

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ
(Zr,Cu)N***БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь*

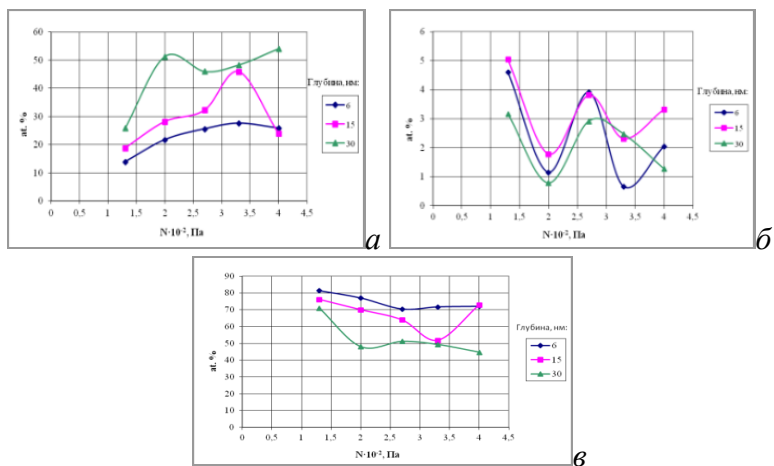
Вакуумно-дуговые покрытия на основе ZrN широко используются в машиностроении в качестве функциональных защитных износостойких покрытий на деталях машин и режущем инструменте [1–3]. Для повышения эксплуатационных характеристик защитных покрытий на основе ZrN в качестве легирующего элемента в настоящей работе была выбрана медь, так как можно предположить, что покрытие с высоким коэффициентом теплопроводности позволит улучшить эффективный отвод тепла из зоны резания и уменьшить градиент температур по сечению режущего инструмента.

Покрытия (Zr,Cu)N толщиной 1,5–2 мкм наносились на вакуумно-дуговой модернизированной установке 01НИ-6-008 на полированные пластины из кремния и стали 12Х18Н10Т, путем одновременного распыления катодов из циркония и меди в среде очищенного азота при различных давлениях реакционно-го газа. Давление азота задавали в диапазоне $1,3\text{--}4 \cdot 10^{-2}$ Па.

Как известно [4], давление реакционного газа оказывает существенное влияние на особенности структурообразования покрытий на основе нитрида циркония. Однако необходимо отметить, что также немаловажным является и вопрос об элементном составе получаемых покрытий при различных технологических режимах, в данном случае – давлении азота. Связано это в первую очередь с тем, что то или иное процентное содержание легирующего элемента в покрытии значительно влияет на его физико-механические свойства: износостойкость, микротвердость, термостойкость и др.

Поэтому, на предварительном этапе анализа физико-механических свойств покрытий (Zr,Cu)N в данной работе было произведено исследование зависимости элементного состава от давления азота в полученных покрытиях.

На рисунке 1 представлены графики зависимостей содержания элементов от давления реакционного газа для азота (рисунок 1 а), для меди (рисунок 1 б) и для циркония (рисунок 1 в) по глубине покрытий.



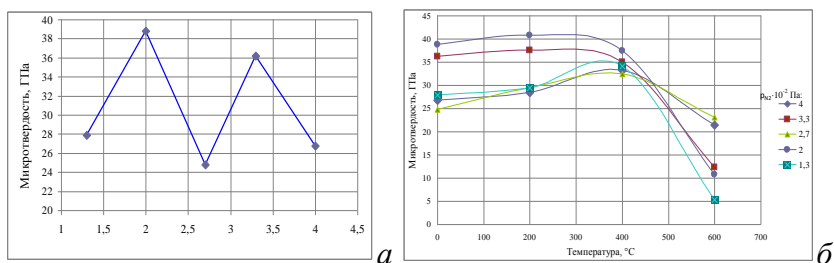
a – азот; *б* – медь; *в* – цирконий:

Рисунок 1 – Графики зависимостей содержания элементов (at.%) от давления реакционного газа в покрытии (Zr,Cu)N

Как и отмечалось ранее, из данных графиков видно, что давление реакционного газа существенным образом влияет на распределение и элементный состав исследуемых покрытий.

Анализ микротвердости (рисунок 2 а) покрытий (Zr,Cu)N показал, что наибольшие значения микротвердости (36 и 39 ГПа) соответствуют тем образцам, покрытия на которые осаждались при давлении азота 2 и 3,3·10⁻² Па соответственно. А с учетом проведенных исследований элементного состава данных покрытий, можно сказать, что данные значения микротвердости соответствуют сравнительно небольшим концен-

трациям меди (рисунок 1 б) – до 2,5 at.%; в то время как при увеличении данной концентрации до 3 – 5 at.% наблюдается резкое снижение микротвердости до 25 ГПа. По-видимому, увеличение объемного содержания меди на границах зерен нитрида циркония снижает уровень межатомной связи между атомами кристаллической фазы, и в результате механизма зернограничного проскальзывания происходит снижение микротвердости формируемых покрытий [5].



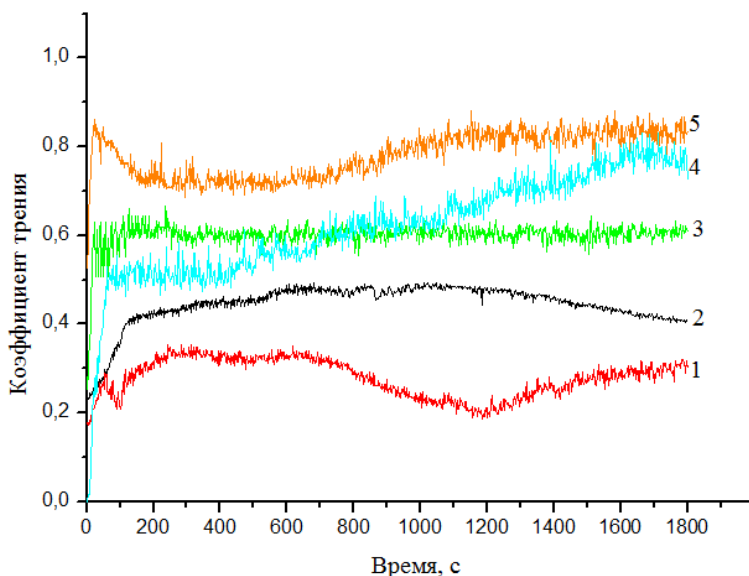
а – без нагрева, *б* – после нагрева:

Рисунок 2 – Зависимость микротвердости (ГПа) образцов с покрытиями (Zr,Cu)N от давления реакционного газа (10^{-2} Па)

Также в данной работе было произведено исследование изменения микротвердости после нагрева образцов до 600 °С (рисунок 2 б). Как видно из графиков, нагрев всех образцов с покрытием (Zr,Cu)N до температуры порядка 400 °С не приводит к резкому снижению значений микротвердости, сохраняются стабильные показатели. Однако, после увеличения температуры нагрева микротвердость падает, а при 600 °С имеет место разрушение большинства покрытий.

Разрушение в зоне фрикционного контакта развивается в сильно неравновесных условиях и может сопровождаться интенсивной пластической деформацией материала покрытия, очаговым повышением температуры, окислением и рядом других процессов. Как показали результаты трибологических испытаний покрытий (Zr,Cu)N с различным содержанием меди, минимальные значения коэффициента бессмазочного тре-

ния (0,3–0,4) получены для покрытий с концентрацией меди 2–3,3 ат. % (рисунок 3). Необходимо также отметить, что при данных концентрациях наблюдается и минимальная скорость начального изнашивания.



1 – $2 \cdot 10^{-2}$ Па; 2 – $3,3 \cdot 10^{-2}$ Па; 3 – $4 \cdot 10^{-2}$ Па;
4 – $2,7 \cdot 10^{-2}$ Па; 5 – $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па:

Рисунок 3 – Зависимость коэффициента бесшумного трения образцов с покрытиями (Zr,Cu)N, осажденных при различных давлениях реакционного газа

Таким образом, в качестве основных факторов, определяющих формирование покрытий (Zr,Cu)N с улучшенными физико-механическими свойствами, можно выделить:

- наличие демпфирующей пластичной медной прослойки между твердыми зёрнами нитрида хрома;
- объемное содержание меди в покрытии не должно превышать 4 ат. % для подавления зернограничного проскальзывания;
- высокая микротвердость покрытий соответствует содержанию меди 1,8–3,3 ат. %.

ЛИТЕРАТУРА

1 Boxman, R.L. Handbook of Vacuum Arc Science and Technology / R.L. Boxman, P.J. Martin, D. Sanders. // New York, Noyes, 1996. – 604 p.

2 Hedenqvist, P. How TiN coatings improve the performance of high speed steel cutting tools / P. Hedenqvist [et al.] // Surface and Coatings Technolog. – 1990. – V. 41. – P. 243–256.

3 Johansen, O.A. Reactive arc vapor ion deposition of TiN, ZrN and HfN / O.A. Johansen, J.H. Dontje, R.L.D. Zenner // Thin Solid Films. 1987. – V. 153. – P. 75–82.

4 Кусков, В.Н. Формирование и износостойкость нитридных ионно-плазменных покрытий на твердосплавных режущих пластинах / В.Н. Кусков, В.Д. Парфенов, И.М. Ковенский // Обзоры по электронной технике. Ч.1: Физические основы. – 1974. – В.7 (268). – С. 1-84.

5 Shtansky, D.V. Localized deformation of multicomponent thin films / D.V. Shtansky [et al.] // Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 429–421. – P. 339–334.