

УДК 669.017:531.43

**В.В. Аулін, проф., канд. ф-м. наук, О.В. Кузик, викл., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів**

В статті з'ясовано вплив змін умов тертя на динаміку структурних перетворень в поверхневому шарі матеріалів трибоелементів та зміну їх властивостей.

Показано, що процес тертя супроводжується локальними змінами полів температури, напруження, деформаціями та структурними перетвореннями матеріалу трибоелементів. З позицій динамічного матеріалознавства структура і властивості матеріалу формуються безпосередньо в процесі тертя та в результаті сукупності одиничних процесів контактування. Наслідком цього є аустенітні-мартенситні перетворення зон тертя.

Процеси, що обумовлюють зміни структури матеріалу в зоні тертя розглянуті з трибофізичної точки зору. Показано, що процесами структурних перетворень та комплексом властивостей матеріалу зон тертя можна керувати.

**трибоелемент, структурні перетворення, температура, напруження, деформація, динамічне трибоматеріалознавство, мартенсит тертя, аустеніт тертя**

**В.В. Аулин, А.В. Кузык**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Изменение состояния зон трения деталей машин и динамическое трибоматериаловедение их поверхностных слоев**

В статье выяснено влияние изменений условий трения на динамику структурных превращений в поверхностном слое материалов трибоэлементов и изменение их свойств.

Показано, что процесс трения сопровождается локальными изменениями полей температуры, напряжения, деформациями и структурными превращениями материала трибоэлементов. Из позиций динамического материаловедения структура и свойства материала формируются непосредственно в процессе трения и в результате совокупности единичных процессов контактирования. Следствием этого являются аустенитно-мартенситное превращения зон трения.

Процессы, которые обуславливают изменения структуры материала в зоне трения рассмотрены с трибофизической точки зрения. Показано, что процессами структурных превращений и комплексом свойств материала зон трения можно управлять.

**трибоэлемент, структурные превращения, температура, напряжение, деформация, динамическое трибоматериаловедение, мартенсит трение, аустенит трения.**

### **Постановка проблеми**

При проектуванні сільськогосподарських машин, оцінки їх ресурсу необхідно передбачити зміни стану поверхневих шарів матеріалів їх деталей і спряжень, які відбуваються в процесі тертя і зношування. В процесі тертя деталей машин виникають суттєві зміни в матеріалах їх поверхневих робочих шарів під впливом пружно-пластичної деформації і теплоти в процесі роботи сил тертя і переході механічної енергії в теплову, а також протіканні ряду інших процесів [1,2]. Ці зміни можна розглядати як на макроскопічному, так і мікроскопічному рівнях. До макроскопічних слід віднести зміни мікрогеометрії і рельєфу взаємодіючих спряжених поверхонь, утворені нарости, викришування дрібних і великих частинок та знос матеріалу зон тертя, як поступове видалення тонкого поверхневого шару трибоелементу (ТЕ).

Мікроскопічні зміни складають зміни структури і субструктури (кількості і характеру розподілення дефектів кристалічної ґратки та ін.) [3].

Виникаючі поля температури, напружень та деформацій в матеріалі ТЕ при терті, обумовлюють можливість протікання в ньому ряду складних і взаємозв'язаних процесів, залежно від багатьох чинників, зокрема, від умов та режимів тертя, природи матеріалів ТЕ та робочого середовища, їх будови, структури та комплексу їх властивостей [2].

Зміна стану поверхонь тертя матеріалів ТЕ істотно залежить від динаміки зміни комплексу властивостей і структури, тобто визначається закономірностями динамічного трибоматеріалознавства поверхневих шарів деталей машин. Ефективне виявлення цих закономірностей можна здійснити на основі фізичного підходу у цій проблемі, який вимагає вивчення процесу тертя на мікроскопічному рівні.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Трибологічні та трибоматеріалознавчі дослідження свідчать, що тонкі поверхневі шари матеріалів ТЕ за своїми властивостями, структурою та субструктурою відрізняється від основного матеріалу [2,4]. Їх специфічну поведінку можна пояснити особливим положенням атомів матеріалу поверхневого шару, коли деякі зв'язки залишаються вільними, що призводить до виникненню вільної поверхневої енергії й особливих структурних та субструктурних змін. До субструктурних змін можна віднести мікроскопічні деформації в поверхневих шарах матеріалу ТЕ, які істотно впливають на процеси тертя і зношування [5].

Відомо [5,6], що швидкість пластичної деформації поверхневих шарів при терті визначається як щільністю, так і швидкістю рухомих дислокацій. Зазначимо, що сам процес пластичної деформації поверхневого шару обумовлений більшою щільністю рухомих дислокацій і більш високою швидкістю їх руху. В таких умовах концентрація дислокацій в поверхневих шарах багато вища ніж в основі деталей.

При цьому спостерігаються дві стадії пластичної деформації. На першій з них полегшується утворення і рух дислокацій в поверхневому шарі, а на другій – умови деформування поверхні дещо ускладнені. Існує точка зору [7,8], згідно якій підвищена щільність дислокацій у поверхні матеріалу деталі створюється не внутрішніми, а поверхневими джерелами дислокацій, що обумовлено умовами експлуатації деталей, а отже умовами тертя і зношування поверхневих шарів. Характерним є те, що у початковий період деформування в поверхневому шарі матеріалу деталі наявні умови більш ранньої активації дислокаційних джерел у порівнянні з внутрішніми її шарами.

Крім цього у роботі [2] показано, що при кожній температурі в зоні тертя існує певна критична міра деформації  $\varepsilon_{кр}$ , при якій пластична течія відбувається переважно в поверхневих шарах деталей. Кожному значенню параметра  $\varepsilon_{кр}$  відповідає певна глибина проникнення фронту пластичної деформації в матеріалі ТЕ. Виявлено [8], що з підвищенням температури  $T_{кр}$  збільшується товщина поверхневого шару з підвищеною щільністю дислокацій.

В процесі експлуатації деталей, при терті і зношуванні, завдяки спільній дії нормальних і дотичних напружень в поверхневому шарі матеріалу ТЕ, створюється об'ємний напружений стан [5], при якому навіть високоміцні матеріали виявляють достатню пластичність. У поверхневому шарі дотичне напруження включає напруження опору руху дислокацій від внутрішніх перешкод і від поверхневого шару. Якщо зняти навантаження, то внутрішнє напруження в поверхневих шарах матеріалу ТЕ повністю не знімаються.

#### **Постановка завдання**

З'ясувати вплив змін умов тертя на динаміку структурних перетворень в поверхневому шарі матеріалів ТЕ та зміну їх властивостей.

#### **Виклад основного матеріалу**

Однією з головних причин зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару при терті є нерівномірна пластична деформація, енергія якої витрачається на формуванні залишкових напружень. Із зростанням питомих тисків і швидкостей частка глибинної пластичної деформації зменшується через значну частину витрат роботи сил тертя на пружні і пластичні деформації в місцях контактів, а також на процес зношування.

Якщо до роботи сил тертя (в результаті термічної, механічної або іншої обробки) в поверхневому шарі були залишкові напруження розтягу, то на початку випробувань на тертя відбувається різке зменшення їх величини і зміна знаку, а потім спостерігається зростання залишкових напружень стиску. Якщо в початковому стані в поверхневому шарі деталей наявні залишкові напруження стиску, то в процесі роботи сил тертя останні зростають значно повільніше.

Розглядаючи напружений стан поверхневих шарів матеріалу необхідно при терті враховувати внутрішні структурні залишкові напруження, які часто більш інтенсивно впливають на процеси тертя і зношування, ніж створюване зовнішнє напруження. Тому цілком доцільно вимагати при зміцненні матеріалу ТЕ однорідність структури його поверхневого шару.

При балансі напруженого стану при терті чималу роль відіграють напруження, які формуються за наявності високих температур та температурних градієнтів: під дією теплових навантажень при терті, матеріал ТЕ має знижений опір дії навантажень [2].

Фізико-хімічні процеси, що відбуваються при цьому, визначаються передачею енергії і її дисипацією при контактних взаємодіях. Теплота, яка виділяється в дискретних ділянках контактування є результатом переходу механічної енергії в тепло. Це обумовлює те, що у локальних ділянках робочих поверхонь деталей розвиваються високі температури, які можуть привести до оплавлення тонких шарів. На тертя і зношування матеріалів ТЕ, крім температури в зоні тертя, істотно впливають градієнт температур, здатність матеріалу акумулювати тепло (теплофізичні властивості матеріалу, конфігурація контакту), а також умови тепловіддачі.

Для реальних трибоспряжень, згідно досліджень А.В. Чичинадзе [9], доцільним є врахування ще одного істотного критерія – коефіцієнта взаємного перекриття, який є відношенням номінальної площі ковзаючого контакту до усїєї номінальної площі поверхні тертя. Коефіцієнт взаємного перекриття істотно впливає на розподіл теплових потоків між ТЕ.

Дослідження в цьому напрямі свідчать як про динамізм умов тертя і зношування, так і динамізм у можливостей змін стану, властивостей і структури матеріалів ТЕ. Взаємозв'язок зазначених динамічних змін потребує ретельних експериментальних досліджень та теоретичних обґрунтувань.

Високі температури і температурний градієнт в зоні тертя обумовлюють наступні взаємодії поверхонь тертя:

- з мастильними матеріалами зі зміною режимів тертя;
- із зовнішнім середовищем та зміною кінетики процесів: дифузії; адсорбції і абсорбції; структурним і фазовим змінам в поверхневих шарах матеріалів ТЕ. Зазначене приводить до створення пластичного контакту, зміни коефіцієнта тертя, зносу, переносних явищ, схоплюванню і утворенню дефектів на поверхні тертя.

Дослідження показують, що структурні перетворення при терті визначаються в основному температурою спалаху, але істотними факторами, що впливають на механічні та триботехнічні характеристики матеріалів ТЕ, є об'ємні і поверхневі температури та температурні градієнти:

$$f_{mp} = A_1 T^{a-k} + A_2 \left( \frac{dT}{dX} \right)^{b-k}, \quad (1)$$

де  $T$  – температура поверхні;

$dT/dX$  – градієнт температури по нормалі до поверхні;

$A_1, A_2, a, b, k$  – постійні, що характеризують комплекс трибофізичних властивостей спряжених ТЕ.

Зі зміною температури змінюються субструктура, мікроструктура і фізико-хімічні властивості матеріалів ТЕ, і, як наслідок, їх зносостійкість. Змінюється і характер взаємодії поверхні тертя з навколишнім середовищем; властивості матеріалу при утворенні окисних плівок; взаємодія робочої поверхні з продуктами зносу, що утворюються в процесі тертя, а також характер цих продуктів і т. д.

Порівняння енергії, витраченої при терті, показало, що енергія дислокацій приблизно на три порядки менша, ніж енергія тертя. Звідки випливає, що однією тільки зміною дислокаційної структури не можна повністю пояснити дисипацію енергії при терті ковзання, тобто спостерігаються витрати енергії й на протікання інших процесів. В залежності від енергії, що виділяється при терті, окрім пластичної деформації подолання сил взаємодії і власне зносу, в активних шарах матеріалу ТЕ реалізуються дифузійні процеси, процеси рекристалізації і відпочинку, поліморфні перетворення, процеси розчинення і виділення надлишкової фази та ін.

Виявлено, що стан поверхні і результат роботи сил тертя залежать від багатьох фізико-технологічних параметрів: швидкості ковзання; величини навантаження; температури поверхні тертя; шорсткості поверхні; властивостей матеріалу; характеру і режиму тертя; конструкції трибоспряжень деталей; наявності або відсутності мастильного шару в трибосистемі (ТС) або покриттів на ТЕ та ін.

Усю сукупність параметрів, що впливають на працездатність ТС, можна розділити на внутрішні параметри, які визначають стан матеріалу та зовнішні, які можуть вплинути на значення внутрішніх параметрів.

В процесах тертя і зношування та в динамічному матеріалознавстві особливе місце займає кінетичний параметр  $\tau$  – час контактування або час життя плями контакту, що визначає тимчасову можливість ряду протікаючих процесів, а отже і ступінь реалізації різних структурних перетворень. Кожен із зовнішніх термодинамічних параметрів  $T, N, c_i$  повинен оцінюватися з урахуванням того, якою мірою цей параметр може вплинути на внутрішні параметри.

У випадку, коли температура в зоні тертя перевершує критичні точки структурних перетворень матеріалів ТЕ (наприклад,  $A_c$  для сталі), процес тертя супроводжується локальними структурними перетвореннями матеріалу ТЕ. Якщо температура нижча критичної, то в малих локальних об'ємах загартованого матеріалу можуть відбуватися процеси відпускання. Відмітимо, що в реальних умовах тертя, окрім температури, на фазові і структурні перетворення одночасно впливають ще і високий тиск в мікроконтактах, а також характер і типи взаємодії ТЕ із зовнішнім середовищем.

Якщо розглядати тертя як сукупність рівно ефективних актів контактування, то основні процеси і зміна характеристик матеріалу при цьому можна описати у рамках одиничного акту контактування. Зносостійкість поверхні тертя при цьому розглядається як здатність опору проти зварювання і руйнування мікронерівностей матеріалів ТЕ, що беруть участь в кожному одиничному акті контактування.

З іншого боку, базуючись на позиціях динамічного матеріалознавства [2,8], сутність якого полягає в тому, що під дією ряду чинників, що впливають на матеріал ТЕ, його структура і фізико-механічні властивості змінюються в процесі тертя. В даному випадку, відповідальним в процесі експлуатації ТС є не стільки матеріал з початковою структурою, скільки його структура і властивості, що формуються безпосередньо в процесі тертя. При цьому тертя розглядається як складний процес, що складається з трьох послідовних етапів: взаємодії спряжених поверхонь деталей; змін,

що відбуваються на них в процесі тертя; самоорганізація або руйнування зон тертя.

У загальному випадку процес тертя слід розглядати як накопичення умов, що призводять до зміни структури, складу, фізико-механічних властивостей матеріалу ТЕ, а також переходу його з одного стану в інший. Декілька зазначених актів можуть змінити стан матеріалу поверхневого шару ТЕ й услід за цим змінюється характер контактування оскільки в цей процес вступає матеріал ТЕ, що набув нову структуру. Зносостійкість матеріалу ТЕ в таких випадках визначається структурою, що формується при терті в результаті сукупності одиничних процесів контактування. Отже цими процесами бажано керувати і встановлювати взаємозв'язок між початковою і вторинними структурами матеріалу ТЕ, що отримуються в процесі експлуатації ТС.

Важливою особливістю кінетики структурних процесів при терті є те, що під час переходу механічної енергії в теплову, нагрівання і охолодження шляхом відведення тепла в матеріал ТЕ, робоче та зовнішнє середовище, здійснюються з дуже великою швидкістю, незвичайною для швидкостей нагрівання і охолодження при відомих процесах термічної обробки матеріалів. Це обумовлює реалізацію широкого спектру структурних станів, що виникають в результаті "точкового" гартування при терті з великою швидкістю. Тобто однією з особливостей процесів тертя є локальність процесів нагрівання і охолодження мікроскопічних об'ємів матеріалів ТЕ.

Швидкості нагрівання і охолодження при терті для ділянки локального контакту [2,3] можуть набувати дуже високих значень: порядку  $10^4 \dots 10^5$  К/с, та  $10^3 \dots 10^4$  К/с. Результати досліджень зон локального контакту свідчать, що на процеси нагрівання і охолодження в цих зонах впливають наступні чинники: вміст вуглецю, початкова структура (перліт, тростит, сорбіт або мартенсит і т.п.), а також температуропровідність матеріалу ТЕ.

Взаємодії і подальші фізико-хімічні процеси в зоні тертя визначаються зовнішніми умовами: механічним імпульсом, часом контактування, конструкцією спряження деталей і т. п. та фізичними властивостями матеріалів спряжених поверхонь деталей і середовища.

Розподілення локальних джерел тепла в зоні тертя визначається умовами роботи сил тертя і в значній мірі залежать від мікрорельєфу поверхонь тертя – форми і розмірів виступів, геометрії локальних неоднорідностей і т.п., тобто, геометрія поверхні тертя змінюється в процесі експлуатації ТС.

З міркувань розмірності, враховуючи рівняння теплопровідності і граничні умови до них, тривалість часу  $\tau$  для розігрівання контактної області розміром  $L$  дорівнює:

$$\tau \approx \frac{L}{\chi} = \frac{Lc\rho}{\lambda}, \quad (2)$$

де  $\chi$ ,  $\lambda$ ,  $c\rho$  – відповідно коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності та теплоємність одиниці об'єму матеріалу.

Враховуючи температуру  $T$  та площу зони тертя  $S_{mp}$ , маємо:

$$\tau = \frac{c\rho}{\lambda} \left( \frac{\lambda \sqrt{S_{mp}}}{q_o} \sqrt{(T - T_C)^2} \right)^2 = c\rho\lambda \frac{L^2}{q_o^2} (T - T_C)^2, \quad (3)$$

$$\text{або} \quad \tau = Bc\rho\lambda (T - T_C)^2, \quad (4)$$

де  $\sqrt{S_{mp}} = L$ ;  $T_C$  – температура середовища;

$B = \frac{S_{mp}}{q_o^2}$ ;  $q_o$  – функція розподілу джерела теплової енергії.

Аналіз величини  $B$  свідчить, що для різних матеріалів ТЕ вона неоднакова, а для одного і того ж матеріалу ТЕ, при зміні форми спряженої поверхні та умов тертя,

вона також змінюється і  $\tau$  оцінюють з точністю до постійної  $B$ . Для різнорідних матеріалів ТЕ можливі три випадки: а)  $\tau_1 \ll \tau_2$ ; б)  $\tau_1 \approx \tau_2$ ; в)  $\tau_1 \gg \tau_2$ .

У першому випадку найбільш нестійкий проти плавлення матеріалу ТЕ 1, а в третьому – ТЕ 2. Як правило, за умови  $\tau_1 \leq \tau_2$ , застосування однойменних матеріалів менш сприятливо, чим різнойменних, оскільки процеси встановлення рівноваги між напруженою і деформаційною повзучістю в місцях контактування буде одночасним, що повинно привести до схоплювання. У першому і третьому випадках для різнойменних матеріалів ТЕ інтенсивність процесів тертя і зношування знижується у порівнянні з другим випадком. Проте при тісному контактуванні за рахунок теплопровідності можливе підігрівання протилежної спряженої поверхні, що полегшує процеси перенесення. Можуть також спостерігатися утворення містків схоплювання, після чого при переміщенні настає розрив у найбільш слабкому місці: за місцем контакту або по матеріалу ТЕ 1, або ТЕ 2, або по сплаву (ТЕ 1+ТЕ 2), якщо останній встиг утворитися дифузійним шляхом за час контактування.

Таким чином, параметр  $\tau$  може характеризувати опір зносу в тому сенсі, що він визначає здатність контактуючої поверхні "розм'якшуватися" під дією виділеного тепла від роботи сил тертя або утворювати "містки схоплювання". Спрямованість же перенесення матеріалу в першому і третьому випадках повністю визначається співвідношенням  $\tau_1$  і  $\tau_2$ , а в другому – міцністю утвореного з'єднання. Відмітимо, що внаслідок розігрівання, можливі також вторинні процеси взаємозв'язку з середовищем (окислення, цементация і т. п.), які накладаються на процеси, що протікають на контактній області при терті.

Процеси, що призводять до зміни структури і властивостей матеріалу ТЕ, можуть відбуватися як в результаті фазових перетворень, так і без них. При зміні стану без фазових перетворень матеріалу під дією сил тертя і реакцій, що викликаються ними, може спостерігатися прискорена еволюція усіх станів до самого руйнування, можуть мати місце і процеси, тривалий період які намагаються перешкоджати руйнуванню матеріалів ТЕ.

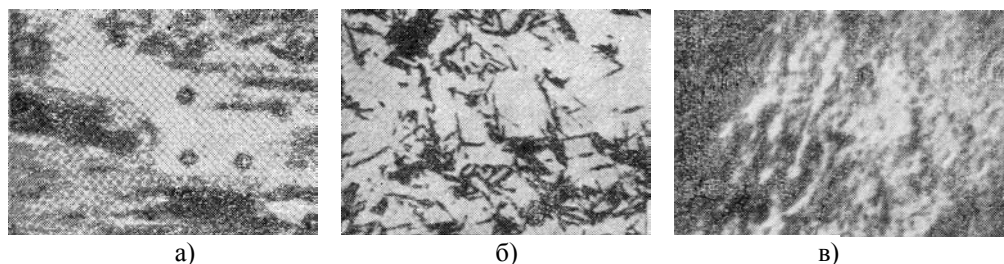
На протязі періоду від початку роботи на тертя матеріал ТЕ проходить через серію станів, одні з яких можуть виявитися катастрофічними і необоротними, інші — оборотними (залікування дефектів, що утворюються на поверхні та ін.). При усталеному процесі тертя може спостерігатися більш менш стан тривалої рівноваги, але розвиток фізико-хімічних процесів в подальшому може здійснюватися безпосередньо в самому процесі тертя і призводити до зміни структури і властивостей матеріалу ТЕ.

Можливість фазових перетворень в матеріалах при терті, здійснення їх вторинного загартування, реалізується завдяки наступним умовам:

- нагрівання ділянок мікроконтакту до температур вище критичної і охолодження до кімнатних температур з великою швидкістю;
- значення критичних точок фазових перетворень матеріалів ТЕ можуть істотно знижуватися під дією деформації;
- дрібнодисперсна структура матеріалу ТЕ полегшує його структурні перетворення: гомогенізацію аустеніту, розчинення і виділення карбідів і т. п., які можуть відбуватися в результаті інтенсивної дифузії в мікрооб'ємах.

Швидкість переходу дрібнодисперсних карбідів і мартенситу в аустеніт значно збільшується внаслідок того, що є готові зародки аустеніту, якими є ділянки залишкового аустеніту, що характерно для багатьох загартованих сталей.

Перетворенню  $\alpha$ -фази на  $\gamma$ -фазу в процесі тертя сприяє велика поверхня стикування фаз. Аустеніт тертя, при наступному швидкому охолодженні перетворюється на аустеніт – мартенситну структуру з великим вмістом аустеніту (рис. 1).



а) аустеніт тертя, х300; б) мартенсит тертя, х300; в) карбідна фаза до випробування на тертя, х10000

Рисунок 1 – Структура тертя в сталі ШХ15

Проведені дослідження на різних сталях і чавунах підтверджують, що властивості нової структури залежать від властивостей вихідної структури в локальній контактній ділянці поверхні і від умов тертя. Мікротвердість аустеніту тертя, як правило, вище за твердість початкового(залишкового) аустеніту. Мікротвердість мартенситу тертя порядку 8,5 ГПа. При металографічному аналізі мартенсит тертя відрізняється від вихідного мартенситу ступенем травлення.

Підвищену стійкість аустеніту тертя матеріалу ТЕ можна обґрунтувати наступним чином:

- при мікродифузійному перетворенні аустеніт, що утворився з початкового мартенситу, збагачений вуглецем і карбідами;
- численні центри кристалізації — дрібнодисперсні карбіди розчинені в  $\gamma$ -фазі;
- в умовах пластичної деформації в ділянках поверхні гальмується перетворення аустеніту на мартенсит.

Кількість аустеніту в поверхневих шарах матеріалу при терті визначатиметься початковою структурою і хімічним складом сталі, концентрацією заліза в аустеніті, тиском на контакт. Результати досліджень свідчать, що існує деякий граничний тиск, нижче якого аустеніт тертя не утворюється. Процес стабілізації  $A \rightarrow M$  перетворень залежить і від таких чинників, як при зупиненні процесу охолодження нижче  $M_n$ , низькотемпературне відпускання, витримка вище  $M_n$ , попередня деформація, фазове наклепування і т. д.

Деформація аустеніту в процесі зовнішньої дії та в результаті фазового наклепування може викликати утворення структурної недосконалості двох типів – одні прискорюють, а інші гальмують мартенситні перетворення. Як правило, при малих деформаціях переважає прискорююча, а при великих – гальмуюча дії. При цьому максимум вмісту мартенситу зміщується у бік менших деформацій.

Можна виділити два типи процесу стабілізації аустеніту: механічна та термічна стабілізації. Механічна стабілізація пов'язана з наклепуванням в результаті прямого і зворотного мартенситного перетворення (фазове наклепання) і пластичної деформації під дією зовнішніх сил (механічне наклепання). Термічна стабілізація має іншу природу і полягає в уповільненні мартенситного перетворення при малих швидкостях охолодження в зоні температур  $M_n$  і дещо нижче її. Якщо вважати, що термічна стабілізація пов'язана з релаксацією напружень, що виникають в результаті перетворення  $A \rightarrow M$ , то чим більша тривалість витримки при цій температурі, тим сильніше релаксують напруження і тим більше потрібно охолодити систему, щоб знову накопити напруження, необхідне для подальшого перетворення. Ступінь термічної стабілізації збільшується як з підвищенням температури, так і зі збільшенням тривалості витримки.

Виявлено, що в процесі тертя утворення мартенситу в сталях і нікелевих сплавах супроводжується спонтанною деформацією матриці, спотворення якої веде до гальмування подальшого  $A \rightarrow M$  перетворення. Це знаходиться у відповідності із

встановленим положенням, згідно якого значний вплив на подальші перетворення в матеріалі при охолодженні здійснює пластична деформація [10].

Проте якщо спостерігається пластична деформація, то основа має пружні напруження і поле пружних напружень в області кристалів мартенситу може сприяти зародженню нового мартенситу. Отже розвиток мартенситного перетворення може залежати від гальмівної дії пластичної деформації і впливу на зародження нових кристалів мартенситу пружних напружень в ділянках мартенситу, що утворюється по сусідству з первинними кристалами. Відповідно до цього стабілізацію трибоматеріалу можна представити як результат релаксації пружних напружень і зменшення числа переважних ділянок для зародження мартенситу.

Стабілізація аустеніту може відбуватися і при збільшенні швидкості деформації. Підвищення стійкості аустеніту, всупереч мартенситному перетворенню, при терті спостерігається при імпульсній (одноразовій або циклічній) дії температури, тобто при різко нестаціонарному тепловому режимі тертя або в умовах, коли стаціонарність теплового режиму виявляється з яких-небудь причин порушеною.

В умовах нестаціонарного теплового режиму тертя стабілізація аустеніту, очевидно, відбуватиметься як внаслідок неоднорідності аустеніту по концентрації вуглецю, так і в результаті фазового наклепування, ступінь якого збільшується при багатократних  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  – перетвореннях, якщо температурні спалахи повторюються. Це відбувається і в результаті механічного наклепування і високої швидкості деформації поверхневих шарів [10].

При стаціонарному тепловому режимі тертя, що спостерігається при усталеній температурі поверхні і достатній тривалості контактування, загартування поверхневого шару відбуватиметься не безпосередньо при терті, а в процесі охолодження. У цьому випадку велику роль відіграють умови тепловідводу. Варіюючи швидкістю охолодження можна отримати в поверхневих шарах структури як гартування, так і відпускання. Стабілізація аустеніту в цих умовах може відбуватися внаслідок уповільнення охолодження поблизу температури початку мартенситного перетворення. Характерним є те, що після припинення процесу тертя аустеніт, як правило не утворюється.

### Висновки

Виявлено, що при оцінці ресурсу деталей сільськогосподарських машин слід врахувати зміну структури матеріалів та характер протікання процесів в зоні тертя. З трибофізичної точки зору розглянуті процеси, що обумовлюють зміни структури матеріалу в зоні тертя. Відмінності в структурах вторинного гартування можна пояснити тим, що при одночасній дії не дуже високих тисків і температур відбувається додаткова трансформація кристалічної решітки і створення високотемпературної  $\gamma$  - фази. Виявлено таку особливість мартенситу тертя як його дрібнодисперсну структуру, а також розвинену субструктуру і більшу за величиною загальну напруженість. В результаті подрібнення зерен високотемпературного аустеніту знижується температура початку мартенситного перетворення і в структурі вторинного гартування фіксується підвищена кількість залишкового аустеніту. При цьому структури швидкісного відпускання мають наступні особливості: утворюються при розпаді мартенситу,  $\alpha$  - фаза якого відрізняється більшою дисперсністю і напруженою субструктурою, а також підвищеною мікротвердістю; розпад залишкового аустеніту гальмує коалесценція карбідних частинок; зберігається орієнтацію початкової мікроструктури.

### Список літератури

- 1 Грозин Б.Д. Повышение эксплуатационной надёжности деталей машин / [Б.Д. Грозин и др.] – М.:Машгиз, 1960. – 296 с.



- 2 Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176с.
- 3 Аулін В.В. Структурні перетворення в конструкційних матеріалах, що знаходяться в невірноважених умовах / В.В. Аулін, Ф.Й. Златопольский, С.М. Лізунов // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 4-й междуна. научн.-техн.конф., 25-27 мая 2004, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2004. – С.38-40.
- 4 Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264с.
- 5 Грозин Б.Д. Износ металлов. – Киев.: Гостехиздат УССР, 1951. – 252 с.
- 6 Коган А.С. Некоторые закономерности образования так называемого "аустенита трения" / А.С. Коган, Т.Т. Расс, Т.Я. Гораздовский – В сб.: Теория смазочного действия и новые материалы. – М.: Наука, 1965.– С. 223 – 227.
- 7 Аулин В.В. Аномалия структурных превращений и массопереноса в металлах при лазерном воздействии / В.В. Аулин, Н.М. Боранбаева, С.Д. Звонков // Сб.: "Труды 11-й Дальневосточной школы – семинары по физике и химии твёрдого тела." Благовещенск: 1988. – т.2. – С.66-70.
- 8 Аулін В.В. Самоорганізація на основі невірноважених процесів в трибосистемах / В.В. Аулін // Зб. тез міжнар. наук.–практ. конф. "Ольвійський форум"-2009: Стратегія України в геополітичному просторі.-Миколаїв: ЧДУ, 2009.-С. 61-62
- 9 Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
- 10 Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін // Зб. тез матеріалів міжнар. наук.–практ. конф. "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.60-62.

#### **V. Aulin A. Kuzyk**

*Kirovohrad national technical university*

#### **Change of the state of zones of friction of details of machines and dynamic triboengineering material science of their superficial layers**

In the article influence of changes of terms of friction is found out on the dynamics of structural transformations in the superficial layer of materials of tribo-elements and change of their properties.

It is shown that the process of friction is accompanied by the local changes of the fields of temperature, tension, deformations and structural transformations of material of tribo-elements. From positions of dynamic material science a structure and properties of material are formed directly in the process of friction and as a result of totality of single processes of contact. Investigation of it are austenite-to-martensite transformations of zones of friction.

Processes that stipulate the changes of structure of material in the zone of friction considered from the tribophysics point of view. It is shown that it is possible to manage the processes of structural transformations and complex of properties of material of zones of friction.

**tribo-element, structural transformations, temperature, tension, deformation, dynamic triboengineering material science, a martensite is a friction, austenite of friction**

Одержано 25.04.13