

## АРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

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

(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Тел. +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

*Micro-hardness distribution in composite coating receive by reinforcement gas-thermal coating by laser cladding was investigated. Micro-hardness dependences in cladding beds from nickel based self-fluxing alloy and in plasma spraying coating from bronze were purchased from process parameters. Periodical variance of micro-hardness in composite coating cross section was specified.*

В последние годы все больше дает о себе знать проблема обеспечения промышленности современными материалами, обладающими повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Решить эту проблему помогает, в том числе, создание защитных и упрочняющих покрытий. При этом особую роль играет создание композиционных покрытий, позволяющих добиться наиболее заметных результатов. Особый интерес при создании композиционных покрытий представляет использование сочетания различных методов нанесения покрытий, которое обеспечивает получение специальных свойств поверхности деталей, увеличение конструктивной прочности как основы создания композиционных материалов и возможность сочетания различных физико-механических свойств деталей и покрытий при эксплуатации (износостойкости и трещиностойкости, коррозионной стойкости и жаропрочности и т.д.) [1].

Авторами исследовалось распределение микротвердости по глубине и по поперечному сечению композиционного покрытия, полученного армированием газотермического покрытия лазерной наплавкой, в зависимости от режимов лазерной наплавки и плазменного напыления.

Нанесение композиционных покрытий осуществлялось в 2 этапа. На первом этапе на образцы из стали 45 методом лазерной наплавки наносились параллельные валики из самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01. Лазерная наплавка осуществлялась на технологическом комплексе на базе CO<sub>2</sub> – лазера непрерывного действия типа «Комета 2» мощностью 1000 Вт и координатного стола с системой ЧПУ «РУХ-5.0». Валики из сплава ПГ-12Н-01 наносились с шагом 3 мм.

На втором этапе после дробеструйной обработки образцов с наплавленными валиками из сплава ПГ-12Н-01 на них производилось напыление плазменного покрытия из порошка бронзы ПГ-19М-01. Напыление покрытия осуществлялось на установке плазменного напыления УПУ-3Д.

Исследование микротвердости проводилось на полученных поперечных шлифах с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Измерения микротвердости в наплавленных валиках из сплава ПГ-12Н-01 производились по глубине валиков по их оси в направлении из основы в покрытие и по ширине валиков, параллельно основе из покрытия из бронзы ПГ-19М-01 через валик из сплава ПГ-12Н-01 в покрытие из бронзы. Измерения микротвердости в плазменном покрытии из бронзы ПГ-19М-01 производилось по глубине покрытия примерно посередине между наплавленными валиками в направлении из основы в покрытие и по ширине покрытия, параллельно основе из валика самофлюсующегося сплава через покрытие из бронзы в валик из самофлюсующегося сплава.

Распределение микротвердости в композиционном покрытии по глубине наплавленного валика из сплава ПГ-12Н-01 при различных дистанциях наплавки

показано на рис. 1. Из этого рисунка видно, что после того как микротвердость резко возрастает при переходе из основы в валик самофлюсующегося сплава, по всей глубине валика она затем находится примерно на одном уровне для всех дистанций наплавки  $l$ . В дальнейшем, при переходе в напыленное покрытие из бронзы, микротвердость снова достаточно резко уменьшается. Резкие перепады микротвердости на границах основа-валик и валик-покрытие свидетельствуют, что переходные зоны скорее всего достаточно малы или отсутствуют.

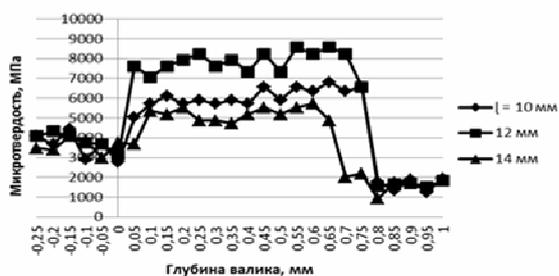


Рис. 1. Распределение микротвердости в композиционном покрытии по глубине наплавленного валика из сплава ПГ-12Н-01 при скорости лазерной наплавки  $v = 80$  мм/мин

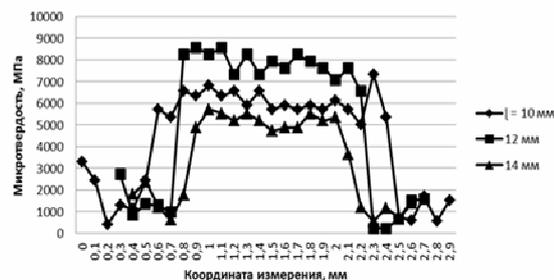


Рис. 2. Распределение микротвердости в композиционном покрытии по ширине наплавленных валиков из сплава ПГ-12Н-01 при скорости лазерной наплавки  $v = 80$  мм/мин

Распределение микротвердости в композиционном покрытии по ширине наплавленного валика из сплава ПГ-12Н-01 при различных дистанциях наплавки показано на рис. 2. Из этого рисунка видно, что после того как микротвердость резко возрастает при переходе из напыленного покрытия из бронзы в валик самофлюсующегося сплава, по всей ширине валика она затем находится примерно на одном уровне для всех скоростей  $v$  и дистанций наплавки  $l$ . В дальнейшем, при переходе в напыленное покрытие из бронзы, микротвердость снова достаточно резко уменьшается.

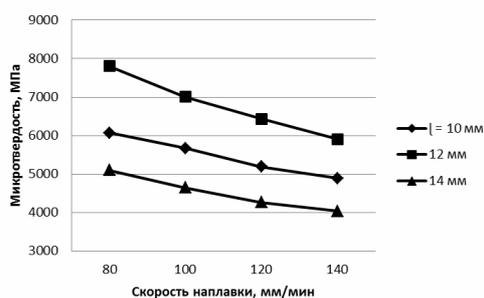


Рис. 3. Зависимость средней микротвердости в валиках самофлюсующегося сплава в композиционном покрытии от скорости лазерной наплавки

Для получения зависимости микротвердости в валиках самофлюсующегося сплава от скорости лазерной наплавки были определены средние значения микротвердости для каждой скорости и дистанции наплавки. Полученные результаты приведены на рис. 3 в виде зависимостей средней микротвердости от скорости наплавки при различных дистанциях наплавки.

Из рис. 3 видно, что с увеличением скорости лазерной наплавки происходит уменьшение средней микротвердости в валиках самофлюсующегося сплава в композиционном покрытии при всех дистанциях наплавки. Такая зависимость объясняется тем, что с увеличением скорости лазерной наплавки происходит

уменьшение удельной энергии лазерного излучения. Чем выше скорость лазерной наплавки, тем меньше прогревается материал покрытия, уменьшается размер ванны расплава, а также количество фиксируемых в покрытии высокотемпературных фаз. Кроме того с ростом скорости лазерной наплавки и уменьшением прогрева материала покрытия все больше начинает сказываться ухудшение сцепления материала покрытия по границам зерен, что также способствует уменьшению средней микротвердости валиков самофлюсующегося сплава

На рис. 4 показано распределение микротвердости по глубине плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 в композиционном покрытии. Из этого рисунка видно, что после резкого уменьшения микротвердости на границе основы и покрытия, в дальнейшем по всей глубине покрытия микротвердость находится на одном уровне для всех скоростей напыления и мощности напыления.

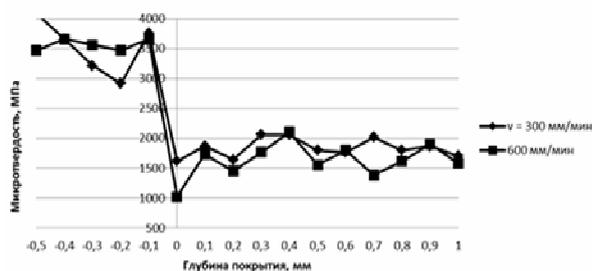


Рис. 4. Распределение микротвердости в композиционном покрытии по глубине плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при мощности напыления 14300 Вт

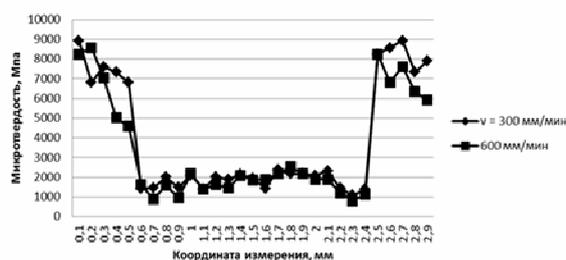


Рис. 5. Распределение микротвердости в композиционном покрытии по ширине плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при мощности плазменного напыления 14300 Вт

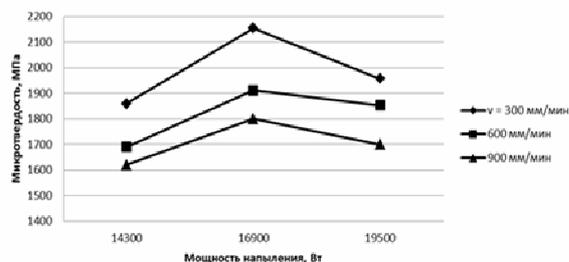


Рис. 6. Зависимость средней микротвердости плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 в композиционном покрытии от мощности напыления

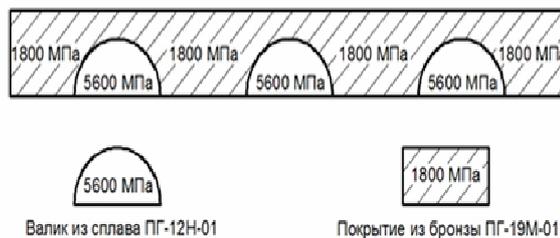


Рис. 7. Схема поперечного сечения композиционного покрытия, полученного армированием газотермического покрытия лазерной наплавкой

Распределение микротвердости в композиционном покрытии по ширине плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01 при различной мощности плазменного напыления и скоростях перемещения плазматрона показано на рис. 5. Из этого рисунка видно, что после того как микротвердость резко уменьшается при переходе из наплавленного из сплава ПГ-12Н-01 валика в напыленное покрытие из бронзы ПГ-19М-01, по всей ширине плазменного покрытия она затем находится примерно на одном уровне для всех мощностей напыления и скоростей перемещения плазматрона. В дальнейшем, при переходе в наплавленный валик из сплава ПГ-12Н-01, микротвердость снова достаточно резко увеличивается. Для получения зависимости

микротвердости в плазменном покрытии из бронзы от мощности плазменного напыления были определены средние значения микротвердости для каждой мощности напыления и скорости перемещения плазмотрона. Полученные результаты приведены на рис. 6 в виде зависимостей средней микротвердости от мощности напыления при различных скоростях перемещения плазмотрона.

Из рис. 6 видно, что с увеличением мощности плазменного напыления с 14300 Вт до 16900 Вт средняя микротвердость плазменного покрытия из бронзы в композиционном покрытии также увеличивается. Однако, при дальнейшем увеличении мощности плазменного напыления микротвердость покрытия из бронзы несколько уменьшается. Такую закономерность можно объяснить тем, что вначале рост мощности плазменного напыления приводит лучшему прогреву частиц порошка в плазменной струе, когда поверхность частиц достигает расплавленного состояния, в этих условиях возрастает прочность сцепления частиц между собой в покрытии, что приводит к увеличению средней микротвердости. При дальнейшем увеличении мощности плазменного напыления, частицы порошка начинают полностью расплавляться в плазменной струе, образуя капли сплава бронзы. При соударении таких капель с поверхностью подложки и ранее напыленными частицами происходит сильное разбрызгивание, что приводит к меньшему сцеплению частиц в покрытии между собой и, соответственно, к уменьшению средней микротвердости.

Анализируя рис. 2 и рис. 5 можно заметить, что в композиционном покрытии полученном армированием газотермического покрытия лазерной наплавкой наблюдается четко выраженная периодичность измерения микротвердости в поперечном сечении в направлении параллельно основе. При этом поперечное сечение такого покрытия можно представить в виде схемы, показанной на рис. 7.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Характер распределения микротвердости по глубине и ширине наплавленных валиков из сплава ПГ-12Н-01 равномерный, микротвердость практически одинакова в любой точке поперечного сечения валиков. Величина микротвердости в валиках из сплава ПГ-12Н-01 зависит от скорости лазерной наплавки и дистанции наплавки. С увеличением скорости лазерной наплавки величина средней микротвердости в наплавленных валиках уменьшается.

- В участках композиционного покрытия нанесенных плазменным напылением бронзы ПГ-19М-01 микротвердость также равномерно распределена по глубине и ширине покрытия и практически одинакова в любой точке поперечного сечения этих участков. Величина микротвердости в участках плазменного покрытия зависит от мощности плазменного напыления и скорости перемещения плазмотрона. При увеличении мощности плазменного напыления наблюдается вначале рост средней микротвердости плазменного покрытия из бронзы ПГ-19М-01, а затем уменьшение.

- По ширине композиционного покрытия, полученного армированием плазменного покрытия лазерной наплавкой, наблюдается периодическое изменение микротвердости при переходе из наплавленных валиков из сплава ПГ-12Н-01 в плазменное покрытие из бронзы ПГ-19М-01 и опять в наплавленный валик вдоль всего поперечного сечения покрытия. Периодичность изменения микротвердости может регулироваться изменением ширины и шага расположения валиков, что должно оказывать влияние на эксплуатационные свойства покрытий.

**Список литературы:** 1. Радченко Т.Б., Хомутов О.И. Вопросы теории и практики комбинированных защитных покрытий с использованием электронных пучков в вакууме. // Ползуновский альманах: Сб. науч. тр. АлтГТУ, №3.- Барнаул: АГТУ, 1999.-С. 69-73.