

СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНТЕНСИВНЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

А.Я. Лейви¹⁾, Е.В. Фомина¹⁾, Е.В. Яковлев²⁾

¹⁾ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

пр. Ленина 76, Челябинск 454080, Россия, leiviai@susu.ru

²⁾Томский научный центр,

пр. Академический 10/4, Томск 634055, Россия, e.yakovlev@hq.tsc.ru

В данной работе предложен способ нанесения тонких металлических покрытий, который включает в себя предварительную обработку подложки компрессионными плазменными потоками (КПП) с последующим циклическим процессом нанесения пленки методом магнетронного напыления, толщиной 100-250 нм, и обработкой системы пленка-подложка низкоэнергетическими сильнотоковыми электронными пучками (НСЭП). Предложенный способ позволяет уменьшить конечную шероховатость поверхности пленки и обеспечивает хорошую адгезию материала пленки с материалом подложки.

Ключевые слова: нанесение покрытий; компрессионные плазменные потоки; низкоэнергетические сильнотоковые электронные пучки; магнетронное напыление; шероховатость пленки; адгезия.

METHOD FOR DEPOSITING THIN METAL COATINGS DURING TREATMENT WITH INTENSE ENERGY FLOWS

Artem Leivi¹⁾, Ekaterina Fomina¹⁾, Eugene Yakovlev²⁾

¹⁾FSAEИHE SUSU (NRU), 76 Lenin Ave., 454080 Chelyabinsk, Russia, leiviai@susu.ru

²⁾Tomsk Scientific Center SB RAS, 10/4 Akademicheskyy Ave., 634055 Tomsk, Russia

In this paper, we propose a method for applying thin metal coatings, which includes pre-treatment of the substrate with compression plasma flows, followed by a cyclic process of film deposition, by magnetron sputtering, with a thickness of 100–250 nm, and treatment of the film-substrate system with low-energy high-current electron beams. The proposed method makes it possible to reduce the final roughness of the film surface ($R_a=0.6 \mu\text{m}$) and shows good adhesion of the film material to the substrate material.

Keywords: coating; compression plasma flows; low-energy high-current electron beams; magnetron sputtering; film roughness.

Введение

При нанесении тонких металлических пленок на подложки предъявляются высокие требования к адгезии материала пленки к подложке. На адгезию пленки подложкой влияет множество факторов [1]: шероховатость и состояние поверхности (загрязнения, окисные пленки, адсорбция газов), способы нанесения пленок и др. При этом шероховатость поверхностей влияет на адгезионное взаимодействие пленок как в процессе их формирования, так и при их отрыве. Адгезионная прочность прямо пропорциональна площади фактического контакта. Увеличить площадь фактического контакта можно за счет увеличения шероховатости поверх-

ности. Адгезионная прочность определяется как размерами выступов или выемов поверхности, так и их формой. В работе [2] показано, что предварительная обработка поверхности материала подложки компрессионными плазменными потоками (КПП) способствует увеличению адгезии пленки и подложки не только за счет увеличения поверхности контакта слоев, но и за счет изменения поля остаточных напряжений. В работе [3] показано, что при нанесении тонких металлических покрытий толщиной 100-250 нм с последующей обработкой НСЭП происходит эффективный массоперенос за счет термостимулированной диффузии. Вследствие

такой обработки возрастает адгезионная прочность.

Рассмотрим метод нанесения тонких металлических покрытий на подложки, которые предварительно обработаны КПП, с последующей обработкой НСЭП. Поскольку шероховатость нанесенной пленки зависит от исходной шероховатости подложки, то необходимо добиться сглаживания конечной шероховатости системы «пленка-подложка».

Методика эксперимента

В качестве объекта исследования были выбраны образцы углеродистой стали Ст.3 (состав в мас.% – 0.2 С, 0.2 Si, 0.5 Mn) в виде пластин размером 50x50 мм и толщиной 3 мм. Перед обработкой образцы были отшлифованы, в результате чего поверхность образцов приобрела вид параллельных борозд, глубина которых составляла порядка 1.5 мкм.

Обработка образцов проводилась на установке «РИТМ-СП» [4]. На образцы методом магнетронного напыления наносились Ti пленки толщиной 250 нм. После каждого нанесения пленки система пленка-подложка обрабатывалась НСЭП с параметрами: плотность вложенной энергии W до 2 Дж/см². Длительность обработки 2 мкс, энергия электронов $E=20$ кэВ, количество импульсов $N=5$. С помощью такого циклического процесса наносилась пленка толщиной 5 мкм.

Перед нанесением пленки образцы обрабатывались КПП и НСЭП. Обработка КПП [5]: плотность поглощенной энергии составляла 10 Дж/см², количество импульсов 1. Обработка НСЭП проводилась на установке «РИТМ-СП»: $E=20$ кэВ, $N=2$.

Энергия электронов подбиралась таких образом, чтобы, с одной стороны, приповерхностные слои переходили из твердого состояния в жидкое для эффективного массопереноса в системе «пленка-подложка» за счет термостимулированной диффузии. С другой стороны, энергия

электронов должна соответствовать режимам сглаживания поверхности.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена поверхность образцов до и после обработки КПП.

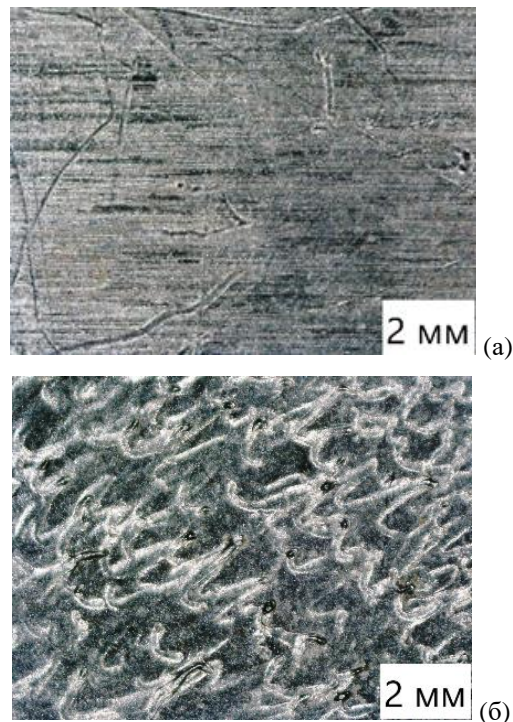


Рис. 1. Поверхность образца из Ст. 3: а – до обработки, б - после обработки КПП

После обработки КПП на подложке наблюдается волнообразный рельеф поверхности $R_a=5.47$ мкм, $R_z=32.3$ мкм. Шероховатость подложки до обработки составляла: $R_a=1.3$ мкм, $R_z=12$ мкм.

На рис. 2 представлена поверхность образцов после нанесения пленки толщиной 5 мкм.

На рис. 2 видно, что на поверхности образца образовались кратеры, диаметром 80-100 мкм. При этом визуально наблюдается более гладкий конечный рельеф поверхности.

С помощью профилографа-профилометра было установлено, что конечная шероховатость пленки без обработки подложки КПП и с обработкой составила: $R_a = 0.40$ мкм, $R_z = 1.65$ мкм и $R_a = 2.02$ мкм $R_z = 8.73$ мкм соответственно. Произошло сглаживание рельефа поверхности.

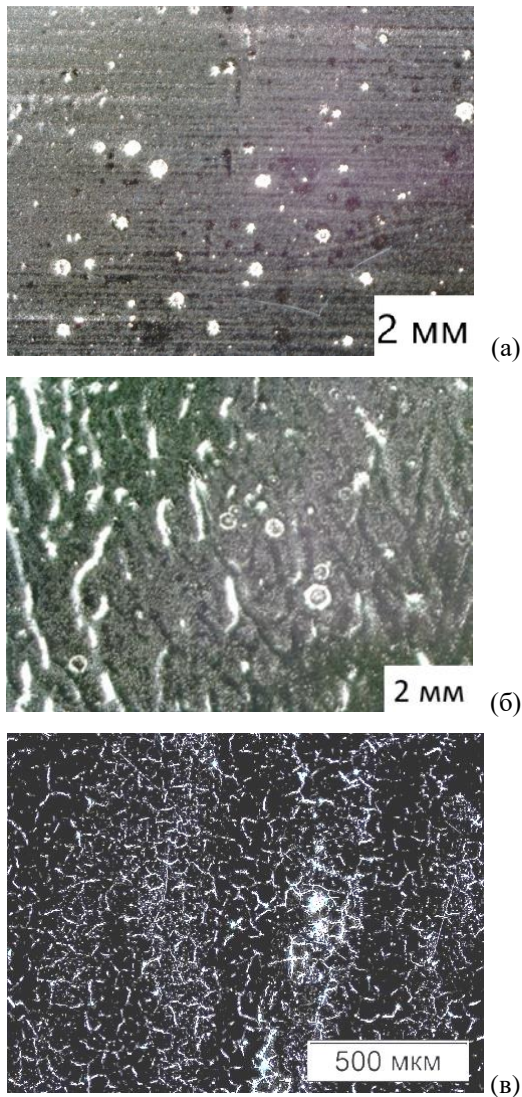


Рис. 2. Поверхность нанесенной пленки: а – без обработки КПП, б - после обработки КПП, в - после обработки КПП (другой масштаб)

Следует отметить, что проведенные исследования на отрыв пленки показали хорошую адгезию материала пленки с подложкой.

Заключение

В данной работе предложен способ нанесения тонких металлических покрытий, который включает в себя предварительную обработку подложки КПП с последующим циклическим процессом нанесения пленки, методом магнетронного напыления, толщиной 100-250 нм, и обработкой НСЭП. Предложенный способ позволил уменьшить шероховатость поверхности со значений $R_a=5.47$ мкм, $R_z=32.3$ мкм, до $R_a = 2.02$ мкм и $R_z = 8.73$ мкм.

При этом данный способ нанесения пленок обеспечивает хорошую адгезию материала пленки с подложкой за счет термостимулированной диффузии.

Библиографические ссылки

1. Kinloch A.J. Adhesion and Adhesives: Science and Technology. Springer Science & Business Media; 1987. 441 p.
2. Лейви А.Я., Яловец А.П., Черенда Н.Н., Углов В.В., Асташинский В.М. Влияние поверхностной обработки компрессионными плазменными потоками на адгезионные свойства системы пленка – подложка. *Известия высших учебных заведений. Физика* 2015; 58(9-3): 122-125.
3. Талала К.А., Лейви А.Я., Яловец А.П. Диффузионный массоперенос в многослойной мишени при воздействии интенсивных потоков энергии. *ФХОМ* 2011; (4): 13-19.
4. Марков А.Б., Миков А.В., Озур Г.Е., Падей. А.Г. Установка Ритм-СП для формирования поверхностных сплавов. *Приборы и техника эксперимента* 2011; (6): 122-126.
5. Углов В.В., Черенда Н.Н., Анищик В.М., Асташинский В.М., Квасов Н.Т. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками. Минск: БГУ; 2013. 248 с.