

УДК 621.9.048.7

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ТИТАН- И ТАНТАЛСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОБРАЗЦЫ ИЗ СТАЛИ 40Х*

Д.О. МУЛЬ, аспирант

Н.С. БЕЛОУСОВА, канд. техн. наук, доцент

Д.С. КРИВЕЖЕНКО, аспирант

Л.И. ШЕВЦОВА, аспирант

А.А. ЛОСИНСКАЯ, ассистент

(НГТУ, г. Новосибирск)

Поступила 7 марта 2014

Рецензирование 15 апреля 2014

Принята к печати 20 апреля 2014

Мулъ Д.О. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: ddariol@yandex.ru

С использованием ускорителя электронов ЭЛВ-6 выполнена наплавка порошковых смесей титана с графитом и тантала с графитом на толстолистовые заготовки из стали 40Х. Проведены структурные и триботехнические исследования поверхностно упрочненных материалов. Показано, что наплавка титан- и танталсодержащих порошковых смесей мощным пучком электронов, выведенным в воздушную атмосферу, приводит к формированию качественных упрочняющих покрытий. Толщина покрытий, упрочненных карбидами титана и тантала, составляет 2,2 и 1,7 мм соответственно. Объемная доля карбидов титана и карбидов тантала составляет 30 и 10 %. Максимальный уровень микротвердости наплавленных материалов достигает 10 ГПа. При проведении триботехнических испытаний по схеме трения скольжения более высокий уровень износостойкости зафиксирован на образцах, упрочненных карбидами тантала. В условиях воздействия закрепленных частиц абразива более высокой износостойкостью обладает покрытие, упрочненное карбидами титана. При воздействии нежестко закрепленных абразивных частиц покрытия «Ti+C» и «Ta+C» ведут себя одинаково.

Ключевые слова: электронно-лучевая наплавка, поверхностное упрочнение, строение покрытий, карбид титана, карбид тантала.

Введение

Проблемы, связанные с повышением износостойкости материалов, длительное время являются одними из наиболее актуальных для материаловедения. Известно, что стойкость к абразивному износу линейно зависит от твердости материала [1]. Однако увеличение твердости материалов в абсолютном большинстве случаев сопровождается снижением их трещиностойкости. Один из эффективных подходов к решению

данной проблемы заключается в поверхностном упрочнении материала. Его практическая реализация позволяет без снижения трещиностойкости повысить износостойкость деталей, а также сэкономить расход дорогостоящих легирующих материалов.

Повышению твердости и износостойкости металлических материалов способствует введение в поверхностный слой изделий высокопрочных частиц. На практике этот процесс осуществляют различными способами, в том числе

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному заданию № 2014/138, проект № 257

методами плазменной, лазерной, дуговой, электронно-лучевой наплавки и др. [2–4]. Плазменный метод хорошо подходит для напыления керамических материалов. Толщина упрочненного слоя составляет всего 100...200 мкм. В процессе плазменной обработки поверхности металлических материалов формируется обширная зона термического влияния, обладающая низкими механическими свойствами. При дуговой наплавке покрытие формируется параллельными валиками, в результате чего в наплавленном слое наблюдается структурная и химическая неоднородность поперек валиков, а также широкая зона термического влияния. Главные недостатки такой наплавки – медленный процесс обработки и коробление деталей после нее. Лазерный метод имеет низкий КПД, так как большая часть энергии пучка отражается от металлических материалов. Электронно-лучевая наплавка требует использования вакуумной камеры, что ограничивает размеры заготовок и увеличивает стоимость процесса. В то же время наплавку покрытий можно выполнять, используя пучок электронов, выведенный в воздушную атмосферу [5–9]. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошковых смесей позволяет за короткое время сформировать ультрадисперсную структуру в поверхностном слое заготовки. Высокая производительность процесса и возможность обрабатывать крупногабаритные заготовки выгодно отличают данный способ обработки от остальных [10].

Высокой твердостью обладают карбиды переходных металлов V–VII групп периодической таблицы Менделеева. Введение таких карбидов способствует повышению дюрометрических и триботехнических свойств сталей. На сегодняшний день опубликовано много работ по наплавке карбидосодержащих порошковых смесей на сталь [11–16]. В качестве наплавочных порошков использованы карбиды хрома, титана, ванадия, кремния и др. Публикаций, связанных с вневакуумной электронно-лучевой наплавкой карбидообразующих металлов, очень мало. Однако при легировании поверхности карбидами для их лучшего распределения в формируемом слое в наплавляемую смесь необходимо вводить смачивающий компонент, что, в свою очередь, уменьшает объем основных элементов в насыпке. В работе корейских исследователей показа-

но, что износостойкость и твердость покрытия, сформированного наплавкой титана в смеси с графитом на нержавеющей стали, выше, чем у покрытия, полученного наплавкой карбида титана на ту же основу [16].

В настоящей работе в качестве материала основы выбрана конструкционная сталь 40X. Сталь данной марки обладает высокой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью. Легирующими материалами служат смеси порошков титана с графитом и тантала с графитом. Исследования материалов, полученных в результате такого сочетания наплавляемых составов и материала основы, не проводились.

Цель работы заключается в исследовании структуры, дюрометрических и триботехнических свойств поверхностных слоев конструкционной стали 40X, модифицированной путем вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей титана с графитом и тантала с графитом.

1. Материалы и методы исследования

Вневакуумную электронно-лучевую наплавку выполняли в Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск). Ускоритель, разработанный российскими специалистами, позволяет разгонять пучок электронов с энергией 1,4 МэВ до релятивистских скоростей.

На пластину из конструкционной стали 40X размерами 50 × 100 × 16 мм наносили смесь порошков с насыпной плотностью 0,33 г/см². Для наплавки использовали два состава порошковых смесей: титан с графитом и тантал с графитом. В настоящей работе покрытие, сформированное наплавкой титансодержащей порошковой смеси, обозначено как «Ti+C», а покрытие с танталом – как «Ta+C». С целью формирования в поверхностном слое карбидов MeC стехиометрического состава атомное соотношение металла к углероду в насыпке было выбрано 1:1. Для защиты наплавляемых порошков и основного металла от окисления в порошковую смесь вводили 40 масс. % флюса, функцию которого выполнял фтористый кальций CaF₂.

Для наплавки упрочняющих слоев используются режимы, представленные в таблице. Размах сканирования пучка электронов соответствует ширине стальной заготовки. Столик с

расположенной на нем заготовкой перемещается в направлении, перпендикулярном плоскости сканирования пучка электронов.

Режимы вневакуумной электронно-лучевой наплавки

Основные параметры	Формируемые покрытия	
	«Ti+C»	«Ta+C»
Энергия электронов, МэВ	1,4	
Диаметр пучка электронов, мм	12	
Размах сканирования, мм	50	
Скорость перемещения столика, мм/с	10	
Ток пучка электронов, мА	27	28

Структуру наплавленных покрытий исследовали методами оптической и растровой микроскопии, а также методом рентгенофазового анализа. Исследования с использованием оптического микроскопа *Carl Zeiss Axio Observer Alm* выполняли на поперечных шлифах в режиме светлого поля. Структуру материалов выявляли трехпроцентным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Объемную долю карбидных частиц оценивали на оптическом микроскопе с использованием программы *Multiphase*. Электронно-микроскопические исследования выполняли на растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO 50 XVP*. Фазовый состав покрытий определяли на дифрактометре *ARL X'TRA*. Шаг регистрации рентгенограмм составлял 0,05 град, время накопления импульсов – 3 с.

Для оценки дюрометрических свойств покрытий, переходных зон и основного металла на поперечных шлифах проводили измерения микротвердости в направлении от поверхности покрытия к основе. Измерения были выполнены на приборе *Wolpert Group 402MVD*. Нагрузка на индентор составляла 0,98 Н.

Триботехнические испытания осуществляли в различных условиях изнашивания: трение скольжения, трение о закрепленные и не жестко закрепленные абразивные частицы. В условиях трения скольжения покрытие испытывали на машине СМТ-1 по схеме «диск-плоскость». В качестве смазочного материала использовали минеральное масло М8В. Врезающим индентором служил диск, изготовленный из стали 45. Износостойкость покрытия оценивали по объему лунки изношенного материала.

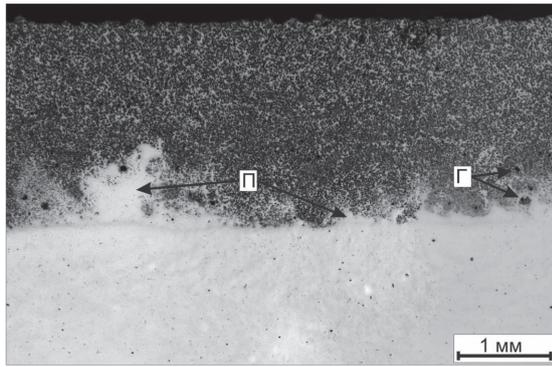
Стойкость покрытий при воздействии не жестко закрепленных абразивных частиц оценивали по ГОСТ 23.208–79. В качестве абра-

зивного материала использовали речной песок со средним размером частиц равным 200 мкм. Резиновый ролик прижимался к поверхности образца с силой 60 Н и, вращаясь, перемещал по поверхности образца поступающий из резервуара песок. Изнашивание покрытия оценивали по потере массы образца.

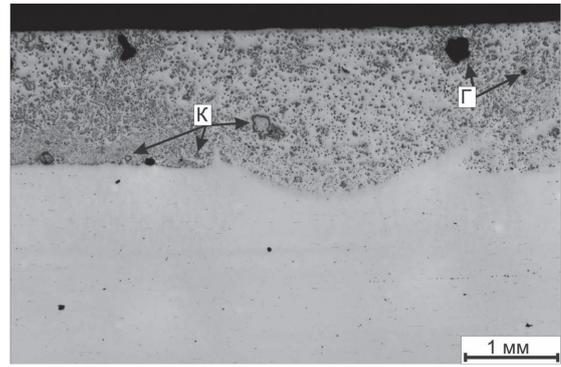
Износостойкость полученных материалов в условиях трения закрепленными абразивными частицами оценивали по потере объема в соответствии с ГОСТ 17367-7. Абразивным материалом служила электрокорундовая шлифовальная шкурка с размерами абразивных зерен в диапазоне от 63 до 80 мкм. Цилиндрический образец с силой 3 Н прижимался к вращающемуся кругу с закрепленной на нем шкуркой. Скорость вращения круга составляла 100 об/мин. Испытания проводили в течение 35 с. Во всех проведенных триботехнических испытаниях в качестве эталонных были выбраны образцы из стали 40Х, находившейся в отожженном состоянии.

2. Результаты и обсуждение

В процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки на поверхности стальных заготовок формируются ровные покрытия с характерным металлическим блеском. На образце, полученном при наплавке титансодержащего порошка, толщина покрытия составляет 2,2 мм. При наплавке танталсодержащей порошковой смеси толщина поверхностно упрочненного слоя составляет 1,7 мм. Отслоений, трещин или других заметных дефектов в покрытиях не наблюдается (рис. 1). Наличие зон перемешивания (на рис. 1, а обозначены буквой П) свидетельствует о хорошем качестве соединения наплавленных слоев с основным металлом. На нетравленных шлифах поверхностных слоев наблюдаются темные области округлой формы (обозначены буквой Г на рис. 1). Такие области представляют собой поры и нерастворившиеся в ванне расплава частицы графита. Формирование карбидов по окружности некоторых областей свидетельствует о наличии в них углерода. Наиболее крупные области такого типа наблюдаются в покрытии типа «Ta+C». В нижней его части формируются зоны повышенной концентрации карбидов (обозначены буквой К на рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Строение поперечных шлифов, изготовленных из образцов типа «Ti+C» (а) и «Ta+C» (б) Нетравленное состояние

Рентгенограммы, зафиксированные при анализе переплавленного материала, представлены на рис. 2. В покрытии типа «Ti+C» обнаруживаются фазы α -Fe, γ -Fe и TiC. В поверхностном слое образца «Ta+C» методом рентгенофазового анализа зафиксированы альфа-, гамма-железо и карбид тантала TaC.

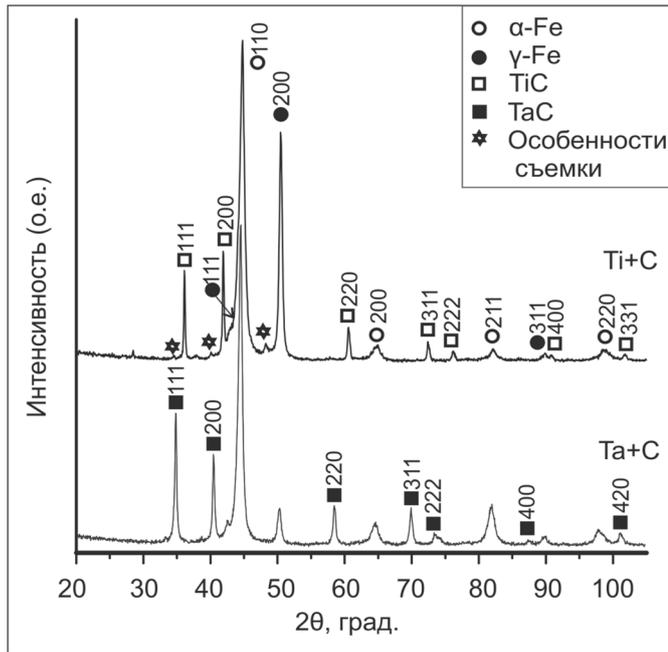


Рис. 2. Рентгенограммы наплавленных слоев

Методами оптической и электронной микроскопии в покрытии «Ti+C» выявляются шесть структурных составляющих: карбиды титана, α -фаза (кристаллы мартенсита), γ -фаза (остаточный аустенит), пластинчатый перлит, ледебурит и пластины цементита видманштеттова типа (рис. 3, а, б). Результаты исследования структуры этого материала представлены в работе [17].

Структура, сформированная в поверхностных слоях стали при наплавке танталсодержа-

щей порошковой смеси, показана на рис. 3, в, г. Карбиды тантала преимущественно имеют кубическую форму. По границам бывших аустенитных зерен в виде окаймляющей прослойки выделяется цементит (на рис. 3, г обозначен буквой Ц). На фоне наплавленного слоя четко выделяются прямолинейные ориентированные кристаллы цементита видманштеттова типа, обозначенные на рис. 3, г символом Ц_{вт}. Между пластинами видманштеттова цементита располагаются колонии пластинчатого перлита (П, рис. 3, г). Оставшийся объем занят кристаллами мартенсита и остаточного аустенита (М+А_{ост} на рис. 3, г). Рентгенофазовый анализ подтверждает наличие фаз, входящих в эти структуры.

Уровень твердости и стойкости материалов в условиях воздействия абразивных частиц зависит от количества содержащейся в нем твердой фазы, в данном случае от содержания карбидов. Объемная доля карбидов титана в покрытии «Ti+C» и карбидов тантала в покрытии «Ta+C» составляет 30 и 10 % соответственно. Разница в количестве карбидных частиц связана с тем, что атомная масса тантала в 3,75 раз выше, чем у титана, а насыпная плотность в обоих случаях одинакова. Меньшее атомное содержание тантала в исходной порошковой смеси объясняет более низкую объемную долю карбидов TaC по сравнению с покрытием «Ti+C».

ДюрOMETрические свойства покрытий, переходных зон и основного материала представлены на графике (рис. 4). Микротвердость феррито-перлитной структуры в основном металле составляет 2 ГПа (зона 3 на рис. 4). В результате ускоренного нагрева и последующего отвода тепла в глубь заготовок в верхних слоях сталь-

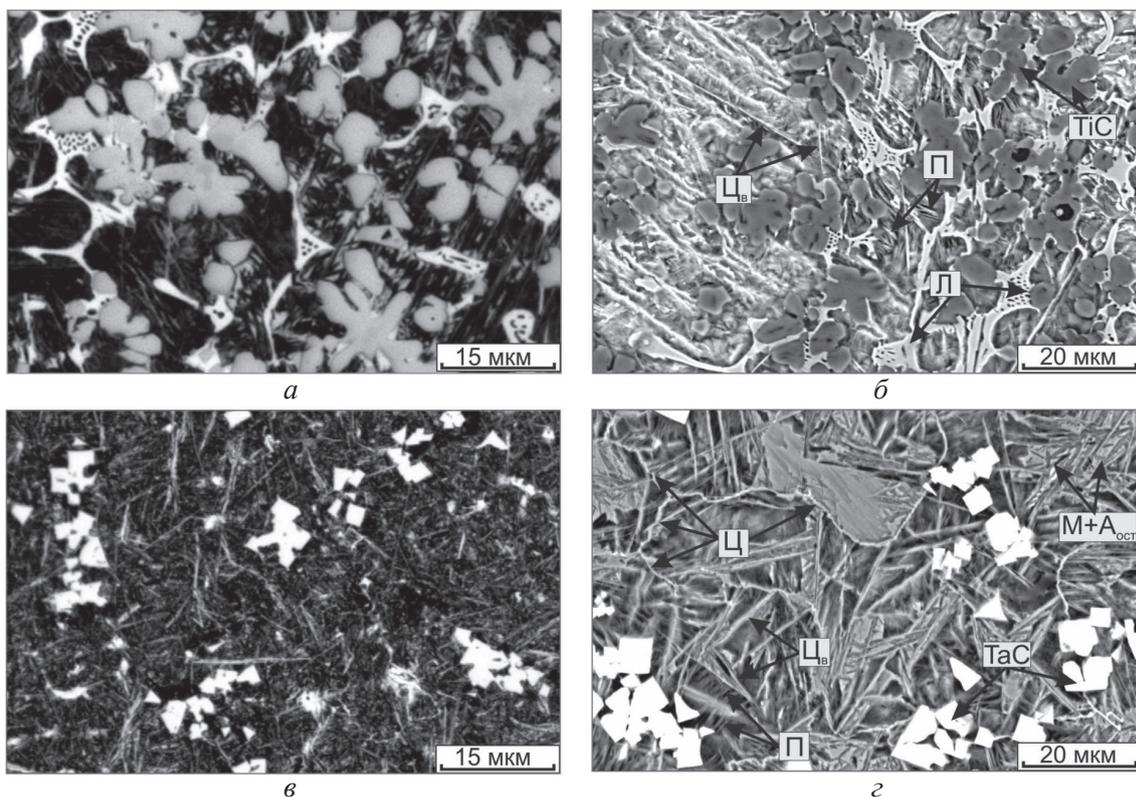


Рис. 3. Структура наплавленных слоев:

a – световая микроскопия покрытия «Ti+C», травленное состояние; *б* – растровая электронная микроскопия покрытия «Ti+C»; *в* – световая микроскопия покрытия «Ta+C», травленное состояние; *г* – растровая электронная микроскопия покрытия «Ta+C»

ных образцов возникают зоны термического влияния. Максимальный уровень микротвердости в этих зонах составляет 5 ГПа. В наплавленных слоях микротвердость достигает 8...9 ГПа. Более высокие значения микротвердости зафиксированы у границ между покрытиями и зонами термического влияния.

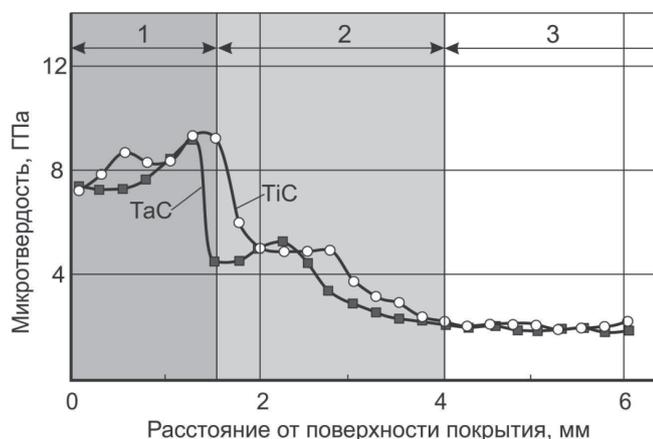


Рис. 4. Характер распределения микротвердости в поперечном сечении поверхностно упрочненных образцов:

1 – наплавленный слой; 2 – зона термического влияния; 3 – основной металл

Триботехнические испытания позволяют оценить эффективность разработанных покрытий при эксплуатации в различных условиях изнашивания.

Результаты изнашивания полученных материалов в условиях трения скольжения по схеме «диск-плоскость» представлены на рис. 5. На начальном этапе испытания скорость изнашивания максимальна вследствие малой площади и высокой удельной нагрузки в месте контакта врезающегося индентора и поверхности. Минимальными характеристиками износостойкости обладают стальные образцы без наплавленного покрытия. Наплавка покрытия «Ti+C» увеличивает показатели износостойкости поверхности в два раза. Максимальным сопротивлением изнашиванию обладают покрытия «Ta+C». Их износостойкость превышает износостойкость основного металла в четыре раза, а наплавленных слоев на основе Ti+C в два раза. Следует отметить, что интенсивность изнашивания образцов с упрочняющими покрытиями после завершения этапа приработки низка в отличие от исходного материала без покрытия, скорость изнашивания которого при установившемся режиме трения составляет $4 \cdot 10^{-6}$ мм³/мин.

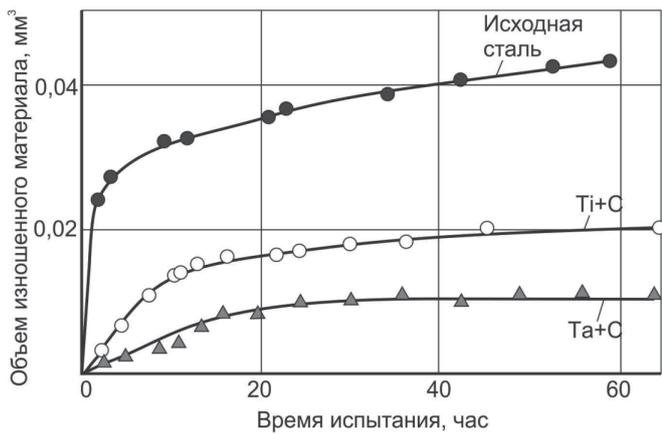


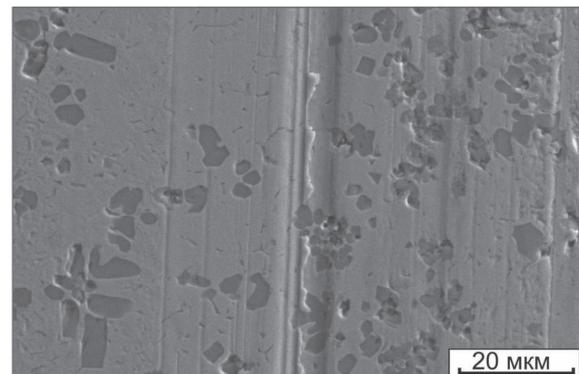
Рис. 5. Изменение объема лунок изношенного материала при проведении испытаний по схеме трения скольжения

При проведении испытаний по данной схеме реализуется режим трения, соответствующий граничной смазке, который определяется сопротивлением сдвигу материала граничного слоя и сопротивлением, обусловленным механическим взаимодействием микронеровностей исследуемого образца и контртела [18]. На начальном этапе изнашивания в месте контакта давление повышено. Под его воздействием реализуются процессы пластической деформации, разрушения микронеровностей и сглаживания поверхности. Вместе с тем механическое взаимодействие образца с индентором приводит к появлению новых микронеровностей. На рис. 6 изображены снимки лунок износа наплавленных слоев. На поверхности покрытия «Ti+C» зафиксирован характерный дефект в виде канавки (рис. 6, а), развивающейся через зону с равномерно распределенными карбидными частицами. В слое «Ta+C» зоны с повышенной концентрацией карбидов при изнашивании ведут себя как более жесткий каркас и препятствуют формированию глубоких царапин (рис. 6, б), что способствует уменьшению износа.

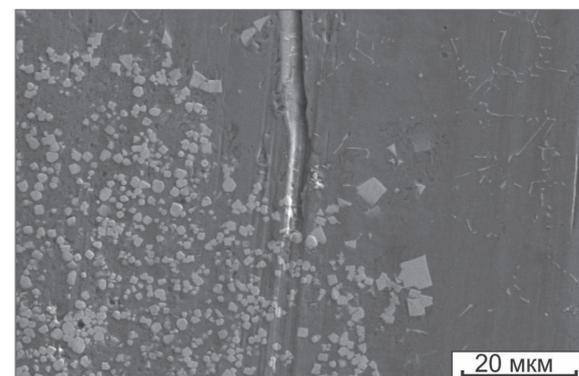
В качестве критерия стойкости покрытий в условиях трения о закрепленные частицы абразива выбрана величина потери объема образца. Результаты испытаний представлены на рис. 7. По сравнению с материалом основы (стали 40Х) износ покрытия «Ti+C» был меньше в три раза, а покрытия «Ta+C» в два раза.

При реализации данного вида испытаний основным механизмом изнашивания является микрорезание, которое в первую очередь определя-

ется глубиной внедрения абразивной частицы в поверхность образца [18]. Твердые включения, присутствующие в наплавленном слое, препятствуют внедрению абразивных частиц. Таким образом, чем больше твердость и объемная доля карбидов в покрытии, тем выше показатели его износостойкости. В покрытии «Ti+C» объемная доля упрочняющих частиц и их твердость по сравнению с покрытием «Ta+C» выше.



а



б

Рис. 6. Внешний вид покрытий «Ti+C» (а) и «Ta+C» (б), изношенных по схеме трения скольжения

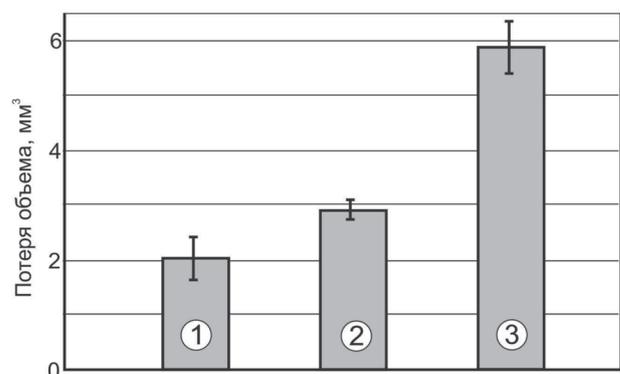


Рис. 7. Результаты испытаний материалов в условиях воздействия закрепленных частиц абразива: 1 – покрытие «Ti+C»; 2 – покрытие «Ta+C»; 3 – основа (сталь 40Х после отжига)

При изнашивании в условиях трения о не жестко закрепленные абразивные частицы оба покрытия показали примерно одинаковый уровень износостойкости, который по сравнению со сталью 40X в четыре раза выше (рис. 8). Абразивные частицы, совершая поступательное движение относительно поверхности изнашивания, имеют возможность вращаться. При взаимодействии с высокопрочным препятствием частица перекачивается и продолжает царапание, отщепляя материал покрытия.

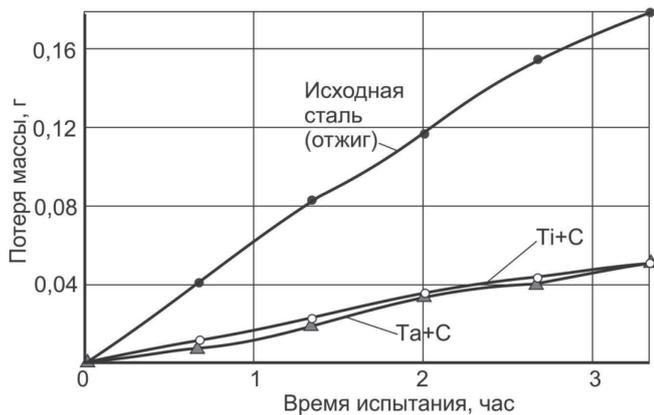


Рис. 8. Зависимость потери массы образцов от времени испытаний при воздействии не жестко закрепленных частиц абразива

Таким образом, в процессе испытаний по данной схеме изнашивание покрытий происходит по двум механизмам: микрорезанием и пластическим отщеплением материала. При испытании исходной стали доминирует механизм микрорезания, обеспечивающий более высокую интенсивность изнашивания. Особенности проявления второго механизма определяются твердостью металлической матрицы, сформированной при наплавке порошковых смесей.

Выводы

1. Результаты исследований по формированию износостойких покрытий на толстолистовых заготовках из стали 40X свидетельствуют о высокой производительности технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки титанографитовой и танталографитовой порошковой смеси. Толщина покрытий, полученных за один проход электронного пучка, составляет 2,2 и 1,7 мм соответственно.

2. Объемная доля карбидов титана и карбидов тантала в наплавленных слоях составляет

30 и 10 %. Существенные различия в содержании упрочняющих частиц обусловлены более высокой плотностью тантала (при наплавке порошковых смесей с одинаковой насыпной плотностью).

3. Максимальный уровень микротвердости наплавленных материалов достигает 10 ГПа.

4. При проведении триботехнических испытаний по схеме трения скольжения более высокий уровень износостойкости, превышающий износостойкость материала основы в четыре раза, зафиксирован на образцах, упрочненных карбидами тантала.

5. При воздействии не жестко закрепленных абразивных частиц покрытия «Ti+C» и «Ta+C» ведут себя одинаково.

6. В условиях воздействия закрепленных частиц абразива более высокой износостойкостью обладает покрытие, упрочненное карбидами титана. Объем изношенного покрытия «Ti+C» за 35 с испытания составляет 2 мм³, в то время как износ основного металла достигает 6 мм³.

7. Выбор схемы поверхностного легирования сталей (титанографитовой либо танталографитовой порошковой смесью) методом наплавки электронным пучком определяется условиями эксплуатации упрочняемой конструкции.

Список литературы

1. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Сосин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение. – М. Машиностроение, 2008. – 406 с.
3. Baoshuai Du, Sameer R. Paital, Narendra B. Dahotre. Phase constituents and microstructure of laser synthesized TiB₂-TiC reinforced composite coating on steel // Scripta Materialia. – 2008. – V. 59. – Pp. 1147–1150.
4. Белюк С.И., Самарцев В.П., Гальченко Н.К., Дампилов Б.В., Раскошный С.Ю., Колесникова К.А. Электронно-лучевая наплавка в черной металлургии // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – Спец. вып. – С. 157–160.
5. Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum // Materials Science & Engineering A. – 2013. – V. 578. – P. 310–317.

6. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding // *Applied Surface Science*. – 2013. – V. 284. – P. 472–481.
7. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovsky M.G., Teplykh A.Yu., Burov V.G., Veselov S.V. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel // *Surface & Coatings Technology*. – 2012. – V. 207. – P. 245–253.
8. Golkovsky M.G., Zhuravina T.V., Bataev I.A., Bataev A.A., Veselov S.V., Bataev V.A., Prikhodko E.A. Cladding of Tantalum and Niobium on Titanium by Electron Beam, Injected in Atmosphere // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vols. 314-316. – P. 23–27.
9. Bataev I., Golkovskii M., Bataev A., Losinskaya A., Dostovalov R., Popelyukh A., Drobyaz E. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing // *Surface & Coatings Technology*. – 2014. – V. 242. – P.164–169.
10. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода – Saarbrücken: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. – 317 с.
11. 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.
12. Yun Eunsub, Kim Yong Chan, Lee Sunghak, Kim Nack J. Correlation of microstructure with hardness and wear resistance in (TiC,SiC)/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation // *Metallurgical and materials transactions A*. – 2004. – V. 35A. – P. 1029–1038.
13. Lee Dong-Geun, Lee Kyuhong, Lee Sunghak. Effects of tempering on microstructure, hardness, and fracture toughness of VC/steel surface composite fabricated by high-energy electron beam irradiation // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – № 201, P. 1296–1301.
14. Полетика И.М., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Перовская М.В. Структура и свойств покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой // *Физика и химия обработки материалов*. – 2007. – № 66. – С. 48–56.
15. Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Иванов Ю.Ф., Перовская М.В. Формирование структуры металла электронно-лучевой наплавки карбидом вольфрама // *Перспективные материалы*. – 2009. – № 4. – С. 65–70.
16. Lee Jongmin, Euh Kwangjun, Oh Jun Cheol, Lee Sunghak. Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation // *Materials Science and Engineering A*. – 2002. – № 323. – P. 251–259.
17. Муль Д.О., Дробяз Е.А., Чакин И.К., Самойленко В.В., Ложкин В.С., Достовалов Р.А. Структура и свойства после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2013. – № 3(60). – С. 115–120.
18. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

OBRAOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 2(63), April – June 2014, Pages 117–126

Electron beam cladding of powder mixtures containing titanium and tantalum on specimens of steel 40X

Mul D.O., Post-graduate Student, e-mail: ddariol@yandex.ru

Belousova N.S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kapriz.ru@mail.ru

Krivezhenko D.S., Post-graduate Student

Shevtsova L.I., Post-graduate Student, e-mail: edeliya@ngs.ru

Losinskaya A.A., Assistant, e-mail: anna.losinskaya@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

Cladding of powder mixtures of titanium with graphite and tantalum with graphite on thick blanks of steel 40X was realized by electron beam accelerator. The structural and tribological investigations of surface-hardened materials were carried out. It is shown that the cladding of powder mixtures containing titanium and tantalum by high-power electron beam injected into the atmosphere leads to the formation of high-quality hardsurfacing overlays.

The thickness of coating reinforced by titanium and tantalum carbides is equal to 2.2 and 1.7 mm respectively. The volume fraction of titanium and tantalum carbides is 30 and 10 % respectively. The maximal microhardness level of clad materials is 10 GPa. The maximal wear resistance level is registered during sliding friction for specimens reinforced by tantalum carbides. Under conditions of fixed abrasive particles coating, reinforced by tantalum carbides, has a higher resistance level. Under the influence of loosely coupled fixed abrasive particles “Ti+C” and “Ta+C” coating have the similar properties.

Keywords:

electron beam cladding, surface hardening, coatings structure, titanium carbide, tantalum carbide

References

1. Vinogradov V.N., Sorokin G.M., Kolokol'nikov M.G. *Abrazivnoe iznashivanie* [Abrasive wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 224 p.
2. Sosin N.A., Ermakov S.A., Topolianskii P.A. *Plazmennye tekhnologii. Svarka, nanesenie pokrytii, uprochnenie* [Plasma technology. Welding, coating, hardening.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 406 p.
3. Baoshuai Du, Sameer R.P., Narendra B.D. Phase constituents and microstructure of laser synthesized TiB₂-TiC reinforced composite coating on steel. *Scripta Materialia*, 2008, Vol. 59, pp. 1147–1150.
4. Belyuk S.I., Samartsev V.P., Galchenko N.K., Dampilon B.V., Raskoshny S.Yu., Kolesnikova K.A. Elektronno-luchevoia naplavka v chernoii metallurgii [Electron-beam surfacing in ferrous metallurgy]. *Fizicheskaiia mezomekhanika - Physical Mesomechanics*, 2006, Vol. 9, Special Issue, pp. 157-160.
5. Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum. *Materials Science & Engineering: A*, 2013, Vol. 578, pp. 310–317.
6. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding. *Applied Surface Science*, 2013, Vol. 284, pp. 472–481.
7. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovsky M.G., Teplykh A.Yu., Burov V.G., Veselov S.V. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel. *Surface & Coatings Technology*, 2012, Vol. 207, pp. 245–253.
8. Golkovsky M.G., Zhuravina T.V., Bataev I.A., Bataev A.A., Veselov S.V., Bataev V.A., Prikhodko E.A. Cladding of Tantalum and Niobium on Titanium by Electron Beam, Injected in Atmosphere. *Advanced Materials Research*, 2011, Vols. 314-316, pp. 23–27.
9. Bataev I., Golkovskii M., Bataev A., Losinskaya A., Dostovalov R., Popelyukh A., Drobyaz E. Surface hardening of steels with carbon by non-vacuum electron-beam processing. *Surface & Coatings Technology*, 2014, Vol. 242, pp. 164–169.
10. Golkovskii M.G. *Zakalka i naplavka reljativistskim jelektronnym puchkom vne vakuuma. Tehnologicheskie vozmozhnosti metoda* (Hardening and cladding of a relativistic electron beam outside the vacuum. Technological capabilities of the method). Saarbrücken, LAPLAMBERT Academic Publishing, 2013. 317 p.
11. Poletika I.M., Golkovsky M.G., Borisov M.D., Salimov R.A., Perovskaya M.V. Perovskaia M.V. Formirovanie uprochniuiushchikh pokrytii metodom naplavki v puchke reljativistskikh elektronov [Formation of strengthening coatings fused by relativistic electron beam]. *Fizika I Khimiya Obrabotki Materialov (Physics and Chemistry of Materials Processing) - Inorganic Materials: Applied Research*, 2005, no. 5, pp. 29–41.
12. Yun Eunsub, Kim Yong Chan, Lee Sunghak, Kim Nack J. Correlation of microstructure with hardness and wear resistance in (TiC, SiC)/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation. *Metallurgical and materials transactions A*, 2004, Vol. 35, Issue 3, pp. 1029–1038.
13. Lee Dong-Geun, Kyuhong Lee, Sunghak Lee. Effects of tempering on microstructure, hardness, and fracture toughness of VC/steel surface composite fabricated by high-energy electron beam irradiation. *Surface and Coatings Technology*, 2006, Vol. 201, Issues 3-4, pp. 1296–1301.
14. Poletika I.M., Ivanov Iu.F., Golkovskii M.G., Perovskaia M.V. Struktura i svoistv pokrytii, poluchennykh elektronno-luchevoi naplavkoi [Structure and properties of the coatings produced by electron-beam overlaying welding]. *Fizika I Khimiya Obrabotki Materialov (Physics and Chemistry of Materials Processing) – Inorganic Materials: Applied Research*, 2007, № 6, pp. 48–56.
15. Poletika I.M., Golkovski M.G., Krilova T.A., Ivanov Yu.F., Perovskaya M.V. Formirovanie struktury metalla elektronno-luchevoi naplavki karbidom vol'frama [Formation of metal structure by electron-beam surfacing of tungsten carbide]. *Perspektivnye materialy – Journal of Advanced Materials*, 2009, no. 4, pp. 65–70.

16. Jongmin Lee, Kwangjun Euh, Jun Cheol Oh, Sunghak Lee. Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation. *Materials Science and Engineering: A*, 2002, Vol. 323, Issues 1–2, pp. 251–259.

17. Mul D.O., Drobyaz E.A., Chakin I.K., Samoylenko V.V., Lozhkin V.S., Dostovalov R.A. Struktura i svoistva posle vnevakuumnoi elektronno-luchevoi naplavki poroshkov titana, tantala, molibdena i grafita [Structure and properties of steel under non-vacuum electron-beam welding deposition of titanium, tantalum, molybdenum and graphite powders]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2013, no. 3(60), pp. 115–120.

18. Garkunov D.N. *Tribotekhnika* [Tribological engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 424 p.

Funding

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (The public contract no. 2014/138, project no. 257).

Received 7 March 2014

Revised 15 April 2014

Accepted 20 April 2014