

В.Ю. Лоєв, к.т.н., доц.
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
Є.В. Салогуб, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНОСТІ ЮВЕНІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЮ КОНСТРУКЦІЄЮ ТОРЦЕВОГО ІНСТРУМЕНТА

У статті наведено розрахунок часу дислокаційної релаксації. Цей час разом з розрахованими раніше часами релаксації Снука та Зінера дає можливість більш достовірно оцінити час існування ювенільної поверхні, яка утворюється в момент видалення шару металу. Це, в свою чергу, робить можливим визначення взаємного розташування в торцевому комбінованому інструменті чистового, легуючого і вигладжуючого елементів, а також підібрати оптимальні режими комбінованої обробки плоских поверхонь деталей з гарантованими якісними показниками поверхневого шару.

Вступ. У попередніх роботах [1–4] нами було показано, що одним з прогресивних методів виготовлення деталей з гарантованими якісними показниками поверхневого шару є застосування комбінованого торцевого інструмента, особливістю якого є те, що по чергово, через дуже малі проміжки часу, сумірні з часом існування ювенільної поверхні, виконуються різання, поверхневе легування та поверхнево-пластичне деформування поверхні деталі. Така технологічна послідовність дає можливість найбільш ефективно використати надлишок поверхневої енергії, обумовлений значною концентрацією дислокацій в поверхневому шарі [3]. Це забезпечує більш якісне поверхневе легування та ППД. У роботах [2, 4] нами проведено розрахунок часів релаксації Снука та Зінера. Значення часу релаксації Снука при температурі різання 1000–1200 °С складає від $5,8 \cdot 10^{-8}$ до $8,6 \cdot 10^{-7}$ с. Час релаксації Зінера, розрахований за методом «ширини піка», за тих же умов змінюється в межах від $7,9 \cdot 10^{-10}$ до $4,9 \cdot 10^{-9}$ с [2].

З багатьох експериментальних досліджень відомо, що при контактній взаємодії чистих металевих поверхонь між ними виникають значні сили зв'язку (адгезії), які, на наш погляд, можливо використати для нанесення на оброблювану поверхню деякої кількості легуючого матеріалу, сприяючи зникненню тріщин, що утворилися в результаті лезового видалення шару металу. Цей спосіб обробки захищено патентом України на винахід № 84478 “Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами” [5].

У роботі [6] границі взаємодії металів приймаються плоскими і тому можливо виділяти тут області поділення металів. На малих відстанях $d \leq 2 \cdot 10^{-10}$ м головний внесок в енергію взаємодії пов'язаний з перекриттям «хвостів» електронної щільності металів.

На більших відстанях $d \geq (4 - 5) \cdot 10^{-10}$ м взаємодія носить ван-дер-ваальсівський характер.

У проміжній області здійснюється перехід від контактної взаємодії до дисперсійної.

Використовуючи метод функціоналу щільності (МФЩ), розроблений в роботах Хоенберга, Кона і Шема, вчені Ферранте і Сміт при аналізі залежності сумарної енергії взаємодіючих металів (E) від відстані d апроксимували електронну щільність поблизу поверхні лінійною суперпозицією розподілень $n_1(x)$ і $n_2(x)$ для кожного металу. Але при цьому вони нехтували релаксацією $n_i(x)$. Розподілення вибирались у вигляді:

$$n(x) = \bar{n} \left[1 - \frac{1}{2} \exp(\beta x) \theta(-x) + \frac{1}{2} \bar{n}(-\beta x) \theta(x) \right], \quad (1)$$

де \bar{n} – малі варіації щільності відносно середнього значення;

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \text{ – функція Хевісайда;}$$

β – варіаційний параметр.

У наведеній роботі проведено визначення енергії адгезійного зв'язку:

$$\bar{E}_a(d) = \frac{E(d) - E(\infty)}{2A}, \quad (2)$$

де A – площа контакту.

У загальному випадку прийнято представляти у вигляді:

$$\bar{E}_a(d_0) = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_{12}), \quad (3)$$

де σ_i – поверхнева енергія i -го металу;

σ_{12} – міжфазова напруга.

Вищезазначені часи релаксацій дуже малі, оскільки причинами даних релаксаційних процесів у поверхневому шарі є рух точкових дефектів і атомів проникнення. Оскільки властивості ювенільної поверхні металу в значній мірі визначаються поверхневими дислокаціями та їх динамікою [1, 9, 14], важливим є визначення часу дислокаційної релаксації.

Основна частина. Деякі властивості поверхневого шару можна пояснити надлишковою густиною поверхневих дислокацій та їх динамікою. Так, у роботі [3] нами розрахований надлишок енергії, обумовлений збільшенням густини дислокацій на поверхні внаслідок її лезової обробки. Властивості дислокацій, дислокаційних петель та їх динаміку зручно пояснити базуючись на „моделі струни”. „Модель струни” названа так за аналогією між закріпленою на обох кінцях дислокаційною лінією (петлею), яка знаходиться в постійному лінійному натязі, і натягнутою струною. Користуючись цією моделлю можна вивчати релаксаційні процеси в металах, обумовлені поверхневими дислокаціями.

Релаксаційним процесом (релаксацією) називають саморегулювання термодинамічної системи з плином часу до нового рівноважного стану у відповідь на зміну зовнішнього параметру [7, 8]. Механізм короткотривалих релаксаційних процесів в металах вивчений недостатньо, але дислокаційна природа деяких з них доведена [8]. Релаксаційні процеси, пов'язані з перебудовою та рухом дислокацій, називаються дислокаційними.

Шоеком [8] запропонована формула для розрахунку часу дислокаційної релаксації (для малих концентрацій домішок проникнення). Ця формула має вигляд:

$$\tau = \alpha k T C_{\text{дисл}} l^2 / (G b^3 D), \quad (4)$$

де α – константа порядку 1 [8];

b – абсолютна величина вектора Бюргерса;

G – модуль зсуву;

$C_{\text{дисл}}$ – концентрація на дислокаціях закріплюючих атомів проникнення;

D – коефіцієнт дифузії закріплюючих атомів проникнення;

l – середня довжина відрізка між нерухомими закріпленнями, такими як перетин дислокацій, домішкові атоми, вакансії, міжвузлові атоми [8, 10];

k – стала Больцмана ($\approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T – абсолютна температура.

Формулу (1) можна застосувати для знаходження часу дислокаційної релаксації для випадку конструкційних нелегованих сталей і чавунів (Сталь 40, Сталь 45, Чавун СЧ 32 та інші). При цьому атомами проникнення розглядаються атоми вуглецю, які здатні до дифузії в більш глибокі шари і концентрація яких мала.

Розглянемо найпростіший випадок дислокаційної петлі, обмеженої закріплюючими атомами проникнення на її кінцях. У цьому випадку $C_{\text{дисл}} = 2$ [7], а $l \approx 10^{-5}$ м [9]. Модуль зсуву $G = 8 \cdot 10^{10}$ Па (Сталь 40, Сталь 45) [3]. Як правило, величина вектора Бюргерса b співпадає або кратна сталій кристалічної ґратки a [3, 9]. Для розрахунку часу дислокаційної релаксації використовують одне значення вектора Бюргера b , тому доцільно прийняти $b \approx a$ (для сталі $b \approx 3 \cdot 10^{-10}$ м) [9–11]. Коефіцієнт дифузії D при температурі різання 1000–1200 °С лежатиме в межах від $3,36 \cdot 10^{-11}$ м²/с до $17,3 \cdot 10^{-11}$ м²/с (Сталь 40) [13].

Для розрахунку часу релаксації візьмемо значення D , яке відповідає температурі 1100 °С. Підставивши всі дані у формулу (1), отримаємо $\tau \approx 2,21 \cdot 10^{-2}$ с.

Як бачимо, час дислокаційної релаксації на декілька порядків більший за часи релаксацій Снука та Зінера за тих же умов. На нашу думку, це пов'язано з тим, що механізм реалізації дислокаційної релаксації значно складніший ніж у випадках релаксації Снука та Зінера, оскільки він пов'язаний з рухом дислокацій або дислокаційних утворень (сходинки, петлі), а не окремих атомів проникнення та точкових дефектів.

Величина часу дислокаційної релаксації робить можливим розрахунок взаємного розташування в торцевому комбінованому інструменті чистового, легуючого і вигладжуючого елементів та вибір режимів комбінованої обробки плоских поверхонь деталей. При проведенні таких розрахунків слід враховувати те, що час дислокаційної релаксації є лише одним із значень цілого спектра часів, знайдених для окремих релаксаційних піків. Крім того, як відмічається в монографії В.С. Постнікова [15], реальний час релаксації може відрізнятись в більшу сторону від розрахункового в десятки разів. До збільшення часу релаксації, як видно з формули (4), призводить і складна його залежність від температури релаксаційного процесу. Так, окрім прямої пропорційності τ до T , при зростанні температури значно зменшується модуль зсуву G , що також викликає зростання часу дислокаційної релаксації.

При обробці плоских поверхонь комбінованим інструментом надлишкова поверхнева енергія утвореної ювенільної поверхні буде використовуватись максимально ефективно для процесу легування, якщо легуючий елемент буде проходити вслід за чистовим з часовим інтервалом не більшим ніж

максимальний час релаксації. Серед розрахованих нами часів релаксації короткотривалих поверхневих релаксаційних процесів (релаксації Зінера, Снука та інших) максимальним є час дислокаційної релаксації.

Якщо на ювенільній поверхні одночасно відбувається декілька релаксаційних процесів, кожний з яких характеризується своїм особливим часом релаксації (τ_i), то внесок кожного з цих процесів буде складати певну долю повної релаксації. Сукупність всіх часів релаксації окремих релаксаційних процесів утворює релаксаційний спектр даного матеріалу.

Оптимізація конструктивних параметрів торцевого інструмента для забезпечення якісного проведення поверхневого легування, та ППД полягає, перш за все, у забезпеченні послідовності та своєчасності виконання різання, легування і вигладжування. У роботі [4] нами розрахований проміжок часу, протягом якого легуючий елемент потрапляє в те місце обробки, де до цього був чистовий різальний елемент. При цьому для розрахунку була використана схема, зображена на рисунку 1.

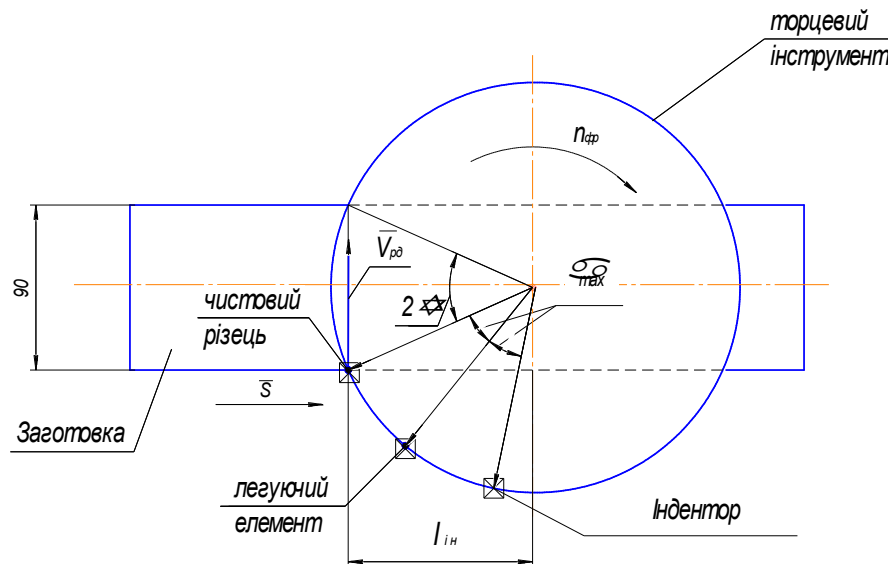


Рис. 1

Тут $l_{ін}$ – відстань від осі шпинделя торцевого інструмента до траєкторії руху чистового різця. Конструктивно $l_{ін} = 120$ мм.

В разі $V_{рd} = 10$ м/с, $n_{фр} = 800$ об/хв.

$$\psi = \text{artg} \frac{B}{2l_{ін}} = \text{artg} \frac{90}{2 \cdot 120}, \psi \approx 20,5^\circ.$$

Шукане значення інтервалу часу складає:

$$t = \frac{2\psi \cdot 60}{360n_{фр}} \approx 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Розрахований час характеризує виключно період видалення шару металу при ширині оброблюваної поверхні 90 мм і при 800 об/хв. комбінованого інструмента за один оберт. Від початку врізання чистового різця до вступу в роботу (внесення легуючого матеріалу) легуючого елемента необхідно забезпечити проміжок часу менший сумарного часу релаксаційних процесів, що відбуваються в утворюваній ювенільній поверхні. Цей час має становити не більше 75 % від часу релаксації.

Беручи до уваги час дислокаційної релаксації, цей час складатиме:

$$T = \tau \cdot 0,75 = 2,21 \cdot 10^{-2} \cdot 0,75 = 1,66 \cdot 10^{-2} \text{ с.}$$

За цей час кут повертання торцевого інструмента складатиме:

$$\alpha_{max} = \frac{360^\circ \cdot n}{60} \cdot T = 79,68^\circ \approx 80^\circ.$$

Висновок. Розраховані величини можуть бути покладені в основу визначення та розрахунку взаємного розташування в торцевому комбінованому інструменті чистового, легуючого і вигладжувального формоутворюючих елементів. Також з'являється можливість підібрати оптимальні режими комбінованої обробки, які б змогли забезпечити гарантовані якісні показники поверхневого шару оброблюваної деталі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельничук П.П., Лоев 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., Лоев 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. – 2007. – Вип. 5 (1) / Процеси обробки матеріалів. – С. 100–117.
3. Мельничук П.П., Лоев В.Ю., Салогуб Є.В. Рівень енергії дислокацій у загальній енергії поверхневого шару деталі після її лезової обробки // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – 1 (44). – С. 43–46.
4. Мельничук П.П., Лоев В.Ю., Салогуб Є.В. Особливості технології фінішної обробки поверхонь деталей комбінуванням різання, легування та поверхневого пластичного деформування (І частина) // Вісник ЖДТУ/ Технічні науки. – 2008. – 2 (45). – С. 12–19.
5. Пат. на винахід № 84478 України. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами / Мельничук П.П., Лоев В.Ю., Салогуб Є.В.; заявник і власник патенту Житомирський державний технологічний університет. – № а 2007 00041; заяв. 02.01.07, опубл. 27.10.08, бюл. № 20.
6. Партенский М.Б. Самосогласованная электронная теория металлической поверхности // Успехи физических наук. – 1979. – Т. 128. – Вып. 1. – С. 69–106.
7. Релаксационные явления в твердых телах. Труды IV всесоюзной научной конференции. Под ред. В.С. Постникова. – М.: Металлургия, 1968.
8. Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. Пер. с англ.: Под ред. Э.М. Нагорного, Я.М. Соифера. – М., Атомиздат, 1975. – 472 с.
9. Судзуки Т., Ёсинага Х., Такнуги С. Динамика дислокаций и пластичность. – М.: Мир, 1989. – 294 с.
10. Дьяченко С.С., Рабухин В.Б. Физические основы прочности металлов. – Харьков: Вища школа, 1982. – 200 с.
11. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
12. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 643 с.
13. Кристалл М.А. Диффузионные процессы в железных сплавах. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 278 с.
14. Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела. – Луганск, ВУГУ, 2000. – 624 с.
15. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. – М.: Металлургия, 1974. – 350 с.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор 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.

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

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

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 10.09.2009

Мельничук П.П., Лоев В.Ю., Салогуб Є.В. Визначення можливості використання активності ювенільної поверхні для поверхневого легування розробленою конструкцією торцевого інструмента

Мельничук П.П., Лоев В.Е., Салогуб Е.В. Определение возможности использования активности ювенильной поверхности для поверхностного легитирования разработанной конструкцией торцевого инструмента

Melnichuk P.P., Love V.E., Salogub E.V. Determination of possibility of the use of activity of juvenile surface for superficial alloying by the developed construction of butt-end instrument

УДК 629.3.027+621.795

Определение возможности использования активности ювенильной поверхности для поверхностного легитирования разработанной конструкцией торцевого инструмента / П.П. Мельничук, В.Е. Лоев, Е.В. Салогуб

В статье приведен расчет времени дислокационной релаксации. Это время вместе с рассчитанным ранее временем релаксации Снука и Зинера позволяет более достоверно оценить время существования ювенильной поверхности, которая создается в момент удаления слоя металла. Это в свою очередь делает возможным определение взаимного расположения в торцевом комбинированном инструменте чистового, легитирующего и выглаживающего элемента, а также подобрать оптимальные режимы комбинированной обработки плоских поверхностей деталей с гарантированными качественными показателями поверхностного слоя.

УДК 629.3.027+621.795

Determination of possibility of the use of activity of juvenile surface for superficial alloying by the developed construction of butt-end instrument / P.P. Melnichuk, V.E. Love, E.V. Salogub

Timing dislocation relaxation is resulted in the article. This time together with expected before by times relaxation of Snuka and Zinera is given by possibility more for certain to estimate time of existence of juvenile surface which appears in the moment of delete of layer of metal. It, in same queue, does possible determination of mutual location in the butt-end combined instrument of clean, alloying and pressing elements, and also to pick up the optimum modes of the combined treatment of flat surfaces of details with the assured high-quality indexes of superficial layer.