

УДК 531.43

О.І.Пронь

Луцький національний технічний університет

### ПРО УТВОРЕННЯ ВТОРИННИХ СТРУКТУР

*В роботі проведено аналіз досліджень утворення вторинних структур. Вторинні структури являють собою тонкоплівковий об'єкт (товщиною 2-10...8-10 нм), який утворюється шляхом кінетичного фазового переходу, основою якого є сумісна дія деформації, нагрівання, дифузії і хімічних реакцій. Основним фактором, що визначає кінетичний фазовий перехід, енергетику активації і кінетику утворення та руйнування ВС, є робота сил тертя.*

Вузли тертя сучасних машин і механізмів експлуатуються при різних зовнішніх і температурних режимах в умовах активного впливу мастильних й агресивних середовищ. Це спричиняє різноманітність структурних станів поверхонь тертя й процесів їх руйнування. У процесі тертя взаємодія поверхонь тертя, що супроводжується пластичним деформуванням, локалізується, як правило, у тонкоплівковому об'єкті - вторинних структурах (ВС).

Фундаментальною фізичною основою загальної закономірності діапазону нормального тертя у відповідності зі структурно-енергетичною теорією тертя є відкрите професором Б.І. Костецьким у 1974 році універсальне явище структурної пристосованості матеріалів: утворення дисипативної структури, що має властивість мінімального виробництва ентропії.

При реалізації стану структурної пристосованості вся взаємодія твердих тіл тертя і середовища (механічні, хімічні, електричні тощо) локалізуються у вторинних структурах. Перебудова вихідної структури в нову фазу відбувається в напрямку максимального зміцнення, подрібнення, орієнтації в напрямку руху і насичення активними компонентами середовища. Вторинні структури екранують вихідний матеріал від механічної і фізико-механічної деструкції. Зовнішня механічна дія призводить до руйнування фази, яка екранує, але ця ж дія і процеси перенесення речовини із середовища забезпечують її регенерацію.

Основними ознаками явища структурної пристосованості матеріалів при терті, що відрізняють його від різного виду пошкоджуваності, є локалізація пластичної деформації та руйнування в тонких поверхневих шарах вторинних структур і відсутність будь-яких видів руйнування основного металу.

Вторинні структури являють собою тонкоплівковий об'єкт (товщиною 2-10...8-10 нм), який утворюється шляхом кінетичного фазового переходу (КФП), основою якого є сумісна дія деформації, нагрівання, дифузії і хімічних реакцій. За хімічним складом вторинні структури являють собою широку гаму з'єднань металу з активними компонентами середовища від перенасичених твердих розчинів до хімічних з'єднань нестехіометричного складу. Вторинні структури володіють аномалією фізичних, хімічних, механічних властивостей і не мають лінійних, поверхневих і об'ємних дефектів кристалічної будови.

Основним фактором, що визначає неминучість і механізми КФП, енергетику активації і кінетику утворення та руйнування ВС, є робота сил тертя. Спрощене уявлення про силу тертя, як про функцію нормального навантаження, виявилось неспроможним як в теоретичному, так і в експериментальному плані. Встановлено, що сила тертя є не функцією нормального навантаження, а оператором процесів, які виникають при тому чи іншому поєднанні значень нормального навантаження, швидкості ковзання і вектора параметрів тертя. Сили тертя інтегрально відображають дії всіх факторів складного процесу тертя.

Таке уявлення про сили і роботу тертя відкриває можливості системного аналізу процесів трансформації матеріалів у зоні тертя, побудови конкретних положень і залежностей оптимізації показників тертя і зношування.

Визначаючим результатом роботи сил тертя є контактна пружно-пластична деформація, яка протікає в екстремальних умовах силового навантаження при синергетичній (кооперативній) дії дифузії, хімічних реакцій і нагрівання.

Складнапружений стан поверхневих ультрамікроскопічних плівок зумовлений їх блокуванням підповерхневими і бічними об'ємами.

Силова взаємодія на ділянках фактичного контакту має форму багатократних короткочасних імпульсів. Розрахунки показують, що тиски на площадках фактичного контакту знаходяться в межах 100...1000 МПа, час контактування елементарних ділянок складає 0,000001...0,0001 с.

У відповідності з уявою механохімії пластична деформація призводить до утворення реакційно-активних ультрадисперсних структур.

На всіх етапах силового навантаження проходить взаємодія активованих тертям поверхневих шарів з активними компонентами середовища (адсорбція, дифузія, хімічні реакції).

В результаті синергетичної дії коефіцієнти дифузії при терті збільшуються на 5...10 порядків, хімічні реакції протікають фактично миттєво. Різко збільшується розчинність, виникають нестехіометричні хімічні сполуки.

Стає очевидним, що проблеми процесів структурної організації(СО) при терті відносяться до області "високих параметрів" стану речовини високих концентрацій енергії, великих швидкостей, високих тисків алотропних перетворень, аномальних агрегатних станів.

Виникають структурні і фазові стани, які відсутні в діаграмах рівноважних систем. Дослідження процесів вторинного структуроутворення, які виконані за допомогою електронної трансмісійної і растрової мікроскопії, рентгеноспектрального та спектрального аналізу, електронографії, рентгенографії і радіоактивних індикаторів, дозволили встановити, що традиційні механізми об'ємної пластичної деформації при терті металів в умовах СО трибосистем повністю виключаються. КФП призводить до нових механізмів пластичності, деформації та руйнування.

Професор Б.І. Костецький встановив існування двох типів вторинних структур і ряду їх проміжних станів [2].

Вторинні структури I типу являють собою пересичені аморфізовані тверді розчини кисню, сірки, фосфору та інших реагентів у металах, мають бездислокаційну фрагментовану будову, володіють при їх утворенні аномальною пластичністю (ступінь деформації досягає дві тисячі процентів), а при виході із контакту твердіють. Товщина ВС I типу знаходиться в межах 2-10...4-10 нм, вміст реагента в межах 4...10% (для сплавів на основі заліза). Дослідження вторинних структур (ВС) на просвітлення, суміщене з електронно-графічним аналізом, свідчить про знищення границь зерен, блоків, дислокацій, дефектів пакування, граничного подрібнення, фрагментування і орієнтації за напрямком тертя (мінімальний розмір кристалічних областей складає 2...5 нм).

Вторинні структури II типу являють собою хімічні сполуки нестехіометричного складу, як правило, з дефіцитом за реагуючим елементом. При особливо напружених умовах тертя (при різанні металів) спостерігаються нестехіометричні з'єднання з надлишком реагента. В результаті блокуючої і зміцнюючої дій нестехіометричних з'єднань хімічної фази, вторинні структури II типу мають аномально високу твердість, при терті проходить переважно пружна деформація. Товщина знаходиться в межах 4-10 ... 8-10 нм, вміст реагентів у межах 10...28% (для сплавів на основі заліза).

На поверхнях тертя формується оптимальний мікрорельєф, який самовідновлюється і відповідає станам поверхневих шарів і процесам формування ВС I і II типів. Механізм руйнування вторинних структур, форма, розміри і склад частинок зношування відповідають виявленим механізмам вторинного структуроутворення, міцності, пластичності й характеру деформації ВС.

Суттєво, що КФП до режиму структурної організації й утворення вторинних структур не є довільним, а керується мінімальними принципами. Всі взаємодії при терті в режимі СО локалізуються в тонких поверхневих плівках. Відбувається масштабний стрибок.

Як видно з рентгенографічних досліджень структури й складу поверхонь тертя по глибині, проведених Л.М.Рибаквою і Л.Н.Куксьною основний процес структурних змін локалізується в тонких поверхневих шарах металів товщиною від часток до декількох мікрометрів. Так, у шарах товщиною 0,1...0,3 мкм відзначалося різке зменшення щільності дислокацій у порівнянні з більше глибокими шарами. Описані структурні зміни відбуваються при вибіркового переносі в процесі тривалих випробувань міді при терті по сталі 45 у режимі зворотно-поступального переміщення (рис.1). Розмір блоків, що когерентно розсіюють, у процесі тертя збільшується в чотири рази (рис.1, б) у порівнянні з розміром блоків у початковий період випробувань (рис.1, а) і наближається до розміру блоків в обсязі матеріалу. Відзначені рекристалізаційні процеси в шарі розміром 0,1 мкм і більше. Надалі щільність дислокацій у поверхневому шарі досягає певного максимуму, після чого відбувається їхня розрядка (рис.1, в). Шари, що лежать під структурою, що утворилася, володіють високою щільністю дислокацій, ущільнюючи підкладку.

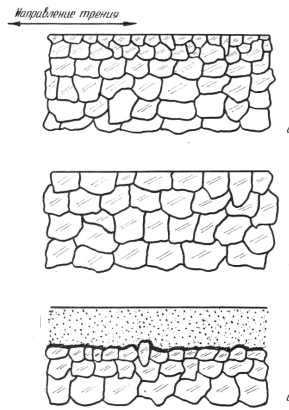


Рис.1. Схема структурних змін, що відбуваються при вибіркового переносі в поверхневому шарі мідного зразка

Л.М.Рибаківа й Л.Н. Куксьонова стверджують, що встановлення фізичного механізму поверхневої міцності й поверхневого руйнування засновано на вивченні еволюції дислокаційної структури в поверхневих шарах, перерозподілі атомів деформуючого твердого тіла й взаємодії цих двох процесів, в результаті яких нормується структура поверхні контактуючих твердих тіл.

Як було описано в роботах Д.Н. Гаркунова [1], мастильні матеріали, реалізують вибірково перенесення при терті, здатні створювати на тертьових поверхнях дисипативні структури з особливими властивостями. Дисипативні структури можуть реалізуватися в парах тертя бронза-сталь при мастилах, не містять сполуки міді, а утворюють плівку за рахунок вибіркового розчинення бронзи.

Реалізація дисипативної структури в поверхневому шарі має місце при протіканні особливого роду дифузійних процесів, обумовлених вибірково розчиненням, лігандами мастила, а також високою активації деформованої поверхні при терті. У результаті інтенсивного утворення вакансій при розчиненні дислокації змінюють напрямок і швидкість руху. Рухаючись до поверхні, вони виходять на неї, створюючи ділянки, де атоми мають вільні зв'язки. На цих ділянках йде хімічна реакція між лігандами мастильного матеріалу і активними атомами та виникає комплексна сполука. Не всі сплави здатні утворювати дисипативні структури і для того щоб виділити сплави, здатні їх утворювати, застосовують рентгеноструктурний метод ковзаючого пучка.

### Висновки

В наведених вище роботах по дослідженню вторинних структур в процесі тертя описано, що вторинні структури уворюються і руйнуються в процесі тертя. За додаванням присадок цей процес є більш упорядкований, а не хаотичний і самовідновлюється, що дозволяє досягти режиму беззносного тертя, тривалого в часі. Проте, цей режим ще не досить стійкий, тому, дослідження вторинних структур є досить перспективним у майбутньому.

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность). – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.

2. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя та зношування в машинах. – Тернопіль: ТНТУ ім. Пулюя, 2011. – 322 с.