

при разных парциальных давлениях азота в камере показали, что максимальное значение  $H^{50}_{\mu}$  покрытия получено при токе дуги  $I_d=120$  А и составляет  $\sim 1820$  кгс/мм<sup>2</sup>. С увеличением тока дуги до 160 А наблюдается снижение микротвёрдости покрытия.

Нанесение нитридного покрытия способствует понижению коэффициента трения (рис. 1). Напыление покрытия TiN, по режиму  $U_{cm}=140$  В,  $P_{N_2}=0,04$  Па,  $I_d=120$  А приводит к уменьшению коэффициента трения рабочей поверхности полуоси в  $\sim 1,4$  раза.

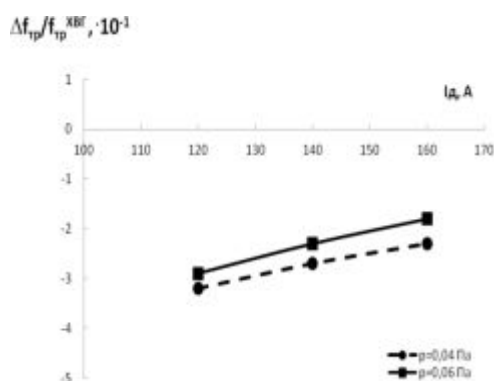


Рис. 1. Изменение коэффициента трения

На рис. 2 приведены зависимости относительного изменения величины износа от тока дуги при разных парциальных давлениях азота в камере (для времени воздействия на полуось в течение 5 минут). Наибольшей

износостойкостью (в  $\sim 4$  раза) обладают покрытия нитрида титана, полученные при токе дуги 120 А.

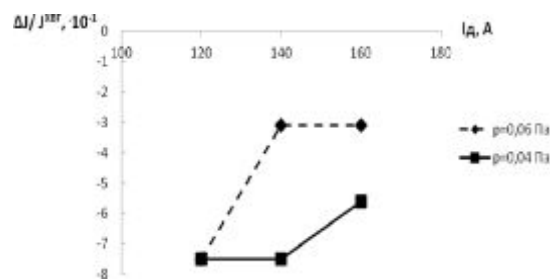


Рис.2. Зависимости относительного изменения величины износа от тока дуги при разных парциальных давлениях азота в камере

### Выводы

На основании результатов проведенных исследований разработан оптимальный режим напыления покрытия TiN –  $P_{N_2}=0,04$  Па,  $I_d=120$  А,  $U_{cm}=140$  В, при котором происходит формирование наноструктурированного столбчатого покрытия TiN, обладающего оптимальным сочетанием микротвёрдости, коэффициента трения и износостойкости.

Разработанная технология внедрена для повышения ресурса пары трения «вал-подшипник» в машиностроительной отрасли.

УДК621.1

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЕТАЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ K4110

©2016 Л.А. Кривина, И.Н. Царёва, Ю.П. Тарасенко

Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород

### MODIFYING THE SLIDING SURFACE OF THE DETAIL FROM THE HIGH-SPEED FRICTION COUPLE IN THE GAS CENTRIFUGE K4110

Krivina L.A., Tsareva I.N., Tarasenko Y.P. (Institute of problems of mechanical engineering of the Russian Academy of Sciences - branch of Federal public budgetary scientific institution "Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences", Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Has been investigated the structure, physicomechanical and tribological properties of a surface of sliding of the needle which is a responsible detail of high-speed couple of friction of the gas K4001 centrifuge after ion-beam processing. Ionic implantation of C+ leads to modification of material at the expense of what microhardness increases and the coefficient of friction of working part of a detail decreases.

Эффективным методом модификации поверхности металлов и сплавов является ионно-лучевая обработка. Ионная имплантация обладает уникальной возможностью вводить атомы любых элементов в управляемом количестве в поверхностный слой твёрдого тела, что позволяет целенаправленно изменять механические и трибологические свойства поверхностных слоёв материала, что в нашем случае определяет срок службы пары трения.

Пару трения «игла-подпятник» можно отнести к разряду, приближённого к скоростному. В условиях стационарного режима работы изделия игла вращается вокруг своей оси со скоростью  $n=102000$  об/мин и упирается в подпятник с усилием  $P=1,0$  кгс, что соответствует окружным скоростям в разных точках поверхности скольжения  $V_{\min} = 4,3$  м/с,  $V_{\max} = 7,5$  м/с и удельному давлению на поверхность контакта  $P = 0,8$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Недостаточная работоспособность указанной пары трения связана с повышенным износом рабочей части иглы.

### Результаты исследований

Ионную имплантацию торцовых рабочих поверхностей штатных игл (сталь У10) проводили на частотно-импульсном ускорителе «Радуга» при энергии ионов  $C^+$   $E=80$  кэВ, плотности тока  $j=6$  А/см<sup>2</sup> и дозах облучения:  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>;  $5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>;  $10^{17}$  см<sup>-2</sup>;  $5 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>;  $10^{18}$  см<sup>-2</sup>.

Структуру облучённых поверхностей исследовали методом электронной микроскопии на растровом микроскопе VEGA//TESKAN.

Микротвёрдость измеряли на микротвёрдомере ПМТ-3 при переменных нагрузках на индентор.

Испытания коэффициента трения выполняли на лабораторной установке. При исследовании фрикционных свойств материала в качестве индентора использовали облучённую иглу, контртелом служил штатный подпятник из лейкосапфира.

Установлено, что с увеличением дозы облучения наблюдается повышение микротвёрдости материала иглы. Максимальное

изменение микротвёрдости (в  $\sim 1,6$  раза) происходит при  $D=10^{18}$  см<sup>-2</sup> (рис. 1).

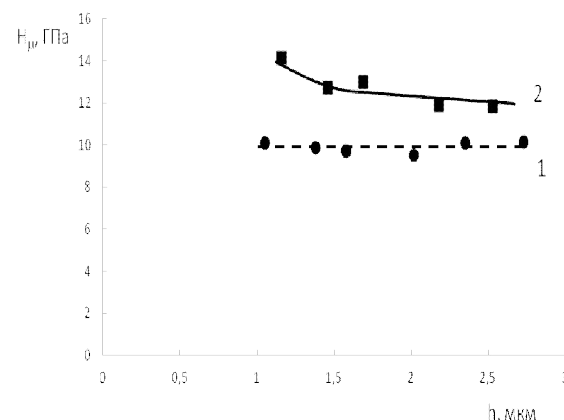


Рис. 1. Изменение микротвёрдости материала иглы

Ионная имплантация рабочей поверхности иглы способствует понижению коэффициента трения. Относительное изменение коэффициента трения от дозы облучения представлено на рис. 2. Облучение иглы ионами  $C^+$  с дозой  $10^{18}$  см<sup>-2</sup> приводит к уменьшению коэффициента трения рабочей поверхности в  $\sim 1,3$  раза.

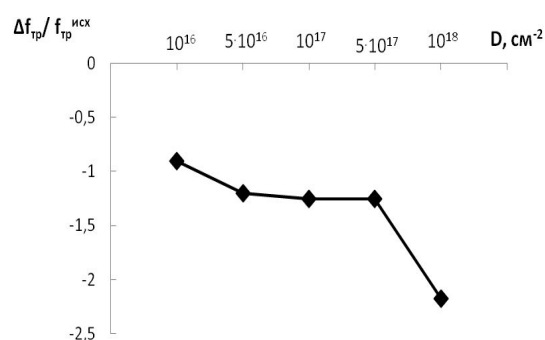


Рис. 2. Относительное изменение коэффициента трения от дозы облучения

### Выводы

Ионная имплантация ионами  $C^+$  иглы модифицирует материал в зоне скольжения, что приводит к повышению микротвёрдости и уменьшению коэффициента трения рабочей части детали.

Полученный положительный эффект может быть практически использован в рабочих условиях в процессе эксплуатации пары трения «игла-подпятник» в целях увеличения работоспособности и ресурса работы этого узла.