

СТРУКТУРНО–МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА TiNiZr – cBN–Co

Русинов П.О., Бледнова Ж.М.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
г. Краснодар, Россия, E-mail: ruspiter5@mail.ru

Введение

В связи с расширением технологических возможностей производства в последние годы в качестве нового резерва повышения функциональной надежности изделий все чаще рассматриваются многокомпонентные и многослойные структуры, в т.ч. слоистые покрытия. Известно, что широким спектром функциональных возможностей обладают интеллектуальные материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ). Их использование при формировании слоистых композиционных поверхностных слоев может быть весьма продуктивным, что обеспечит комплекс широко востребованных свойств: сверхупругость или сверхэластичность, износ- и коррозионностойкость, повышенная демпфирующая способность, долговечность, трещиностойкость. адаптивность.

Целью настоящей работы является повышение функционально–механических свойств стальных изделий путем создания многослойного композита «сталь – материал с эффектом памяти формы (ЭПФ) – износостойкий слой» (TiNiZr – cBN–Co) высокоскоростным газопламенным напылением механически активированного порошка в защитной атмосфере.

Выбор архитектуры композиции «основа – слой с ЭПФ» зависит от его функционального назначения, но в любом случае поверхностные слои изделий подвергаются внешнему силовому, температурному, коррозионному воздействию и должны обеспечить прочность и живучесть в эксплуатационных условиях. Основными факторами, определяющими надежность и живучесть композиции, являются: обеспечение высокой адгезии как на границе «покрытие – основа», так и между слоями; создание архитектуры поверхностной композиции, при которой создаются условия, препятствующие возникновению трещин, и барьеры для их распространения или условия, обеспечивающие торможение распространению трещин.

Методика эксперимента. Напыление многослойного композита «сталь – материал с эффектом памяти формы (ЭПФ) – износостойкий слой» (TiNiZr – cBN–Co) осуществляли на сталь 1045, обеспечивающего прочную связь на границе сталь – TiNiZr, на цилиндрических (\varnothing 10 мм, сталь 45) образцах. Общая толщина слоя TiNiZr варьировалась в пределах $0,9 \pm 1$ мм, а слоя cBN–Co $0,5 \pm 0,6$ мм.

Порошки TiNiZr, cBN–Co для высокоскоростного газопламенного напыления подвергались механической активации в вакууме в высокоскоростной планетарной шаровой мельнице ГЕФЕСТ–2 (АГО–2У).

Структурно–механические особенности формирования композитных слоев TiNiZr –cBN–Co

В результате высокоскоростного газопламенного напыления МА порошков в вакууме (среда аргона) образуются композитные слои (рис. 1,а) с минимальным содержанием пор менее 1 % (рис. 1,б, рис. 1в), прочность сцепления слоев с основой (120–140 МПа). Толщина слоя TiNiZr составила 0,9–1мм, а слоя cBN–10%вес.Co соответственно 0,5–0,6мм.

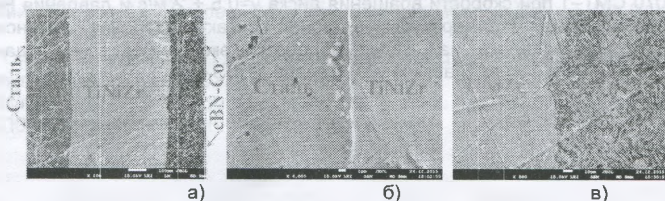


Рисунок 1 – Структура композитных слоев TiNiZr–cBN–10%вес.Co, а) $\times 100$, б) $\times 4000$, в) $\times 500$

Результаты рентгенофазового анализа показали, что при комнатной температуре исходное фазовое состояние слоя TiNiZr, после высокоскоростного газопламенного напыления механически активированного порошка в защитной атмосфере (среда аргон) представляет собой мартенситные фазы B19' с моноклинной решеткой, аустенитные B2-фазы с кубической решеткой, интерметаллидные фазы Ni₃Ti, Ti₂Ni, NiZr, NiZr₂ с кубической и гексагональной решеткой, а также наблюдается небольшое количество оксида титана (TiO) менее 2%. Фазовый анализ слоя cNB-10%Co BN с кубической решеткой (≈85,3–87,4%), Co с гексагональной решеткой (≈10,3–11,2%), B₂CN с орторомбической решеткой (≈2,3–3,5%), BC₂N с орторомбической решеткой.

Структура слоев имеет крайне слабую травимось обычными реактивами, что во многом объясняется сильным измельчением зерна в результате высокоскоростного нагрева, быстрого охлаждения, и значительной деформации (рис. 2), что обеспечивает особые структурные эффекты. В связи с характерными особенностями высокоскоростного газопламенного напыления механически активированных порошков (высокая скорость охлаждения и быстрая закалка покрытия) при напылении в поперечном разрезе слоя TiNiZr отсутствуют четко выраженные столбчатые дендриты, структура может быть охарактеризована как наноразмерная. Микротвердость TiNiZr – слоя колеблется в пределах H_μ=9,5+12,7 ГПа, слоя cNB-10%Co H_μ=36,9+38,3 ГПа соответственно.

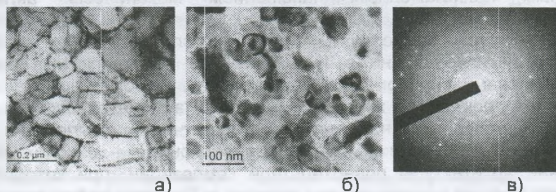


Рисунок 2 – Структура слоя TiNiZr, полученная высокоскоростным газопламенным напылением механически активированного порошка: ×120000 – а); слоя cNB-10%Co микроэлектроннограмма слоя cNB-10%Co – б); микроэлектроннограмма – в)

Полученный TiNiZr слой имеет наноразмерную структуру с размером зерна 45–185 нм (рис. 2а). На рисунке 2б представлена структура слоя cNB-10%Co с размером зерна 25–215 нм.

Общезвестно об уникальных усталостных свойствах сплавов на основе никелида титана, его износ- и коррозионностойкости [1–3]. Эти сплавы в различных формах: в виде проволоки, лент и полос оказывают высокое сопротивление в условиях циклического нагружения. В настоящей работе, как показали испытания образцов (сталь 45+TiNiZr-cNB-10%Co) на многоцикловую усталость при изгибе с вращением, наблюдается повышение долговечности (рис.3,а). Предел выносливости (σ_{-1}) стали 45 без покрытия составил 275 МПа, а сталь 45+TiNiZr-cNB-10%Co – 475 МПа (увеличился на 72,7%) (рис.3, а).

Испытание композиционных слоев TiNiZr-cNB-10%Co на износ проводилось при сухом трении образца с покрытием о жесткий вращающийся диск на испытательной машине 2070 СМТ-1 при скорости вращения диска $v=0,5 \pm 2$ м/с и давления $P=2 \pm 12$ МПа, с регистрацией температуры в зоне контакта. Оценка интенсивности изнашивания производилась на основе обработки экспериментальных данных с помощью прикладного пакета Statistica v6.0 в среде SPSS (рис.3, б).

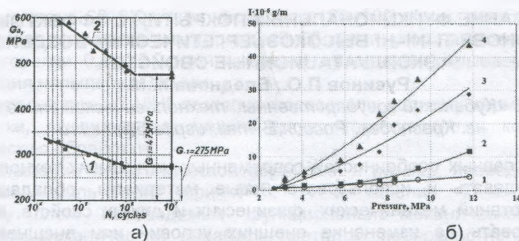


Рисунок 3 – Влияние поверхностного модифицирования стали 45 (1) материалом с ЭПФ на предел выносливости на основе TiNiZr-cNB-10%Co (2) – а); зависимость интенсивности изнашивания I от давления диска P: скорость скольжения диска 0,5м/с –1; 1 м/с –2; 1,5 м/с –3; 2 м/с –4 – б)

Способность материалов с ЭПФ деформироваться при определенных условиях, в основном, за счет развития мартенситных превращений, отражается на особенностях поведения композиции «сталь – материал с ЭПФ – износостойкий слой» в условиях механической усталости. Для стали 45 с композиционными слоями TiNiZr-cNB-10%Co предел выносливости составил 475 МПа, на 72,7 % больше, чем для материала основы (рис.3,а). В результате проведенных испытаний, износостойкость стали 1045 с композиционными поверхностными слоями TiNiZr-cNB-10%Co увеличилась в 5,8-6 раз (рис.3,б).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что комплексный метод формирования композиционных слоев из материала с ЭПФ, включающий высокоскоростное газопламенное напыление механоактивированных порошков в защитной атмосфере, последующую термическую и термомеханическую обработку позволил сформировать в композиционных слоях наноразмерное состояние, обладающее повышенным уровнем механических и эксплуатационных свойств; показано, что предварительная механоактивация порошков позволила снизить пористость покрытий (пор менее 1%) и обеспечить прочность сцепления покрытия с основой (140 МПа).

Экспериментально установлено, что после высокоскоростного газопламенного напыления механоактивированных порошков TiNiZr-cNB-10%Co циклическая долговечность в условиях многоциклового усталости увеличивается на ~60-80%. Износостойкость стали 45 после напыления композиционных слоев увеличилась в 5,8-6 раз.

Работа выполнена при поддержке Гранта Российского Научного Фонда № 15-19-00202.

Список литературы:

1. Нанотехнология поверхности. Формирование неравновесных состояний в поверхностных слоях материалов методами электронно-ионно-плазменных технологий (под ред. Н.З Ляхова, С.Г. Псахье). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 276 с.
2. Otsuka K., Kakeshita T. Science and technology of shape-memory alloys: new developments //mrs bulletin. 2002. – p. 91-98.
3. Материалы с эффектом памяти формы: Справ. изд. / Под ред. Лихачева В.А. – Т. 1. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. – 424 с.