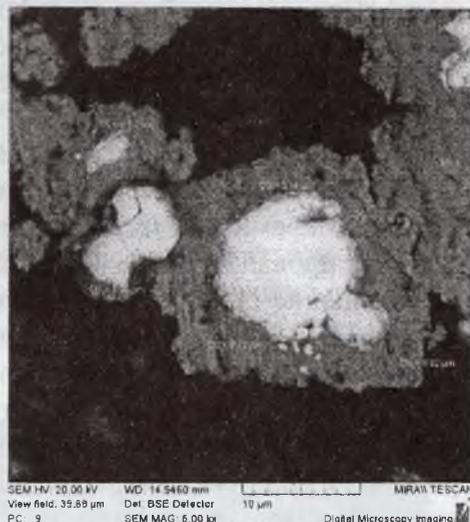


а)



б)

Рис. 4. Формирование медного покрытия на поверхности частиц порошка карбида вольфрама в поперечном шлифе

Выводы. Проведено плакирование порошков карбида кремния и карбида вольфрама методом химического меднения. Получены композиционные порошковые структуры SiC-Cu и WC-Cu. Толщина медного покрытия составляет 2-6 мкм. Такие структуры обладают износостойкостью карбидной керамики и пластичностью меди. В дальнейшем полученные порошки будут использованы в качестве основы для получения износостойких покрытий.

МИКРОТВЁРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО БОРОМЕДНЕНИЯ И БОРОАЛИТИРОВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Ващук Е.С., Ионина А.В., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е.
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, vostretsova_av@physics.sibsiiu.ru

Легирование поверхности – один из наиболее эффективных путей упрочнения и защиты конструкционных и инструментальных сталей и сплавов. В последнее десятилетие получило значительное развитие электровзрывное легирование (ЭВЛ), суть которого состоит в изменении структурно-фазовых состояний и свойств металлов и сплавов путем обработки поверхности импульсной плазменной струей, сформированной из продуктов электрического взрыва проводников и порошковых навесок, помещаемых в область взрыва, с последующей самозакалкой. [1]. Плазменная струя продуктов взрыва служит как для нагрева поверхности, так и для легирования образующегося расплава. Особенности струи, которые определяют результаты обработки, являются ее многофазный состав, включающий конденсированные частицы продуктов взрыва фольги и порошковой навески вводимой в область взрыва, а также неоднородное строение, обусловленное тем, что конденсированные частицы

конденсированные частицы продуктов взрыва и порошковых навесок отстают от плазменного компонента и располагаются преимущественно в тылу струи. Электровзрывная обработка позволяет сконцентрировать за короткий промежуток времени (10^{-4} с) высокую плотность мощности (~ 1 ГВт/м²) в тонких (~ 10 мкм) поверхностных слоях материалов и дает возможность провести оплавление и легирование поверхностных слоев без выплеска расплава, развивающегося вследствие неоднородного давления (~ 10 МПа) плазменной струи на облучаемую поверхность. В то же время неоднородность строения и структуры плазменных струй, а также импульсный характер термосилового воздействия на поверхность при ЭВЛ, являются причинами формирования её высокоразвитого рельефа и незавершённости структурно-фазовых превращений в оплавливаемых поверхностных слоях. Это может ограничивать возможности практического использования способа. Анализ литературных данных показал, что возможности ЭВЛ могут быть усилены сочетанием этого вида обработки с электронно-пучковым оплавлением поверхности. ЭВЛ и ЭПО хорошо сочетаются друг с другом. Они имеют сопоставимые значения интенсивности теплового воздействия и времени импульса, диаметра и глубины зоны воздействия. Такая комбинированная обработка приводит к выравниванию поверхности, увеличению глубины и повышению функциональных свойств зоны упрочнения [2]. В практике химико-термической обработки известно применение борирования стали. Борирование сталей повышает твердость, износо- и коррозионную стойкость поверхности. Вместе с тем, борированные слои обладают высокой хрупкостью, которая может быть уменьшена при использовании боромеднения и бороалитирования. Поэтому целью настоящей работы является определение микротвёрдости стали 45 после электровзрывного боромеднения и бороалитирования и последующей электронно-пучковой обработки.

Выбор стали 45 для обработки был обусловлен тем, что она обладает высокими эксплуатационными свойствами и широко применяется в промышленности. Кроме того, в литературе имеются сведения о влиянии ЭПО на сталь 45 в исходном состоянии (без ЭВЛ), что позволяет надежно интерпретировать полученную информацию.

Обработке подвергали образцы отожженной стали цилиндрической формы диаметром 20 мм и высотой 5 мм. В случае электровзрывного боромеднения и последующей ЭПО. ЭВЛ проводили в режиме, который обеспечивал поглощаемую плотность мощности q , равную 8,6 ГВт/м². Взрываема медная фольга имела толщину 20 мкм и массу m_{ϕ} , равную 35 мг. В области взрыва размещали порошок аморфного бора массой m_n , равной 60 мг. Анализ поверхностных слоев после электровзрывного боромеднения проводили в случае, когда отношение n атомных концентраций бора и меди в струе было равно 3,5. Последующую ЭПО поверхности легирования осуществляли на установке Института сильноточной электроники СО РАН «СОЛО» при следующих основных параметрах облучения: интенсивность воздействия пучка электронов $q = 2,0, 2,5$ и $3,0$ ГВт/м², длительность импульса $\tau = 100, 200$ мкс; частота следования импульсов $f = 0,3$ Гц; их число $N = 5$ и 10 . Обработку осуществляли в среде аргона рабочей камеры при давлении 0,02 Па.

Бороалитирование осуществляли электровзрывом алюминиевых фольг массой 40 мг, а в область взрыва помещали порошок бора массой 60 мг. Последующую ЭПО стали 45 проводили в двух режимах: режим 1: $q = 4$ ГВт/м², $\tau = 50$ мкс, $N = 10$; режим 2: $q = 1$ ГВт/м², $\tau = 200$ мкс, $N = 10$. ЭПО осуществляли в инертной (аргон) среде рабочей камеры при давлении $3,3 \cdot 10^{-2}$ Па. Такой режим обработки обеспечивал переплавление исходной упрочнённой поверхности на глубину до 5–7 мкм.

Измерение микротвердости показало, что после электровзрывном боромеднения в этом режиме и последующей ЭПО при $N = 10$ на поверхности микротвердость всегда выше при $\tau = 100$ мкс, чем при $\tau = 200$ мкс (рис. 1). В первом случае она составляет 800–900 HV по сравнению с 550–700 HV во втором. В обоих случаях она меньше, чем сразу после электровзрывного боромеднения 1400 HV . В то же время с ростом q вблизи поверхности микротвердость уменьшается, а в глубине растет. При этом иногда формируется объемный максимум. Так, при $q = 2,0$ ГВт/м² уровень микротвердости, равный 600 HV , при длительности импульса ЭПО 100 и 200 мкс наблюдается на глубине 75 и 20 мкм, соответственно, а при $q = 2,5$ ГВт/м² – на глубине 25 мкм в обоих случаях. При $q = 3,0$ ГВт/м² он наблюдается только при $\tau = 200$ мкс на глубине около 50 мкм. Аналогичное, но менее выраженное поведение микротвердости при изменении параметров ЭПО наблюдается и при $N = 5$.

Распределение микротвёрдости по глубине поверхностных слоев стали 45 после электровзрывного бороалитирования показывает, что комбинированная обработка сопровождается формированием зоны упрочнения, микротвердость поверхности которой превосходит микротвердость в объеме стали примерно в 7 раз (рис.2). В исходном состоянии микротвёрдость составляет 2 ГПа. Причина такого поведения микротвердости может заключаться в развитии диффузионных процессов при ЭПО, вызывающих перераспределение легирующих элементов и, в частности, увеличение глубины проникновения бора.

Увеличение длительности импульса ЭПО с 50 мкс (кривая 1) до 200 мкс (кривая 2) при сохранении поверхностной плотности энергии приводит к увеличению толщины упрочненного слоя примерно в 3 раза при сопоставимых значениях величины микротвердости.

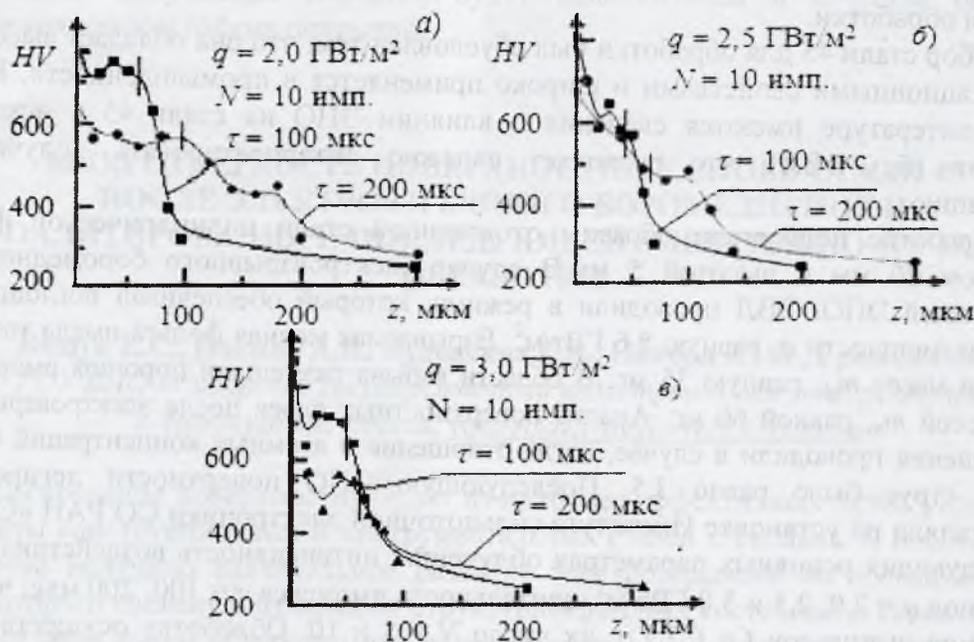


Рис. 1. Влияние времени импульса электронно-пучковой обработки на распределение микротвердости по глубине поверхностных слоев стали 45 после электровзрывного боромеднения при различных интенсивностях воздействия и числе импульсов $N = 10$. Вертикальными штрихами показаны границы диффузионной зоны

Таким образом, микротвёрдость поверхности после электровзрывного боро-меднения в исследованной области концентрации бора в струе и интенсивности плазменного воздействия увеличивается по сравнению с основой в 5–7 раз. При этом глубина упрочнения достигает 30 мкм. Электронно-пучковая обработка приводит к понижению микротвёрдости на поверхности легирования до четырех раз, но увеличивает глубину упрочнения до 200 мкм. Микротвёрдость после электровзрывного бороалитирования и ЭПО составляет 16 ГПа, а глубина упрочнения 90 мкм.

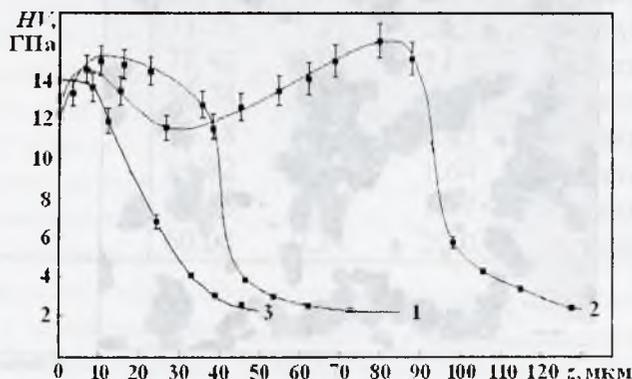


Рис. 2. Распределение микротвёрдости по глубине зоны электровзрывного бороалитирования и последующей ЭПО стали 45: 1 – режим 1 ЭПО; 2 – режим 2 ЭПО; 3 – электровзрывное бороалитирование без ЭПО

1. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. 301 с.

2. Вострецова А.В., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Модификация структуры и свойств поверхности двухкомпонентного электровзрывного легирования стали 45 // *Фундам. проблемы соврем. материаловедения*. 2010. № 2. С. 110–114.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РФФИ (проект №№ 10-07-00172-а) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0693).

КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА Al, ПЛАКИРОВАННОГО Ni, ПОЛУЧЕННОЕ МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Бобровский В.В.¹, Яснов В.В.¹, Линевиц А.В.¹, Коледа В.В.²

¹ ИТА НАН Беларуси, г. Витебск, Беларусь, yasnov-v@mail.ru

² ИПМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

При восстановлении изношенных изделий важная роль принадлежит технологиям, позволяющим придать особые свойства поверхностным слоям [1]. В данной работе представлены результаты исследования покрытий Al-Ni, полученных методом газодинамического напыления на подложку из стали 30 ХГСА.

Для напыления использовался порошок алюминия, плакированный никелем методом электрохимического осаждения [2]. Осаждение никеля осуществляли на