

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЛЬЄФАМИ ПОВЕРХНІ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pek1943@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Н.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Рыбак І.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ilya.003@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2071-5754

INCREASING THE OPERATING PROPERTIES OF THE MACHINE PARTS BY THE SURFACE RELIEFS

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, pek1943@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Posviatenko N.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Rybak I.P., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ilya.003@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2071-5754

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЛЬЕФАМИ ПОВЕРХНОСТИ

Посвятенко Э.К., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, pek1943@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Н.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Рыбак И.П., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, ilya.003@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2071-5754

Постановка проблеми.

До сучасної техніки ставляться досить жорсткі вимоги, які визначаються властивостями матеріалів та оптимальними технологіями [1, 2]. З численних публікацій останнього часу, присвячених інженерії поверхні деталей машин, відомо, що надійність та експлуатаційні властивості останніх на 80% залежать від стану поверхні та поверхневого шару [3, 4 та ін.]. За нашими попередніми дослідженнями, важливу роль у підвищенні цих показників техніки відіграють спеціально створені регулярні рельєфи деталей [5, 6].

Проблемі функцій рельєфів та технологій отримання останніх присвячено ряд робіт Подураєва В.М., Шнейдера Ю.Г., Киричка П.О., Нахайчука О.В. та ін. науковців [7 – 11]. Проте ці дослідження слід вважати фрагментарними, оскільки вони стосуються, головним чином, поділу припуску перед обробкою різанням [7], або виготовлення трубчастих деталей з нанесенням рельєфу на поверхню отвору [10, 11]. Експлуатаційні властивості деталей машин частково розглянуті у роботах [8, 9], однак, ці праці не є системними стосовно проблеми рельєфів.

Виходячи із сказаного, нами визначена мета та завдання першого етапу дослідження, які полягають у наступному.

Мета дослідження – розробити модель, план і методику експериментальних досліджень регулярних рельєфів та створити їх класифікацію за призначенням та способом отримання.

Завдання дослідження:

– визначити роль та ієрархію головних факторів, що впливають на характеристики регулярних рельєфів;

– розробити модель дослідження і план експериментів;

– вибрати обладнання та пристрої, створити і удосконалити основний та вимірювальний інструмент, визначити матеріал експериментальних зразків і технологію їх виготовлення та дослідження;

- створити класифікацію регулярних рельєфів поверхні за призначенням та технологією отримання;
- розробити оригінальний спосіб отримання рельєфу.

Моделювання та методика експериментальних досліджень.

Для того, щоб виконати перші два пункти завдання, тобто підготуватись до експериментального дослідження, слід визначити модель цього дослідження.

Модель – це об'єкт (процес, установка, матеріал тощо), що знаходиться у подібності до об'єкту, який моделюється.

Подібність – це однозначне співвідношення між двома об'єктами.

Натурне і фізичне моделювання будуються на теорії подібності, оскільки у обох випадках модель і оригінал подібні за фізичною природою.

У той же час математичне моделювання – використання моделей, які відрізняються за фізичною природою від об'єктів, що моделюються, але мають з останніми схожий математичний опис. Отже, математичні моделі належать до класу моделей прямої аналогії, у котрих кожній фізичній величині оригіналу відповідає у моделі величина іншого вигляду, що змінюється у просторі і часі подібним чином.

Нанесення рельєфів на поверхню деталі включає комплекс досліджень: технологічних процесів, вибору конструкції лінійного індентору, вимірального інструменту, приладів для дослідження канавок та простору біля канавки тощо.

Технологічні процеси, з позицій моделювання, включають сукупність різних термічних, механічних, фізико-хімічних та ін. перетворень, що призводить до отримання матеріалів, заготовок та деталей із заданими властивостями. Тому ці процеси є найбільш складними системами, які необхідно спростити, тобто застосувати системний підхід до дослідження. Цей підхід ґрунтується на декомпозиції системи на більш прості підсистеми, що взаємодіють між собою, роздільному вивченню їх структури і функцій, з наступним синтезом отриманих відомостей. При синтезі враховується виявлена ієрархія процесів за масштабами дії, просторова і часова послідовність, а також синергетичні ефекти, загальна дія яких змінює суму окремо взятих дій.

Системний підхід дозволяє аналізувати і моделювати технологічний процес, який подається у вигляді окремих блоків. Це суттєво спрощує описання складних явищ, не випускаючи просторово-часову структуру системи і характер зв'язку між окремими рівнями та підсистемами.

Отже, для моделювання дослідження, враховуючи сказане вище, нами була обрана математична модель прямої аналогії

Для побудови математичної моделі процесу нанесення рельєфів було обрано метод крутого сходження. Даний метод дозволяє отримувати статистичні математичні моделі процесів, використовуючи факторне планування, регресивний аналіз та рух уздовж градієнту.

При плануванні експерименту проводився вибір кількості та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з заданою точністю. При цьому вагомим є наступне:

- прагнення до мінімізації загальної кількості дослідів;
- одночасне варіювання всіма змінними, що визначають процес, за спеціальними правилами – алгоритмами;
- використання математичного апарату, який формалізує багато дій дослідника;
- вибір чіткої стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів.

Задачі пошуку оптимальних умов є одними з найбільш розповсюджених науково-технічних задач. Задачі, що сформульовані таким чином, називаються задачами оптимізації. Процес їх вирішення називається процесом оптимізації або просто оптимізацією.

Для опису об'єкта дослідження зручно користуватися уявленням про кібернетичну систему. Таку кібернетичну систему називають «чорним ящиком» (рис. 1). Стрілки праворуч показують числові характеристики мети дослідження і позначаються буквою y та називаються параметрами оптимізації [12]. За параметр оптимізації прийнято глибину канавки h .

Для проведення дослідження необхідно мати можливість впливати на поведінку «чорного ящика». Всі способи такого впливу позначаються буквою x та називаються факторами. У нашому випадку – це сила індентування P (нормальна сила), розмірність кН; твердість за Віккерсом та мікротвердість матеріалу зразка (відповідно HV та H_{μ} , розмірність МПа); та відносне видовження останнього δ (%). Це ієрархія факторів процесу. Інші фактори, за теорією умовиводу, є набагато менш значимими, тому не беруться до уваги.

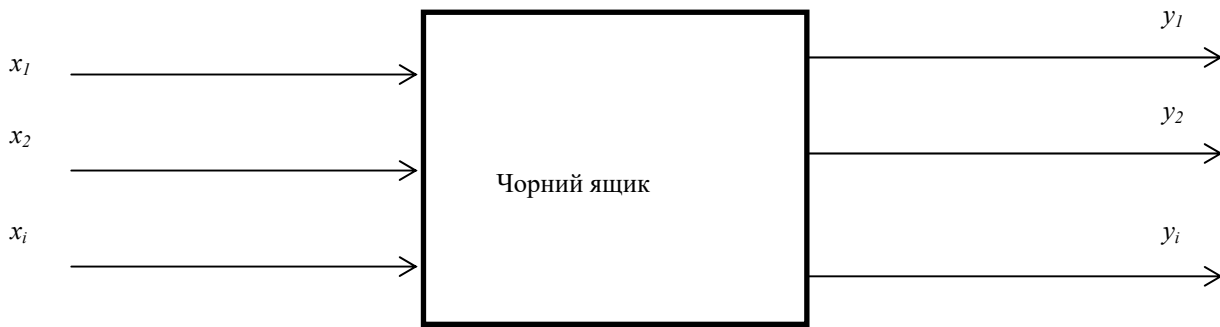


Рисунок 1 – Схема опису об'єкту дослідження
Figure 1 – Schematic description of the object of study

Під математичною моделлю мається на увазі рівняння, що пов'язує параметр оптимізації з факторами. Це рівняння в загальному вигляді можна записати так:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_i) \quad (1)$$

Така функція називається функцією відгуку. Кожний фактор може приймати у досліді одне з кількох значень, які називаються рівнями.

До об'єкту дослідження висувалися наступні вимоги:

- результати досліді мають бути повторюваними, тобто, при неодноразовому проведенні досліді в різний час, результати мають бути схожими та вписуватися в межі заздалегідь заданої похибки;

- об'єкт має бути керованим, тобто, можна вибирати різні рівні факторів.

До параметра оптимізації висувують кілька вимог. Параметр повинен бути кількісним, тобто виражатися у числовому вигляді, має бути вимірюваним за будь-якої комбінації вибраних рівнів факторів. Множина значень, які може отримувати параметр оптимізації, називається областю визначення.

Наступна вимога: параметр оптимізації повинен виражатися одним числом. Ще однією з вимог є універсальність або повнота параметра оптимізації, тобто його здатність характеризувати об'єкт з різних сторін.

До факторів математичної моделі висувують наступні вимоги: кожен фактор має область визначення – це сукупність всіх значень, які може приймати фактор. Модель має бути безперервною та дискретною.

Фактори мають бути поєднувальні, що означає, що всі їх комбінації є можливими та безпечними.

Важливим також є незалежність факторів, тобто можливість визначення фактору на будь-якому рівні, незалежно від інших факторів. Звідси випливає така вимога – відсутність кореляції між факторами. Залежність між факторами має бути нелінійна.

Для факторів існує область визначення. Це означає, що у кожного фактора є мінімально та максимально можливі значення, між якими він може змінюватися або безперервно, або дискретно.

При плануванні повного факторного експерименту слід вибрати нульовий рівень, тобто багатовимірну точку у факторному просторі. Це здійснюється на основі аналізу апріорної інформації. Побудова плану експерименту проводиться шляхом вибору експериментальних точок, що симетричні відносно нульового рівня.

При виборі інтервалів варіювання, визначалося деяке число, додавання та віднімання якого дає відповідно верхній та нижній рівні фактора. Для спрощення записів умов експерименту та обробки експериментальних даних масштаби на осях було обрано так, щоб верхній рівень відповідав +1, нижній –1, а основний – 0.

Точність фіксування факторів визначалася точністю пристроїв та стабільністю рівня в ході досліді. Точність умовно можна розділити на три рівні:

- високий – похибка не більше 1%;
- середній – похибка не більше 5%;
- низький – похибка більше 10%.

При високій точності фіксування факторів та нелінійній кривизні поверхні відгуку, обирається вузький інтервал варіювання.

Експеримент, в якому реалізуються всі можливі поєднання рівнів факторів, називається повним факторним експериментом.

Властивості повного факторного експерименту типу 2^k :

– симетричність відносно центру експерименту – це алгебраїчна сума елементів вектор-стовпців кожного фактору рівна нулю;

– умова нормування – це сума квадратів елементів кожного стовпця, що рівна числу дослідів:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N; \quad (2)$$

– ортогональність матриці, виконується при умові, що сума добутоків будь-яких двох членів вектор-стовпця матриці рівна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}x_{ui} = 0, \quad (3)$$

де $j \neq u, j, u=0, 1, 2, \dots, k$.

У нашому випадку ми маємо нелінійну модель, в якій один фактор залежить від рівня, на якому знаходиться інший фактор. Розглянемо матрицю повного факторного експерименту типу 2^3 з нелінійною залежністю між факторами. В цьому випадку матриця матиме наступний вигляд (таблиця 1).

Таблиця 1 – Матриця повного факторного експерименту типу 2^3 з нелінійною залежністю між факторами

Table 2 – Matrix of a complete factor experiment of type 2^3 with nonlinear dependence between factors

№ спроби	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+	-	-	+	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	-	-	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	+	-	+	y_3
4	+	+	+	+	+	+	+	+	y_4
5	+	-	-	-	+	+	+	-	y_5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	-	+	-	y_7
8	+	+	+	-	+	-	-	-	y_8

Виходячи з даної матриці, запишемо рівняння математичної моделі:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (4)$$

Проведення повторних (або паралельних) дослідів не дає повністю однакових результатів, тому що завжди існує помилка досліду (помилка відтворюваності). Цю помилку потрібно оцінити при паралельних дослідах. Для цього дослід відтворюється за можливості в однакових умовах декілька разів, а потім, береться середнє арифметичне всіх результатів.

Відхилення результату будь-якого досліду від середнього арифметичного можливо представити як різницю $y_q - \bar{y}$, де y_q – результат окремого досліду. Наявність відхилень свідчить про змінність, варіаційність значень повторних дослідів. Для вимірювання цієї змінності використовувалась дисперсія. Дисперсією s^2 називається середнє значення квадрату відхилень величини від її середнього значення.

Для перевірки математичної моделі процесу нанесення регулярних рельєфів на адекватність було внесено значення параметрів оптимізації, отриманих при експериментальних дослідженнях зразків.

Використовувалися наступні рівні факторів: $x_1 = 0,02$ МН; $x_2 = 160$ НВ10; $x_3 = 5\%$.

У нашому випадку ми маємо нелінійну модель, в якій один фактор залежить від рівня, на якому знаходиться інший фактор. Використовувалася матриця повного факторного експерименту типу 2^3 з нелінійною залежністю між факторами.

Значення параметрів оптимізації визначається експериментально.

Нормальна сила P , тобто сила, що діяла на лінійний індентор у напрямку формування канавки рельєфу, створювалась на гідравлічних пресах: лабораторному ($P_{\max} = 0,02\text{МН}$) і випробувально-дослідницькому ($P_{\max} = 0,2\text{МН}$; рис. 2).



Рисунок 2 – Гідравлічний прес ПММ–200
Figure 2 – Hydraulic press PММ–200

Лінійні індентори, що слугували для отримання одиничних канавок рельєфів, були виготовлені із швидкорізальної сталі Р18 (63 HRC ; $\sigma_{\text{зг}} = 320\text{ кг/мм}^2$; ударна в'язкість $3,5\text{ Дж/м}^2$; теплостійкість $550\text{ }^\circ\text{C}$). Робоча поверхня інденторів шліфувалась і полірувалась до шорсткості $Ra \leq 0,02$. Подвійний кут при вершині становив: 60° ; 70° ; 80° ; 90° , радіус при вершині був рівним $\rho \leq 5\text{ мкм}$. Глибина канавок h мікро- і макрорельєфу знаходилась в межах $0,02 - 5\text{ мм}$.

Досліджувані зразки, на котрі наносились канавки рельєфу, виготовлялись із матеріалів, механічні властивості котрих подано у табл.2.

Таблиця 2 – Марка та механічні властивості матеріалів
Table 2 – Brand and mechanical properties of materials

Матеріал	Стан	Властивості				
		НВ/HV10 кг/мм ² /МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	δ , %	ψ , %
Сталь 38ХН3МА, крупногабаритні відповідальні деталі	гартування + середнє відпускання	260/2700	790	620	11	33
Сталь 12Х18Н10Т, корозійностійка аустенітна	гартування, $1050\text{ }^\circ\text{C}$	170/1950	510	200	40	55
Бронза ливарна олов'яниста ОЦС 5–5–5	лиття у кокіль	60/700	160	100	6	10
Латунь деформівна Л62, деталі, отримувані холодним пресуванням	відпал	56/600	330	110	49	–
Дуралюмін Д16 (2117), за ДСТУ 11069–01	природно зістарений плакований	27/300	520	380	11	15
Титановий сплав ВТ6 (6% Al; 4% V); деталі високої питомої міцності	лиття у кокіль у захисній атмосфері + відпал	270/2900	900	770	10	30
Чавун сірий феритно- перлітний СЧ20; блоки і гільзи ДВЗ; станини верстатів	виплавка шихти у вагранках та електропечач	230/2500	200	–	–	–
Чавун сірий феритний ковкий КЧ 33–8; фланці; карттери редукторів; важелі	графітизуючий відпал білих доєвтектичних чавунів	160/1750	320	–	8	–

Що стосується алюмінієвого сплаву Д16(2117), то канавки регулярного рельєфу наносились і досліджувались також у зоні термічного впливу (ЗТВ) і зоні, власне зварювального шва. Попередньо пластини із цього сплаву зварювались автоматичним дуговим зварюванням у середовищі аргону за методом М.М.Бенардоса. Присадкою служив дріт із сплаву Д16 без захисного покриття.

У всіх експериментах використовувалась мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) на основі ріпакової олії.

Для приготування металографічних шліфів служила установка Beta Grinder–Polisher фірми Buehler (рис. 3). Перед утворенням рельєфів досліджувані матеріали шліфувались і полірувались за допомогою алмазних паст із синтетичними алмазами марок АСМ 5/3 і АСМ 3/1. Для вивчення мікроструктури використовувались стандартні травники, що рекомендуються окремо для кожного із матеріалів. Для дослідження мікроструктури застосовувались оптичні мікроскопи МИМ–7 і GX53 (рис. 4). Корисні збільшення цих мікроскопів варіювались у межах $\times 200$ – $\times 1000$.



Рисунок 3 – Установка для отримання металографічних шліфів Beta Grinder–Polisher
Figure 3 – Device for metallographic grinding Beta Grinder–Polisher



Рисунок 4 – Інвертований оптичний мікроскоп GX53
Figure 4 – Inverted optical microscope

Зміна властивостей експериментальних зразків у зонах контакту з лінійним індентором, у основі канавки порівняно з властивостями матеріалу за межами дії пружно-пластичної деформації вивчалась за методами мікротвердості. Для цього використовувались мікротвердоміри ПМТ–3 і DuraScan–20 (рис. 5).

Профіль канавки рельєфу (глибина, дійсний кут після індентування, область основи і напливи) досліджувались у залежності від глибини наступними методами. Для мікрорельєфів використовувався стандартний профілограф-профілометр «Калібр-ВЭИ». Макропрофілі безконтактним методом вивчались за допомогою подвійного мікроскопу. Використовувався також нутромір індикаторний, у якому голка була замінена на лезо.



Рисунок 5 – Мікротвердомір DuraScan-20
 Figure 5 –Microhardnessmeter DuraScan-20

Результати дослідження.

Аналітичний огляд наукових джерел [3 – 10 та ін.] дозволив створити наступну класифікацію відомих методів отримання регулярних рельєфів холодним пластичним деформуванням (ХПД) та обробкою різанням (рис. 6).

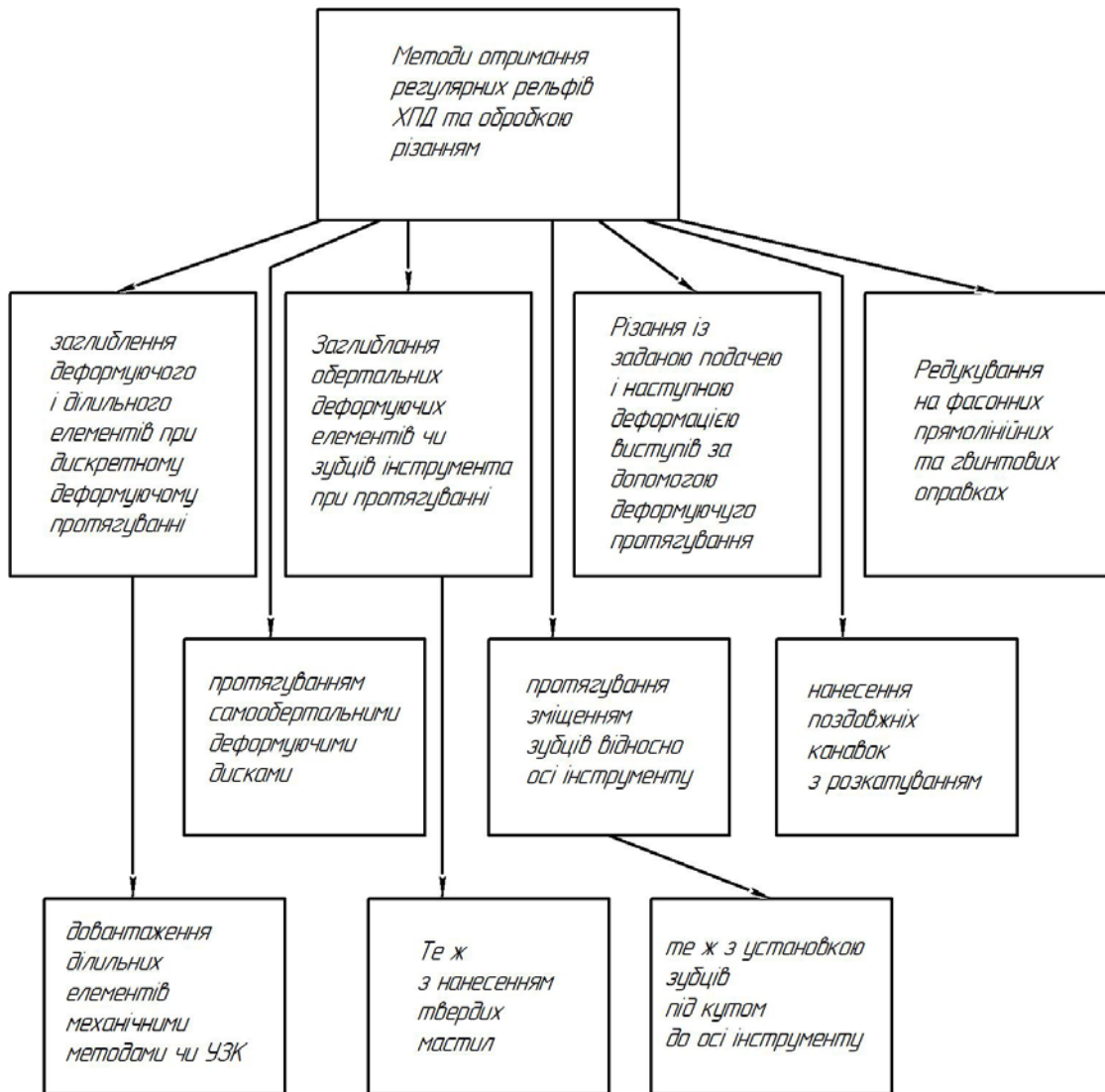


Рисунок 6 – Класифікація методів отримання регулярних рельєфів
 Figure 6 – Classification of methods for obtaining regular reliefs

Для першого етапу досліджень у експериментах користувались аналогіями з методами заглиблення ділильного елемента при дискретному протягуванні і редукування на фасонній прямолінійній оправці. Ці методи є статичними, тому аналогії є виправданими.

Досліди показали, що при подвійному куті при вершині лінійного індентора $2\beta = 60^\circ$ і радіусу при вершині $\rho = 5$ мкм між силою заглиблення P у зразок із сталі 38ХН3МА і глибиною канавки h спостерігається залежність $h/P = 0,075$, а при силі $P = 0,02$ МН формується канавка глибиною $h = 2$ мм.

На рис 7 дано загальний вигляд такої канавки.

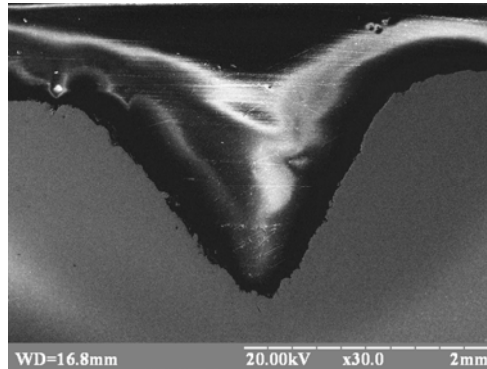


Рисунок 7 – Мікрофотографія канавки, отриманої заглибленням трикутного лінійного індентору
Figure 7 – Microphotograph of a groove obtained by immersion of a triangular linear indenter

У процесі досліджень розроблено також класифікацію регулярних мікро- та макрорельєфів за призначенням (функціями). При цьому розглядалися лише рельєфи, що створювалися методами ХПД та обробкою різанням. Класифікація подана на рис. 8.

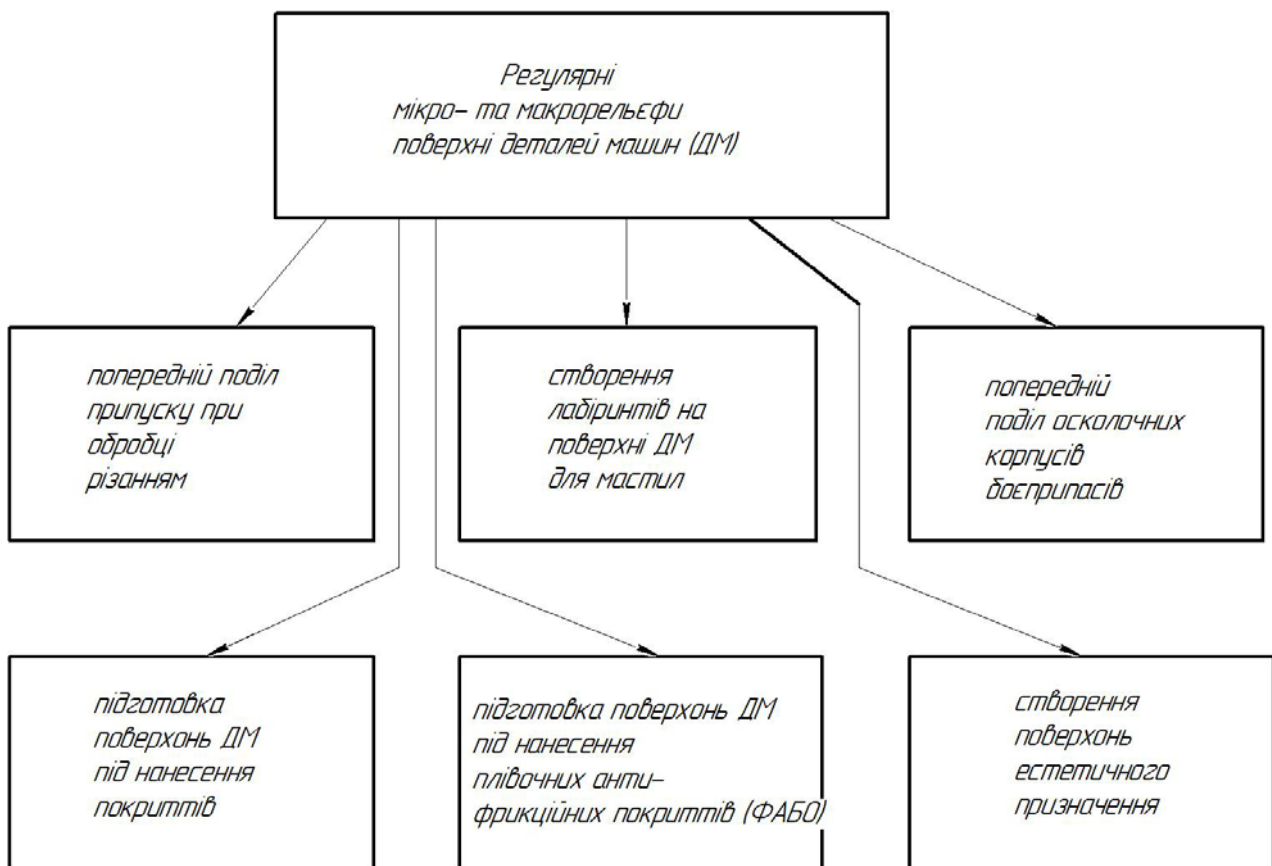


Рисунок 8 – Класифікація регулярних рельєфів за призначенням
Figure 8 – Classification of regular reliefs by destination

При вивченні відомого методу отримання регулярних рельєфів заданою подачею різання та наступною деформацією вершин нерівностей протягування було встановлено, що ці виступи «завалюються» у сторону руху протяжного інструменту. Це дало підстави для удосконалення методу, що полягає у використанні проміжної втулки між гребінцями, утвореної різанням поверхні, та протяжкою. Цей метод дає можливість утворення канавок рельєфу та новою опорною поверхнею у необхідному співвідношенні.

Обговорення результатів дослідження.

Вибір факторів математичної моделі – сили інdentування P та характеристик експериментальних матеріалів: твердості і відносного видовження обґрунтовувались тим, що ці фактори є найбільш значимими, що діють на глибину та профіль трикутної канавки рельєфу. За нормальною силою P можна розрахувати інші складові та характеристики тертя. Твердість та відносне видовження експериментального матеріалу свідчать про інші механічні властивості цього матеріалу. Фізико-хімічні властивості експериментальних матеріалів, які діють на профіль мікрорельєфу є несуттєвими, але можуть бути враховані відповідним коефіцієнтом.

Виконані уперше класифікація методів отримання регулярних рельєфів холодною пластичною деформацією та обробкою різанням і класифікація цих рельєфів за функціями дозволяють визначити усю гаму рельєфів. Такі класифікації розширюють інформацію про експлуатаційні властивості рельєфів і дозволяють знайти нове використання останніх, зокрема, при підготовці поверхні деталей під покриття. З'явилась можливість удосконалити деякі методи отримання рельєфів. Перші експерименти підтвердили зв'язок між силою інdentування та параметрами канавок.

Висновки.

У результаті проведеного дослідження встановлено наступне.

Визначена ієрархія головних факторів, що впливають на глибину та профіль регулярних рельєфів. Це – сила дії лінійного інdentора на оброблюваний матеріал, твердість і відносне видовження матеріалу.

При моделюванні досліджень вибрана і розроблена математична модель дослідження та план проведення експериментальних досліджень типу 2³.

Вибрано пресове гідрофіковане обладнання для експериментів зусиллям від 0,02 МН до 0,2 МН; створено лінійні інdentори із загартованої сталі Р18 з кутом при вершині 60° – 90°; визначено марки досліджуваних матеріалів: по 2 марки легованих сталей і сірих чавунів та сплавів на основі міді, алюмінію і титану; розроблено процеси мікроструктурного аналізу та дослідження мікротвердості; вибрано методи та пристрої для вивчення нанесеного рельєфу.

Розроблено класифікацію регулярних рельєфів за методами отримання та призначення.

Запропоновано новий метод рельєфоутворення, заснований на поєднанні обробки різанням із заданою подачею з деформуючим протягуванням, причому для отримання опорної поверхні застосовується проміжна втулка, що зазнає лише пружних деформацій.

Передбачаються подальші експериментальні дослідження у даному науково-технічному напрямку та підтвердження їх практичного застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 2860:1994. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ, Держстандарт України, 1995. 26 с.
2. ISO 14577–3:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks. Geneva, ISO Publ, 2015. 8p.
3. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. Харьков, «Планета-Принт», 2018. 259 с.
4. Интегрированные процессы обработки материалов резанием: Учебник / А.И. Грабченко, В.А. Залого, Ю.Н. Внуков и др.; под общ. ред. А.И. Грабченко и В.А. Залого. Сумы: Университетская книга, 2017. 451 с.
5. Influence of material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and other. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2018, № 5/12 (95). P. 48 – 56.

6. Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, О.В. Соболев, Е.К. Посвятенко та ін. // *Механіка та машинобудування: наук.-техн. журнал*. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 1. С. 234–245.
7. Подураев В.Н. Физико-химические методы обработки: монография / В.Н. Подураев, В.С. Камалов. М.: Машиностроение, 1973. 346 с
8. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом: Монография / Ю.Г. Шнейдер. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.
9. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: посібник / І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. Житомир: Житомирський інженерно-технологічний ін-т, 2001. 516 с.
10. Нахайчук О.В. Исследование механики внедрения плоского штампа в жесткопластический материал с использованием метода конечных элементов / О.В. Нахайчук // *Физика и техника высоких давлений*. 2004. Т.14. № 1. С. 71–78.
11. Посвятенко Е.К. Формування регулярного макрорельєфу поверхонь отворів деталей комбінованим протягуванням / Е.К. Посвятенко, Ю.Б. Паладійчук // *Вісник Національного технічного ун-ту України «Київський політехн. ун-т»*. К: Машинобудування, 1999. Вип.37. С. 256–261.
12. Посвятенко Е.К. Розробка наукових основ поліпшення оброблюваності деталей транспортних засобів із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // *Управління проектами, системний аналіз і логістика: Серія технічні науки*. Ч.1. К.: НТУ, 2016. № 18. С.94–100.

REFERENCES

1. *Nadiynist' tekhniky. Terminy ta vyznachennya [Reliability of technology. Terms and definitions]*. (1995) DSTU 2860:1994. Kiev: Derzhstandard Ukraine. 26 с. [in Ukrainian].
2. *Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks*. (2015) ISO 14577–3:2015. Geneva, ISO. 8p.
3. Tkachuk N.A., Diachenko S.S., Posviatenko E.K. (2018) *Kontinual'naya i diskretno-kontinual'naya modifikatsiya poverkhnostey detaley [Continual and discrete-continual modification of surfaces of parts: monograph]*. Kharkov: «Planeta–Print». 259p. [in Russian].
4. Grabchenko, A.I., Zaloga, V.A., Vnukov, Yu.N. (2017) *Integrirovannyye protsessy obrabotki materialov rezaniyem [Integrated processing materials by cutting processes]*. Sumy: Universytetska knyha. 451p. [in Russian].
5. *Influence of material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings* / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and other. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2018, № 5/12 (95). P. 48 – 56.
6. Marchenko, A.P., Tkachuk, M.A., Sobol, O.V., Posviatenko, E.K. (2017). *Innovatsiyni tekhnolohiyi kompozytsiynoho zmitsnennya poverkhni elementiv vyrobiv dlya oboronnoyi ta enerhetychnoyi haluzey [Innovative technologies of composite hardening of the surface of elements of products for the defense and energy industries]*. *Mekhanika ta mashinobuduvannia – Mechanics and machine building*. Kharkiv: NTU«KhPI». 1, PP. 234–245. [in Ukrainian].
7. Poduraev, V.N., Kamalov, V.S., (1973) *Fiziko-khimicheskiye metody obrabotki [Physico-chemical processing methods]*. Moscow: Mashinostroenie. 346 p. [in Russian].
8. Shneider, Yu. G., (1982) *Ekspluatatsionnyye svoystva detaley s regul'yarnym mikrorel'yefom. [Operational properties of parts with regular microrelief]*. Leningrad: Mashinostroenie. 248 p. [in Russian]. [in Russian].
9. Aftanaziv, i.S., Gavrish, A.P., Kyrychok, P.O. (2001) *Pidvyshchennya nadiynosti detaley mashyn poverkhnevym plastychnym deformuvanniam. [Improving the reliability of machine parts by surface plastic deformation]*. Zhytomyr: Zhytomyr'skyi inzhenerno-tehnologichnii institut. 516 p. [in Ukrainian].
10. Nahaichuk, O.V. (2004) *Issledovaniye mekhaniki vnedreniya ploskogo shtampa v zhestkoplasticheskiy material s ispol'zovaniyem metoda konechnykh elementov [The study of the mechanics of embedding a flat die in a rigid plastic material using the finite element method]*. *Fizika i tekhnika vysokikh davleniy – Physics and technique of high pressures*. Vol. 14/1. P.71 – 78. [in Russian].
11. Posviatenko, E.K., Paladiichuk, Yu. B., (1999) *Formuvannya rehulyarnoho makrorel'yefu poverkhon' otvoriv detaley kombinovanyim protyahuvanniam [Formation of a regular macro-relief of the surfaces holes of the parts by combined stretching]*. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universitetu*

України»Київський політехнічний інститут» – Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic University». Issue 37. P. 256–261. [in Ukrainian].

12. Posviatenko, E.K., Aksiom, P.A., (2016) Rozrobka naukovykh osnov polipshennya obroblyuvanosti detaley transportnykh zasobiv iz austenitnykh staley [*Development of the scientific basis for improving the machinability vehicle parts of austenitic steel*]. Upravlinnya proektamy, systemnyy analiz i lohistyka: Seriya tekhnichni nauky. – Project Management, Systems Analysis and Logistics: Technical Sciences Series. Part 1, 18. P. 94–100. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин рельєфами поверхні / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, І.П. Рибак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 1 (48).

В статті розглядається напрям підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин нанесенням на поверхні регулярних рельєфів.

Мета роботи: розробити модель, план і методику експериментальних досліджень регулярних рельєфів і створити їх класифікацію за призначенням та способом отримання.

Об'єкт дослідження – регулярні рельєфи на поверхні деталей машин.

Визначено ієрархію головних факторів, що впливають на профіль рельєфів, утворених трикутними канавками. Це нормальна сила заглиблення лінійного індентора, твердість та відносне видовження експериментального матеріалу. За параметр оптимізації прийнято глибину канавки.

Розроблено математичну модель та план типу 2³ дослідження.

Вибрано методику і пристрої для проведення експериментів: гідрофіковані преси, лінійні індентори, оптичні мікроскопи, мікротвердоміри, досліджувані матеріали, прилади та вимірювальний інструмент. Матеріалами служили легована та нержавіюча сталі, сірий та ковкий чавуни, бронза і латунь, алюмінієвий та титановий сплави.

Розроблено класифікацію рельєфів за методами отримання та призначенням, що здійснюється холодним пластичним деформуванням і різанням. За базові статичні методи взято методи заглиблення ділильним елементом при дискретному протягуванні та виступом фасонної оправки при редукуванні.

Показано залежність глибини і подвійного кута канавки рельєфу від нормальної сили.

Запропоновано новий метод отримання поверхні деталі, що передбачає чергування опорних площадок і канавок, за допомогою обробки різанням та деформуючим протягуванням з використанням проміжної пружної втулки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕГУЛЯРНИЙ РЕЛЬЄФ, ХОЛОДНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ЛІНІЙНИЙ ІНДЕНТОР, ПОВЕРХНЯ ДЕТАЛІ, ПОКРИТТЯ, МОДЕЛЬ УТВОРЕННЯ РЕЛЬЄФУ.

ABSTRACT

Posviatenko E.K., Posviatenko N.I., Rybak I.P. Increasing the operating properties of the machine parts by the surface reliefs Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1 (48).

The article discusses the direction of improving the operational properties of machine parts by applying regular reliefs to the surface/

Purpose – to develop a model, plan and methodology for experimental studies of regular reliefs and create their classification by purpose and methods of obtaining.

The object of research – regular reliefs on the surface of machine parts.

The hierarchy of the main factors that affect the profile of reliefs formed by triangular grooves is determined. This is the normal penetration force of a linear indenter, hardness and elongation of the experimental material. The optimization parameter is the groove depth.

A mathematical model and research plan have been developed 2³.

The methodology and devices for conducting experiments are determined. These are hydraulic presses, linear indenters, optical microscopes, microhardness testers, test materials, instruments, and measuring instruments. Materials for research: alloyed and stainless steel, gray and malleable cast irons, bronze and brass, aluminum and titanium alloys.

Classifications of reliefs according to the methods of obtaining and destination are developed. Production methods are based on cold plastic deformation and cutting. The basic methods for the study are static methods: the introduction of a dividing element with discrete drawing and a single protrusion of the shaped mandrel during reduction.

The dependence of the depth and double angle of the relief groove on the normal force is shown.

A new method for obtaining the surface of a part, including the alternation of supporting platforms and grooves is proposed. The method is carried out using machining and subsequent deformation pulling. A distinctive feature of the method is the use of an intermediate elastic sleeve.

KEYWORDS: REGULAR RELIEF, COLD PLASTIC DEFORMATION, LINEAR INDUCTOR, SURFACE OF PARTS, COATING, MODEL OF FORMATION OF RELIEF.

РЕФЕРАТ

Посвятенко Э.К. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин рельефами поверхности / Э.К. Посвятенко, Н.И. Посвятенко, И.П. Рыбак // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2021. – Вып. 1 (48).

В статье рассматривается направление повышения эксплуатационных свойств деталей машин нанесением на поверхности регулярных рельефов.

Цель работы: разработать модель, план и методику экспериментальных исследований регулярных рельефов и создать их классификацию по назначению и способам получения.

Объект исследования – регулярные рельефы на поверхности деталей машин.

Определена иерархия главных факторов, которые влияют на профиль рельефов, образованных треугольными канавками. Это нормальная сила внедрения линейного индентора, твердость и относительное удлинение экспериментального материала. Параметром оптимизации служит глубина канавки.

Разработана математическая модель и план исследования 2^3 .

Определены методика и устройства для проведения экспериментов. Это гидравлические прессы, линейные инденторы, оптические микроскопы, микротвердомеры, исследуемые материалы, приборы, измерительный инструмент. Материалы для исследований: легированная и нержавеющая стали, серый и ковкий чугуны, бронза и латунь, алюминиевый и титановый сплавы.

Разработаны классификации рельефов по методам получения и назначения. Методы получения основываются на холодном пластическом деформировании и обработке резанием. Базовым для исследования приняты статические методы: внедрение делительного элемента при дискретном протягивании и единичного выступа фасонной оправки при редуцировании.

Показана зависимость глубины и двойного угла канавки рельефа от нормальной силы.

Предложен новый метод получения поверхности детали, включающей чередование опорных площадок и канавок. Метод осуществляется с помощью обработки резанием и последующего деформирующего протягивания. Отличительной особенностью метода является использование промежуточной упругой втулки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РЕГУЛЯРНЫЙ РЕЛЬЕФ, ХОЛОДНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, ЛИНЕЙНЫЙ ИНДЕНТОР, ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТАЛИ, ПОКРЫТИЕ, МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЛЬЕФА.

АВТОРИ:

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: pek1943@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. 044-280-97-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Рыбак Ілля Петрович, аспірант, Національний транспортний університет, аспірант кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: ilya.003@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0002-2071-5754.

AUTHOR:

Posviatenko Eduard K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, e-mail: pek1943@ukr.net, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Omelianovicha-Pavlenko, 1, r. 101a, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Posviatenko Natalia.I., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department road vehicles, e-mail: natali1963@ukr.net, tel. 044-280-97-73, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of.226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Rybak Ilya P., post-degree student, National Transport University, post-degree student, department of production, repair and materials science, e-mail: ilya.003@ukr.net, tel. +380442808203, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelianovicha-Pavlenko, 1, r. 101a, orcid.org/0000-0002-2071-5754

АВТОРЫ:

Посвятенко Эдуард Карпович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: pek1943@ukr.net, тел. +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Посвятенко Наталия Ивановна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожных машин, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. 044-280-97-73, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2217-4170.

Рыбак Илья Петрович, аспирант, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: ilya.003@ukr.net, тел. +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0002-2071-5754.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко С.А. доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України НАН України, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWER:

Klimenko S.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Deputy Director for Scientific Work of Institute Superhard Materials named V.N. Bakul NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Mateichik V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of Environment and Safety, Kyiv, Ukraine.