

ВПЛИВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ІОННОАЗОТОВАНОЇ СТАЛІ 38Х2МЮА НА ЇЇ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Національний авіаційний університет

Наведено результати дослідження впливу структурно-фазового та хімічного складу іонноазотованої сталі 38Х2МЮА на її зносостійкість. Показано, що шляхом корегування цих складів можна керувати процесом формування вторинних структур матеріалу для підвищення зносостійкості трибоелементів.

Вступ. Серед комплексу проблем сучасного машинобудування однією з основних проблем є підвищення надійності та довговічності деталей машин, які працюють в умовах тертя. Причому, у більшості випадків для суттєвого підвищення зносостійкості достатньо зміцнити лише поверхневі шари трибоелементів. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми, враховуючи тенденції переходу від об'ємно-структурованого зміцнення до поверхневого, є використання прогресивних енергозберігаючих технологій поверхневої модифікації, зокрема, технології імпульсного газотермоциклічного іонного азотування (ГТЦ ІА) [1]. Проте, аналіз публікацій [2–3] свідчить про недостатню кількість виконаних досліджень з встановлення впливу структурно-фазового та хімічного складу іонноазотованих матеріалів на зносостійкість трибосполучень.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу структурно-фазового та хімічного складу зміцненої імпульсним ГТЦ ІА сталі 38Х2МЮА на її зносостійкість.

Методика досліджень. Дифузійне насичення азотом зразків зі сталі 38Х2МЮА здійснювали за 16 режимами: тиск реакційного газу P – 50...250 Па; температура процесу T – 400; 500; 600°C; склад суміші: 95%N₂ + 5% C₃H₈; 90%N₂ + 5%C₃H₈ + 5%Ar; 80%N₂ + 5%C₃H₈ + 15%Ar; час обробки t – 1,5...4 годин.

Структурно-фазовий склад сформованих поверхонь після триботехнічних випробувань досліджували за допомогою мікро-

структурного (оптичний мікроскоп «Neophot – 30») та рентгенофазового (дифрактометр «Дрон-4-13С») аналізів.

Хімічний склад поверхонь визначали за допомогою растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-101А (мікрорентгеноспектральний аналіз) та Оже-мікрозонда марки «JEOL» JAMP-10S (Оже-спектроскопія).

Триботехнічні характеристики визначали у мастильному середовищі ЦИАТИМ-201 за питомих навантажень $P = 2,5\text{--}25$ МПа та швидкостей ковзання $V = 0,4; 0,7; 1,0; 1,3$ м/с.

Результати досліджень. Встановлено, що структура та склад поверхневих шарів досліджуваних зразків відрізняються від об'ємних. Контактна зона, що безпосередньо прилягає до поверхні тертя, характеризується специфічно орієнтованою дисперсною будовою, що залежить від режимів іонноазотуючої обробки та умов триботехнічних випробувань.

Для більшості зразків у всьому діапазоні швидкостей відсутні процеси схоплювання (рис. 1), а окремі осередки, що виникають за даних умов, локалізуються у тонких приповерхневих шарах. Особливістю морфологічної будови сформованих поверхонь тертя є наявність хвилястості субмікрорельєфу, що свідчить про високу сегментальну рухливість мікрооб'ємів поверхневого шару. Суцільність, відсутність лінійних та поверхневих дефектів, тріщин, слідів викришування підтверджують значну пластичність поверхневої плівки. Частиці під впливом напружень зсуву в умовах тертя легко деформуються без руйнування, що свідчить про аномальну пластичність вторинних структур (ВС) і високу міцність при достатньо високому запасі пластичності, яка обумовлена значним ступенем дисперсності.



Рис. 1. Мікроструктури поверхонь тертя, $\times 500$: *a* – термічна обробка + ГТЦ ІА (режим 5); *б* – термічна обробка + ГТЦ ІА (режим 9)

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу поверхонь тертя показали, що окрім C, Cr, Mn, Si, Fe та N на поверхні присутні інші елементи у кількості близько 35–70 % мас.

Оже-спектри поверхонь тертя (рис. 2) реєстрували в режимі автоматичного запису з кроком 1 еВ. Для аналізу розподілу хімічних елементів по глибині поверхневого шару будували відповідні концентраційні профілі (рис. 3).

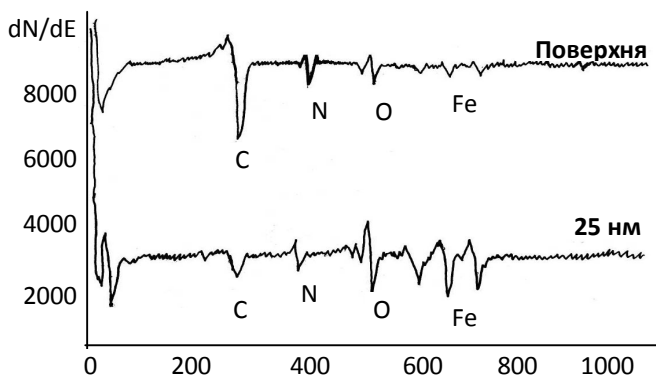


Рис. 2. Оже-спектри поверхонь тертя зразків, зміцнених імпульсним ГТЦ ІА з попередньою термічною обробкою (режим № 8)

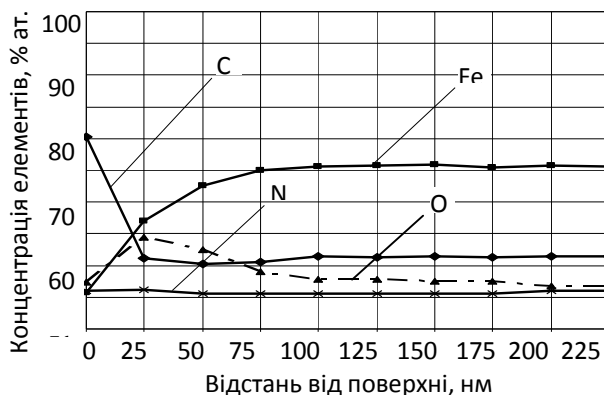


Рис. 3. Результати Оже-аналізу поверхонь тертя зразків, зміцнених імпульсним ГТЦ ІА з попередньою термічною обробкою (режим № 8)

Встановлено, що у процесі випробувань у поверхневих шарах відбувалася інтенсивна дифузія елементів як із мастила та зовнішнього середовища, так і з об'єму на поверхню. Це відбувалося внаслідок структурно-термічного активування, яке призводило до різкого зростання ентропії та ентальпії у поверхневих об'ємах металу і різкої зміни констант рівноваги реакцій. При цьому концентрація азоту на поверхнях тертя після випробувань збільшилася до 14...24 %, вуглецю – до 20...60 %, кисню – до 12...37 %. Очевидно, значне збільшення поверхневої концентрації вуглецю можна пояснити його дифузиею з мастила, кисень на поверхню тертя потрапив з оточуючого середовища, а азот – частково дифундував з об'єму, а частково, аналогічно кисню, потрапив з оточуючого середовища.

Після випробувань поверхні тертя зразків, зміцнених за різними режимами імпульсного ГТЦ ІА, мають різний хімічний склад. Так, наприклад, для зразка, зміцненого за режимом № 10, можна відмітити достатньо високу концентрацію вуглецю (від 60% на поверхні до 22% на глибині 225 нм) та підвищення концентрації азоту до 12% (з 5,9% до триботехнічних випробувань) й кисню до 14...30 % (з піком у 30% на 25 нм). Для зразка, зміцненого за режимом № 12, концентрація вуглецю з глибиною спадає до значень 13...16 %, концентрація азоту становить 11...18 %, а кисню – 12...38 % (з піком у 38 % на 25 нм). Очевидно, під час тертя відбувається інтенсивне окиснювання з утворенням товстих (до 1 мкм у першому випадку та більше 1 мкм у другому) оксидних плівок, карбоксидних та карбонітридних сполук, які сприятливо впливають на процес тертя.

Для уточнення структурно-фазового складу поверхонь тертя оцінювали роботу виходу електрону за розподілом «істинно вторинних електронів». Встановлено, що на поверхнях тертя зразків в одному випадку паралельно існують мікроділянки оксидів та карбонітридів, а в іншому – своєрідна оксокарбонітридна структура. Дослідженнями ВС та поверхневого шару встановлено наявність на поверхнях зразків як твердих розчинів азоту в α -Fe, так і хімічних сполук на базі Cr, Mn та Si, що свідчить про утворення складних ВС першого та другого типу одночасно.

Рушійною силою самоорганізації ВС першого типу є зменшення вільної енергії, а головним механізмом – перехід до рідиноподібного стану. Через нерівноважність напруженого стану та теп-

лових полів, неоднорідність твердої фази та різної здатності поверхні до зволоження, переміщення плівок цих ВС відбувається однорідними фрагментами, які, переміщуючись по поверхні тертя, заповнюють западини, вигладжують нерівності, заліковують субмікродефекти. Відокремлення фрагментів відбувається шляхом зісковзування їх з поверхні тертя.

При формуванні ВС другого типу трансформування матеріалу відбувається переведенням основних деформаційних процесів в область пружних деформацій за аномально високої твердості. Частки зносу є результатом відокремлення та подрібнення крихких плівок і мають довільну форму.

Саме сполученням рухливості ВС першого типу та високої твердості ВС другого типу можна пояснити підвищення зносостійкості зміцнених зразків зі сталі 38ХЗМЮА в 1,9–2,7 разу.

В результаті аналізу залежності інтенсивності зношування від концентрації азоту на поверхні зміцнених зразків встановлено, що існує діапазон концентрації азоту, при якому зносостійкість є максимальною. Цей діапазон знаходиться у межах 6,7–8,7 % (залежно від режимів роботи зміцнених поверхонь).

Висновки: На підставі проведених досліджень встановлено:

– під час трибоконтакту на зміцнених імпульсним ГТЦ ІА поверхнях тертя зразків зі сталі 38Х2МЮА одночасно утворюються складні ВС першого та другого типу. Завдяки сполученню рухливості перших та високої твердості других досягнуто підвищення зносостійкості поверхонь в 1,9–2,7 разу;

– існує діапазон поверхневої концентрації азоту (6,7–8,7 %), при якому зносостійкість є максимальною;

– шляхом коригування структурно-фазового та хімічного складу трибоелементів та завдяки обиранню оптимальних режимів іонноазотуючої обробки, можна керувати процесами формування вторинних структур для забезпечення підвищення зносостійкості матеріалу у конкретних умовах експлуатації. Саме цим питанням потрібно приділяти значну увагу під час пошуку шляхів підвищення зносостійкості конструкційних елементів трибосполучень.

Список літератури

1. Пат. 10014 Україна, МПК 7 С23С 8/06. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому

гліночому розряді: Ляшенко Б.А., Рутковський А.В., Мірненко В.І, Радько О.В.; заявник та патентовласник Національна академія оборони України. – № 19782; Заявл. 19.09.06; Опубл. 15.12.06, Бюл. №12 – 5 с.

2. *Пастух И.М.* Модификация металлов с применением азотирования в тлеющем розряде: состояние и перспективы // Проблемы трибологии – 2004. – № 3. – С. 42– 55.

3. *Мельников О.В.* Ионно-плазменное азотирование деталей АТ, изготовленных из сталей и сплавов, в полом катоде / О.В. Мельников, А.О. Гаврелюк, О.А. Галабурда // Соверш. технол. процессов ремонта авиац. техн. / Моск. гос. техн. ун-т гранда нской авиации. – М.: Транспорт, 1997. – С. 39–51.

Радько О. В. **Влияние структурно-фазового и химического состава ионноазотированной стали 38Х2МЮА на ее износостойкость** // Проблемы тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип 57. – С.157–162.

Приведены результаты исследования влияния структурно-фазового и химического состава ионноазотированной стали 38Х2МЮА на ее износостойкость. Показано, что путем корректировки этих составов можно управлять процессами формирования вторичных структур материала для повышения износостойкости трибоэлементов.

Рис. 3, список лит.: 3 найм.

Radko O.V. **The influence of structural-phase and chemical composition of ion nitriding 38X2MЮA steel on its wear resistance**

The results of investigation of the ion nitriding 38X2MЮA steel structural-phase and chemical composition on its wear resistance influence are given. It is shown that by adjusting these compounds can manage the process of forming secondary structures of the material to improve triboelements wear resistance.

Ключові слова: структурно-фазовий склад, іонне азотування, зносостійкість, вторинні структури.

Стаття надійшла до редакції 13.03.2012