

Наплавленные валики корпусов букс должны быть признаны негодными, если при контроле внешним осмотром и измерениями обнаружены следующие дефекты:

- трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне на основном металле, в том числе микротрещины, выявляемые при металлографическом исследовании;

- несплавления по кромкам валиков наплавленного металла;

- подрезы основного металла и наплывы (натеки);

- свищи и поры;

- незаваренные кратеры.

При выявлении недопустимых дефектов производится ремонт с удалением дефектного участка, заваркой и последующим контролем отремонтированного участка.

Производится контроль геометрических размеров посадочного отверстия корпуса буксы с учетом остаточных деформаций от сварных соединений.

### 3. Заключение

По результатам выполненных работ проведена производственная аттестация технологии сварки в соответствии с требованиями СТБ ЕН 288-3, обучен и аттестован персонал, технология внедрена на Гомельском ВРЗ.

Экономический эффект от реализации технологии в условиях производства Гомельского ВРЗ в течение 5 месяцев составил 227 млн.рублей. При этом восстановлено 1245 корпусов букс.

### Литература

1. Петров Г.Л., А.С. Тумарев. Теория сварочных процессов. – Москва: Высшая школа, 1987.
2. Походня И.К. и др. Металлургия дуговой сварки. – Киев: Наукова думка, 2004.
3. Думов С.И. Технология сварки плавлением. – Ленинград: Машиностроение, 1987.
4. Молодых Н.В. и др. Восстановление деталей машин. Справочник. – Москва: Машиностроение, 1989.
5. Золотухин Н.М. Нагрев и охлаждение металла. – Москва: Машиностроение, 1973.
6. Ресурсосбережение и технологии в сварочном производстве. Справочное пособие под ред. С.К. Павлюка. – Минск: Высшая школа, 1989.
7. Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин ПТУ. – Новополоцк, 1997.
8. Регулирование тепловложений при дуговой сварке сталей. Г.И.Лащенко. «Сварщик в Белоруссии» № 3, 2006. – с. 19-21
9. Рыхалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - Москва. 1951.
10. Сварка в машиностроении. – Москва: Машиностроение, 1978-1979, т. 1-4

УДК 669.245:539.216

## ОСАЖДЕНИЕ ПЛЁНОК TiNi ИОННО-ЛУЧЕВЫМ И ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДАМИ

*Рубаник В.В., Рубаник В.В. (мл.), Маркова Л.В., Андреев М.А.,  
Заболотина Ю.А., Милюкина С.Н.*

*Институт технической акустики НАН Беларуси, г. Витебск*

В последнее время в тонкопленочной технологии большое внимание уделяется разработке новых и усовершенствованию традиционных методов получения пленок различных соединений, в том числе и TiNi, что объясняется широким применением их в микроэлектронике, медицине и технике [1]. Целью настоящей работы является получение методами ионно-плазменного и ионно-лучевого осаждения тонких TiNi пленок.

При ионно-лучевом осаждении TiNi пленку получали распылением композиционной мишени, представляющей собой диск диаметром  $\varnothing 80$  мм и толщиной 6 мм. Температуры мартенситных превращений для исходного материала составляли  $M_n = 5^\circ\text{C}$ ,  $M_s = -15^\circ\text{C}$ ,  $A_n = -8^\circ\text{C}$ ,  $A_s = 6^\circ\text{C}$ , переход проходил с образованием промежуточной R-фазы ( $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19$ ). В качестве подложек для формирования композиционных покрытий были выбраны полированные пластины стали 45, кремния и кристаллы  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Покрытие наносили ( $t=2$  часа) на предварительно обработанные в течение 10 минут ионным пучком и подогретые до температуры  $200^\circ\text{C}$  подложки. Толщина покрытия, сформированного при таких условиях, составила порядка 1 мкм.

При ионно-плазменном осаждении на кристаллы  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и стеклянные подложки в вакууме наносились пленки TiNi толщиной до 2 мкм по технологии, описанной в [2]. В качестве исходного материала использовался никелид титана с характеристическими температурами  $M_n' = 47^\circ\text{C}$ ,  $M_s' = 38^\circ\text{C}$ ,  $M_n = 25^\circ\text{C}$ ,  $M_s = 4^\circ\text{C}$ ,  $A_n = 46^\circ\text{C}$ ,  $A_s = 62^\circ\text{C}$ , переход осуществлялся через промежуточную фазу ( $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ ).

Были исследованы температурные интервалы и последовательность мартенситных превращений, реализуемых при охлаждении и нагревании в тонких пленках из сплава TiNi, полученных ионно-плазменным и ионно-лучевым распылением. Поскольку в исходном состоянии структура пленок была аморфной, то перед началом исследования образцы выдерживались от 30 до 90 минут при температуре  $500^\circ\text{C}$ , что позволило реализовать в пленках кристаллическую структуру. В кристаллизованных тонких пленках мартенситные превращения исследовали, с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC 822e METTLER TOLEDO, при охлаждении и нагревании в интервале  $120 \pm (-65)^\circ\text{C}$ .

Полученные результаты исследования показали, что в образцах полученных ионно-плазменным методом, выдержанных 1 час при  $500^\circ\text{C}$ , наблюдается прямое мартенситное превращение которое проходит при температурах  $M_n = 65^\circ\text{C}$ ;  $M_s = 58^\circ\text{C}$ ;  $M_s = 52^\circ\text{C}$  (рис. 1 а) и обратное превращение при температурах мартенситных переходов  $A_n = 51^\circ\text{C}$ ;  $A_s = 51^\circ\text{C}$ ;  $A_s = 67^\circ\text{C}$  (рис. 1 б), где  $M_n$  и  $A_n$  соответствуют температурным пикам прямого и обратного переходов на калориметрической кривой. Сопоставление температурных интервалов прямого и обратного превращений позволяет сделать вывод о том, что в образцах реализуется  $B2 \leftrightarrow R$  превращение. Увеличение времени выдержки до 1,5 ч не приводит к изменению температурных интервалов превращений (рис. 1).

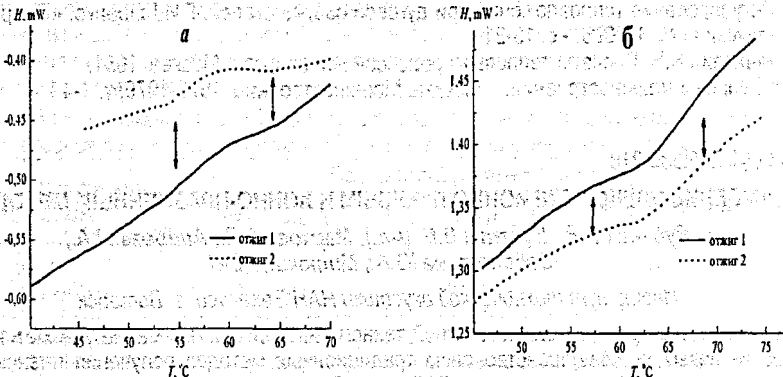


Рис. 1. Изменение теплового потока при охлаждении (а) и нагревании (б) тонких пленок из сплава TiNi после отжига при температуре  $500^\circ\text{C}$  в течение 60 мин. (1) и 90 мин. (2). Стрелками обозначены интервалы прямого (а) и обратного переходов (б)

В покрытиях, полученных методом ионно-лучевого осаждения при 500 °С в течение 30 минут, также наблюдаются мартенситные превращения с температурами пиков  $M_n = 52^\circ\text{C}$  и  $A_n = 61^\circ\text{C}$ . При этом, температурные интервалы превращений размыты. Интервалы температур, в которых осуществляются прямое и обратное мартенситные превращения, для плёнок, полученных методами ионно-плазменного и ионно-лучевого осаждения, коррелируют между собой.

Топографию поверхности исследуемых образцов, полученных ионно-плазменным осаждением, осуществляли на растровом электронном микроскопе марки LEQ1455VP фирмы «Карл Цейсс». Рентгеноспектральный микроанализ проводился с использованием энергодисперсионного SiLi – полупроводникового детектора фирмы «Röntec», Германия.

Морфология поверхности покрытия из нитинола полученного ионно-плазменным осаждением, представлена на рисунке 2. Светлые по сравнению с общим полем капли получаются из-за толщины слоя, по распределению элементов светлые капли не выделяются. Темная капля содержит больше Ti.

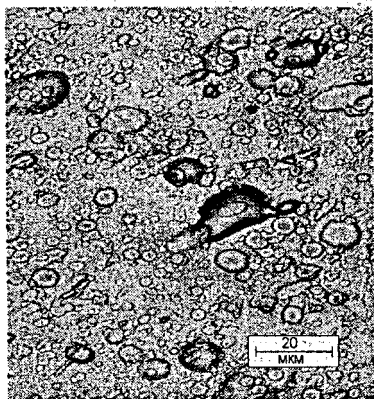
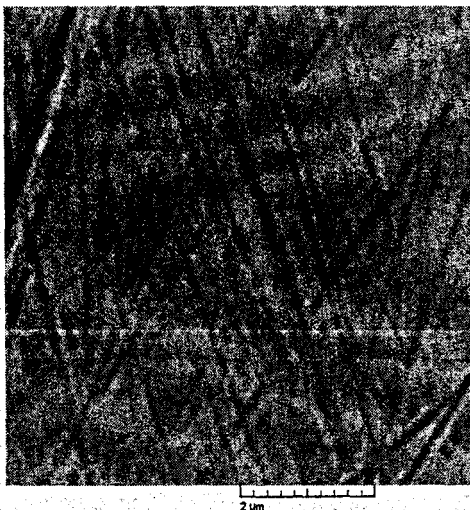


Рис. 2. Морфология поверхности покрытия из нитинола, полученного ионно-плазменным осаждением

Определение состава сформированных покрытий, полученных методом ионно-лучевого осаждения, проводили на аттестованном сканирующем электронном микроскопе «Нанолаб-7» фирмы «Оптон» (Германия) с микрорентгеноспектральным анализатором AN 10000 фирмы «Линк Аналитикл» (Великобритания) по программе количественного анализа ZAF4-FLS. Погрешность метода в данном случае составляла 3 – 5 относительных процента.

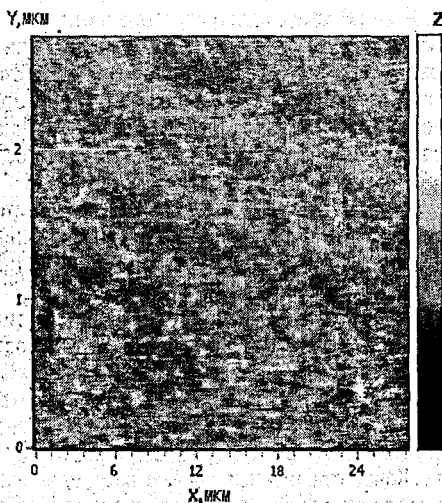
На рисунке 3 представлена микроструктура ионно-лучевого покрытия на основе нитинола, полученного на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Miga». На снимке отчетливо прослеживается однородность и равномерность покрытия, которое повторяет рельеф поверхности основы, в данном случае – стали марки 45.

Из данных микрорентгеноспектрального анализа следует, что состав покрытия, сформированного методом ионно-лучевого распыления, практически полностью соответствует составу распыляемой композиционной мишени (Ti55весовых%Ni45весовых%). Применение съемки в характеристическом рентгеновском излучении показало, что титан и никель распределены равномерно по всей поверхности образца. Линейное сканирование по поверхности образца также подтвердило равномерность распределения титана и никеля на модифицированной поверхности. Концентрационные кривые распределения Ti, Ni вдоль участка сканирования показывают равномерное распределение интенсивностей всех элементов вдоль оси X.



**Рис. 3. Морфология поверхности покрытия из нитинола**

Исследование топографии поверхности покрытия из нитинола, сформированного на кремниевой подложке, проводили на атомно-силовом микроскопе НТ-206 (ОДО «Микротестмашины», г. Гомель) со стандартными кремниевыми кантилеверами. Радиус закругления стандартного кремниевго зонда составляет 10 мкм. Разрешение АСМ составляет: вертикальное – 0,2 нм, горизонтальное – 2 нм. Структуру поверхности анализируемых образцов исследовали с использованием изображений рельефа поверхности в режиме «Tortion». Исследование морфологии поверхности ионно-лучевых покрытий четко показало, что при напылении покрытия формируется слабовыраженная зернистая структура. Размер зерен колеблется от 10 нм до 70 нм, а высота их – от 1 нм до 8 нм (рис 4).



**Рис. 4. Морфология поверхности покрытия из нитинола, полученного ионно-лучевым осаждением**

Оценка микротвердости пленочного покрытия на подложке из стали 45 проводили на приборе Micromet-1 с использованием индентора Кнупа. Величина нагрузки составляла 0,03 Н; толщина исследуемых покрытий не превышает 2,0 мкм. Отпечаток имеет вид сильно вытянутого ромба, большая диагональ в семь раз превышает малую, глубина отпечатка в 30 раз меньше большой диагонали. Сильно вытянутая большая диагональ обуславливает повышенную точность измерения микротвердости при малых нагрузках, что особенно важно для тонких покрытий. В результате выполненных измерений получены следующие значения микротвердости: основа-2800-3200 МПа, покрытие-6700-7300 МПа, т.е. напыление покрытия вызывает увеличение микротвердости почти в два раза.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о возможности получения методами ионно-лучевого и ионно-плазменного осаждения тонких TiNi пленок, в которых при термоциклировании реализуются термоупругие фазовые превращения, характерные для исходного материала.

#### Литература

1. Лихачев, В.А., Кузьмин, С.Л., Каменцева, З.П. Эффект памяти формы. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1987. – 216с
2. Рубаник, В.В., Рубаник, В.В. мл. Получение тонких TiNi пленок методом ионно-плазменного осаждения. //Сб. тез. XV Междун. конфер. «Актуальные проблемы прочности», 25-28 сентября 2006г., Белгород, Россия, – с.166

УДК 669-138

## ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ БОРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Константинов В.М.<sup>1</sup>, Тихонов П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск,

<sup>2</sup>Полоцкий государственный университет, г.Новополоцк

Целью настоящей работы является повышение физико-механических и геометрических свойств электроискровых борсодержащих покрытий для применения их в ремонтном производстве для восстановления прецизионных пар трения.

Электроискровая обработка с целью изменения физико-механических свойств обрабатываемой поверхности нашла широкое применение в связи с преимуществами способа, такими как возможность локального нанесения покрытий из любых токопроводящих материалов, изменения электрических свойств токопроводящих поверхностей, низкое тепловложение в деталь, возможность автоматизации процесса, использование универсального оборудования и формирование композиционных покрытий путём многократной последовательной обработки. Внимания заслуживает возможность формирования композиционных электроискровых покрытий при восстановлении прецизионных пар трения, представителем которых является ротор турбокомпрессора дизельного двигателя СМД-21, при износе опорных поверхностей которого более 20 мкм деталь считается негодной.

Условия работы и характер изнашивания ротора турбокомпрессора определяют следующие требования к электродному материалу:

- максимально низкая температура плавления по отношению к температуре плавления материала основы для преобладания жидкофазной составляющей в процессе переноса материала;
- твердость покрытия должна быть не менее 52 HRC<sub>2</sub>;
- материал покрытия должен иметь в своём составе более 30-35% карбидной фазы.