

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.

В.Ю. Лоев, к.т.н., доц.

Є.В. Салогуб, пров. інж.

Житомирський державний технологічний університет

### РІВЕНЬ ЕНЕРГІЇ ДИСЛОКАЦІЙ У ЗАГАЛЬНІЙ ЕНЕРГІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛІ ПІСЛЯ ЇЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

*В статті проводиться розрахунок енергії дислокацій, що утворюються в поверхневому шарі деталі після її лезової обробки. Ця енергія є суттєвою складовою повної поверхневої енергії, яка визначає активність новоутвореної ювенільної поверхні.*

**Вступ.** Останнім часом в машинобудуванні активно розвиваються комбіновані й комплексні методи обробки, які спрямовані на підвищення продуктивності та покращення експлуатаційних характеристик поверхневого шару деталей. Фінішну обробку слід проводити з урахуванням значної енергетичної активності ювенільної поверхні, яка дає можливість впливати на фізико-хімічні параметри поверхневого шару залежно від необхідних експлуатаційних характеристик виробу, свідомо формувати міцнісні й структурні характеристики та параметри [1, 2]. Відразу після лезової обробки ювенільна поверхня деталі максимально деформована і за рахунок цього володіє енергією деформації. Аналізуючи деформацію, руйнування та зміцнення металів можна вважати, що з різних дефектів утвореної структури основний вклад у приховану енергію деформації дають дислокації, густина яких на ювенільній поверхні є максимальною [3]. Це характерно в галузі високих температур, менших температури рекристалізації. Експериментально з'ясовано, що незалежно від виду деформації (розтяг, стиск, кручення) і швидкості нагрівання при температурі рекристалізації відбувається виділення енергії, яке обумовлене зникненням дислокацій, що утворюються в процесі деформації. Дякуючи цьому, ювенільна поверхня є найбільш активною, і такі процеси, як легування та пластичне деформування, проходять з максимальною ефективністю. Виходячи із сказаного вище, актуальною є задача розрахунку приросту поверхневої енергії, обумовленого надлишком дислокацій на поверхні після її лезової обробки.

**Викладення основного матеріалу.** Повна питома енергія гвинтової і крайової дислокації може бути розрахована за формулами [4–8]:

$$W_{\text{св.}} = \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{R}{r_0}, \quad (1)$$

$$W_{\text{кр.}} = \frac{G b^2}{4\pi (1 - \nu)} \ln \frac{R}{r_0}, \quad (2)$$

де  $G$  – модуль зсуву,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона,  $r_0$  – радіус ядра дислокації,  $R$  – відстань від осі дислокації, на яку розповсюджується поле напружень дислокації,  $b$  – вектор Бюргерса.

При такому підході не враховується енергія ядра дислокації, яка становить 5–10 % від енергії, обчисленої за формулами (1, 2) [4]. Крім того, відстань  $R$  від осі дислокації, на яку розповсюджується поле напружень для сталі, може мати значення від  $R_{\text{min}} = 10^{-7}$  м до  $R_{\text{max}} = 10^{-2}$  м [5].

Як правило вектор Бюргерса  $b$  співпадає або кратний постійній кристалічної ґратки  $a$  [6]. Для розрахунку сумарної енергії дислокацій, незалежно від їх кількості, використовують одне значення вектора Бюргерса  $b$  [4]. Тому доцільно прийняти  $b = a$  (для сталі  $b \approx 3 \cdot 10^{-10}$  м) [4, 5, 8–11]. Згідно з [5]  $r_0$  можна вважати також сталим і приблизно рівним  $5 \cdot 10^{-10}$  м.

Враховавши це, запишемо вираз для розрахунку граничних значень питомих енергій гвинтової та крайової дислокації:

$$W_{\text{св. min}} = 1,05 \left( \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{R_{\text{min}}}{r_0} \right), \quad (3)$$

$$W_{sv,max} = 1,1 \left( \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{R_{max}}{r_0} \right), \quad (4)$$

$$W_{kp,min} = 1,05 \left( \frac{G b^2}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{R_{min}}{r_0} \right), \quad (5)$$

$$W_{kp,max} = 1,1 \left( \frac{G b^2}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{R_{max}}{r_0} \right). \quad (6)$$

Між граничними випадками крайової та гвинтової дислокацій можливі будь-які проміжні дислокації. В загальному випадку лінія дислокації може бути довільною просторовою кривою, вздовж якої вектор Бюргерса залишається постійним і рівним вектору трансляції ґратки, хоча її орієнтація може змінюватись [8]. Виходячи з цього, доцільно розрахувати середнє значення питомої енергії змішаної дислокації:

$$W_{zm,ser} = 0,25(W_{sv,min} + W_{sv,max} + W_{kp,min} + W_{kp,max}). \quad (7)$$

Врахувавши (3-6), одержимо:

$$W_{zm,ser} = \frac{G b^2}{16\pi} \left( \frac{2-\nu}{1-\nu} \right) \left( 1,1 \ln \frac{R_{max}}{r_0} + 1,05 \ln \frac{R_{min}}{r_0} \right). \quad (8)$$

Щоб визначити приріст питомої поверхневої енергії, пов'язаний з надлишком дислокацій, що виникають в поверхневому шарі деталі після її лезової обробки, необхідно питому енергію змішаної дислокації (8) помножити на сумарну довжину дислокацій, розташованих на одиничній поверхні  $N_m$ :

$$E_{дисл.} = W_{zm,ser} \cdot N_{пл.} \quad (9)$$

Знаючи, що густина дислокацій  $N$  визначається як сумарна довжина дислокацій в одиниці об'єму, знайдемо їх густину на поверхні деталі площею в  $1 \text{ м}^2$  [10].

$$N_{пл.} = N^{2/3}. \quad (10)$$

Підставивши (8, 10) в (9), одержимо вираз для розрахунку питомої енергії дислокацій на поверхні:

$$E_{дисл.} = \frac{G b^2 N^{2/3}}{16\pi} \left( \frac{2-\nu}{1-\nu} \right) \left( 1,1 \ln \frac{R_{max}}{r_0} + 1,05 \ln \frac{R_{min}}{r_0} \right). \quad (11)$$

Розрахуємо сумарну питому енергію поверхневих дислокацій для випадку ювенільної поверхні, утвореної в результаті лезової обробки. Густина дислокацій на поверхні в цьому випадку є максимально можливою, тому що поверхневий шар металу в процесі обробки був максимально деформований. Таким чином, у вираз (11) підставимо значення  $N = 5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$  [3]. Результати розрахунків занесені до табл. 1.

Таблиця 1

Матеріал	Модуль зсуву $G$ , $\times 10^4$ МПа	Коефіцієнт Пуассона $\nu$	Питома енергія поверхневих дислокацій при їх максимальній густині $E_{дисл,max}$ , Дж/м <sup>2</sup>
Сталь 45	8	0,26	182,12
Сталь 40Х	8,1	0,28	187,34
Чавун СЧ32	4,5	0,25	101,66

В разі, коли метал не підлягав лезовій обробці, – значення  $N = 10^{12} \text{ м}^{-2}$ . Відтак дані щодо сумарної питомої енергії для цього випадку наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Матеріал	Питома енергія поверхневих дислокацій при їх звичайній густині $E_{\text{дисл.мін}}$ , Дж/м <sup>2</sup>
Сталь 45	0,62
Сталь 40X	0,64
Чавун СЧ32	0,35

Розрахуємо приріст поверхневої енергії, пов'язаний з надлишком дислокацій, які утворюються в поверхневому шарі деталі після її лезової обробки. Результати розрахунків занесено до табл. 3.

Таблиця 3

Матеріал	Приріст поверхневої енергії $\Delta E_{\text{дисл.}}$ , Дж/м <sup>2</sup>
Сталь 45	181,5
Сталь 40X	186,7
Чавун СЧ32	101,3

**Висновок.** Як видно з проведених розрахунків, приріст поверхневої питомої енергії, пов'язаний з надлишком дислокацій, що утворюються в поверхневому шарі деталі після її лезової обробки, значний. Але слід врахувати, що величина накопиченої енергії деформації різна на різних стадіях релаксаційних процесів. На кінцевій стадії частка накопиченої енергії складає лише 5 % від всієї енергії деформації [3]. Інші 95 % розсіюються у вигляді тепла. Це явище пов'язане з анігіляцією раніше утворених дислокацій. Саме в цей період поверхневий шар є найбільш активним. Автори здійснюють пошук шляхів ефективного використання цього явища при фінішній обробці комбінованим інструментом.

Наведений у статті розрахунок приросту поверхневої енергії є наступним кроком проведених розрахунків часів релаксації поверхневих короткотривалих релаксаційних процесів та характеристик дифузійних процесів, наведених в попередніх статтях.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельничук П.П., Лоєв В.Ю., Салогуб Є.В. Визначення можливостей зміцнення поверхневого шару деталей використанням активності поверхні при її механічній обробці // ВІСНИК ЖДТУ / Технічні науки. – 2006. – 4 (39). – С. 44–56.
2. Мельничук П.П., Лоєв В.Ю., Салогуб Є.В., Кур'ята П.В. Релаксаційні процеси і енергія поверхневого шару деталі після її лезової обробки інструментом з НТМ // Процеси механічної обробки в машинобудуванні ЖДТУ / Процеси обробки матеріалів. – 2007. – Вип. 5 (1). – С. 100–117.
3. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. – М.: Металлургия, 1974. – 230 с.
4. Дьяченко С.С., Рабухин В.Б. Физические основы прочности металлов. – Харьков: Выща школа, 1982. – 200 с.
5. Колбасников Н.Г. Теория обработки металлов давлением. Физические основы прочности и пластичности металлов. – С-Пб.: СПбГПУ, 2004. – 267 с.
6. Судзуки Т., Ёсинага Х., Такнуги С. Динамика дислокаций и пластичность. – М.: Мир, 1989. – 294 с.

7. Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.
8. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
9. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 643 с.
10. Зенгуил Э. Физика поверхности. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
11. Лейкин А.Е., Родин Б.И. Материаловедение. – М.: Высшая школа, 1971. – 414 с.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- комплексні та комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
- конструювання металообробних верстатів та інструментів.

САЛОГУБ Євген Вікторович – аспірант, асистент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- властивості поверхневого шару металевих конструкційних матеріалів.

Подано 25.01.2008