

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ TiN
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СТЕКЛА**

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Для защитно-декоративных 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 [1]. Микротвердость вакуумно-плазменных покрытий полученных методом КИБ (конденсация вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки) определяется составом покрытия и зависит от технологических параметров процесса формирования покрытия [2, 3].

Для исследования влияния технологических параметров процесса формирования вакуумно-плазменных покрытий на микротвердость применительно к неметаллическим материалам использовались образцы из стекла марки М1 ГОСТ 111-2001 размерами 80×20×3 мм.

Процесс ионной обработки и формирования покрытия осуществлялся с использованием установки УВНИПА-1-002 модели УРМ 3.279.079 предназначенной для нанесения износостойких, упрочняющих и декоративных покрытий методом электродугового напыления. При формировании покрытия на образец первоначально наносился присоединительный слой Ti, а затем рабочий слой TiN.

Измерение микротвердости проводили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 с малыми нагрузками. Глубина внедрения индентора выбирается из двух

условий [4]: глубина не должна быть более 2/3 толщины покрытия и она должна быть достаточной, чтобы исключить влияние внутренних напряжений в пленке.

Перед испытаниями образец устанавливался на предметном столике так, чтобы испытываемая поверхность была перпендикулярна направлению нагрузки и оси индентора. Соседние отпечатки наносили так, чтобы промежутки между их центрами были больше диагонали отпечатков в три раза. Образец нагружался плавно (слишком быстрое нагружение вызывает ударное воздействие индентора на поверхность покрытия и может привести к занижению оценок микротвердости вследствие проламывания участка покрытия), с постоянной скоростью и выдерживался под нагрузкой 20 гр в течение 5..10 с. Затем нагрузка снималась, а образец перемещался в поле зрения микроскопа. Длина диагонали замерялась окулярным микрометром.

Чтобы погрешность измерений свести к минимуму количество наносимых отпечатков для каждого образца составляло 5. Микротвердость рассчитывали по формуле (МПа):

$$H_{\mu} = \frac{18540 \cdot P}{(0,3 \cdot d_{\text{делен}})^2}, \quad (1)$$

где P – прикладываемая нагрузка, гр; $d_{\text{делен}}$ – длина диагонали, деления.

Следует отметить, что определение истинного значения микротвердости тонких покрытий является сложной задачей, вследствие влияния параметров основы на точность замеров (чем мягче основа, тем больше процент погрешности истинного значения микротвердости) [2]. Так как стекло является достаточно твердым материалом можно предположить, что в данном случае погрешность измерения сводится к минимуму.

Значения микротвердости TiN покрытия на стекле при различных технологических параметрах процесса формирования вакуумно-плазменных покрытий представлены на рисунке 2.

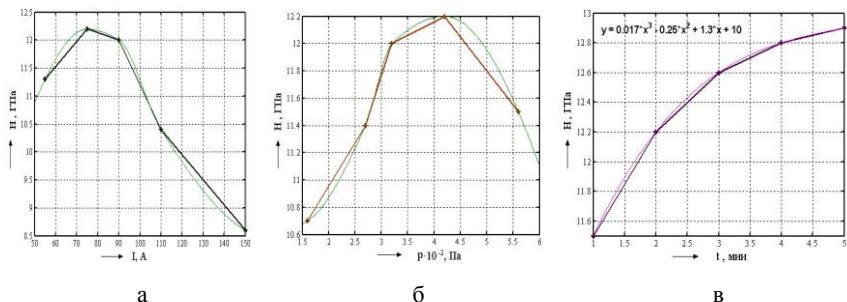


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости TiN покрытия на стекле от технологических параметров процесса:

а – от тока дуги ($p=4,2 \cdot 10^{-2}$ Па, $t=2$ мин); б – от давления реакционного газа ($I=75$ А, $t=2$ мин); в – от времени нанесения покрытий ($I=75$ А, $p=4,2 \cdot 10^{-2}$ Па)

Определяющее влияние на величину микротвердости покрытия оказывает ток дугового разряда. Максимальная микротвердость покрытия получена при токе дугового разряда 70 .. 90 А (рисунок 1, а).

При меньших значениях тока дугового разряда наблюдается незначительное снижение микротвердости покрытия. Это связано с тем, что при величине тока дуги менее 70 А производительность процесса осаждения покрытия весьма низкая, следовательно толщина покрытия TiN минимальная и на величину микротвердости поверхности влияет относительно пластичный демпферный слой Ti. При увеличении тока дуги более 90 А в плазменном потоке увеличивается процент концентрации капельной фазы, а при больших значениях тока дуги (150 и более) в процессе осаждения участвуют не только капли, но и макроблоки материала катода [2].

Так как капельная фаза имеет меньшую микротвердость, то этим и объясняется общее снижение микротвердости покрытия. Изменение давления в вакуумной камере оказывает двойное влияние на величину микротвердости покрытия (рисунок 1 б). При низком давлении ($p=1,6 \cdot 10^{-2}$ Па) покрытие формируется, как за счет образования молекул TiN, так и за счет $\alpha - Ti$, что существенно снижает микротвердость покрытия. По мере

увеличения давления ($p=(3,2 \dots 4,6) \cdot 10^{-2}$ Па) увеличивается процентное содержание N и образуется больше молекул TiN, что приводит к увеличению микротвердости. Определяли также зависимость микротвердости от времени формирования покрытия (рисунок 1 в). 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 ($t=5$ и более минут) наблюдается частичное отслаивание покрытия от основы, что, скорее всего, связано с ростом напряжений в пленке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров, А.Л. Оценка механической прочности поверхности оптических покрытий методом истирания абразивом во вращающемся барабане / А.Л. Егоров, В.Ф. Михайлов // Оптико-механическая промышленность, 1990. – № 4. – С. 75–78.
2. Иващенко, С.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами / С.А. Иващенко, И.С. Фролов, Ж.А. Мрочек – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 236 с.
3. Гайнутдинов, И.С. Влияние ионного ассистирования на эксплуатационные характеристики оптических покрытий / И.С. Гайнутдинов, Р.М. Мустаев, А.В. Михайлов, А.Г. Гусев // Оптический журнал, 2001. – Т. 68. – № 5. – С. 29–32.