

УДК 621.791

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

И.М. Полетика, Т.А. Крылова, М.В. Тетюцкая, С.А. Макаров

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: poletika@list.ru

Наплавкой на ускорителе ЭЛВ-6 порошка карбида вольфрама на низкоуглеродистую сталь получены покрытия с повышенной твердостью, но низкой износостойкостью. С целью увеличения износостойкости проведены эксперименты по влиянию термической обработки на структуру и свойства покрытий, наплавленных карбидом вольфрама.

Ключевые слова:

Пучок релятивистских электронов, наплавка, структура, термическая обработка, твердость, износостойкость.

Key words:

Relativistic electron beam, surfacing, structure, heat treatment, hardness, wear resistance.

Введение

Абразивный износ поверхностей деталей многих машин и механизмов при эксплуатации существенно снижает срок их службы. Для восстановления и упрочнения деталей широко применяется метод электродуговой наплавки. С этой же целью может быть использован метод электронно-лучевой наплавки на ускорителе электронов, который характеризуется высоким качеством получаемых покрытий и простотой введения легирующих элементов [1, 2]. В практике электродуговой наплавки высокая твердость и удовлетворительная стойкость против абразивного износа с умеренными ударами или без них достигается при наплавке карбидом вольфрама [3]. Вместе с тем более интенсивное нагружение приводит к снижению пластичности, появлению склонности к трещинообразованию, что способствует разрушению наплавленного слоя. Улучшение структуры и свойств слоев, наплавленных карбидом вольфрама, может быть достигнуто термической обработкой [4, 5]. Так, для снятия остаточных напряжений в электродугowych наплавках используют отпуск. Существует также принципиальная возможность увеличения твердости наплавленных слоев закалкой от температур выше A_{c3} за счет образования мартенситной структуры. Влияние термической обработки на структуру и свойства слоев электронно-лучевой наплавки малоизучены, и требуется постановка специального систематического исследования в этом направлении.

Материалы и методики эксперимента

На низкоуглеродистую сталь наплавливали порошок карбида вольфрама WC. Слой порошка толщиной в 1 мм наносили на поверхность образца перед обработкой. Энергия электронов U составляла 1,4 МэВ, ток пучка I менялся в пределах от 27 до 51 мА, скорость обработки V принимала значения 2,5; 1,6; 1,0 м/с. Для защиты от влияния окружающей среды в наплавочную смесь вводили флюс MgF_2 . Для увеличения площади наплавливаемой поверхности пучок сканировался с шириной магнит-

ной развертки $l=50$ мм. Структуру покрытий исследовали на металлографическом микроскопе «Neophot» на полированных шлифах, протравленных раствором кислот: 20 мл HNO_3 и 100 мл HCl при температуре 20 °С. Фазовый состав покрытий определяли методом рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре ДРОН-2М. Измеряли распределение микротвердости на приборе ПМТ-3 и находили ее среднее значение в покрытии H_{μ}^{cp} . Проводили испытания на абразивную износостойкость $K_{и}$ по ГОСТ 23.208–79.

Результаты эксперимента

После наплавки карбида вольфрама на поверхности образцов стали Ст3 образуются слои толщиной 1,5–3,0 мм. Распределение микротвердости в поперечных срезах носит характер локальных колебаний, что связано с гетерофазностью образующейся структуры. По данным рентгеноструктурного фазового анализа в структуре покрытий присутствует α -железо, незначительное количество γ -железа, соединение Fe_3W_3C , некоторое количество карбидов WC, W_2C , $W_{23}C_6$.

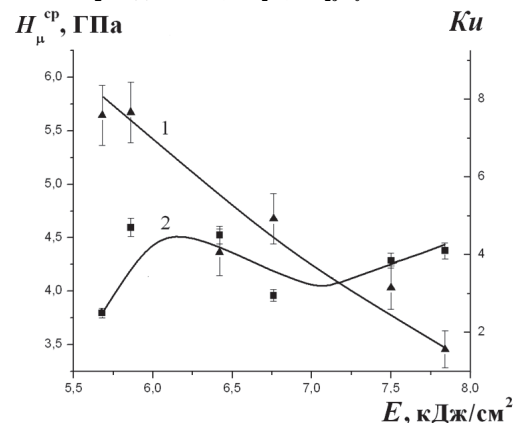


Рис. 1. Зависимость: 1) твердости; 2) износостойкости от энергии излучения при наплавке карбидом вольфрама

С ростом плотности энергии излучения средние значения микротвердости в слое уменьшаются (рис. 1, кривая 1). Падение микротвердости при

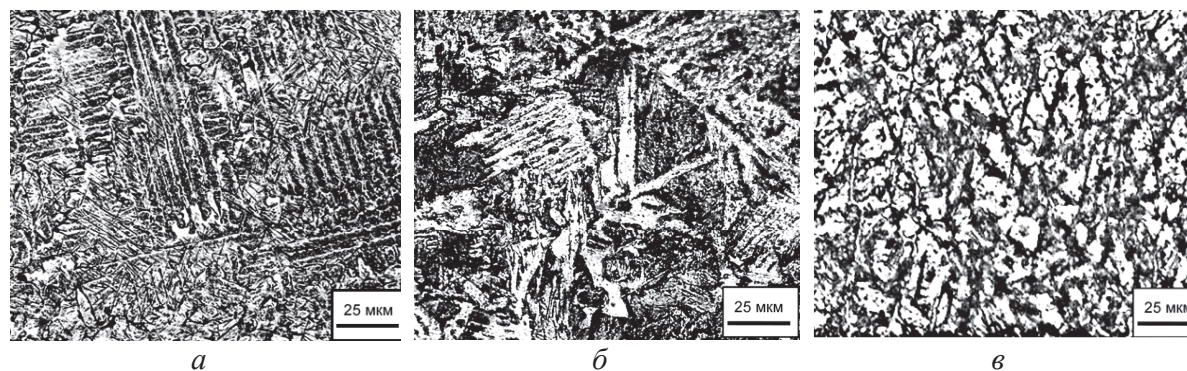


Рис. 2. Структура слоя, наплавленного карбидом вольфрама, при E : а) 5,68; б) 6,42; в) 7,84 кДж/см²

увеличении E (удельная поверхностная энергия излучения) связано с изменением одновременно двух параметров – средней концентрации легирующих элементов в покрытии и скорости охлаждения расплавленного металла. С ростом E переплавляется более глубокий слой, что приводит к уменьшению в нем среднего содержания W и C. Одновременно уменьшается скорость охлаждения и происходит переход от менее равновесной структуры к более равновесной. При этом в слое наливки образуется целый спектр структур.

При малых значениях E структура слоя доэвтектическая, закаленная на мартенсит (рис. 2, а). С увеличением E мартенситная структура сменяется сначала мартенситно-бейнитной (рис. 2, б), а затем ферритно-мартенситной (рис. 2, в).

Структура слоя определяет и его износостойкость (рис. 1, кривая 2). Появление твердых, но хрупких мартенситной и бейнитной составляющих в структуре обуславливает низкие значения износостойкости. Выделение ферритной фазы в основе слоя обеспечивает снижение как твердости, так и износостойкости.

Известно, что при абразивном изнашивании твердые частицы абразива действуют на металл как множество режущих инструментов. Поэтому хрупкие структуры мартенсита и бейнита прорезаются абразивными частицами. Возникают микротрещины, что является началом разрушения. Кроме того, в хрупких мартенситной и бейнитной матрицах создаются благоприятные условия для вы-

крашивания карбидов. Феррит же, как самая мягкая фаза в стали, хуже других сопротивляется разрушению (срезанию) частицами абразива и в силу своей низкой прочности плохо удерживает карбидные частицы. Это также приводит к потере износостойкости.

Рассмотрим влияние термической обработки на структуру, твердость и износостойкость слоя. Термические обработки проводили в лабораторной печи СШОЛ с использованием известковой обмазки. Поскольку образцы с наплавленным слоем уже претерпели самозакалку при охлаждении из расплава, необходимо было устранить эти закалочные структуры путем отпуска, а затем закалить покрытие вновь, используя стандартную термическую обработку. Отпуск проводили при температуре 650 °С в течение часа. Закачивали в воду после выдержки в печи при 850 °С в течение 0,5 часа.

В процессе отпуска слоя при 650 °С в нем протекает $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение, и весь аустенит распадается на ферритно-карбидную смесь (рис. 3, а). На рентгенограммах полностью исчезают линии γ -железа, зато интенсивности линий α -железа и фазы Fe_3W_3C резко возрастают.

Дополнительное выделение карбида при отпуске связано с распадом пересыщенного твердого раствора Fe-W-C, образовавшегося при самозакалке расплавленного слоя, и дополнительным выделением карбидов вольфрама из аустенита, где предельно допустимое содержание легирующих элементов существенно выше по сравнению с их содержанием в

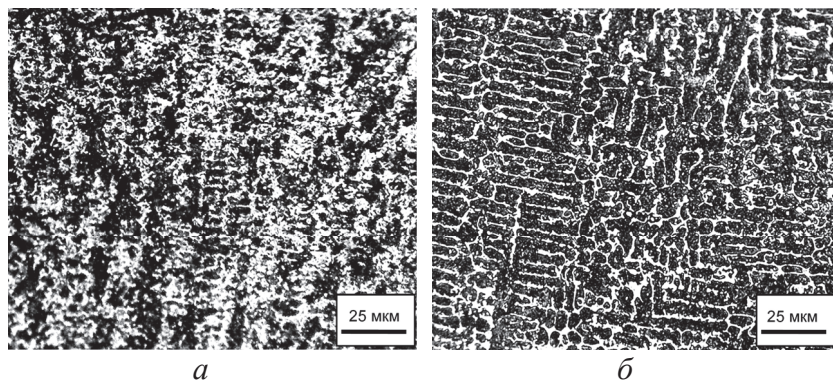


Рис. 3. Структура наплавленного: а) после отпуска при 650 °С; б) после закалки от 850 °С

феррите. Обнаруженные ранее неравновесные карбиды WC , W_2C и $W_{23}C_6$ после отпуска на рентгенограммах не выявляются, что, очевидно, свидетельствует о приближении системы к равновесию.

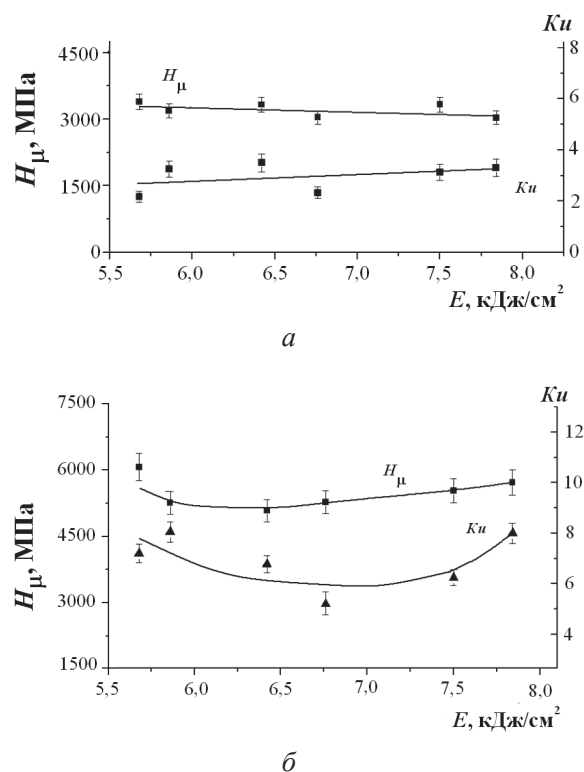


Рис. 4. Зависимость твердости и износостойкости покрытия от плотности энергии излучения E после: а) отпуска; б) закалки

Главной особенностью отпущенных слоев является то, что наблюдавшееся ранее разнообразие структур – от мартенситной до ферритной, после отпуска исчезает. Вне зависимости от параметров облучения, на микрофотографиях наблюдается однообразная структура – зерна твердого раствора в окружении карбидной эвтектики. Единственным отличием является то, что объемная доля эвтектической составляющей с увеличением E и увеличением глубины переплавленного металла сокращается, что связано с уменьшением среднего содержания вольфрама и углерода на единицу объема слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетика И.М., Борисов М.Д., Краев Г.В., Вайсман А.Ф., Голковский М.Г. Особенности формирования структуры и свойств поверхностного слоя стали при облучении пучком релятивистских электронов // *МиТОМ*. – 1997. – № 4. – С. 13–16.
2. Полетика И.М., Голковский М.Г., Борисов М.Д., Салимов Р.А., Перовская М.В. Формирование упрочняющих покрытий методом наплавки в пучке релятивистских электронов // *Физика и химия обработки материалов*. – 2005. – № 5. – С. 29–41.

Значения твердости и износостойкости покрытий после отпуска заметно ниже, чем в исходном состоянии (рис. 4, а), и за счет выделения мягкой ферритной фазы в основе слоя и, вследствие формирования однотипной структуры, с увеличением E меняются незначительно.

При нагреве под закалку от 850 °С происходит растворение частиц карбидов, возврат к аустенитной структуре, а затем закалка основы слоя на мартенсит (рис. 3, б). Значения твердости и износостойкости после обычной термической закалки возрастают по сравнению с твердостью и износостойкостью исходных наплавленных покрытий (рис. 4, б), претерпевших самозакалку на воздухе. Это связано с формированием в этом случае гораздо более однородной и дисперсной структуры мартенсита. Увеличению твердости способствует и некоторое рассасывание дендритной неоднородности в процессе выдержки в печи при высокой температуре, а также дополнительное выделение карбидов вольфрама во время предшествующего отпуска.

Значения твердости и износостойкости закаленных покрытий от режима наплавки зависят слабо (рис. 4).

Заключение

1. Электронно-лучевой вневакуумной наплавкой карбида вольфрама на низкоуглеродистую сталь получены слои наплавки, обладающие повышенной твердостью, но низкой износостойкостью, что связано с образованием в их основе хрупких мартенситной и мартенситно-бейнитной структур, а также мартенситно-ферритной структуры, содержащей хрупкую мартенситную и легко изнашиваемую ферритную фазу.
2. При отпуске покрытий значения твердости и износостойкости падают в связи с протеканием в слое ферритно-перлитного превращения, но зависят от объемной доли ферритной фазы, которая возрастает с увеличением энергии излучения. Закалка от 850 °С приводит к повторному мартенситному превращению с выделением более дисперсного, чем в исходном состоянии, мартенсита, что обеспечивает увеличение как твердости, так и износостойкости.

3. Лившиц А.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. – М.: Машиностроение, 1969. – 188 с.
4. Фролов В.В. Теория сварочных процессов. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

Поступила 29.01.2013 г.