

ВЛИЯНИЕ МНОГОПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10P6M5

Мищенко Е.С.

Научный руководитель: Гнусов С.Ф., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: [gnusov@rambler.ru](mailto:gusov@rambler.ru)

Введение. В настоящее время широкое распространение получили методы обработки поверхностей концентрированными потоками энергии (КПЭ) [1]. Скорость охлаждения наплавки при использовании данных методов составляет от $\sim 10^4$ до $\sim 10^9$ К/с. Такая обработка обеспечивает толщину упрочненных слоев не превышающих нескольких микрон. Однако в ряде случаев требуется создание значительного по толщине упрочненного слоя, обладающего более высокими механическими свойствами, чем основной объем материала.

Источником КПЭ в работе является электронный луч в вакууме. Данная технология имеет ряд преимуществ: возможность подачи композиционного наплавочного материала в ванну расплава; вакуумная среда рафинирует материал; плавная и точная регулировка мощности электронного луча, что означает, незначительное проплавление основы и неизменность химический состав; малый размер ванны расплава (100 мм^2) способствует концентрированному вводу энергии до 10^5 Вт/см^2 , а значительный перегрев ванны приводит к растворению твердых частиц в сварочной ванне, также формируется перенасыщенный твердый раствор легирующих элементов в матрице, за счет быстрого теплоотвода легирующих элементов в матрице и способствуют получению многомодальной структуры наплавляемого слоя [2]. Учитывая данные преимущества, электронно-лучевая наплавка в вакууме может применяться после финишной термической обработки изделий.

Для формирования толстого покрытия необходимо несколько проходов электронного луча. В результате термоциклирования, дисперсные карбидные фазы выделяются из перенасыщенного твердого раствора матрицы, что в свою очередь будет влиять на ее структурно-фазовый состав и, следовательно, свойства композиционного покрытия в целом [3].

Целью настоящей работы является изучение влияния многопроходной наплавки порошком стали P6M5 на структуру и микротвердость покрытия.

Материалы и методы исследования. *Технология наплавки.* Технология электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) в вакууме основана на явлении «вмораживания» металлического порошка в ванну расплава. Наплавка материала ведется электронным лучом с линейной

разверткой [4]. Для (ЭЛН) в вакууме (остаточное парциальное давление не менее $0,013 \text{ Па}$) использовался порошок быстрорежущей стали 10P6M5 дисперсностью $50 \dots 350 \text{ мкм}$, полученный распылением расплава в воду, производства ОАО "Тулачермет". В качестве основного металла (подложки) использовали пластины из Стали 20 размером $20 \times 300 \text{ мм}$ и толщиной 5 мм . Мощность электронного луча с увеличением числа проходов от 1 до 3 уменьшалась от 4050 до 1800 Вт , а да далее с ростом числа проходов (до 18) не изменялась. Более высокая мощность на первых проходах необходима для прогрева подложки. Диаметр электронного луча в 1 мм , длина развертки в $1,3 \text{ мм}$, а также скорость движения подложки в $2,8 \text{ мм/с}$ не изменялись.

Анализ структуры покрытий. Исследование структуры покрытий после наплавки проводили с помощью оптического микроскопа (ОМ) *Olympus GX 51*. Микротвердость (H_μ) покрытий и основного металла, непосредственно прилегающих к наплавке (2 мм), измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке $0,981 \text{ Н}$. Уколы расположены со смещением на 50 мкм на двух параллельных дорожках, расстояние между которыми 200 мкм . По результатам измерений строится график измерения H_μ по толщине с шагом 50 мкм .

Результаты и обсуждение. При анализе макроструктуры покрытий на границе сплавления с основным металлом встречаются отдельные крупные поры, в самом покрытии трещин и пор не фиксируется. При малом числе проходов (3 и 6) наблюдается различная травимость металла покрытия при переходе от слоя к слою, далее с увеличением проходов до 18 данные изменения не фиксируются. Матрица представляет собой мартенситно-аустенитную смесь. В ходе анализа рассматривалось воздействие последующих проходов электронного луча на предыдущие наплавленные слои. При малом числе проходов формируется сетка эвтектических карбидов, которые с увеличением числа проходов электронного луча постепенно изменяют свою структуру (коагулируют). Внутри зерен матрицы наблюдаются дисперсные выделения вторичного карбида типа M_6C . Количество вторичного карбида увеличивается с увеличением термоциклирования. Более дисперсные карбиды M_6C и VC , которые согласно [5] выделяются в

подобных покрытиях оптической микроскопией не фиксируются. Следовательно, в условиях многопроходной наплавки формируется мультимодальное распределение карбидной фазы по размерам.

Металл, наплавленный на последних проходах, представляет собой сетку эвтектических карбидов. Мартенситная фаза с увеличением числа проходов электронного луча становится более грубая (от мелкодисперсного (бесструктурного) мартенсита до крупных игл, распространяющихся через все аустенитное зерно).

Объемная доля мартенсита увеличивается с ростом числа проходов. Это связано с термоциклированием покрытия при многопроходной наплавке, что обеспечивает частичную релаксацию термических напряжений и, как следствие, дополнительное мартенситное превращение в ранее наплавленных слоях. Данное обстоятельство приводит к постепенному росту средней величины микротвердости исследуемых покрытий (рис. 3). С увеличением числа проходов распределение твердости становится однороднее по толщине, и ее среднее значение растет от ~5950 до ~7700 МПа.

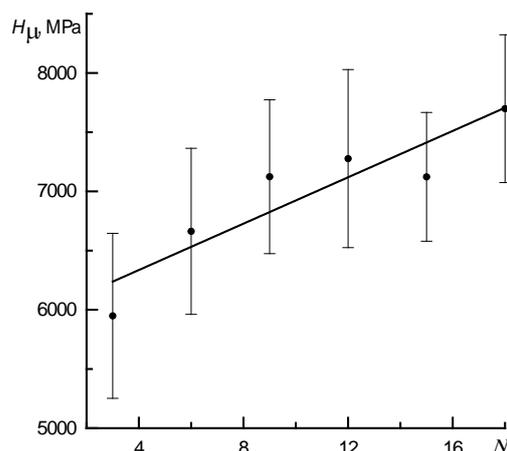


Рис. 3. Влияние числа проходов (N) электронного луча на величину микротвердости (H_{μ}) покрытий

Выводы. Установлено, что с увеличением числа проходов электронного луча формируется мультимодальное распределение карбидов по размерам. Матрица представляет собой мартенситно-аустенитную смесь. Мартенситная фаза с увеличением числа проходов электронного луча изменяется от мелкодисперсного (бесструктурного) до крупноигльчатого. Количество мартенсита увеличивается с ростом числа проходов, что приводит к постепенному росту средней величины микротвердости исследуемых покрытий от ~5950 до ~7700 МПа и более однородному ее распределению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клебанов Ю.Д., Григорьев С.Н. Физические основы применения концентрированных потоков энергии в технологиях обработки материалов – М.: ИЦ МГТУ “Станкин”, Янус-К. 2005. – 220 с.
2. Гнусов С.Ф., Дураков В.Г., Маков Д.А. Формирование износостойких аустенитных покрытий с регулируемым карбидным упрочнением. – ФиХОМ. – 2004. – №6. – С. 54–60.
3. Guilemany J.M., Dosta S., Miguel J.R. The enhancement of the properties of WC-Co HVOF coatings through the use of nanostructured and microstructured feedstock powders. – Surface & Coatings Technology. – 2006. – V.201. – pp. 1180–1190.
4. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий. – Сварочное производство. – 2000. – №2. – С. 34–38.
5. Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G., Tarasov S.Yu. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel. – Applied Surface Science. – 2012. – V.263. – pp. 215–222.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ № 862. 2014.