

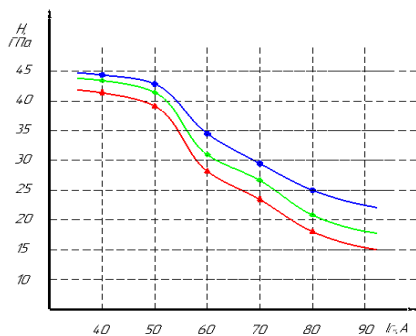
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ TIN/SU ПОКРЫТИЙ

БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь

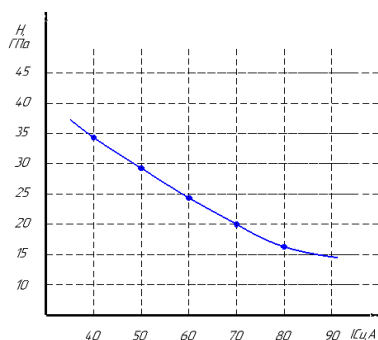
Для износостойких покрытий, которые контактируют с внешней средой, микротвердость поверхности является важным параметром механической прочности. Если сформированное покрытие обладает достаточной адгезией, то время его «жизни» будет определяться микротвердостью. Микротвердость покрытий полученных методом КИБ определяется составом покрытия и зависит от технологических параметров процесса формирования покрытия.

Для исследования влияния технологических параметров процесса на микротвердость покрытий использовались образцы из стали Х12М. Измерение микротвердости проводили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9450 с малыми нагрузками. Глубина внедрения индентора выбирается из двух условий [1, 148]: глубина не должна быть более $2/3$ толщины покрытия и она должна быть достаточной, чтобы исключить влияние внутренних напряжений в пленке. Чтобы погрешность измерений свести к минимуму количество наносимых отпечатков для каждого образца составляло 5.

Определяющее влияние на величину микротвердости покрытия оказывает ток дугового разряда. Осаждение покрытий проводилось при различных токах дугового разряда (40 – 80 А) медного и (55– 75 А) титанового катодов, обеспечивая тем самым изменение элементного состава покрытий (рисунок 1).



а)



б)

а – зависимость микротвердости от тока дуги на медном катоде;
 б – зависимости микротвердости покрытия от наличия сепаратора плазменного потока:

Рисунок 1 – График зависимости микротвердости покрытия от тока дугового разряда

Следует отметить, что максимальная микротвердость покрытия для всех значений тока дугового разряда медного катода получена при токе $I_{Ti}=75 A$. При меньших значениях I_{Ti} наблюдается незначительное снижение на титановом катоде микротвердости покрытия. Это связано с тем, что при величине тока дуги на титановом катоде менее 60 А производительность процесса осаждения покрытия снижается, следовательно, толщина покрытия TiN/Cu минимальная и на величину микротвердости поверхности влияет относительно пластичный демпферный слой Ti.

По графикам из рисунка 1 (а) видно, что микротвердость покрытия значительно снижается с увеличением тока на медном катоде. Это связано с тем, что при увеличении I_{Cu} растет концентрация меди в покрытии, а это в свою очередь влияет на размер зёрен. Дальнейшее уменьшение среднего размера зерен приводит к снижению микротвердости за счет проскальзывания по межзеренным границам. В нашем случае при увеличении тока дугового разряда медного катода с 50 до 80 А происходит значительное увеличение размера зерна, что приводит к снижению

микротвердости вплоть до значения равных микротвердости монослойных TiN покрытий (при $I_{Cu} = 80$ А микротвердость покрытий составляет примерно 20 ГПа).

Из данных рисунка 1 (б) видно, что значительное влияние на микротвердость покрытий оказывает наличие сепаратора плазменного потока. При отключенном плазменном сепараторе в плазменном потоке появляется капельная фаза, а с увеличением тока дуги процент концентрации капельной фазы значительно растет и при дальнейшем увеличении тока дуги в процессе осаждения участвуют не только капли, но и макроблоки материала катода. Так как капельная фаза имеет меньшую микротвердость, то этим и объясняется общее снижение микротвердости покрытия.

Также существенное влияние на микротвердость формируемых покрытий оказывает давление реакционного газа (рисунок 2).

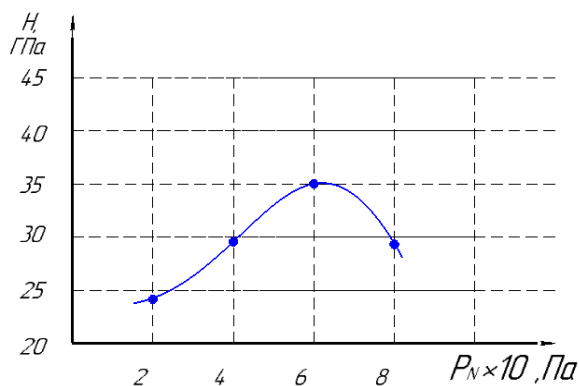


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости поверхности деталей от реакционного газа

В интервале давлений с $2 \cdot 10^{-2}$ Па до $62 \cdot 10^{-2}$ Па наблюдается рост микротвердости, который можно объяснить образованием твердого раствора азота в кристаллической решетке титана и образования твердых растворов на основе решетки

нитридов, снижением микротвердости покрытия при дальнейшем увеличении давления азота обусловлено снижением скорости конденсации, а также снижением энергии ионов Ti и Si на основе.

Также определена зависимость микротвердости от времени формирования покрытия (рисунок 3).

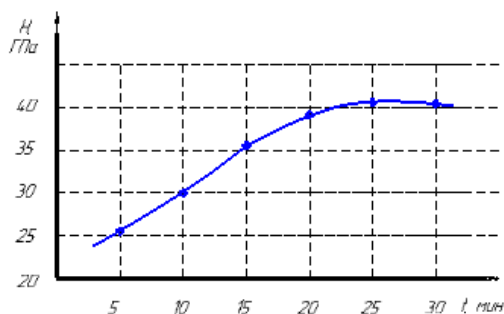


Рисунок 3 – График зависимости микротвердости от времени формирования покрытия

С увеличением времени увеличивается толщина покрытия, что влечет за собой увеличение микротвердости покрытия. Это связано с тем, что снижается влияние присоединительного слоя Ti на микротвердость покрытия.

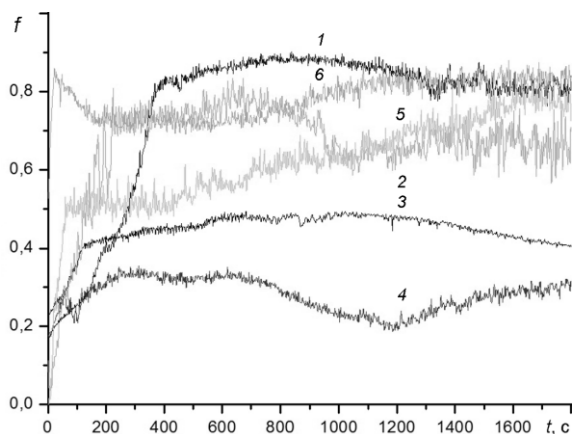
Однако при дальнейшем увеличении времени формирования покрытия ($t > 30$ минут) наблюдается снижение микротвердости покрытия, что, скорее всего, связано с ростом напряжений в пленке.

Исследование износостойкости TiN покрытий на изделиях.

Формирование вакуумно-плазменных покрытий на поверхности изделий позволяет повысить микротвердость поверхности, следовательно, улучшается износостойкость данных изделий. Следует отметить, что при определении износостойкости необходимо соблюдать следующее условие: процесс должен имитировать воздействие на рабочие поверхности реальных внешних факторов. В качестве образцов

использовались образцы-свидетели с TiN/Cu покрытием в виде пластин размерами 10x5 мм, исходная шероховатость составляла Ra 0,32 мкм. Триботехнические испытания проводились на автоматизированном трибометре АТВП, оснащённом специально разработанным устройством для регистрации коэффициента трения. Измеренные величины коэффициентов трения подвергались статистической обработке и определялись максимальное и среднее значение f на каждом цикле испытания. Полученные величины f аккумулировались в файле оперативных данных вычислительного устройства и использовались для построения графической зависимости f от числа циклов испытаний.

Как показали результаты трибологических испытаний покрытий с различным содержанием меди, минимальные значения коэффициента сухого трения получены для покрытий с концентрацией легирующего элемента 2-4 ат.%, что в 2,5 раза меньше, чем для покрытий TiN (рисунок 4).

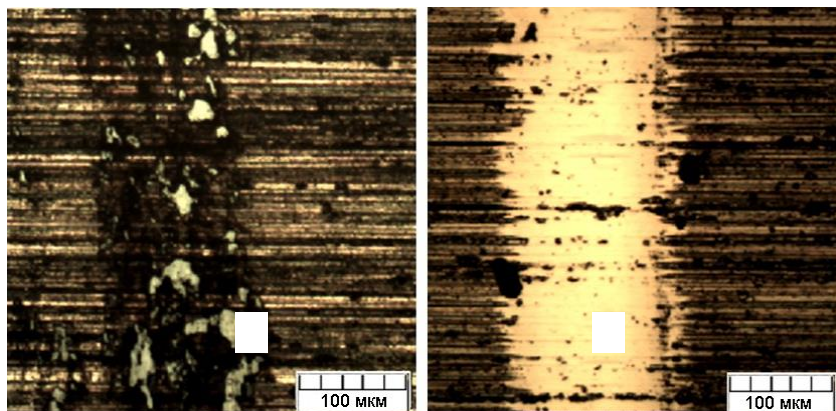


1 – без покрытия; 2 – покрытие TiN; 3 – покрытие TiN/Cu (2 ат.% Cu); 4 – покрытие TiN/Cu (4 ат.% Cu); 5 – покрытие TiN/Cu (7 ат.% Cu); 6 – покрытие TiN/Cu (16 ат.% Cu):

Рисунок 4 – Зависимость коэффициента сухого трения f от времени испытания t деталей

Необходимо также отметить, что при данных концентрациях наблюдается и минимальная скорость начального изнашивания.

Изучение дорожек трения и их профилограмм показало, что для покрытий с объёмным содержанием меди 2-4 ат.% в выбранном интервале испытаний характерно преобладание процесса пластической деформации и разрушения покрытий практически не происходит (рисунок 5). Повышение концентрации меди в объёме покрытия приводит к снижению его износостойкости, что обусловлено, в основном, более низкой микротвёрдостью покрытий.



a – 2 ат.% Cu; *б* – 16 ат.% Cu:

Рисунок 5 – Дорожки трения покрытий TiN/Cu с различным содержанием меди

Таким образом, в качестве основных факторов, определяющих высокую износостойкость покрытий TiN/Cu можно выделить следующие:

- размер зерна кристаллитов нитрида титана не более 10 нм;
- наличие демпфирующей пластичной медной прослойки между твёрдыми зёрнами нитрида титана;
- объёмное содержание меди в покрытии не должно превышать 4 ат.% для подавления зернограницного проскальзывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Локтев, Д. Методы и оборудование для нанесения износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // Журн. Наноиндустрия. – 2007. – №4. – С.18-24.

2. Профессионал [электронный ресурс] / АНО «Литературное Агентство «Профессионал». – Санкт-Петербург, 2007 – Режим доступа: http://www.naukaspb.ru/spravochniki/-Demo%20Metall/2_6.htm. – Дата доступа : 20.09.2014.

3. Вакуумно-плазменные процессы и технологии [электронный ресурс] / Баринов С.М. – Иваново, 2010. – Режим доступа: <http://www.bars-barinov.narod.ru/plazm/glava4/07.htm>. – Дата доступа: 09.03.2015.