

## МИКРОСТРУКТУРА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ МОТОДОМ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Рубаник В.В.<sup>1,2</sup>, Рубаник В.В. мл.<sup>1,2</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>3</sup>, Гамзеева Т.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь,  
[ita@vitebsk.by](mailto:ita@vitebsk.by)*

<sup>2</sup> *Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь*

<sup>3</sup> *Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

<sup>4</sup> *Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Среди интенсивно развивающихся ресурсосберегающих методов газотермического напыления покрытий различного функционального назначения технологии газопламенного напыления (ГПН) порошковых и проволочных материалов отличаются простотой, экономичностью и относительно низкой удельной стоимостью [1,2]. Газопламенное напыление используется для получения покрытий из металлов, сплавов, полимеров. Одним из перспективных направлений применения этого метода является получение коррозионно-стойких покрытий, обладающих адаптивными свойствами к окружающей среде. К таким относятся и покрытия на основе сплава титана и никеля обладающего памятью формы [3,4].

В работе приводятся результаты исследований по формированию металлических покрытий из проволочных материалов на основе никелида титана газопламенным методом.

Газопламенное напыление осуществляли термораспылителем "ТЕРКО", разработанным в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси [2]. Основой под покрытия служили пластины стали 3 размером 980x480x4 мм которые крепили на магнитный держатель. Предварительно их рабочая поверхность подвергалась пескоструйной обработке. Для напыления использовали проволоку никелида титана состава Ti-50,4ат.%Ni диаметром 2,0 мм предварительно отожженную при 500°C и травленную в растворе HF:HNO<sub>3</sub>:6H<sub>2</sub>O. Рабочий ток дуги составлял 200 А, напряжение 40 В. В зону распыления подавали пропановую смесь. Напыление проводили на дистанции около 180 мм от основы в 3 этапа, чтобы исключить чрезмерный нагрев и возникновение термических напряжений в покрытии. Температура на поверхности покрытия в первом проходе составляла 140-150°C, во втором и третьем 70-80°C.

Толщина нанесенного покрытия составляет от 600 до 900 мкм (рис.1). Размер частиц напыляемого покрытия, зависящий в основном от распыляемого материала, в нашем случае составлял от 5 до 30 мкм. Покрытие образовалось за счет расплавления проволоки и формирования частиц в условиях их интенсивного взаимодействия с распыляющим факелом, а также последующей укладки расплавленных капель в слой. При этом, поскольку в слое протекают процессы быстрой кристаллизации, деформации и отпуска, то структурное состояние и свойства покрытий сложным образом зависят от сочетания параметров процесса ГПН. Кроме того, появляются окислы, а часть легирующих элементов может выгорать. Рентгеноструктурные исследования свидетельствуют о том, что материал покрытия соответствует никелиду титана находящемуся в низкотемпературном мартенситном состоянии (рис.2). В напыленных покрытиях присутствует в незначительном количестве кислород, что можно качественно оценить при микроструктурных исследованиях. На микрошлифах оксиды видны в виде продолговатых темных или серых участков, а поры – черных (рис. 3). В связи с тем, что напыляемые частицы образуются в результате взаимодействия воздушной струи с жидким металлом, они в той или иной мере подвергаются окислению, в результате чего к моменту столкновения с поверхностью основы на частицах формируется окисная пленка. При газопламенном проволочном напылении в покры-

тии содержится меньше оксидов, чем при порошковом напылении. Это имеет важное значение для получения плотных коррозионно-стойких покрытий.

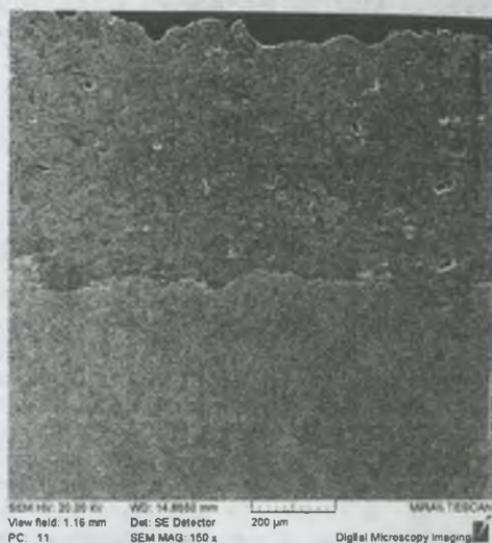


Рис. 1. Микроструктура покрытия, напыленного проволокой из сплава Ti-50,4ат.%Ni

Измерения микротвердости покрытий, полученных распылением проволок из никелида титана, материала обладающего эффектом памяти формы, показали, что вблизи поверхности раздела микротвердость подложки увеличивается по сравнению с основой с 50 до 250 HV (рис.4). Микротвердость покрытия по мере удаления от поверхности раздела увеличивается с 450 до 600 HV Это очевидно связано с тем обстоятельством, что процесс напыления шел в три этапа и на первом этапе температура покрытия составляла 150°C, что привело к отпуску первого слоя материала.

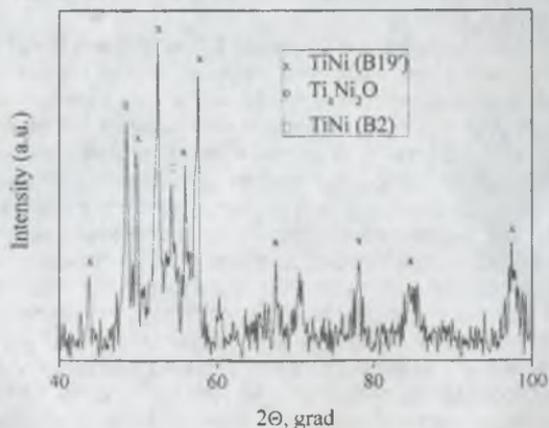


Рис. 2. Дифрактограмма поверхности газопламенного покрытия Ti-50,4ат.%Ni

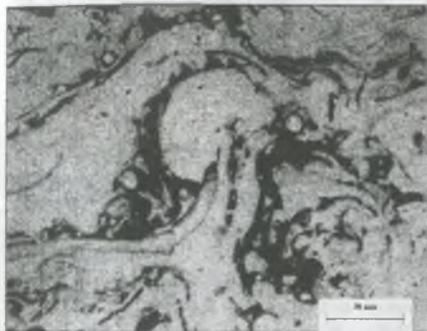


Рис. 3. Микроструктура покрытия, напыленного проволокой из сплава Ti-50,4ат.%Ni

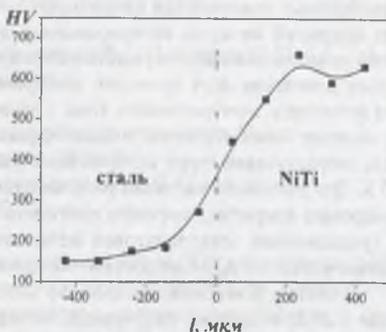


Рис. 4. Распределение микротвердости вблизи напыленного слоя

Таким образом, в работе показана возможность формирования металлических покрытий из проволочных материалов на основе никелида титана газопламенным методом. Высокие значения микротвердости полученных покрытий позволяют использовать их в качестве упрочняющих.

#### Список литературы

1. Handbook of thermal spray technology / Ed. by J.R. Davis. ASM International and the Thermal Spray Society. 2004. 338 p.
2. Белоцерковский, М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий / М.А. Белоцерковский // Минск: Технопринт, 2004. 200с.
3. Guilemany, J.M. Corrosion behaviour of thermal sprayed nitinol coatings / J.M. Guilemany, N. Cinca, S. Dosta, A.V. Benedetti // Corrosion Science. Vol. 51, Issue 1 2009. – P. 171-180.
4. Бледнова, Ж.М. Получение покрытий из сплава нитинол с эффектом памяти формы на поверхности сталей 45 и 40Х аргодуговой наплавкой / Ж.М. Бледнова, Д.Г. Будревич, Н.А. Махутов и др. // МитОМ. 2003. № 10.- С. 26-29.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АКТИВИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Белоцерковский М.А., Прядко А.С., Сосновский А.В. Черепко А.Е.

ОИМ НАН Беларуси, Минск, РБ,  
[sosnovskii@inbox.ru](mailto:sosnovskii@inbox.ru)

Создание новых технологий и оборудования для изготовления и восстановления быстроизнашивающихся деталей, являющихся элементами узлов трения, представляется актуальным для современного машиностроения.

В результате интенсивной работы двигателей внутреннего сгорания происходит изнашивание опорных шеек коленчатого вала, что приводит к снижению тягово-динамических свойств двигателя и в конечном итоге может привести к его полному выходу из строя. Для восстановления работоспособности двигателя экономически оправдано