

Таким образом, использование углей в качестве компонента восстановительных смесей является перспективным способом замены дорогостоящих восстановителей. Возможность применения восстановительных смесей разного состава позволяет регулировать электрические и термические параметры печи, увеличивая как производительность так и извлечение кремния в сплав.

Список литературы

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
2. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Теслев С. А., Теслева Е. П. Использование железорудных неофлюсованных окатышей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 155-158.
4. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.
5. Кашлев И.М. Разработка технологии производства ферросилиция и электродной массы с использованием каменного угля [Текст]: автореф.дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / И. М. Кашлев. – Новокузнецк, 2000. – 19 с.
6. Многокомпонентная восстановительная смесь для выплавки ферросилиция: 2366740 С2 Рос. Федерация: МПК С22С 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. Платонов, М.М. Михайлов, И.М. Кашлев, С.Ф. Павлов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2006134897/02; заявл. 02.10.2006; опубл. 10.09.2009, Бюл. No 25.– 4 с.
7. Восстановительная смесь для выплавки ферросилиция: 2380440 С2 Рос. Федерация: МПК С22С 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. Платонов, М.М. Михайлов, И.М. Кашлев, С.Ф. Павлов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2006134896/02; заявл. 02.10.2006; опубл. 27.01.2010, Бюл. No 3.– 4 с.
8. Способ выплавки ферросилиция в рудотермической печи: 2451098 С2 Рос. Федерация: МПК С22С 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. И.М. Кашлев, А.В. Астахов, А.А. Маматов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2010119793/02; заявл. 17.05.2010; опубл. 27.11.2011, Бюл. No 33.– 9 с.

МИКРОТВЕРДОСТЬ ВАЛИКОВ ИЗ БРОНЗЫ ПГ-19М-01, НАНЕСЕННЫХ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

*О.Г. Девойно, д.т.н., проф., Н.И. Луцко, науч. сотр., А.С. Лапковский, науч. сотр.,
Белорусский национальный технический университет
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45
E-mail: nilucko@tut.by*

В статье рассматриваются преимущества лазерной наплавки и возможности использования лазерной наплавки для создания мультимодальных покрытий из разнородных металлических материалов. Приведены результаты исследований микротвердости в поперечном сечении наплавленных валиков из алюминиевой бронзы. Показано влияние скорости лазерной наплавки на микротвердость в наплавленных валиках.

The advantages and the capabilities of laser cladding are analysed for used laser cladding for applying multimodal coatings from heterogeneous metal work materials. Results of microhardness investigations in cross section of cladding tracks from Al-bronze are exhibited. The influence of cladding velocity on microhardness are examined.

Машины и механизмы, используемые современной промышленностью, в большинстве случаев предполагают наличие высоких скоростей и нагрузок. Поэтому постоянно растет потребность в высоко-износостойких материалах. Пределы упрочнения однокомпонентных материалов в настоящее время уже близки к исчерпанию. По этой причине возрастает роль композиционных материалов, позволяющих значительно увеличить износостойкость, в том числе композиционных упрочняющих покрытий. Особенно высокие физико-механические свойства показывает такой вид композиционных покрытий, как мультимодальные покрытия [1, 2]. Модой считается значение какого-либо признака (размера частиц упрочняющей фазы, величины пористости, вида материала), которые встречаются

наиболее часто. Если имеют место несколько значений какого-либо признака, имеющие одинаковую частоту повторения, то покрытие является мультимодальным (бимодальным).

Лазерная наплавка позволяет наносить валики небольших размеров, поперечные сечения которых сравнимы с размером лазерного пятна на поверхности наплавки, при этом тепловой вклад в прилегающие области покрытия минимален. Кроме того при лазерной наплавке: перемешивание материала наплавляемых валиков с материалом подложки и с материалом соседних валиков может поддерживаться достаточно низким; сцепление наплавленных валиков с подложкой и между собой великолепное; диапазон технологических параметров лазерной обработки достаточно большой, соответственно параметры нанесения покрытия могут выбираться достаточно свободно [3].

Эти свойства лазерной наплавки наводят на мысль о возможности создания с ее помощью мультимодальных покрытий. В частности, одним из вариантов создания мультимодальных покрытий с использованием возможностей лазерной наплавки является построение покрытия состоящего из полосчатых слоев, полученных чередованием материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Такая технология создания мультимодальных покрытий может быть использована как для упрочнения поверхностей новых деталей, так и для восстановления их изношенных поверхностей с хорошими прочностными свойствами [4, 5].

Схема поперечного сечения такого покрытия, в котором чередуются валики из различных материалов, показана на рисунке 1.

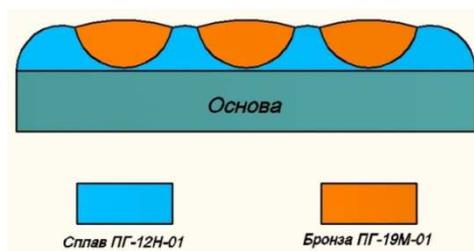


Рис. 1. Схема поперечного сечения мультимодального покрытия полученного чередованием валиков из различных материалов

Прежде чем приступить к созданию мультимодальных покрытий из разнородных металлических материалов должна быть отработана технология лазерной наплавки валиков из предполагаемых составляющих мультимодального покрытия и исследованы физико-механические свойства материалов валиков. В данной работе нами предпринята попытка исследовать распределение микротвердости в единичных валиках из бронзы ПГ-19М-01 и выявить влияние режимов лазерной наплавки на величину микротвердости.

Для выполнения исследований применялся лазерный технологический комплекс, включавший газовый CO_2 лазер непрерывного действия типа «Комета 2» с мощностью излучения 1000 Вт и координатную систему с числовым программным управлением, обеспечивавшую необходимое перемещение наплавочной головки относительно наплавлявшихся образцов. Применявшаяся схема наплавки показана на рисунке 2.

Образец 8 устанавливался на поверхность стола координатной системы, указанная система обеспечивала перемещение наплавочной головки-объектива 3 с коаксиальным наплавочным соплом 4, фокусирующей линзой 5 и системой поворотных зеркал 6 относительно образца с заданной скоростью наплавки V. Наплавляемый материал в питателе 1 смешивался с транспортирующим газом (аргоном) и в виде газопорошковой смеси поступал в распределитель 2, из которого он по четырем трубкам подавался в коаксиальное сопло 4. Луч лазера 7 через систему поворотных зеркал 6 и линзу 5 фокусировался на поверхности образца в той же точке, куда подавался порошок по наклонным каналам коаксиального сопла 4. Для предотвращения перегрева фокусирующей линзы 5 и сопла 4 в процессе наплавки, в корпусе головки объектива 3 были предусмотрены специальные каналы, через которые протекала проточная вода. Лазерная наплавка производилась при мощности излучения лазера 1000 Вт, дистанциях наплавки 10, 12 и 14 мм, скоростях наплавки 100, 150, 200, 250 и 300 мм/мин, величине подачи порошка 12 г/мин. Наплавка выполнялась на образцы, изготовленные из стали 45,

имевшие размеры 20x30x8 мм. В качестве наплавочного материала использовался порошок алюминиевой бронзы – ПГ-19М-01, имевший грануляцию 20-80 мкм.

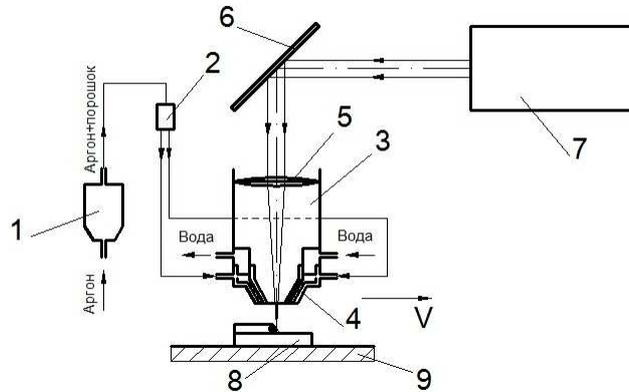


Рис. 2. Схема лазерной наплавки

После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки, шлифовались и заливались в специальные оправки. Затем изготавливались поперечные шлифы валиков наплавки и производился замер микротвердости по глубине валиков. Измерения микротвердости производились при помощи микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г по линии симметрии валиков из основы к поверхности покрытия с шагом 0,05 мм. Результаты приведены на рисунках 3-5.

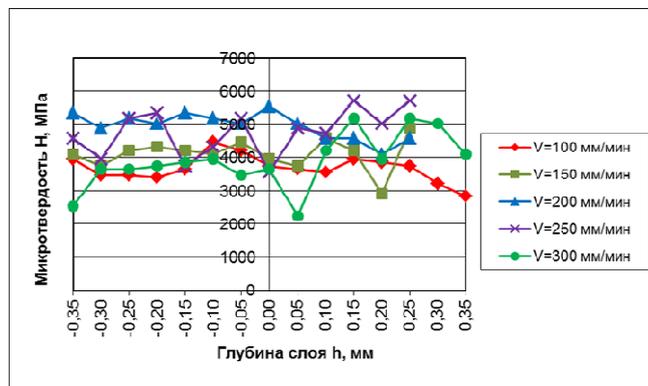


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 10 мм

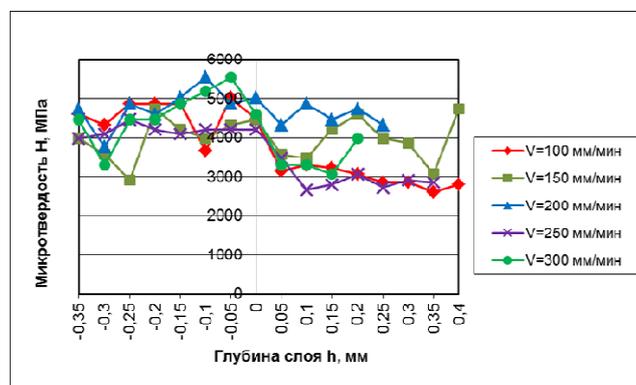


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 12 мм

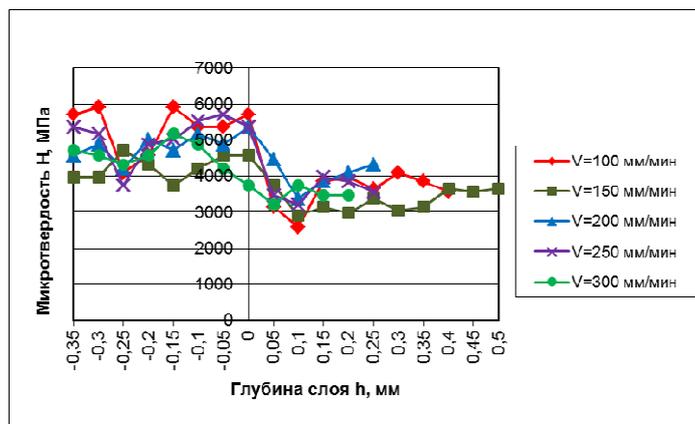


Рис. 5- – Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 14 мм

Полученные результаты позволяют отметить следующее:

- При переходе из основы в покрытие наблюдается некоторое снижение микротвердости, которое увеличивается с увеличением дистанции наплавки, что свидетельствует о том, что величина переходной зоны уменьшается при росте дистанции наплавки. Металлургическая связь покрытия с подложкой при этом сохраняется;

- По глубине наплавленных валиков из бронзы ПГ-19М-01 микротвердость распределена достаточно равномерно при всех дистанциях наплавки, что говорит о равномерном перемешивании наплавляемого материала покрытия в ванне расплава. Небольшие колебания микротвердости по глубине валиков из бронзы свидетельствуют также о равномерном распределении фаз в покрытии. Другими словами, после лазерной наплавки покрытие из бронзы ПГ-19М-01 по всему объему состоит в основном из α -твердого раствора меди, эвтектики α -Fe+ γ -Fe, алюминидов меди и алюминидов железа;

- Наблюдается некоторое снижение микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 при увеличении дистанции наплавки, что связано с изменением положения фокуса лазерного излучения относительно поверхности наплавки и разными условиями нагрева-охлаждения;

- Наивысшая микротвердость (5300 МПа) отмечается при скорости наплавки 250 мм/мин и дистанции наплавки 10 мм;

- При скорости наплавки 100 мм/мин и дистанции наплавки 14 мм уровень микротвердости достаточно низок и составляет порядка 3000 МПа.

На рисунке 6 приведена зависимость средней микротвердости в валике бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки. Из рисунка 6 видно, что наиболее низкая микротвердость при всех дистанциях наплавки наблюдается при скорости наплавки 100 мм/мин. В диапазоне скоростей наплавки 100-250 мм/мин наблюдается увеличение микротвердости. При дальнейшем росте скорости наплавки до 300 мм/мин, микротвердость валиков бронзы уменьшается. При малых скоростях наплавки и, соответственно, большом энергокладе в валиках из бронзы образуется достаточно крупнозернистая структура с низкой микротвердостью. С ростом скорости наплавки и уменьшением энергоклада в валики, величина зерна уменьшается, а микротвердость растет. При скорости наплавки 250 мм/мин формируется оптимальная зернистость структуры и наблюдается максимальная микротвердость. С увеличением скорости наплавки из-за уменьшения энергоклада в покрытие в нем создаются условия неполного сплавления материала валиков по границам зерен. Таким образом, в диапазоне скоростей наплавки 250-300 мм/мин средняя микротвердость материала валиков из бронзы ПГ-19М-01 уменьшается.

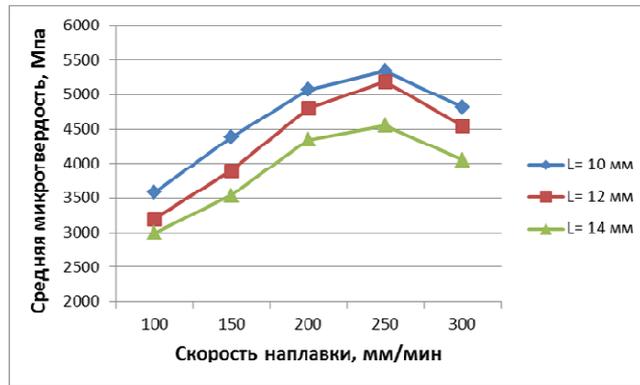


Рис. 6 - Зависимость средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки

На рисунке 7 показаны зависимости средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки. При дистанции наплавки 10 мм, когда фокус лазерного излучения находится под поверхностью покрытия, порошок прогревается хорошо, основа при этом проплавляется максимально. Из-за большого количества материала основы, попавшего в валики бронзы, средняя микротвердость последних достаточно высока. При дистанции 12 мм, когда фокус лазерного луча находится на поверхности основы, порошок прогрет удовлетворительно, а основа достаточно качественно оплавлена. Из-за меньшего, чем в предыдущем случае, попадания материала основы в валики из бронзы и достаточно крупнозернистой структуры, микротвердость валиков из бронзы ПГ-19М-01 снижается. При дистанции наплавки 14 мм, когда фокус лазерного луча находится над поверхностью основы, порошок прогревается хуже, а основа проплавляется плохо. Материал основы попадает в валики бронзы в минимальном количестве, а материал валиков недостаточно сплавляется по границам зерен, что приводит к сравнительно низкой микротвердости последнего.

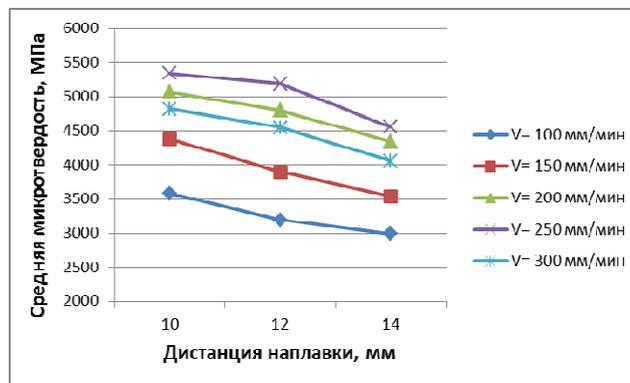


Рис. 7 - Зависимость средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Валики, полученные лазерной наплавкой алюминиевой бронзы ПГ-19М-01, отличаются равномерным распределением микротвердости по глубине валика. Максимальная величина средней для всех использовавшихся режимов микротвердости составляет 5300 МПа, а минимальная – 3000 МПа.

- Величина переходной зоны между покрытием и подложкой для валиков из бронзы ПГ-19М-01 зависит от скорости наплавки. При малой скорости наплавки переходная зона достаточно большая. С увеличением скорости наплавки переходная зона уменьшается. Тем не менее, при всех скоростях наплавки сохраняется металлургическая связь материала валиков с подложкой.

- Зависимости средней микротвердости материала валиков от скорости наплавки показывают, что максимальная микротвердость достигается при скорости наплавки 250 мм/мин. При больших и меньших скоростях наплавки микротвердость материала валиков уменьшается.

- Приемлемой дистанцией наплавки, с точки зрения наивысшей микротвердости следует считать дистанцию наплавки 10 мм.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при нанесении мультимодальных покрытий из разнородных материалов методом лазерной наплавки.

Список литературы

1. Ratajski, J. Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings/ J. Ratajski , A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga// Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. - I. 2. – P. 35-45.
2. Gilewicz, A. The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel/ A.Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski// Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27-43.
3. Vilar, R. Laser cladding/ R. Vilar// Journal of laser applications. – 1999. – V. 11. – I. 2. - P. 64-79.
4. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С.664.
5. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, - С. 424..

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Н.А. Сапрыкина, к.т.н. доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц.

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61
e-mail: saprikina@tpu.ru*

Аннотация:Метод селективного лазерного плавления (SLS) позволяет послойно получать изделия любой сложности из металлических порошковых материалов на основе 3D CAD- модели с хорошими механическими свойствами. Номенклатура применяемых порошковых материалов и область применения постоянно увеличивается. Несмотря на преимущества технологии селективного лазерного плавления создание качественных деталей является сложным процессом. Внедрение нового материала сопровождается большим количеством исследований по определению условий селективного лазерного плавления. Фактором, сдерживающим применение различных металлов и сплавов, является наличие дефектов в получаемом изделии. В данной статье рассмотрен механизм образования разбрызгивания с точки зрения внешнего вида и композиций при плавлении медного и кобальт-хром-молибденового порошковых материалов, изучено влияние мощности лазерного излучения на диаметр коагулированных частиц при плавлении кобальт-хром-молибденового порошка. Показано, что с увеличением мощности до 60 Вт, при скорости сканирования 360 мм/мин размер коагулированных частиц увеличивается до 350 мкм. Понимание процесса образования брызг полезно для производства высококачественных изделий методом SLS.

The method of selective laser melting (SLS) allows to obtain products of any complexity from metal powder materials on the basis of 3D CAD - model with good mechanical properties. The range of powder materials used and the scope of application is constantly increasing. Despite the advantages of selective laser melting technology, creating high-quality parts is a complex process. The introduction of the new material is accompanied by a large number of studies to determine the conditions of selective laser melting. A factor hindering the use of various metals and alloys is the presence of defects in the resulting product. This article describes the mechanism of formation of spraying in terms of appearance and compositions in the melting of copper and cobalt-chromium-molybdenum powder materials, studied the effect of laser radiation power on the diameter of coagulated particles in the melting of cobalt-chromium-molybdenum powder. It is shown that the coagulated particle size increases to 350 microns with the scanning speed of 360 mm/min with the power increase to 60 W. Understanding the spray formation process is useful for producing high quality products using the SLS method.

Аддитивные технологии являются самыми быстро развивающимися передовыми технологиями в мире. Инновационным является метод селективного лазерного плавления физической копии различных объектов из металлических порошковых материалов на основе 3D CAD-модели. Объемное изделие образовывается путем послойного плавления порошкового материала лучом лазера в соответствии с контуром каждого сечения. Учеными проводятся работы по повышению качества