УДК 669.716.621.785

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ, ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В МЕТАЛЛЕ, ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ГОМОГЕНИЗАЦИИ

Капленко В. С.

Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Целью данной работы является оптимизация режимов термической обработки алюминиевых слитков марок АД31, АД33, т.е. определение температуры и минимальной продолжительности времени выдержки при гомогенизационном