

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.762:71

Э.Г. Биленко

УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ТИПА ТК ПОСРЕДСТВОМ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

*Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Исследование проводилось на призматических образцах размерами $6 \times 6 \times 8$ мм, вырезанных электронской резкой из спеченного твердого сплава Т15К6. Исследование фазового состава и структурного состояния сплава после различных режимов обработки осуществлялось на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном $\text{CoK}\alpha$ излучении ($V=30$ кВ, $I=10$ мА). Для фазового анализа использовалась стандартная картотека ASTM. Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузках 1 и 2 Н с выдержкой в течение 10 сек.

Перед ионно-лучевой обработкой образцов поверхность твердого сплава шлифовалась на мелкой абразивной бумаге с размером зерен 40–50 мкм. Имплантация сплава азотом проводилась с использованием газового источника. Образец облучался ионами азота с энергией $\sim 1\text{--}3$ кэВ. Плотность пучка ионов составляла 2 мА/см². Флюенс ионов — $3 \cdot 10^{19}$ см⁻². Температура имплантации составляла 770 и 820 К. Триботехнические испытания в режиме сухого трения проводились на лабораторном трибометре АТВЦ, оснащенном специально разработанным устройством для измерения коэффициента трения. Давление испытаний составляло 5 МПа. В качестве контртела использовалась закаленная сталь 60Г ($\text{HV}_{30}=8000$ МПа).

В исходном состоянии титано-вольфрамовый металлокерамический сплав Т15К6 имеет микротвердость $\text{H}_{200}=18000\text{--}18500$ МПа. Фазовый состав сплава: карбид WC с гексагональной решеткой, карбид TiC с ГЦК решеткой и $\beta\text{-Co}$ с гранецентрированной кубической решеткой. В результате ионного облучения азотом при 770 и 820 К в поверхностном слое сплава Т15К6 происходит образование карбонитридов вольфрама $\text{W}(\text{C},\text{N})$ и титана $\text{TiC}_{0,7}\text{N}_{0,3}$. Микротвердость сплава после обработки при 770 и 820 К составляет 22000–23000 и 22000–22500 МПа, соответственно.

Зависимости линейного износа твердого сплава Т15К6 от режима его обработки приведены на рис. 1. В исходном немодифицированном состоянии линейный износ сплава Т15К6 весьма незначителен. В частности, средняя интенсивность изнашивания сплава составляет $I_h = 1,7-1,8 \cdot 10^{-9}$ м/км (табл. 1).

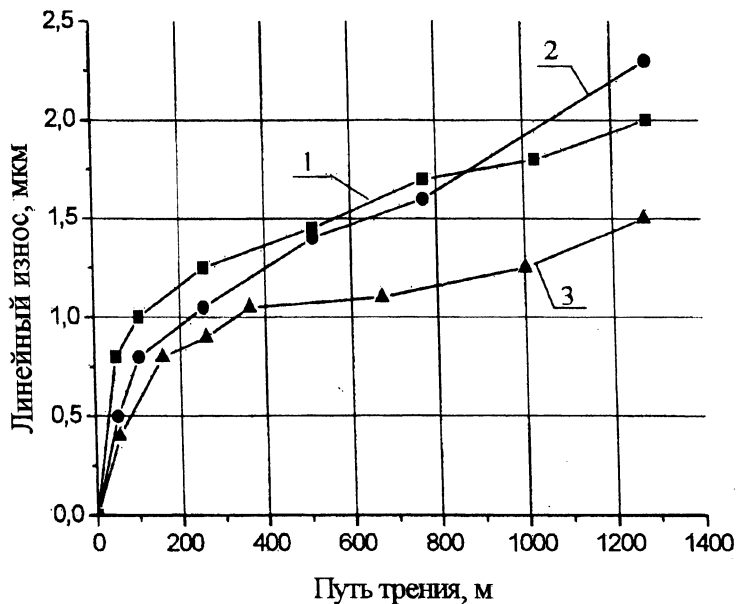


Рис. 1. Зависимость линейного износа сплава Т15К6:
1 – исходное состояние, 2 – $T_{\text{ионл}} = 770$ К, 3 – $T_{\text{ионл}} = 820$ К

Таблица 1

Значения микротвердости, коэффициента трения f и интенсивности изнашивания I_h твердого сплава Т15К6 после различных режимов обработки

Параметр	Исходное состояние	Температура ионно-лучевой обработки, К	
		770	820
Микротвердость H_{200} , МПа	18000-18500	22000-23000	22000-22500
Коэффициент трения f	0,75-0,80	0,85-0,95	0,90-0,95
Интенсивность изнашивания $I_h \cdot 10^{-9}$	1,8	1,5	1,3

Микротвердость поверхностного слоя металлокерамики при трении сохраняется на уровне $H_{200}=18000$ МПа. Коэффициент трения трибопары составляет $f=0,75-0,80$ (см. табл. 1). Интенсивность износа закаленной стали в $\sim 6-7$ раз превышает интенсивность износа металлокерамики.

Ионно-лучевая обработка азотом сплава Т15К6 при 770 К, приводящая к формированию тонких модифицированных слоев твердостью $H_{200}=22000-23000$ МПа, обеспечивает возрастание износостойкости сплава в условиях фрикционного взаимодействия без смазки (рис. 1). Интенсивность изнашивания модифицированного твердого сплава на начальных стадиях испытаний снижается до уровня $I_h=1,5 \cdot 10^{-9}$, а коэффициент трения увеличивается до $f=0,85-0,95$ (см. табл. 1).

Обработка ионами азота при 820 К создает более глубокий модифицированный слой, в следствии этого износостойкость еще больше увеличивается, но при этом увеличивается и коэффициент трения (см. табл. 1).

Фрикционное взаимодействие при трении без смазки немодифицированного образца сплава Т15К6 с контртелом сопровождается адгезионным схватыванием контактирующих поверхностей и образованием на них выглаженной микроструктуры. В процессе фрикционного взаимодействия поверхностные слои материалов трибопары интенсивно разогреваются. На отдельных участках поверхности трения твердого сплава регистрируется области усталостного выкрашивания.

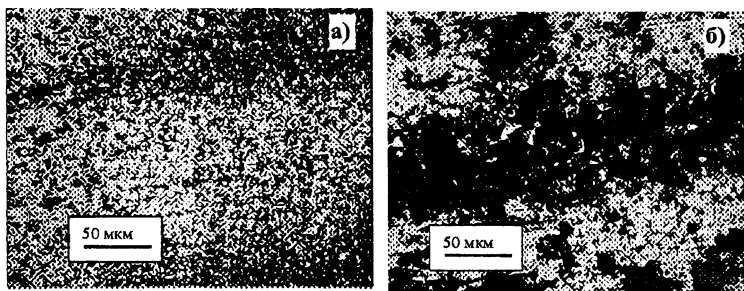


Рис. 2. Микроструктура поверхности трения твердого сплава Т15К6, модифицированного ионами азота при 770 К:
а — путь трения 100 м; б — путь трения 1280 м

На рис. 2 приведены микрофотографии поверхности трения модифицированного азотом при 770 К сплава Т15К6 на различных стадиях процесса испытаний. Можно видеть, что на ранних стадиях испытаний регистрируется равномерный износ модифицированного слоя (рис. 2 а). На более поздних

стадиях испытаний после пути трения ≥ 500 м, интенсивность износа заметно возрастает, что, по нашему мнению, связано с утонением слоя и выходом и поверхностные слои неимплантированного материала. На микрофотографиях поверхности трения начинают появляться участки усталостного выкрашивания и отслаивания слоя (рис. 2 б). Коэффициент трения фрикционной пары на поздних стадиях испытаний вновь снижается до уровня исходных значений $f \approx 0,8$. Линейный износ контртела после фрикционного взаимодействия с модифицированным азотом твердым сплавом несколько возрастает по сравнению со случаем испытания немодифицированного сплава.

Износостойкость модифицированного азотом при 820 К сплава по сравнению с неимплантированным материалом увеличивается в $\approx 1,4$ раза (см. рис. 1). Интенсивность изнашивания сплава при этом снижается до уровня $I_h = 1,3 \cdot 10^{-9}$. Коэффициент трения трибопары достигает максимального уровня значений $f = 0,90-0,95$. Вместе с тем для модифицированного при 820 К сплава Т15К6 увеличение пути трения до 1000 м не приводит к снижению износостойкости упрочненного слоя (см. рис. 1). Очевидно, что это связано с большей глубиной проникновения азота при высокотемпературной обработке. Поверхность трения модифицированного сплава после испытаний выглаживается.

Заключение: Определено, что ионно-лучевая обработка азотом твердого сплава Т15К6 при 770 и 820 К приводит к формированию модифицированных слоев с микротвердостью $H_{200} = 22000-23000$ МПа и обеспечивает увеличение износостойкости сплава в режиме трения без смазки в 1,3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ионно-лучевая обработка металлов, сплавов и керамических материалов. Белый А.В., Кукареко В.А., Лободаева О.В., Таран И.И., Ших С.К. – Минск: Изд-во «ФТИ НАН Беларуси». – 1998. – 218 с. 2. Поворознюк С.Н., Полещенко К.Н., Кульков С.Н., Вершинин Г.А. Структурные изменения и распределение имплантированной примеси в сплаве WC – Co при ионно-лучевом воздействии // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1995. – №11. – С.74-78. 3. Поворознюк С.Н., Николаев А.В., Кульков С.Н., Вершинин Г.А. Термоактивируемые процессы в приповерхностных слоях сплава WC – Co при воздействии мощными ионными пучками // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1995. – №11. – С.85-90.