

**СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НАПЛАВКЕ
ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ ($\text{Cr}_2\text{C}_3 + \text{TiC}$) НА НИЗКОУГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ
ВЫСОКОЭНЕРГИТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

Р.В. ТРОЦЕНКО¹, Т.А. КРЫЛОВА²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Одним из эффективных способов получения защитных покрытий на поверхности конструкционных материалов является методом электронно-лучевой наплавки при использовании пучка релятивистских электронов, выведенного в атмосферу [1,2]. Данная технология объединяет в себе такие преимущества как высокая производительность процесса и показатель коэффициента полезного действия (КПД), а также возможность осуществлять обработку в воздушной среде, благодаря чему с заготовок снимаются габаритные ограничения. Такой способ обработки дает возможность в широких пределах изменять химический и фазовый состав покрытия за счет использования практически любых тугоплавких соединений. Метод электронно-лучевой обработки позволяет получать покрытия толщиной от 1 до 10 мм. Получаемые материалы с нанесенными покрытиями имеют улучшенные характеристики твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, жаростойкости и другие по сравнению с необработанными материалами, что обеспечивает экономию ресурсов и материальных средств за счет замены дорогостоящих легированных сплавов сплавами, легированными в тонком поверхностном слое.

Целью работы явилось изучение влияния состава наплавляемой смеси на структуру, фазовый состав и твердость покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки при различной величине введенной энергии и определение основных структурных факторов, формирующих уровень твердости наплавленных покрытий.

В качестве подложки были использованы пластины размером 100×50×14 мм из стали СтЗсп (ГОСТ 380—2005). Состав наплавляемой смеси состоял из порошков карбида хрома (Cr_3C_2 , 54 масс. %), карбида титана (TiC , 6 масс. %) и фтористого магния (MgF_2 , 40 масс. %), все дисперсностью 2 – 5 мкм. Последний вводили в качестве флюса. После подпрессовки плотность насыпки составляла 0,45 г/см².

Наплавку осуществляли электронным лучом, выведенным в атмосферу, на ускорителе электронов ЭЛВ-6, разработанном и установленном в Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) [1], в следующем режиме: энергия электронов 1,4 МэВ, ток пучка 25 мА, диаметр пучка 12 мм, расстояние от выпускного отверстия до поверхности 90 мм, ширина развертки 5 мм. Было получено 5 образцов при скоростях перемещения заготовки под пучком 9.5, 8.0, 7.0, 6.0 и 5.5, мм/с. Расчетная энергия, приходящаяся на единицу площади при использованных скоростях сканирования, составляла 7.4, 8.8, 10.0, 11.7 и 12.7 кДж/см², соответственно.

Структуру наплавленных покрытий исследовали в поперечном сечении методами оптической и растровой электронной микроскопии на микроскопах Neophot-32 и Quanta 200 3D, соответственно. Микротвердость покрытий измеряли по методу Виккерса на приборе Duramin-5 при нагрузке на индентор 0,98 Н в течение 15 секунд.

Исследование поперечных сечений покрытий показало, что в результате облучения при всех исследованных режимах наплавки на стальной подложке образуются сплошные покрытия, свободные от трещин, отслоений, пор и остатков исходной порошковой смеси (рис. 1а). С ростом величины введенной энергии толщина покрытия увеличивается.

Структура всех полученных покрытий является доэвтектической, то есть представляет собой смесь фазы твердого раствора и эвтектики. По данным рентгеноструктурного фазового анализа зерна дендритов и основа эвтектики представляют собой аустенит (γ -железо), других фаз на дифрактограммах не выявлено, вероятно, вследствие их малого количества в покрытиях. Присутствуют также нерастворившиеся

частицы карбида титана, большинство из которых имеют характерную форму в виде звезд. Во всех образцах в покрытии вблизи поверхности раздела «покрытие – основа» формируется слой толщиной 100 – 150 мкм, содержащий мартенсит (рис. 1б). Образование мартенсита, по-видимому, обусловлено быстрым охлаждением в результате отвода тепла из указанных областей в массивный материал подложки.

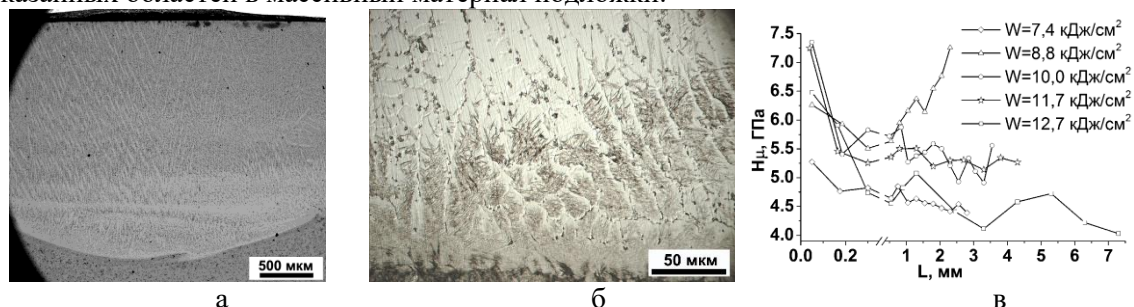


Рисунок 1 – РЭМ - изображение общего вида наплавленного слоя при увеличении 100 (а) и мартенситная структура наплавленного слоя вблизи поверхности раздела «покрытие - основа» при $W = 8,8 \text{ кДж/см}^2$ при увеличении 500 (б), Распределение микротвердости по толщине наплавленного покрытия (в)

Профили микротвердости в наплавленных покрытиях представлены на рис. 1в. Видно, что изменение микротвердости в зависимости от расстояния от поверхности раздела «покрытие - основа» подобны. Вблизи поверхности раздела имеют место максимальные значения микротвердости. Как было показано выше, в этих областях формируется мартенситная структура и повышенные значения микротвердости можно объяснить наличием мартенсита. При удалении от поверхности раздела к внешней поверхности значение микротвердости покрытий сначала резко снижается и остается приблизительно постоянным при приближении к внешней поверхности. Исключение составляет образец, облученный с энергией $8,8 \text{ кДж/см}^2$, для которого зависимость микротвердости от расстояния отличается от рассмотренных. С приближением к внешней поверхности значение микротвердости непрерывно растет, и максимум достигается вблизи внешней поверхности.

Для понимания причин наблюдаемых эффектов, необходимо дальнейшее исследование, в частности, структурные исследования – растровая электронная микроскопия и определение элементного состава методом микрорентгеноспектрального анализа.

Таким образом, метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет получать на низкоуглеродистой стали качественные покрытия (без дефектов в виде трещин и расслоений). При наплавке порошковой смеси ($\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{TiC}$) образуются покрытия с толщиной слоя 2,2 – 3,7 мм со структурой доэвтектической типа. Значительная часть карбида титана в покрытиях сохраняется в виде относительно крупных частиц. Распределение микротвердости в наплавленных покрытиях неоднородно. В большинстве образцов максимум величины микротвердости имеет место вблизи поверхности раздела «покрытие – основа», что связано с образованием в этих областях мартенситной структуры.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (Проект № 23.2.1).

Список литературы

1. Фоминский Л.П., Казанский В.В. Наплавка порошковых покрытий пучком релятивистских электронов // Сварочное производство, – 1985. – №5 – С. 13–15.
2. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenitseva O.G. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding, Applied Surface Science, 2013, Vol. 284, P. 472-481.