

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ЕГО ФОРМИРОВАНИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Девоино О.Г., Шелег В.К., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
e-mail: scvdmmed@bntu.by

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).

При лазерной наплавке наносятся валики небольших размеров, поперечные сечения которых сравнимы с размером лазерного пятна на поверхности наплавки, тепловой вклад в прилегающие области покрытия минимален, перемешивание материалов соседних валиков низкое, параметры нанесения покрытия могут выбираться достаточно свободно [3]. Эти свойства лазерной наплавки позволяют создавать с ее помощью мультимодальные покрытия путем чередования валиков из разнородных материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Получаемые покрытия при этом могут характеризоваться не только высокой износостойкостью, но и анизотропией износостойкости в разных направлениях относительно наплавленных валиков. Такая технология создания мультимодальных покрытий может быть использована как для упрочнения новых деталей, так и для восстановления изношенных поверхностей с получением хороших прочностных свойств [4, 5].

В данной работе изучалось распределение микротвердости по глубине и в продольном направлении (вдоль поперечного сечения слоя) в однослойном мультимодальном покрытии, полученном методом лазерной наплавки чередованием валиков из самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01.

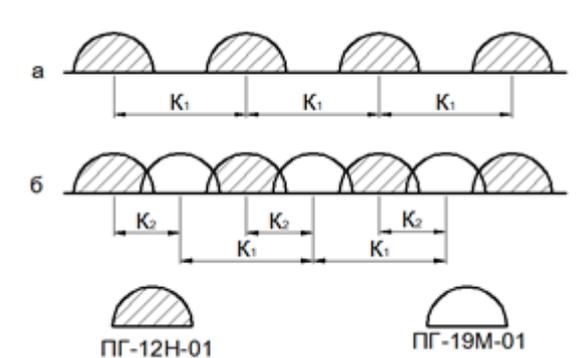


Рисунок 1- Схема наплавки мультимодального покрытия:  
а - первый этап; б - второй этап



Рисунок 2- Поперечное сечение мультимодального полосчатого покрытия  $\times 50$

Покрyтия наносились на технологическом комплексе на базе CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия типа «Комета» и координатного стола с системой числового программного управления. Наплавка велась в два этапа, вначале на основу наносились параллельные валики из сплава ПГ-12Н-01 с шагами 1,8; 2,4 и 3 мм (К1), а на втором этапе между ними наплавлялись валики из бронзы ПГ-19М-01, шаг между валиками самофлюсующегося сплава и бронзы составлял, соответственно, 0,9; 1,2 и 1,5 мм (К2). Схема наплавки мультимодального покрытия приведена на рис. 1. Фотография полученного шлифа поперечного сечения покрытия приведена на рис. 2. Отчетливо видны два валика из бронзы ПГ-19М-01, между которыми находится валик из сплава ПГ-12Н-01. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г по глубине покрытия по линиям симметрии валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 из основы в покрытие и в продольном направлении вдоль поперечного сечения слоя параллельно основе.

Типичная картина распределения микротвердости по глубине однослойного композиционного покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 представлена на рис. 3. Валик 1 и валик 3 наплавлялись на первом этапе нанесения покрытия (рис. 1) и представляли собой валики наплавки из чистого сплава ПГ-12Н-01, валик 2 наносился на втором этапе, когда после наплавки валиков из сплава ПГ-12Н-01 на месте нанесения валика 2 образовался тонкий подслоя из этого материала.

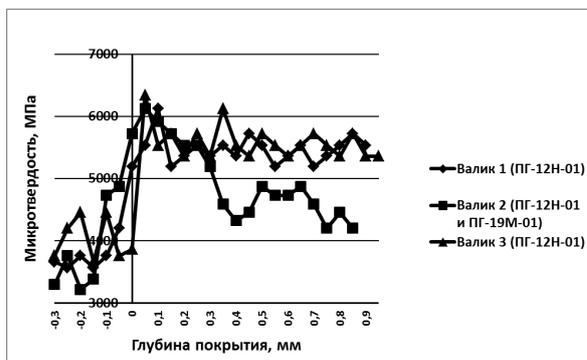


Рисунок 3- Распределение микротвердости по глубине в однослойном мультимодальном покрытии

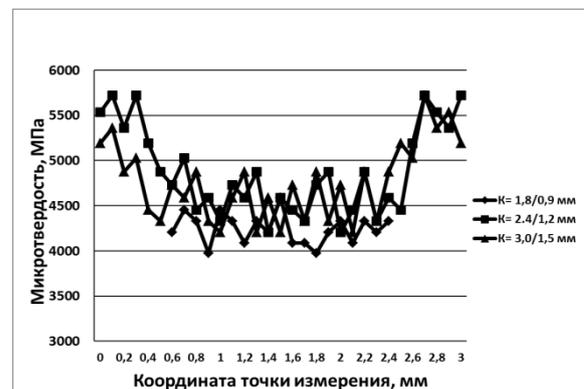


Рисунок 4- Распределение микротвердости в продольном направлении параллельно основе в однослойных мультимодальных покрытиях

Из рис. 3 видно, что на границе основы и покрытия происходит резкий рост микротвердости, что говорит о том, что, несмотря на металлургическую связь основы и покрытия, переходная зона между ними очень мала или вообще отсутствует. В дальнейшем в валиках из сплава ПГ-12Н-01 (валики 1 и 3 на рис. 3) величина микротвердости находится примерно на одном уровне по всей глубине покрытия (5500 МПа), что свидетельствует о хорошем перемешивании материала в ванне расплава и о равномерном прогреве материала валика. Несколько иная картина наблюдается при замере микротвердости по оси валика бронзы ПГ-19М-01. На границе основы и покрытия, как и в валиках из сплава ПГ-12Н-01, наблюдается (валик 3 на рис. 3) резкий рост микротвердости, что также свидетельствует о малой величине переходной зоны. До расстояния от основы 0,25 мм средняя величина микротвердости в валике 2 составляет 5500 МПа. В данном случае мы имеем дело с подслоем из сплава ПГ-12Н-01, образовавшимся при наплавке валиков 1 и 3. В дальнейшем микротвердость снижается примерно на 1000 МПа и остается на этом уровне (4500 МПа) на всей глубине покрытия, то есть при наплавке валика бронзы ПГ-19М-01 также происходит равномерный разогрев и хорошее перемешивание материала в ванне расплава.

Характерные результаты измерения микротвердости в продольном направлении вдоль поперечного сечения слоя параллельно основе представлены на рис. 4. Координата начальной точки измерения соответствовала примерно середине левого

валика из сплава ПГ-12Н-01 (валик 1 на рис. 3), а координата конечной точки измерения – примерно середине правого валика из сплава ПГ-12Н-01 (валик 3 на рис. 3), координата измерения 1,5 мм соответствовала примерно середине валика из бронзы ПГ-19М-01. Из рис. 4 хорошо видно, что при шагах наплавки одноименных/разноименных валиков  $K1/K2$  2,4/1,2 мм и 3,0/1,5 мм в продольном направлении покрытия наблюдается периодичность изменения микротвердости. Вначале, когда измерения выполняются в валике из сплава ПГ-12Н-01, средняя микротвердость покрытия находится на уровне 5500 МПа, затем, когда измерения проводятся в валике бронзы ПГ-19М-01, наблюдается снижение средней микротвердости до 4500 МПа, и наконец, когда измерения снова проводятся в валике из сплава ПГ-12Н-01, средняя микротвердость покрытия опять поднимается до 5500 МПа. Такие периодические изменения микротвердости происходят вдоль всего поперечного сечения однослойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. В плане сверху такое покрытие представляет собой полосчатую композицию, в которой чередуются полосы сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01.

Таким образом, при помощи лазерной наплавки существует возможность создавать мультимодальные полосчатые покрытия, состоящие из полос разнородных материалов и при этом добиваться периодичности изменения микротвердости покрытий как в поперечном сечении покрытий, так и в плане сверху. При этом, варьируя соотношение шагов наплавки одноименных и разноименных материалов  $K1$  и  $K2$ , можно добиваться разной периодичности изменения этой характеристики покрытий.

Исследования, проведенные в рамках данной работы, позволяют понять механизм формирования мультимодальных покрытий из разнородных материалов методом лазерной наплавки. Показана возможность получения периодичности изменения микротвердости как в поперечном сечении мультимодальных покрытий, так и в плане сверху. Полученные результаты позволяют сделать предположение о периодичности изменения и других физико-механических свойств таких покрытий. Кроме того, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что существует реальная возможность регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств, в том числе износостойкости и коэффициента трения в мультимодальных покрытиях, получаемых методом лазерной наплавки.

### Литература

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. R. Vilar. Laser cladding. Journal of laser applications, vol. 11:64 – 79, 1999.
4. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В.Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009. – 664 с.
5. Шишковский, И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий/И.В. Шишковский. – М.: Физматлит, 2009. – 424 с.