ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ Х12МФ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

А.А. Леонов, Ю.А. Денисова, В.Н. Тищенко, М.В. Савчук
Институт сильноточной электроники СО РАН,
пр. Академический 2/3, Томск 634055, Россия,
laa-91@yandex.ru, yudenisova81@yandex.ru, vas000hcei@gmail.com, mixail96@bk.ru

В работе представлены результаты исследования триботехнических свойств (износостойкости) штамповой стали Х12МФ, подвергнутой комбинированной ионно-плазменной обработке, включающей в себя ионно-плазменное азотирование и вакуумно-дуговое напыление на азотированный подслой нитридных покрытий на основе Ti и Cr. Азотирование проводили по двум режимам, при которых формировался «белый» нитридный слой и отсутствовал. Нитридный слой был толщиной 5-7 мкм, а толщина диффузионного слоя около 55-70 мкм. Было показано, что комбинированная обработка позволяет существенно снизить коэффициент трения до 0.159 – азотированные образцы с покрытием TiCrN (для стали Х12МФ коэффициент трения составлял 0.622), а также снизить параметр износа до 2.08×10^{-7} мм^3/Н·м – азотированные образцы с покрытием CrN (для стали Х12МФ параметр износа составлял 223×10^{-7} мм^3/Н·м).

Ключевые слова: сталь; износостойкость; ионно-плазменное азотирование; вакуумно-дуговое осаждение.

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF Cr12MoV DIE STEEL BY COMBINED ION-PLASMA TREATMENT

Andrey Leonov, Yuliya Denisova, Vasily Tishchenko, Mikhail Savchuk
Institute of High Current Electronics SB RAS,
2/3 Akademichesky Ave., 634055 Tomsk, Russia,
laa-91@yandex.ru, yudenisova81@yandex.ru, vas000hcei@gmail.com, mixail96@bk.ru

The paper presents the results of a study of the tribotechnical properties (wear resistance) of Cr12MoV cold work die steel subjected to combined ion-plasma treatment, including ion-plasma nitriding and vacuum-arc deposition on a nitrided sublayer of nitride coatings based on Ti and Cr. Nitriding was carried out in two modes, in which a "white" nitride layer was formed and was absent. The nitride layer was 5-7 μm thick, and the diffusion layer was about 55-70 μm thick. Nitrided samples were deposited with single-layer CrN and TiCrN coatings, as well as a 32-layer CrN/TiN coating. It was shown that combined treatment can significantly reduce the friction coefficient to 0.159 - nitrided samples with TiCrN coating (for Cr12MoV steel, the friction coefficient was 0.622), as well as reduce the wear parameter to 2.08×10^{-7} mm^3/N·m - nitrided samples with CrN coating (for Cr12MoV steel, the wear parameter was 223×10^{-7} mm^3/N·m). In addition, it was found that the combined treatment contributes to an increase in the microhardness of the samples compared to the initial and nitrided steel, and such a «coating-nitrided substrate» system has good adhesion.

Keywords: steel; wear resistance; ion-plasma nitriding; vacuum arc deposition.

Введение

Среди конструкционных и инструментальных материалов наиболее распространенным и перспективным для применения в будущем будет оставаться сталь, благодаря сочетанию высоких значений физико-механических характеристик и хорошей технологичности при сравнительно невысокой стоимости. В большинстве случаев различного рода дефекты появляются в тонком приповерхностном слое деталей и являются первопричиной снижения общей прочности и разрушения деталей при эксплуатации. То есть работоспособность деталей, узлов и машин в целом будет существенно зависеть от свойств поверхностного слоя, представляющего собой слой металла с изменен-

ной структурой, фазовым и химическим составом по сравнению с основным металлом. Несмотря на то, что для каждого конкретного случая увеличения износостойкости поверхности деталей требуется поиск оптимальных характеристик упрочняющих слоев и покрытий, наиболее эффективным для повышения ресурса изделий является создание на поверхности комплекса «покрытие – модифицированный поверхностный слой (азотированный слой) – подложка» с наиболее износостойким покрытием на поверхности и нижележащим протяженным модифицированным поверхностным слоем с плавно изменяющимися физико-механическими характеристиками. Износостойкое покрытие должно обеспечивать минимизацию нормального механомеханического износа, а также обладать высокостабильными свойствами, мало изменяющимися в сложных неблагоприятных условиях нагружения, и высокой коррозионной стойкостью. В связи с этим, целью данной работы является исследование триботехнических свойств штамповой стали Х12МФ после комбинированной обработки, включающей ионно-плазменное азотирование и вакуумно-дуговое напыление на азотированный подслой нитридных покрытий на основе Ti и Cr.

Основная часть

В качестве образцов использовали предварительно закаленную штамповую сталь Х12МФ размерами 26x15x7 мм. Стальные образцы шлифовали и полировали до шероховатости поверхности (R_a) ≈ 0.05 мкм. Азотирование стальных образцов проводили в плазме, генерируемой в несамостоятельном тлеющем разряде низкого давления с полым катодом на экспериментальной установке. Азотирование проводили по режимам, при которых на поверхности формировался «белый» нитридный слой (давление – 1 Па, газ – N_2 (100%)) и отсутствовал «белый» нитридный слой (давление – 0.25 Па, газ – N_2+Ar (50/50)). Режимы азотирования выбрались на основании предыдущих исследований [1]. Постоянными параметрами в процессах азотирования были: напряжение смещения подложки (–) 600 В, температура подложки 520 °С и время азотирования 3 ч. Напыление покрытий осуществляли вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом на модернизированной установке ННВ6.6-И1. Для генерации потока металлической плазмы использовались два дуговых испарителя с цилиндрическими катодами диаметром 80 мм из Ti марки ВТ1-0 и Cr (99.8 %). Источник газовой плазмы с накаленным и полым катодом «ПИНК» использовали для нагрева образцов и предварительной очистки их поверхности путём ионного травления, а также для дополнительной ионизации газа. Напыляли однослойное покрытие CrN при токе электродугового испарителя 90 А, композитное однослойное покрытие TiCrN при одновременной работе Ti и Cr испарителей при токах 80 А и 80 А соответственно и 32-слойное покрытие CrN/TiN с толщиной каждого слоя CrN и TiN порядка 125 нм [2]. Постоянные параметры при напылении: напряжение смещения подложки (–) 150 В, температура подложки 390-400 °С, азот-аргоновая газовая смесь (90 % (N_2) и 10 % (Ar)) при давлении 0.6 Па. Структуру образцов исследовали на микровизоре µVizo-MET-221 (ЛОМО, Россия). Триботехнические испытания покрытий осуществляли на трибометре TRIBOtechnic (Франция) в условиях сухого трения при возвратно-поступательном перемещении образца относительно контртела, которое представляло собой шарик из Al_2O_3 диаметром 6 мм. Скорость перемещения образца 25 мм/с, нагрузка на шарик 12 Н, длина трека 5 мм, путь трения 100 м.

На рис. 1а и 1б представлены оптические изображения, показывающие микроструктуру азотированных образцов. Из рис. 1а видно, что у образца, азотированного в среде азота при 1 Па присутствует «белый» нитридный слой толщиной 5-7 мкм, а толщина диффузионного слоя

составляет ≈ 70 мкм. У образца, азотированного в азот-аргоновой газовой смеси ((50/50) – 0.25 Па) «белый» нитридный слой отсутствует, а толщина диффузионного слоя составляет 55-65 мкм.

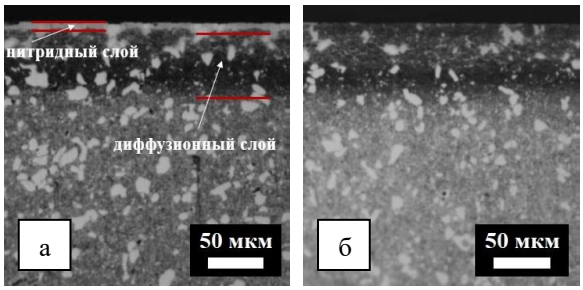

Рис. 1. Оптические изображения структуры азотированных образцов: по режиму с нитридным слоем (а) и по режиму без нитридного слоя (б)

На рис. 2 представлены результаты трибоиспытаний, где видно, что ионно-плазменное азотирование поверхности стали Х12МФ (Азотир. с НС и Азотир. без НС) приводит к снижению, как коэффициента трения (f), так и параметра износа (k) по сравнению с исходной сталью.

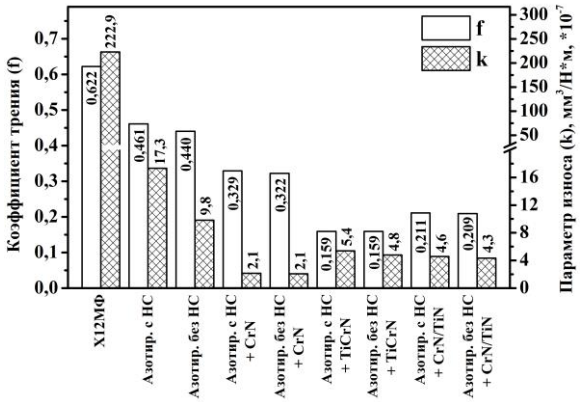

Рис. 2. Гистограмма коэффициента трения и параметра износа. НС – нитридный слой

Однако, образец без нитридного слоя имел более лучшие значения триботехнических характеристик, чем образец с нитридным слоем. Параметр износа снизился в 22 раза, по сравнению с исходной сталью, для образца без нитридного слоя и снизился в 12 раз для образца с нитридным слоем. Обнаружено, что для каждой партии азотированных образцов с покрытиями, нитридный слой не оказывает значительного влияния на триботехнические характеристики. Однако нанесённые покрытия позволяют дополнительно улучшить триботехнические характеристики стальных образцов. Наименьший коэффициент трения (0.159) имеют азотированные образцы стали Х12МФ с покрытием TiCrN, а наименьший параметр износа (2.08-2.13×10^{-7} мм^3/Н·м) имеют образцы с покрытием CrN.

Заключение

В работе было проведено исследование триботехнических свойств штамповой стали Х12МФ после комбинированной обработки, включающей ионно-плазменное азотирование и вакуумно-дуговое напыление на азотированный подслой нитридных покрытий на основе Ti и Cr. Было показано, что комбинированная обработка позволяет существенно снизить коэффициент трения до 0.159, исходная сталь Х12МФ имела значение 0,622 и параметр износа до 2.08×10^{-7} мм^3/Н·м (Х12МФ – 223×10^{-7} мм^3/Н·м)

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FWRM-2022-0001.

Библиографические ссылки

1. Denisova Y., Leonov A., Denisov V., Ostroverkhov E. Influence of nitrogen content in the working gas mixture on the structure and properties of the nitrided surface of die steel. В сборнике: 7th International congress on energy fluxes and radiation effects (EFRE 2020) (14–26 сентября 2020 года), г. Томск. Нью-Йорк: IEEE; 2020. С. 522-525.
2. Leonov A.A., Denisova Y.A., Denisov V.V., Syrtanov M.S., Shmakov A.N., Savostikov V.M., Teresov A.D. Structure and properties of CrN/TiN multi-layer coatings obtained by vacuum-arc plasma-assisted deposition method. *Coatings* 2023; 13(2): 351.