

В.Ю. Лоєв, к.т.н., проф.
Є.В. Салогуб, асист.

Житомирський державний технологічний університет

КОМБІНОВАНА ФІНІШНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ З ПОВЕРХНЕВИМ ЛЕГУВАННЯМ СПОСОБОМ МЕТАЛОПЕРЕНОСУ

В статті розглянуто результати попередніх експериментальних досліджень розробленого та захищеного патентом України на винахід нового способу фінішної обробки поверхонь деталей машин і механізмів, що об'єднує чистову лезову обробку, поверхнєве легування з наступним поверхнєвим пластичним деформуванням.

Вступ. Теоретичне обґрунтування можливості проведення послідовної з коротким проміжком часу лезової обробки, поверхнєвого легування та пластичного деформування з використанням властивостей ювенільної поверхні наведено в роботах [1–6]. Сприяють процесу унікальні властивості поверхні за час існування її ювенільності.

Викладення основного матеріалу. Звичайно поверхнєву енергію твердого тіла визначають за рівнянням [8]:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{ii} + \sigma_{ei}, \quad (1)$$

де $\sigma_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \{\omega[n(z)] - \omega[n_0\theta(-z)]\} dz$ – вклад від електронної системи у рамках моделі «желе», коли заряд позитивних іонів у металі рахується рівномірно «розмащеним» по всьому об'єму; σ_{ii} – виникає від електромагнітної взаємодії іонів між собою; σ_{ei} – пов'язане з різницею у електростатичній взаємодії іонів з дискретними іонами і з однорідним фоном «желе».

Для визначення σ_{ii} пропонується використовувати залежність:

$$\sigma_{ii} = \frac{\sqrt{3} \cdot z^2}{c^3} \exp\left(\frac{-4\pi d}{\sqrt{3}c}\right), \quad (2)$$

де z – валентність іонів; c – відстань між найближчими сусідами у площині, що паралельна поверхні твердого тіла; d – міжплощинна відстань.

Необхідно зазначити, що при оцінці явищ у поверхнях металів особливо ефективно застосовується метод функціонала електронної щільності. В роботі [7], як стверджують її автори, вперше для розрахунку впливу електронно-іонної взаємодії на величину поверхнєвої енергії металів був використаний узагальнений псевдопотенціал Хейне–Абаренкова, а також проведений порівняльний аналіз із застосуванням інших моделей, а саме псевдопотенціал Ашкрофта. Розподілення електронної щільності $n(z)$ знаходиться як функція, що забезпечує мінімум функціонала повної енергії неоднорідної системи.

Згідно з методикою, наведеною в роботі [8]:

$$\sigma_{ei} = \int_{-\infty}^{\infty} \{[n(z) - n_0\theta(-z)]\} \delta V(z) dz, \quad (3)$$

де $\delta V(z)$ – середнє по площинам від суми іонних псевдопотенціалів за виключенням потенціалу напівнескінченного однорідного фону заряду. При $-d < z < 0$ величина $\delta V(z)$ дорівнює:

$$\delta V(z) = 2\pi n_0 \left\{ \left(d(R_m - |z + d/2|) - \frac{V_0 d}{2} [R_m^2 - (z + d/2)^2] \right) \theta(R_m - |z + d/2|) - \left[-[z + d\theta(-z - d/2)]^2 \right] \right\}. \quad (4)$$

Провівши додавання по іонним площинам з $z = -(i + d/2)$, $i = 1, 2, \dots$ та використавши періодичність потенціалу $\delta V(z - d) = \delta V(z)$ з рівняння (3), автори роботи [7] отримали:

$$\sigma_{ei} = \frac{2\pi n_0^2}{\beta^2} \left\{ 1 - \frac{\beta d \exp(-\beta d / 2)}{1 - \exp(-\beta d)} \operatorname{ch}(\beta R_m) \right\} + \frac{\pi n_0^2 d V_0}{2\beta} \cdot \frac{\exp(-\beta d / 2)}{1 - \exp(-\beta d)} \left\{ (d^2 / 4 - R_m^2) \operatorname{sh}(\beta R_m) + \frac{2R_m}{\beta} \operatorname{ch}(\beta R_m) \right\} \quad (5)$$

Відповідно до наближення локальної щільності, об'ємна енергія металів виражалась через параметр щільності r_s :

$$E = z \left(\frac{1,105}{r_s^2} - \frac{0,458}{r_s} - \frac{0,056}{1 + 0,127r_s} + \frac{1,5R_m^2}{r_s^3} - \frac{0,9z_{2/3}}{r_s} - V_0 \frac{R_m^3}{r_s^2} \right) \quad (6)$$

У роботі [7] проведена мінімізація цього співвідношення за r_s і отримано співвідношення між V_0 і R_m :

$$V_0 = \frac{r_s^2}{R_m^3} \left(\frac{2,21}{r_s} - 0,9z_{2/3} + 4,5 \frac{R_m^2}{r_s^2} - 0,458 - \frac{0,00711r_s^2}{(1 + 0,127r_s)^2} \right),$$

а також наведено вихідні дані для проведення розрахунків поверхневої енергії у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані необхідні для проведення розрахунків поверхневої енергії

Метал	z	n_0 , ат. од	d, ат. од.	c, ат. од.	r_c , ат. од.	σ_{Au} , ерг/см ²	R_m , ат. од.	V_0 , ат. од.	$\sigma_{екс}$, ерг/см ²
Na (ОЦК)	1	0,0038	5,71	6,99	1,736	265	1,800	0,529	280
Pb (ГЦК)	4	0,0194	5,38	6,59	1,457	1064	1,355	0,172	560
Al (ГЦК)	3	0,0249	4,92	5,25	0,960	1269	1,150	0,100	1140
Cu (ГЦК)	2	0,0252	3,92	4,80	0,923	898	1,350	0,588	1750
Fe (ОЦК)	4	0,0504	4,84	4,70	0,945	631	1,090	0,343	1910
Cr (ОЦК)	4	0,0492	3,85	4,72	0,956	649	1,120	0,364	2060
Mo (ОЦК)	6	0,0570	4,21	5,16	1,094	887	1,270	0,227	2200

Значення параметрів для розрахунків поверхневої енергії такі: z – валентність іонів; n_0 – об'ємна і електронна щільність; d – міжплощинна відстань; c – відстань між найближчими сусідами в площині, що паралельна поверхні; r_c – параметр утворення псевдопотенціалу Ашкрофта; R_m і V_0 – параметри псевдопотенціалу Хейне–Абаренкова; σ_{Au} – поверхнева енергія, що розрахована в моделі Ашкрофта (наближення VS); $\sigma_{екс}$ – експериментальне значення поверхневої енергії.

В роботі [3] доведено, що енергія ювенільної поверхні у певному температурному стані значно вища і задовольняє вимозі експоненціального затухання та прагне до об'ємного значення електронної щільності всередині металу. Розроблений спосіб обробки передбачає можливість використання в цей короткий проміжок часу адгезійні властивості щойно обробленої лезовим інструментом поверхні.

З метою перевірки можливостей поверхневого легування у комбінації з чистою лезовою обробкою і ППД був спроектований і виготовлений дослідний зразок пристрою для експериментальних досліджень розробленого способу при обробці колових поверхонь на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20.





Рис. 1. Пристрій для здійснення комбінованого способу обробки поверхонь деталей типу тіл обертання

Схематично послідовність проведення комбінованої обробки можливо показати на схемі (рис. 2).

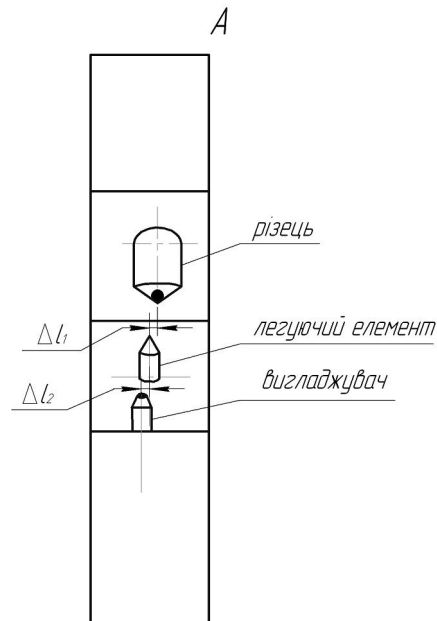


Рис. 2. Взаємне розташування формоутворюючих і леуючого елементів

Для проведення експериментів були застосовані такі інструменти і заготовки:

- ✓ різець з напайною пластинкою з надтвердого матеріалу Гексаніт-Р, $\gamma = -10^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$. Радіус при вершині $r = 2,5$ мм;
- ✓ підпружинені змінні леуючі елементи з радіусом при вершині $r = 1$ мм, сила притискання до оброблюваної поверхні ≈ 40 Н, матеріали: мідь МЗ, міднографіт М-1, латунь Л90;
- ✓ вигладжувач підпружинений із зусиллям притискання до оброблюваної поверхні 200 Н, матеріал АКТМ (алмазний композиційний термостійкий матеріал) [7];
- ✓ заготовки зі сталі 45, загартовані об'ємно до HRCe 52-55.

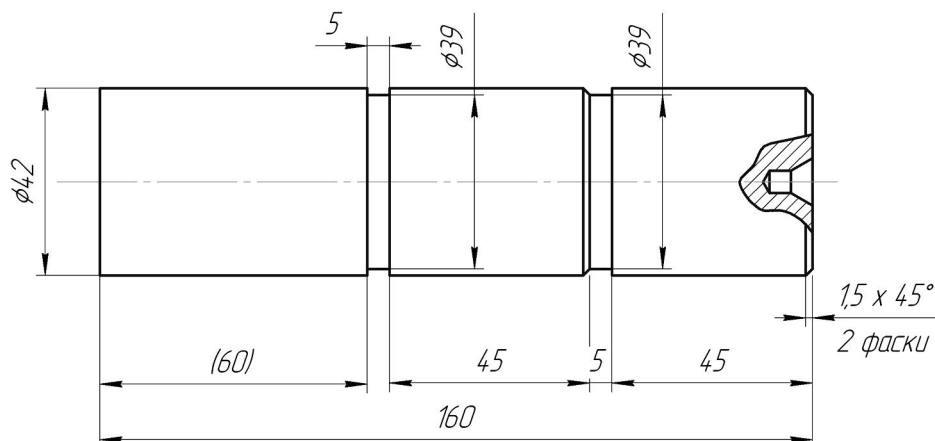


Рис. 3. Заготовка

Прийняті режими обробки: $N = 800$ об./хв., $S = 0,05$ мм/об., $t = 0,5$ мм.

Обробка проводилась в трикулачковому патроні з підтримкою заднім центром. Для мінімізації радіального биття оброблюваної поверхні і стабілізації глибини різання була проведена попередня обробка двох шийок заготовки після її закріплення.



Рис. 4. Експериментальна обробка

Дослідження глибини проникнення легуючих елементів і їх щільності в обробленій поверхні запропонованим авторами способом, проводилось в спеціалізованій лабораторії електронно-механічних досліджень ТОВ «Протон-21», м. Вишневе, Києво-Святошинського району, Київської області методом Оже-електронної спектроскопії з використанням сучасних методів і обладнання (Оже-мікроаналізатор JAMP-9500F фірми JEOL).

Лабораторія оснащена сучасним обладнанням і володіє аналітичними методами досліджень елементного й ізотопного складу поверхневих і приповерхневих шарів мішеней та накопичувальних екранів.

Метод Оже-електронної спектроскопії дозволяє отримувати інформацію про елементний і хімічний склад поверхні досліджуваного матеріалу з високою локальністю та інформаційною глибиною у декілька атомних моношарів. На рисунку 5 зображена глибина проникнення в поверхню міді легуючого елемента на перших оброблених зразках запропонованим способом.

Таблиця 2

Аналітичні методи та обладнання, що використовуються для дослідження елементного та ізотопного складу поверхневих та приповерхневих шарів мішеней та накопичувальних екранів

Метод	Прилад (виробник, країна)
Мікрорентгеноспектральний аналіз	SX50 (CAMECA, France)
	РЭММА102 (Selmi, Україна)
	BS340 (TESLA, Чехія)
	Superprobe 733 (JEOL, Japan)
Рентгенофлуоресцентний аналіз	Установка РФА (КНУ, Україна)
Оже-електронна спектроскопія	JAMP-10S (JEOL, Japan)
	JAMP-9500F (JEOL, Japan)
Мас-спектрометрія тліючого розряду	VG-9000 (VG Elemental, UK)

Мас-спектрометрія вторинних пост-іонізованих нейтральних частинок	INA-3 (Leybold, Germany)
Вторинна іонна мас-спектрометрія	IMS-4f (CAMECA, France)
Термоіонізаційна мас-спектрометрія	Finnigan MAT-262 (ThermoFinnigan, Germany)
Лазерна мас-спектрометрія	Лазерний мас-спектрометр (КНУ, Україна)
Зворотнє Резерфордове розсіювання	Циклотронний прискорювач іонів U-120 (НП ЄФА ім. Єфремова, Росія), електростатичний прискорювач EGP-10T «ТАНДЕМ» (ІЯД НАН України)

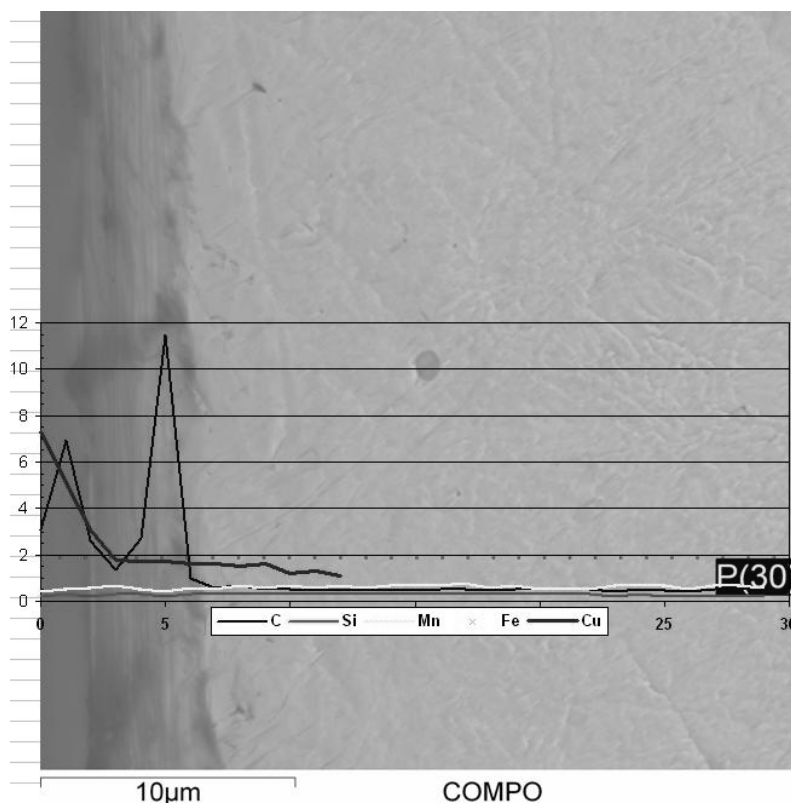


Рис. 5. Глибина проникнення міді в зразках зі сталі 45

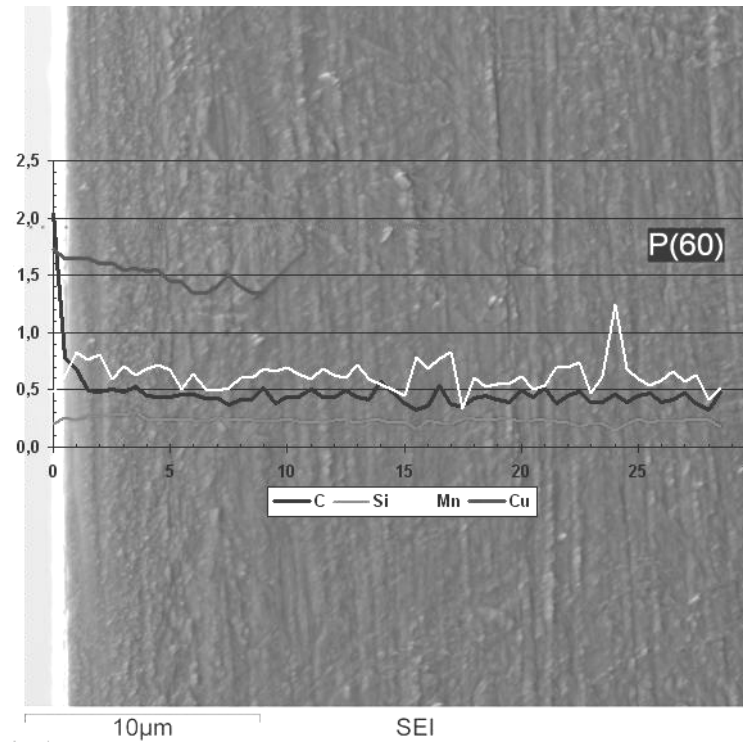


Рис. 6. Глибина проникнення міднографіту в зразках зі сталі 45

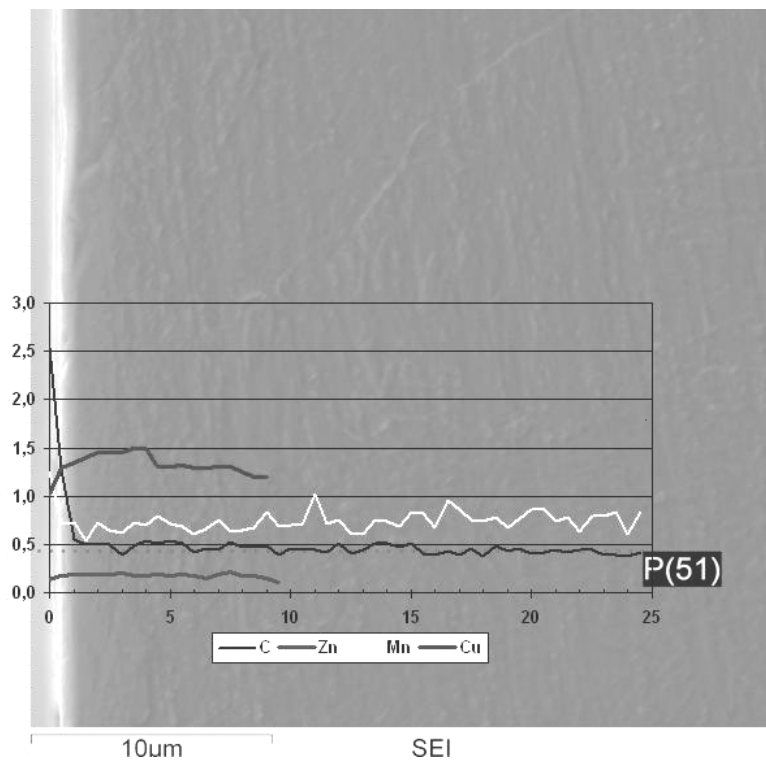


Рис. 7. Глибина проникнення латуні в зразках зі сталі 45

Як видно з наведених графіків, проникнення легуючих елементів у поверхневий шар матеріалу (сталі 45, HRCe 52-55) склало: міді – 12 мкм; міднографіту – 9 мкм; латуні – 9 мкм.

Згідно з рекомендаціями П.І. Ящери, цина наявність легуючих елементів у поверхневому шарі товщиною біля 10 мкм в кількості 1 % підвищує зносостійкість пар тертя в 2–3 рази.

Висновки. Зроблені перші кроки до впровадження розробленого і теоретично обґрунтованого комбінованого способу обробки з послідовним виконанням лезового видалення шару металу, внесення легуючого матеріалу з наступним поверхневим пластичним деформуванням.

Подальшими етапами запланованих експериментів передбачається визначення впливів режимів обробки на глибину проникнення легуючих елементів, а також розширення номенклатури їх застосування з врахуванням залежностей від умов експлуатації деталей, оброблених запропонованим способом.

Список використаної літератури:

1. Мельничук П.П. Визначення можливостей зміцнення поверхневого шару деталей використанням активності поверхні при її механічній обробці / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2006. – № 4 (39). – С. 44–56.
2. Релаксаційні процеси і енергія поверхневого шару деталі після її лезової обробки інструментом з НТМ / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб, П.В. Кур'ята // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. 5 (1). – С. 100–117.
3. Мельничук П.П. Рівень енергії дислокацій у загальній енергії поверхневого шару деталі після її лезової обробки / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – № 1 (44). – С. 43–46.
4. Мельничук П.П. Особливості технології фінішної обробки поверхонь деталей комбінуванням різання, легування та поверхневого пластичного деформування. Ч. I / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – № 2 (45). – С. 12–19.
5. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами : пат. на винахід № 84478 України / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб ; заявник і власник патенту Житомирський державний технологічний університет. – № а 2007 00041 ; заяв. 02.01.07, опубл. 27.10.08, Бюл. № 20.
6. Мельничук П.П. Визначення можливості використання активності ювенільної поверхні для поверхневого легування розробленою конструкцією торцевого інструмента / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2009. – № 3 (50). – С. 51–55.
7. Лоев В.Ю. Удосконалення фінішної обробки плоских поверхонь деталей комбінуванням різання з поверхневим пластичним деформуванням : дис. ... канд. техн. наук : спеціальність 05.03.01.
8. Мамонова М.В. Расчет поверхностной энергии металлов в рамках модели обобщенного псевдопотенциала Хейне–Абаренкова / М.В. Мамонова, Р.В. Потерин, В.В. Прудников // Вестник Омского государственного университета. – 1996. – Вып. 1. – С. 41–43.

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.

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

Наукові інтереси:

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

Стаття надійшла до редакції 23.05.2012