

УДК 621.384

УПРОЧНЕНИЕ ОПОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Василенко Н.А., Гончаров В.В., Климах А.А.

HARDENING TRANSPORT SUPPORT PARTS BY IONIC IMPLANTATION METHOD

Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.

Статья посвящена исследованию изменения структуры и свойств шарикоподшипниковой стали ШХ-15, ключевого материала опор вращения транспортных механизмов, которые вызваны обработкой поверхностного слоя ионами азота и титана. В результате обработки поверхностного слоя твердость композиции покрытие – подложка увеличена в два раза по сравнению с твердостью основного материала и составила 4,2 – 4,3 ГПа, энергия адгезии составила 1,89 ГПа. Оптимальное время обработки ионной имплантацией для получения стойких к истиранию нитридных покрытий составило 50 – 60 минут. Толщина модифицированного слоя составило 1 мкм.

Ключевые слова: ионная имплантация, модифицированный слой, нитриды, твердость, адгезия.

Введение. В последнее время, в ряде отраслей техники, в том числе и транспортной, для упрочнения поверхностей сталей и чугунов используют нитридные модифицированные покрытия, которые обладают рядом ценных свойств [1-3]. Однако, применение этих нитридных покрытий в различных областях машиностроения, сдерживается их невысокой надежностью в процессе эксплуатации деталей, поэтому изучение структуры, твердости и адгезии нитридных покрытий, полученных методом ионной имплантации (ИИ) является актуальным.

Целью работы является исследование модифицированных защитных покрытий нитрида титана методом, основанным на бомбардировке поверхности подложки ионами высоких и средних энергий. Изучение структуры, кинетики роста и свойств этих покрытий, а также их использования в качестве защитных покрытий опорных деталей машин и механизмов.

Техника эксперимента. Для получения защитных покрытий на деталях транспортных механизмов в подложку имплантировались ионы азота и титана. В качестве подложек использованы образцы стали ШХ-15, широко применяемой в

производстве опор вращения. Имплантация азота вглубь стальных подложек производилась при комнатной температуре и рабочем давлении $5,32 \cdot 10^{-2}$ Па. В качестве мишени использовали титан. Подложки были взвешены до и после имплантации на аналитических весах модели ВЛР-200г.

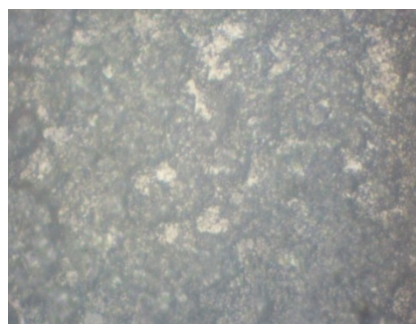
Для получения качественных твердых и износостойких покрытий важно подобрать правильно режим имплантации. В литературных данных [4] указано, что износостойкость покрытий максимальная при дозе внедряемых ионов $D=10^{17}$ ион/см². Так как доза внедряемых ионов непосредственно зависит от времени, то для обработки были взяты образцы стали ШХ-15 в количестве 25 штук и произведена имплантация при режимах: $U_p = 400$ В, $I_p = 0,5$ А, $U_m = 2$ кВ, $I_m = 50$ мА, $U_{\text{подл}} = 25$ кВ, $I_{\text{подл}} = 35$ мА. Время имплантации варьировалось от 3 до 120 минут.

Доза ионов, внедренных в подложку, составляла $1,83 \cdot 10^{16} - 7,34 \cdot 10^{17}$ ион/см².

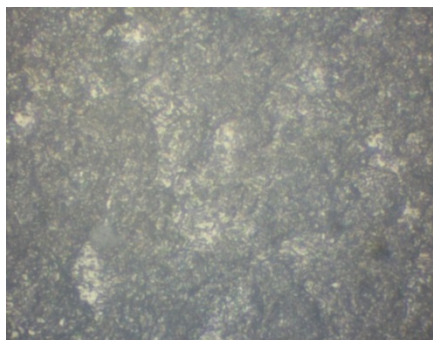
Результаты эксперимента и их обсуждение. На рисунке 1 показана структура стали ШХ-15 после 10 и 40 мин имплантации нитрида титана.

Из рисунка видно, что при использовании титановой мишени на конструкционных легированных стальных подложках происходит рост фазы нитрида титана и в данном случае зерно укрупняется. Однако укрупнение зерна в данном случае не приводит к снижению твердости, износостойкости и адгезии.

На рис. 2 приведена временная зависимость толщины модифицированного покрытия на подложке стали ШХ-15. На графике наблюдается смешанный закон роста слоя – сначала покрытие растет по линейному закону, а после 40 мин имплантации наблюдается параболический закон роста. В результате этого при данных условиях образуется слой толщиной 0,9 мкм (рис.3).

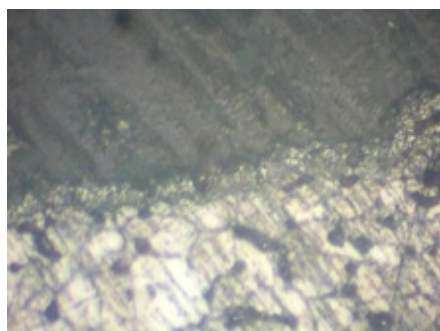


а

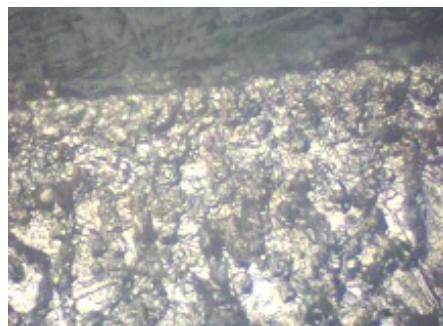


б

Рис. 1. Структура стали ШХ-15: а – после 10 мин имплантации x500; б – после 40 мин имплантации x500



а



б

Рис. 3. Оптический снимок поперечного среза модифицированного покрытия на стали ШХ-15 при: а – 50 мин имплантации; б – 90 мин имплантации x2000

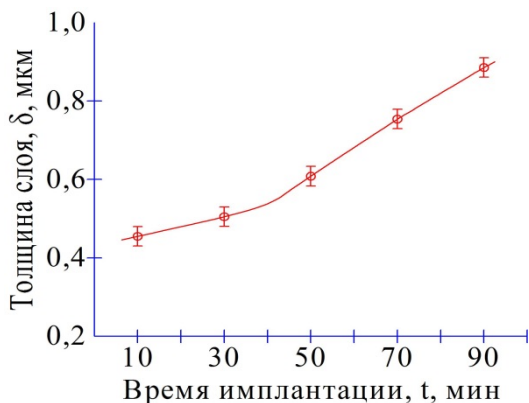


Рис. 2. График зависимости толщины модифицированного покрытия на подложках стали ШХ-15 от времени имплантации ионов азота и титана

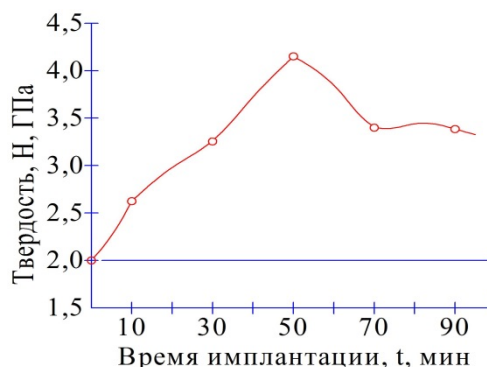


Рис. 4. График зависимости твердости модифицированного покрытия стали ШХ-15 от времени имплантации нитридом титана

Временная зависимость твердости модифицированного покрытия стали ШХ-15 имеет максимум при 50 мин имплантации (рис.4). При дальнейшей модификации поверхности (60-90 мин) твердость системы снижается. Связано это, на наш взгляд, с тем, что с увеличением времени облучения поверхности (более 60 мин) в поверхностном слое возникают значительные внутренние напряжения из-за непрерывного поступления атомов азота и титана вглубь подложки. В результате решетка искажается, возникают внутренние дефекты, что, в свою очередь, приводит к снижению твердости. Значения микротвердости на 10-50 мин имплантации имеют в 2,4 раза большие значения, чем твердость необработанной подложки. Максимальная твердость равна 4,15 ГПа

Рис. 4. График зависимости твердости модифицированного покрытия стали ШХ-15 от времени имплантации нитридом титана

Для оценки адгезии пленок были взяты образцы при t = 10 - 90 мин имплантации, данные приведены в таблице.

Зависимость величины адгезии от времени имплантации при использовании мишени титана (рис.5) имеет линейный характер. Однако величина адгезии в 2 раз выше при использовании подложки из стали ШХ-15, чем при использовании подложки из конструкционной стали ВСт3сп [5]. На наш взгляд это связано с тем, что в подложке, легированной хромом при бомбардировке атомами азота интенсивно формируется фаза нитрида хрома

в модифицированном слое. Ионы азота, достигая подложки, в поверхностном слое встречают не только атомы железа, но также атомы хрома и вступают с ними во взаимодействие. В результате этого фазы нитрида железа и хрома формируются примерно одинаковый промежуток времени и с увеличением времени имплантации диффундируют вглубь стальной подложки.

Таблица
Оценка величины адгезии модифицированных нитридных покрытий, ГПа

Время, мин	Результат измерения, дел.			Энергия адгезии, ГПа		
	15 г	25 г	35 г	15 г	25 г	35 г
0	65	70	78	0,67	0,97	1,09
20	45	56	75	1,4	1,51	1,18
30	42	50	67	1,61	1,89	1,48
40	46	53	65	1,34	1,68	1,57
50	50	61	79	1,14	1,27	1,06
60	43	62	72	1,54	1,23	1,28
70	47	60	69	1,29	1,31	1,39
80	43	53	64	1,54	1,68	1,62
90	47	62	75	1,29	1,23	1,18
Максимальное значение				1,61	1,89	1,62

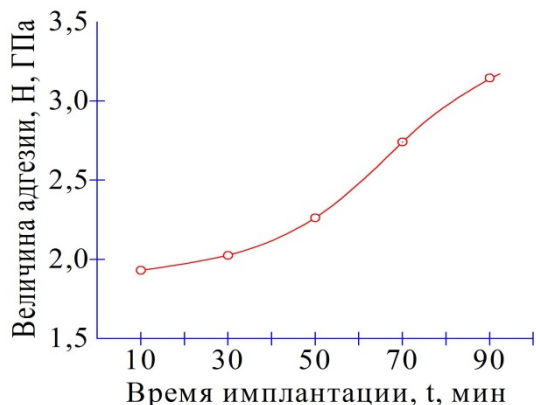
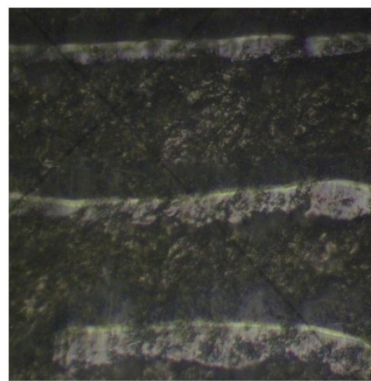


Рис. 5. График зависимости величины адгезии модифицированного покрытия стали ШХ-15 от времени имплантации нитридом титана

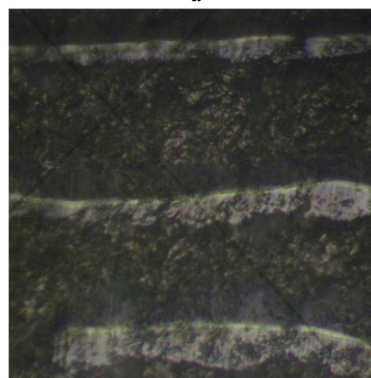
Результаты царапания поверхности покрытия указывают на увеличение величины адгезии (рис. 6).

Очевидно, что происходит сужение канавки.

Выводы. Таким образом, при имплантации ионов азота и титана в поверхность материалов опорных деталей, получается модифицированный слой толщиной до 1 мкм, обладающей высокой твердостью и адгезией. Возможность легкой смены рабочего газа и мишеней обеспечивает получение многослойных структур (карбидов, нитридов и т.д.). Таким образом, упрочнение методом ионной имплантации деталей транспортных механизмов обеспечивает им высокую надежность, износостойкость и др. эксплуатационные характеристики.



а



б

Рис. 6. Результаты царапания поверхности покрытий нитрида титана на стали ШХ-15 при нагрузке на индентор 15 г: а – время имплантации 20 мин; б – время имплантации 90 мин х 800

Л и т е р а т у р а

- Pierson H.O. Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing and application / H.O. Pierson - Westwood-New Jersey: Noyes Publ.1996.
- P. Le Clair and G.P. Berera Moodera. // Thin Solid Films. - 2000. – Vol. 376. - №1/2. – P. 9 – 15.
- Кляхина Н.А. Зависимость адгезионных свойств нитридных пленок от способа их получения // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва : Изд-во «Машиностроение», 2009. - № 6 (54). - С. 19 – 22.
- Ионная имплантация в полупроводники и другие материалы [Текст] : сборник статей / Перевод с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук проф. В.С.Вавилова. – Москва : Мир, 1980. - 332 с.
- Дзюба В.Л., Кляхина Н.А., Васецкая Л.А. Исследование влияния режимов имплантации ионов на физико-механические свойства стали // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ : Вид-во СЧУ ім. В.Даля, 2009. - № 5 (135). - С. 249 - 253.

References

1. Pierson H.O. Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing and application / H.O. Pierson - Westwood-New Jersey: Noyes Publ.1996.
2. P. Le Clair and G.P. Berera Mooder. // Thin Solid Films. - 2000. - Vol. 376. - №1/2. - P. 9 - 15.
3. Klyakhina N.A. Dependence of adhesion properties of nitride films on the method of their production // Hardening technologies and coatings.
4. Ion implantation in semiconductors and other materials [Text]: collection of articles / Translated from English. Ed. Doctor of Phys.
5. Dzyuba VL, Klyakhina NA, Vasetskaya L.A. Investigation of the influence of ion implantation regimes on the physicomaterial properties of steel // News of the Scidukraukensky National University Volodymyr Dahl. - Луганськ: Вид-во ЧНУ ім. V. Dahl, 2009. - No. 5 (135). - P. 249 - 253.

Василенко Н.П., Гончаров В.В., Климаш А.А.
Зміцнення опорних деталей транспорту методом іонної імплантації

Стаття присвячена дослідженню зміни структури і властивостей шарикопідшипникової сталі ШХ-15, ключового матеріалу опор обертання транспортних механізмів, які викликані обробкою поверхневого шару іонами азоту і титану. В результаті обробки поверхневого шару твердість композиції покриття - підкладка збільшена в два рази в порівнянні з твердістю основного матеріалу і склала 4,2 - 4,3 ГПа, енергія адгезії склала 1,89 ГПа. Оптимальний час обробки іонної імплантацією для отримання стійких до стирання нітридних покриттів

склало 50 - 60 хвилин. Товщина модифікованого шару склала 1 мкм.

Ключові слова іонна імплантація, модифікований шар, нітриди, твердість, адгезія.

Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.
Hardening transport support parts by ionic implantation method

The article is devoted to the study of changes in the structure and properties of ball-bearing steel ШХ-15, the key material of the bearings of the rotation of transport mechanisms, which are caused by the treatment of the surface layer by nitrogen and titanium ions. As a result of surface layer treatment, the hardness of the coating-substrate composition was doubled compared to the hardness of the base material and was 4.2 to 4.3 GPa, the adhesion energy was 1.89 GPa. Optimum processing time by ionic implantation for obtaining abrasion resistant nitride coatings was 50 - 60 minutes. The thickness of the modified layer was 1 μm.

Keywords: ionic implantation, modified layer, nitrides, hardness, adhesion.

Василенко Н.П. – к.ф.-м.н., завідувач кафедри "Загальна фізика та технічна механіка", Інститут хімічних технологій ЧНУ ім. В.Даля

Гончаров В.В. – к.х.н., доцент кафедри "Медична та біологічна фізика, медична інформатика та біостатистики, ДЗ "Луганський державний медичний університет"

Климаш А.О. – к.т.н., доцент кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», ЧНУ ім. В.Даля

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018.