

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЄМНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

Д.П. Журавель, д.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

Металеve тіло руйнується тоді, коли щільність внутрішньої енергії в об'ємі, що деформується, досягає граничної (критичної) величини. При цьому критична щільність внутрішньої енергії (термодинамічний критерій руйнування) не залежить від умов, в яких протікає процес, а є фізичною константою матеріалу.

Не вивчаючи детально структуру і складну природу механізмів і елементарних актів фізико-математичних явищ, що протікають в реальних матеріалах, і розглядаючи процеси деформації і руйнування твердого тіла з енергетичної точки зору, термодинамічний підхід до оцінки і опису стану твердого тіла дозволяє робити такі ж достовірні висновки, як і фундаментальні закони, що лежать в основі термодинаміки.

Досліджуючи об'ємну міцність матеріалів, вчені висувають гіпотезу руйнування, згідно якої воно відбувається тоді, коли внутрішня енергія матеріалу досягає критичної енергоємності.

Інші дослідники, ґрунтуючись на подібності механічного і теплового руйнування матеріалів, прирівнюють критичну щільність внутрішньої енергії до теплоти (ентальпії) плавлення матеріалу. Такий підхід дає можливість скористатися поширеними табличними даними фізико-механічних властивостей матеріалів.

$$E^* = H_{nl}, \quad (1)$$

де E^* - критична щільність внутрішньої енергії; H_{nl} - прихована теплота плавлення матеріалу.

Якщо відомі зміни ентальпії при плавленні ΔH_{nl} і щільність D , то критична енергоємність може бути вчислена по формулі:

$$E^* = \Delta H_{nl} D. \quad (2)$$

Для розрахунку критичної енергоємності може бути використана інша формула:

$$E^* = T_{nl} M D. \quad (3)$$

де $T_{пл}$ – теплота плавлення, M – молекулярна маса, D – щільність матеріалу.

Розрізняють дві основні групи енергетичних критеріїв, які засновані :

- на вимірі або математичному описі роботи пластичної деформації (накопичена матеріалом загальна енергія пластичної деформації залежить від діючої напруги і механічних властивостей матеріалу);

- з врахуванням термодинамічних властивостей матеріалу.

Передбачається аналогічність процесів руйнування і плавлення. При цьому відзначається, що для порушення зв'язку атомів твердого тіла необхідна цілком певна кількість енергії, незалежно від того як вона підводиться до тіла: механічно або у вигляді тепла.

Серед численних методів, запропонованих дослідниками, на наш погляд, енергетична теорія тертя і зносу якнайповніше може описати реальну картину цього явища. Такий підхід сформульований і застосований Г. Фляйшером і удосконалювався в працях його колег. Основним в цій теорії є те, що для відділення часток зносу необхідно щоб деякий об'єм матеріалу накопив певний критичний запас внутрішньої енергії. По Г. Фляйшеру уявна щільність енергії (e_{mv}^*) характеризується як функція:

- дійсної щільності енергії розриву (e_{mv});
- критичного числа імпульсів енергії, що визначається величиною навантаження і аккумуляючою здатністю робочого матеріалу (n_k);
- коефіцієнта накопичення енергії (X), що визначається структурою, складом і типом робочого матеріалу (K);

$$e_{mv}^* = e_{mv} n_k / X [K(n_k - 1) + 1] . \quad (4)$$

Точне аналітичне визначення уявної щільності енергії тертя на основі рівняння (4) в даний час ще неможливо, тому що не з'ясований взаємозв'язок між окремими розрахунковими величинами і заданими фізико-технічними характеристиками робочого матеріалу.

Г.М. Сорокін і Б.П. Сафонов вважають, що енергоємність матеріалу залежить від твердості і температури відпустки, а також від структури матеріалу. Оскільки тертя супроводжується тепловими процесами, то таке твердження, ймовірно правильне. Слід очікувати, що зі зміною температури енергоємність також повинна змінитися. Однак, при незначних змінах температури в стаціонарних процесах, можна допустити, що критична енергоємність є фізичною константою матеріалу.

Зміна властивостей деформованих поверхонь обумовлено самою природою тертя, особливостями перетворення механічної енергії в теплову. Процес пристосування пар, що труться в період приробітку є енергетичним, оскільки він протікає з поглинанням або виділенням

енергії контактуючими поверхнями. В цьому плані зміцнення можна уявити як процес енергонасичення деформуємих об'єктів в результаті підвищення їх щільності дислокації або інших недосконалостей кристалічної будови.

Енергетична концепція базується на умови Гріффітса, згідно з яким існуюча мікротріщина буде інтенсивно розповсюджуватися, якщо швидкість звільнення енергії пружною деформацією перевищить приріст поверхневої енергії тріщини в одиницю часу. Для деформуємої плоскої пластини ця умова виражається в наступній залежності:

$$\frac{\sigma \pi l^2}{E} \geq 4l(W_H + W_n), \quad (5)$$

де σ -напруження на пластині; E -модуль пружності; $2l$ -довжина тріщини, що йде під прямим кутом до напрямку напруження σ ; W_H - енергія поверхневого натягу тріщини; W_n - робота пластичної деформації.

Критичне напруження, при якому починається інтенсивний розвиток тріщини з наступним руйнуванням поверхні:

$$|\sigma| > 2 \sqrt{\frac{E(W_H + W_n)}{\pi l}}. \quad (6)$$

Мінімальне нормальне напруження, при якому виникає граничне прослизання зерен і утворення субмікротріщини:

$$\sigma_{min} = \sqrt{\frac{12WG}{\pi d}} \quad (7)$$

де W - поверхнева енергія пластичної деформації, пов'язана з виникненням тріщини в сусідньому зерні; d - середній діаметр зерна; G - модуль пружності другого роду.

Зв'язок енергоємності матеріалу зі структурно-міцністними властивостями вивчав В.С.Попов. Використовуючи дислокаційно-енергетичний аналіз чинників зношування, він робив спробу розрахувати критичну енергоємність матеріалу при абразивному зношуванні. По В.С. Попову процес зношування представляється в такий спосіб: зношування підкоряється закону збереження енергії. Відповідно до першого закону термодинаміки його можна показати співвідношенням:

$$A=Q + \Delta E, \quad (8)$$

де ΔE - зміна внутрішньої енергії матеріалу; Q - тепловий ефект при зношуванні; A - робота тертя, еквівалентна витраченій механічній енергії.

Зміна внутрішньої енергії зношуємого матеріалу дорівнює величині енергії нових поверхонь, що утворюються при руйнуванні, і енергії акумульованої в металі при взаємодії поверхонь у вигляді прихованої енергії деформації.

Енергетичний баланс процесу зношування по В.С.Попову показаний на рис.1.

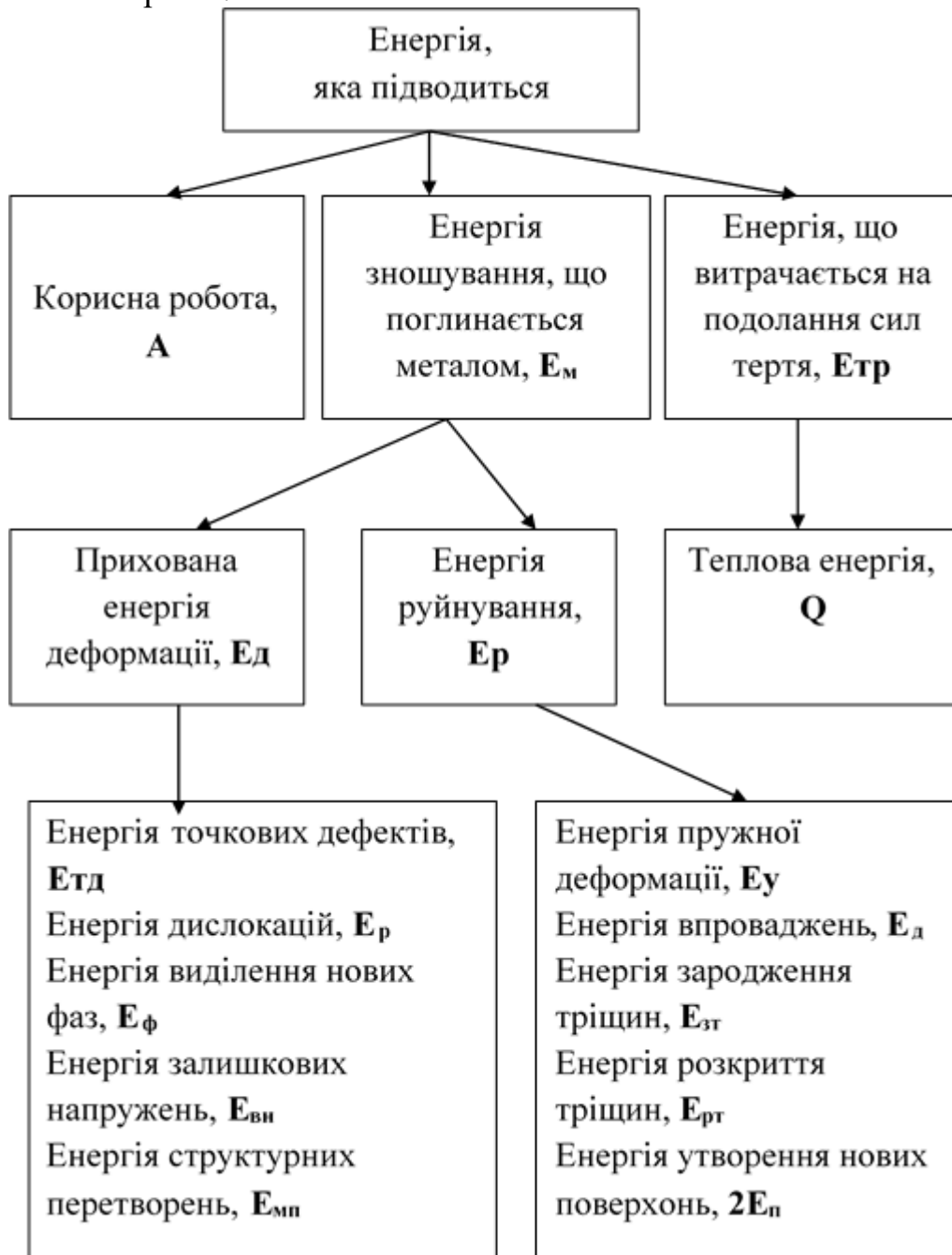


Рис.1. Схема енергетичного балансу процесу зношування по В.С.Попову

В процесі зношування акумулювання енергії пружної деформації граничної величини призводить до порушення суцільності, тобто відділенню однієї частини кристалічної решітки від іншої. При цьому відбувається розрив міжатомарних зв'язків і утворення нових поверхонь. Ці явища вимагають для свого здійснення певних витрат енергії і можуть відбуватися тільки в тому випадку, якщо метал має необхідний їй запас. Запас енергії збільшується за рахунок її передачі контртілами від зовнішнього джерела енергії.

Характеристика зносостійкості матеріалів, що є функцією процесів деформації і руйнування, може базуватися на аналізі середньої величини енергії, яка поглинається в процесі тертя. Величина цієї енергії залежить від зовнішніх факторів і вихідного стану металу. У загальному вигляді при терті робота витрачається на руйнування E і збільшення запасу енергії в поверхневому шарі металу у вигляді

скритої енергії деформації E , перетворюючись у тепло і розсіюється в навколишнє середовище,

$$E_{тр} = E_p + E_{сд} + q, \quad (9)$$

де $E_{тр}$ - енергія тертя.

Енергія, що витрачається на руйнування, складається з енергії, необхідної на пружну деформацію E_y , енергії зближення поверхонь $E_в$, зародження тріщин $E_{зт}$ і енергії, відповідної роботі прикладеної напруги при розкритті тріщини $E_{рм}$ і ефективної енергії утворення нових поверхонь $2 E_n$:

$$E_p = E_y + E_в + E_{зт} + E_{рм} + 2 E_n. \quad (10)$$

В процесі відносного переміщення поверхонь метал деформується і утворює мікротріщини, які, розвиваючись, призводять до руйнування поверхонь мікрооб'ємів. У поверхневих ділянках, розміри яких залежать від складу і структури сплаву, відбуваються незворотні процеси зміни його вихідного стану, що включають приріст щільності дислокацій, утворення мартенситу деформації, зміна параметрів кристалічної решітки аустеніту і ступеня тетрогональності мартенситу, виділення дисперсних фаз, утворення залишкових напружень. Робота, витрачена на здійснення зазначених змін, призводить до збільшення запасу внутрішньої енергії поверхневих шарів металу.

Прихована енергія деформації є енергія, яка зосереджена в дислокаціях E_p , точкових дефектах $E_{тд}$, що утворилися в процесі тертя і залишкових напружень $E_{вн}$, а також енергія структурних перетворень $E_{мн}$ і виділення нових фаз E_f :

$$E_{сд} = E_p + E_{тд} + E_{вн} + E_{мн} + E_f \quad (11)$$

З підвищенням ступеня деформації кількість енергії, що акумулюється в металі, збільшується і може коливатися в широких межах від декількох до сотень джоулів на 1 моль.

Список літератури.

1. Махкамов К.Х. Расчет износостойкости машин. Учебное пособие. Ташкент: ТашГТУ, 2002. 144 с.
2. Журавель Д.П. Моделювання процесів зміни кількісних і якісних показників моторних масел при їх використанні. *Праці ТДАТА*. Вип.2, т.14. Мелітополь, 2000. С. 37-40.

3. Журавель Д.П. Эффективность использования восстановленных моторных масел в тракторных двигателях. *Труды ТГАТА*. Вып.1, т.18. Мелитополь, 2001. С. 24-28.
4. Журавель Д.П. Исследование смазочной способности масел в сопряжениях автотракторных двигателей. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып. 2, т.1. Мелитополь, 1997. С. 46-48.
5. Журавель Д.П. Моделирование триботехнических процессов в сопряжениях автотракторных двигателей. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып. 1, т.6. Мелитополь, 1998. С. 38-43.
6. Журавель Д.П. Метод оценки состояния триботехнических свойств моторных масел. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып.1, т.13. Мелитополь, 1999. С. 65-67.
7. Журавель Д. П. Методологія підвищення надійності сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Тавр. держ. агротехнол. ун-т. Мелітополь, 2018. 44 с.
8. Журавель Д. П. Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон, 2017. Вип. 5. С.56-65.
9. Журавель Д. П. Оцінка зносу трибоспрямижень в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12. т.2. С. 28-33.
10. Журавель Д. П., Юдовинський В.Б. Моделювання хімотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 30-38.