

УДК 669.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОСЛОЙНОГО Ti–Cr–N
ПОКРЫТИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ
ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ**

Ю. В. Рыжков

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Вступление

Условия работы современных объемных гидроприводов отличаются высокими скоростями работы до 100 об./мин, большим диапазоном рабочих температур, высоким давлением рабочей жидкости до 50 МПа.

Анализ эксплуатации таких машин показывает, что основные причины выхода из строя – изнашивание и коррозия рабочих поверхностей узлов трения.

Выбор материалов пар трения с целью повышения их надежности и долговечности является важным звеном в совершенствовании технологии изготовления объемных гидроприводов.

Материал и методы исследования.

Материалом исследования была сталь 45, которая применяется для изготовления золотниковых пар, после улучшения и карбонитрации.

На основании опыта работы предприятий Украины и анализа свойств сталей [1] предложена для узлов трения сталь 38Х2МЮА, на которую наносилось плазменное покрытие на установке Булат-3Т.

На рисунке 1 приведена схема осаждения многослойного вакуумно-дугового покрытия. Конструкция установки предусматривает размещение упрочняемого изделия поверхности вращения (подложкодержатель) различного радиуса (r). Расстояние до испарителя может быть изменено в пределах геометрических размеров камеры (R).

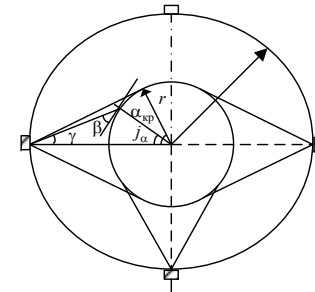


Рис. 1. Схема осаждения многослойного вакуумно-дугового покрытия:
И1, И3 – испаритель Ti–И2–Cr.

В процессе вращения поверхность изделия проходит поочередно зоны под действующими испарителями (И1, И2, И3). В зависимости от расстояния

до испарителя, скорости вращения, количества работающих испарителей, материала катода испарителя на поверхности изделия будет осаждаться соответствующий слой.

Изучение морфологии поверхности покрытия

Износные испытания образцов с исследуемым покрытием проводились на установке СМЦ по стандартной методике.

Нанотвердость и модуль упругости определили на нанотвердомере последнего поколения Nano Indentor V200, который оснащен алмазной трехгранной пирамидой Берковича с радиусом затупления при вершине 20 нм. Прецизионная точность нагружения и измерения смещений обеспечивается электромагнитным приводом зонда и датчиками перемещений. Точность измерения глубины отпечатка $\pm 0,01$ нм. Измерения образцов проводились до глубины 200 нм с использованием непрерывного контроля жесткости ISM в процессе внедрения индентора. Глубина внедрения индентора не превышает 0,1 толщины покрытия, что исключает влияние подложки.

Обработка экспериментальных данных проводилась методом Оливера и Фарра [2].

Для определения фазового состава применялся рентгеновский анализ.

С помощью электронной микроскопии исследовалась структура покрытия.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Результаты сравнения износостойкости стали 45 после карбонитрации и предложенной стали 38X2МЮА представлены на рисунке 2, материалом колодочки был серый чугун СЧ 20.

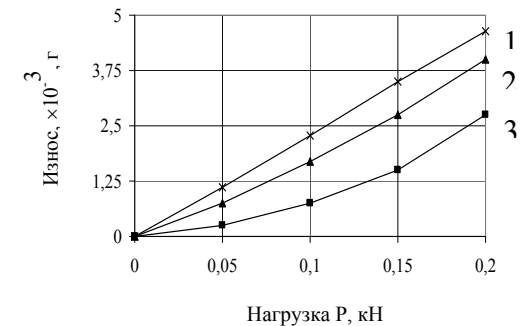


Рис. 2. Зависимость износа исследуемых материалов от прилагаемой нагрузки: 1 – сталь 45; 2 – сталь 45 после карбонитрации; 3 – сталь 38X2МЮА.

Как следует из результатов эксперимента, износ стали 38X2МЮА в два раза ниже, чем стали 45 и на 70 % ниже, стали 45 после карбонитрации.

Однако оптимальные значения износостойкости были достигнуты после нанесения ионно-плазменного Ti–Cr–N покрытия на сталь 38Х2МЮА. В этом случае формируются нанослойные структуры на основе взаимно растворимых систем TiN–CrN в условиях осаждения высокоионизированных, возбужденных компонентов потоков вакуумно-дуговой плазмы.

В соответствии с техническими данными установки «Булат-3Т» температура подложки может меняться от 300 до 800 °С. Наилучшая адгезия имеет место при разогреве подложки до 500 °С. Это следует из результатов, представленных в таблице.

Таблица

Влияние температуры ионной бомбардировки на адгезию покрытия с подложкой и износ

Адгезия K_a (в числителе) и износ (в знаменателе) при температурах, °С					
без покрытия	с покрытием				
	300	400	500	600	700
$\frac{-}{3 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{0,6}{2,8 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{0,75}{2,5 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{1}{2,0 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{0,80}{2,1 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{0,50}{2,3 \cdot 10^{-4}}$

Установлено, это для выбранной стали в данных условиях эксплуатации оптимальная толщина покрытия составляет 6 мкм. При больших толщинах покрытие имеет склонность к отслаиванию и трещинообразованию.

Для повышения износо- и коррозионной стойкости предложено плазменное покрытие при следующем соотношении ингредиентов (% по массе) Ti от 10 до 75; Cr от 5 до 70; N от 15 до 21.

На рисунке 3 представлена структура покрытия.

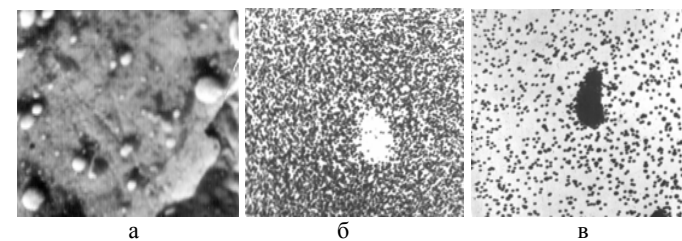


Рис. 3. Структура Ti–Cr–N покрытия: а – общий вид покрытия; б – характер распределения Cr в характеристических лучах Cr; в – характер распределения Ti в характеристических лучах Ti $\times 3500$.

На рисунке 4 представлены дифрактограммы покрытий Ti–Cr–N, полученных при различных значениях давления азота (0,13 Па; 0,4 Па; 0,8 Па; 1 Па; 2,5 Па).

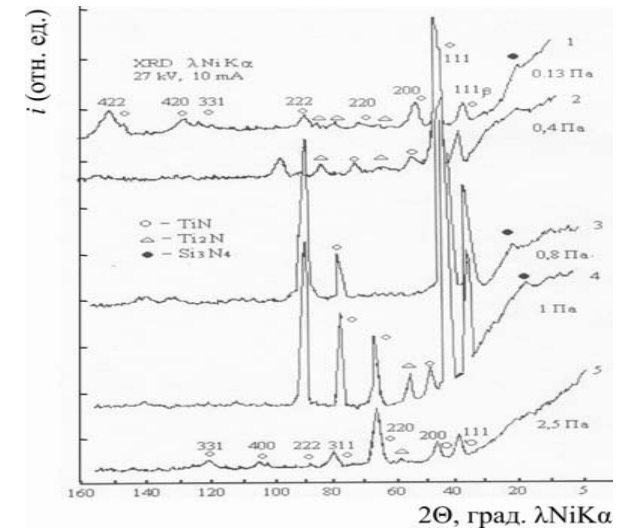


Рис. 4. Дифрактограмма покрытий Ti-Cr-N, полученных при разных значениях давления азота: 1 – 0,13 Па; 2 – 0,4 Па; 3 – 0,8 Па; 4 – 1 Па; 5 – 2,5 Па.

Из рисунка 4 следует, что трехкомпонентное покрытие содержит следующие фазы: TiN, Ti₂N, CrN₄. Самые большие максимумы соответствуют фазе TiN. Ti₂N имеют максимум в несколько раз меньше, чем TiN. Соединение CrN₄ имеет слабый максимум. Однако его присутствие важно для повышения коррозионной стойкости.

Характер формирования нанослойных Ti-Cr-N покрытий может быть оценен с помощью наноиндентирования, когда возможно определять глубину не только восстановленного, но и невосстановленного отпечатков, а также работу пластической и упругой деформации при внедрении индентора, модуль упругости и другие характеристики материала (рис. 5).

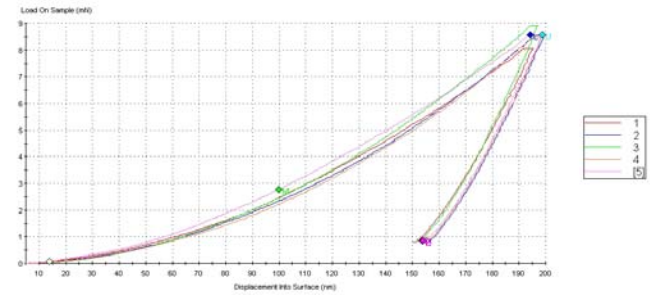


Рис. 5. Кривые нагружения–разгрузки для покрытия Ti–Cr–N.

Механические свойства наноструктурных покрытий характеризуют нанотвердость H и приведенный модуль Юнга A^* [3]:

$$A^* = A / (1 - \nu^2),$$

где E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона.

На рисунке 6 приведена зависимость модуля упругости от толщины Ti–Cr–N покрытия.

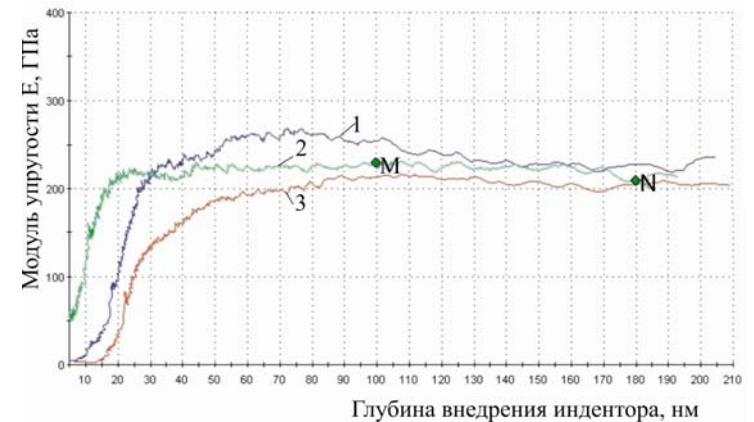


Рис. 6. Зависимость модуля упругости от глубины внедрения индентора для покрытия Ti–Cr–N.

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что нанотвердость достигает максимального значения на глубине 30...70 нм, а затем она несколько уменьшается. Практически такая же зависимость и для модуля упругости. Отличие заключается в том, что модуль упругости, достигая

максимального значения на глубине 40...60 нм, практически не изменяется вплоть до глубины 200 нм.

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность создания нанослойных Ti–Cr–N покрытий с использованием стандартной установки Булат-3, оснащенный тремя испарителями.
2. С помощью наноиндентирования оценен характер распределения нанотвердости и модуля упругости по глубине.
3. Установлено, что замена стали 38Х2МЮА на сталь 45 позволяет уменьшить износ в 2 раза, а сталь 45 с карбонитрацией – на 70 %.
4. Определены оптимальные параметры нанесения ионно-плазменного Ti–Cr–N покрытия, позволяющее достичь наилучшей адгезии покрытия с подложкой и наименьшего износа.
5. С помощью дифрактограмм объяснен процесс повышения износо- и коррозионной стойкости Ti–Cr–N покрытия.

Литература

1. Попов С. М. Зносостійкість сталей і сплавів в умовах адаптації до зовнішніх енергомеханічних впливів. Проблеми трибології. – 2006. – № 1. – С. 17–25.
2. Oliver W. C., Pharr Y. M. In improved technique for determining hardness and elastic modulus using and displacement sensing indentation experiments // Y. Mater. Res. – 1992. – Т. 7. – № 6. – P. 1564–1583.
3. H. Yleter. Nanostructured materials : basic concepts and microstructure // Acta Mater. – 2000. – V. 48. – P. 1–9.