

УДК 621.791.92

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

Морозов Е.А.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский университет», 614990, Пермский край, г. Пермь — ГСП, Комсомольский проспект, д. 29, morozov.laser@gmail.com

В работе проведены исследования покрытия из легированной стали, полученного лазерной наплавкой. Материалом наплавляемой стали выбрана 4Х5МФ1С, в качестве материала подложки выбрана сталь 10. Рассмотрено влияние технологических параметров лазерной наплавки на толщину получаемого покрытия. Средствами полнофакторного эксперимента получена эмпирическая зависимость толщины полученного покрытия от мощности лазерного излучения, скорости сканирования и подачи порошкового материала. Полученные коэффициенты уравнения регрессии характерны только для исследованного материала, но влияние параметров процесса лазерной наплавки на получаемое покрытие характерно и для других материалов. В работе проанализирована микротвердость полученных образцов. Установлено, что микротвердость слоя практически не зависит от режимов лазерной обработки и составляет ~7200 Мпа по всей толщине наплавленного покрытия.

Ключевые слова: лазер, наплавка, регрессионный анализ, микротвердость

INVESTIGATION OF COATINGS ALLOY STEEL OBTAINED BY LASER CLADDING

Morozov E.A.

Perm National Research University, 614990, Perm, the Komsomol prospectus, h. 29, morozov.laser@gmail.com,

The investigations cover of stainless steel, obtained by laser welding. The material is welded steel –H13, substrate material — steel 10. The influence of technological parameters of laser cladding on the thickness of the coating was study. Byfull factorial experiment obtained empirical dependence of the thickness of the coating on the laser power, scanning speed and flow of the powder material. The resulting coefficients of the regression equation are specific to the studied material, but the influence of process parameters on the resulting laser cladding coating characteristic of other materials. Microhardness of the sampleswas analyzed. It has been established that the microhardness is practically independent of the mode of the laser processing and is ~ 7200 MPa over the entire thickness of deposited coatings

Keywords: laser welding, regression analysis, microhardness

Применение технологий локального нанесения металла позволяет производить ремонт поврежденных участков деталей. Для этого в основном использовались технологии, связанные с наплавкой. С их помощью можно не только восстанавливать детали, но и создавать покрытия, превосходящие по свойствам материал основы. Однако большинство методов наплавки оказывают существенное тепловое воздействие на подложку-деталь, что может приводить к ухудшению ее свойств. Такого недостатка лишена технология наплавки с помощью лазерного излучения. За счет локального нагрева и постоянного перемещения источника тепла образуются малые зоны термического влияния, не способные оказать существенного воздействия на свойства основной детали. Также технология лазерной наплавки не требует специфической оснастки и позволяет более эффективно расходовать материал [1].

Несмотря на появление технологий лазерной наплавки в конце 1980-х гг., она менее распространена по сравнению с другими лазерными технологиями, такими как резка или

сварка. Причина этого заключается в отсутствии методик разработки технологического процесса [6]. С помощью аналитических методов невозможно учесть все факторы, оказывающие влияние на процесс наплавления. Кроме того, такие методики требуют начальных данных, которые можно получить только после пробных проходов.

Материалы и методика исследования

Основной целью проведения экспериментальных исследований является получение зависимостей, позволяющих оценить влияние мощности лазерного излучения, скорости перемещения лазера и подачи порошка материала на параметры наплавленного слоя [3].

Для проведения эксперимента в качестве материала основы используются плитки стали 10 размером 70x70x10 мм. В качестве наплавочного материала – порошок американской стали H13. Российский аналог – высоколегированная инструментальная сталь 4X5MФ1С, ГОСТ 5950-200 0. Частицы порошка – сферические, с размером от 40 до 150 мкм.

Экспериментальное исследование проводится по методу полного факторного эксперимента. Установление взаимосвязей между параметрами наплавочного слоя и условиями процесса наплавки с помощью полного факторного эксперимента и последующего регрессионного анализа проводится по методикам, описанным в работах [4, 5].

В основе проведения регрессионного анализа лежат следующие предположения:

- 1) давление в защитной камере постоянно;
- 2) среда в защитной камере не изменяется по химическому составу;
- 3) изменяемые факторы X_1 , X_2 , X_3 линейно независимы;
- 4) независимые факторы X_1 , X_2 , X_3 изменяются с ошибкой много меньшей по сравнению с ошибкой в определении отклика Y ;
- 5) дисперсия случайной величины Y постоянна;
- 6) при каждом сочетании значений независимых переменных X_1 , X_2 , X_3 величина зависимой переменной Y подчиняется закону нормального распределения;
- 7) погрешность в траектории наплавки чередующихся слоев несравнимо мала и не учитывается;
- 8) заготовка ориентирована перпендикулярно относительно лазерной головки;
- 9) наплавки имеют равные условия теплоотвода.

В качестве факторов, влияющих на параметры наплавочного слоя и выбранных для проведения регрессионного анализа, используются:

- 1) мощность лазерного излучения, P (кВт);
- 2) скорость перемещения лазера, S (м/мин);
- 3) скорость подачи порошка, V (г/мин).

Принятые в эксперименте кодовые обозначения факторов и их уровни указаны в таблице 1.

Таблица 1

Кодирование коэффициентов полнофакторного эксперимента

Факторы	Кодовое обозначение	Уровни факторов, соответствующие кодируемым значениям			Шаг
		Нижний	Основной	Верхний	
Р (кВт)	X ₁	0,25	0,35	0,45	0,10
S (м/мин)	X ₂	20	25	30	5
V (г/мин)	X ₃	4	6	8	2

Наплавки выполняются в виде квадратов со стороной 15 мм, последовательным нанесением параллельных дорожек. Дорожки последующего слоя наносились перпендикулярно дорожкам предыдущего. Расстояние между дорожками наплавки выбрано с учетом 25% перекрытия.

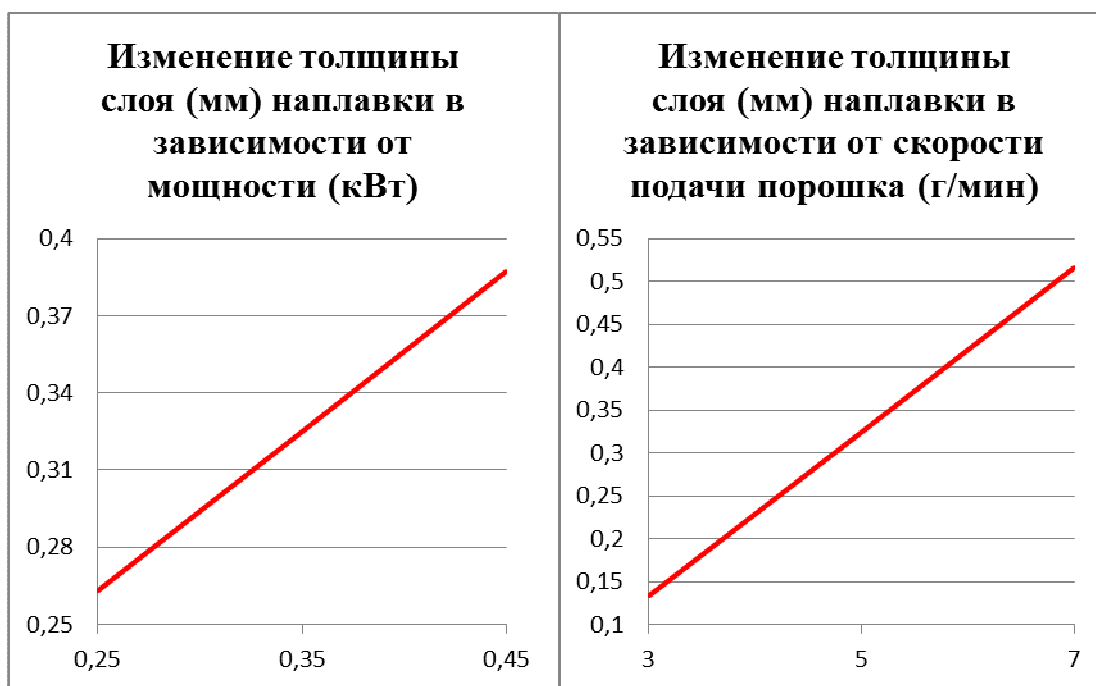


Рис. 1. Графики изменения толщины слоя наплавки в зависимости от одного параметра

В результате проведенного регрессионного анализа результатов эксперимента получена формула зависимости толщины наплавленного слоя от технологических параметров процесса лазерной наплавки.

$$Y = 0.324 + 0.063X_1 - 0.007X_2 + 0.192X_3 + 0.014X_1X_2 + 0.033X_1X_3 - 0.044X_2X_3 + 0.03X_1X_2X_3$$

где Y – значение толщины наплавленного слоя.

На рисунке 1 представлены графики зависимости толщины наплавленного слоя от наиболее значимых параметров. График влияния скорости перемещения лазера не приведен, так как влияние этого фактора на толщину наплавленного слоя минимально.

Определение микротвердости наплавленной поверхности

Микротвердость образцов после наплавки определяется в соответствии с ГОСТ 9450-76 на микротвердомере ПМТ-3 с применением тарировочных таблиц. Индентором микротвердомера в виде алмазной четырехгранной пирамиды наносится отпечаток на образец под нагрузкой 50 г длительностью 5–7 с. После нагрузки снимается. Анализ микротвердости проводится на ранее подготовленных образцах.

Полученные образцы обладают твердостью по глубине наплавки в среднем от 6900 до 7300 МПа. Не было обнаружено явной зависимости от исследуемых режимов наплавления, поэтому регрессионный анализ для определения твердости не проводился.

Предполагается, что такая микротвердость получена в результате происходящей в процессе лазерной наплавки автозакалки. Процесс импульсной лазерной автозакалки широко исследуется [2]. Однако происходящие процессы при импульсном режиме наплавления могут значительно отличаться от процессов тепломассопереноса при постоянном лазерном излучении.

На рисунке 2 представлен график, характеризующий микротвердость полученных образцов. Толщины наплавленного слоя и зоны термического влияния (ЗТВ) не указаны, так на графике представлены усредненные данные по всем проведенным экспериментам.

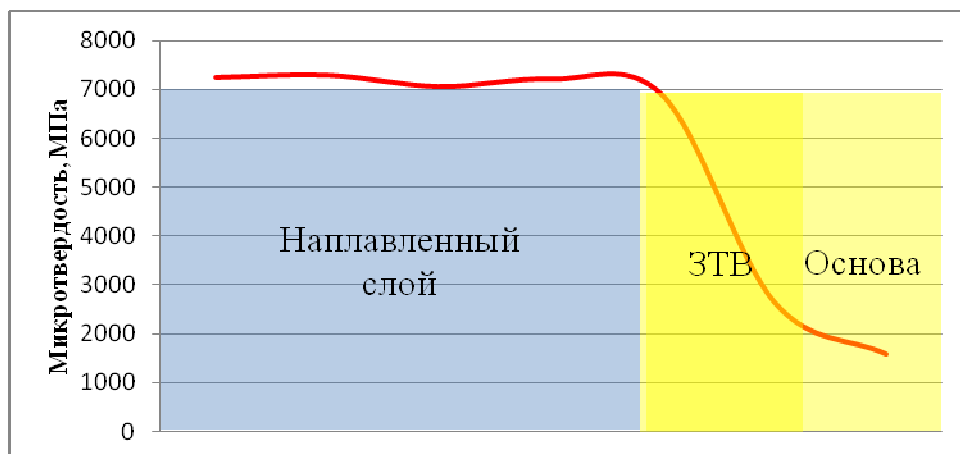


Рис. 2. График микротвердости по глубине наплавки

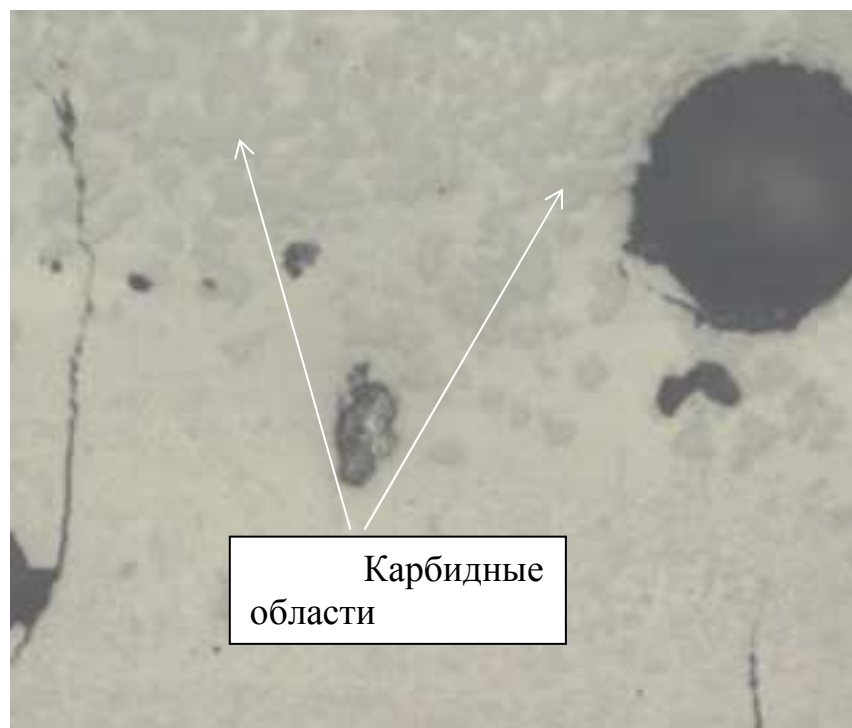


Рис.3. Микрошлиф образца, содержащего карбиды (более темные участки)

Для уточнения полученных результатов часть образцов передана на дополнительный металлографический анализ. Анализ проводился с помощью автоматического микротвердомера EMCODuraScan 20. В результате исследования образцов на некоторых наплавках из 5 слоев обнаружены участки с твердостью до 15 000 МПа. Травление 4%-ной азотной кислотой длительностью 10 с позволило выявить эти участки. Участки повышенной твердости – нерастворившиеся карбиды, встречающиеся на пористых наплавках (рис. 3). Большая концентрация находится в верхних слоях наплавки.

Выводы

1. Наибольшее влияние на значение толщины наплавленного слоя оказывают скорость подачи порошка и мощность (плотность мощности) излучения. При увеличении скорости подачи порошка с 3 до 7 г/мин в среднем высота слоя изменяется от 0,17 до 0,48 мм. При увеличении мощности излучения с 0,25 до 0,45 кВт в среднем высота слоя изменяется от 0,25 до 0,4 мм. При увеличении скорости сканирования с 20 до 30 м/мин наплавляемый слой в среднем уменьшается с 0,4 мм до 0,25. При определении высоты слоя наплавки комбинация факторов в регрессионной модели играет меньшую роль, чем каждый фактор в отдельности.
2. Средняя твердость наплавленных слоев находится в пределах 7000–7200 МПа. В поверхностных слоях наплавки наблюдаются более твердые карбидные области. Требуется дополнительное изучение структуры с выявлением причин их образования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному заданию (базовая часть) №2014/152, НИР № 1460.

Список литературы

1. Долговечный А.В., Демидова Л.А., Морозов Е.А. Технологии наплавки легированной стали на основу из углеродистой стали // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14 № 1(2). С. 550–553.
2. Костюк Г.И. Лазерное упрочнение легированных сталей. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 2. – С. 23–27.
3. Морозов Е.А. Исследование процесса лазерной наплавки легированной стали. // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 4. № 3. С. 46–49.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение. 1981. – 184 с.
5. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. // К. Хартман, Э. К. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир. – 1977. – 548 с.
6. Хаскин В.Ю. Расчетно-экспериментальный метод определения параметров процесса лазерной наплавки // Наука и инновации. – 2012. – № 6. – С. 5–16.

Рецензенты:

Сиротенко Л.Д., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Матыгулина Е.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.