

УДК 621.9

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.67

## ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ НАНЕСЕННЯМ РЕГУЛЯРНИХ РЕЛЬЄФІВ

Посвятенко Н. І.<sup>1</sup>, Посвятенко Е. К.<sup>1</sup>, Рибак І. П.<sup>1</sup>, Ковалевський С. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний транспортний університет

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Запропоновано класифікацію регулярних рельєфів за призначенням і механіку заглиблення лінійного індентора в металевий зразок. Визначено взаємозв'язок між факторами процесу індентування – силою, твердістю та відносним видовженням матеріалу, кутом при вершині та радіусом округлення вершини індентора. Розроблено методику експериментальних досліджень.*

***Ключові слова:** рельєф, холодне пластичне деформування, експлуатаційні властивості деталей засобів транспорту, лінійний індентор, глибина канавки мікрорельєфу.*

### Вступ

Матеріал і технології виготовлення виробів визначають у підсумку надійність і експлуатаційні властивості машин, до того ж рівень цих властивостей на 80 % залежить від стану поверхні й поверхневого шару, а на 20 % – від основи деталі. Дослідження показали, що серед багатьох методів інженерії деталей машин важливу роль відіграють методи модифікування матеріалу холодним пластичним деформуванням (ХПД). Перевагою цих методів є відсутність термічної дії на матеріал.

Важливу роль у поліпшенні показників надійності та експлуатаційних властивостей деталей машин відіграють спеціально створені регулярні рельєфи поверхонь останніх [1]. Для реалізації ХПД у цьому разі використовується серійне обладнання: верстати, преси, волочильні стани тощо. Цей процес може бути формоутворювальним, тобто заготовка набуває нових потрібних розмірів, що поєднуються з регулярними рельєфами поверхневого шару деталі.

### Аналіз публікацій

Проблемі функцій рельєфів і технологій отримання останніх присвячено низку робіт Ю. Шнейдера, П. Киричка, О. Нахайчука, Е. Посвятенка та ін. [2–4]. Проте ці дослідження є фрагментарними, оскільки стосуються здебільшого поділу припуску перед обробленням різанням або виготовлення трубчастих деталей з нанесенням рельєфу на поверхню отвору. Експлуатаційні властивості деталей машин частково розглянуті в роботах А. Гавриша, М. Ткачука, І. Шепеленка

та ін., проте ці дослідження не є системними щодо проблеми рельєфів [3, 5, 6].

З огляду на сказане, проблема вивчення поліпшення експлуатаційних властивостей деталей нанесенням рельєфів є актуальною.

### Мета та постановка завдання

Метою дослідження є поліпшення експлуатаційних властивостей деталей засобів транспорту нанесенням регулярних мікро- і макрорельєфів технологічного й експлуатаційного призначення заглибленням лінійних інденторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити класифікацію регулярних рельєфів за призначенням; вивчити механіку заглиблення лінійного індентора в металевий зразок із визначенням впливу основних факторів процесу на параметр оптимізації – глибину канавки регулярного рельєфу; визначити взаємозв'язок явищ між основними факторами процесу індентування – нормальною силою та властивостями конструкційних матеріалів і глибиною канавки рельєфу; розробити методику експериментальної частини дослідження.

### Виклад основного матеріалу

В експериментальній частині нашого дослідження використовувались такі інструменти, обладнання, прилади та матеріали.

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 ( $P_{\max} = 0,2 \text{ МН}$ )

Лінійні індентори, що слугували для отримання одиничних канавок рельєфів, виготовлені із швидкорізальної сталі Р6М5 (63 HRC;  $\sigma_{gr} = 3200$  МПа; ударна в'язкість – 3,5 Дж/м<sup>2</sup>; теплостійкість – 550 °С). Робоча поверхня інденторів шліфувалась і полірувалась до шорсткості  $Ra < 0,02$ . Подвійний кут при вершині становив: 60°; 70°; 80°; 90°; радіус при вершині дорівнював  $\rho = 0,005$ ; 0,02; 0,1; 0,5 мм. Глибина канавок  $h$  мікро- і макрорельєфу була в межах 0,02–5 мм.

Досліджувані зразки, на які наносились канавки рельєфу, виготовлялись із таких матеріалів: сталі марок 38Х3МА і 12Х18Н10Т, бронзи Бр ОЦС 5–5–5, латуні Л62, алюмінієвого сплаву Д16 (2117), титанового сплаву ВТ6, сірих чавунів марок СЧ 20 та КЧ 33-8 [7, 8, 9].

Щодо алюмінієвого сплаву Д16(2117), то канавки регулярного рельєфу наносились і досліджувались також у зонах термічного впливу (ЗТВ), сплавлення та зварювального шва (рис. 1).

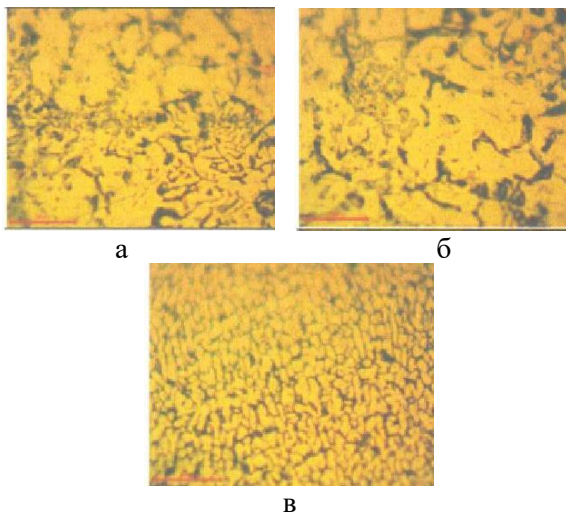


Рис. 1. Мікроструктура (x500) алюмінієвого сплаву Д16 після наплавлення неплавким електродом у середовищі аргону з додаванням водню ( $Ar + 10\% H_2$ ): а – зона вихідного матеріалу (низ) і ЗТВ (верх); б – зона ЗТВ; в – зона шва

Попередньо пластини із цього сплаву зварювались дуговим зварюванням у середовищі аргону з додаванням водню за методом М. Бенардоса. Присадкою слугував дріт із сплаву Д16 без захисного покриття. Неплавким був вольфрамовий електрод із присадкою оксиду танталу (1,3 %).

Для виявлення мікроструктури зразків із алюмінієвого сплаву Д16 після полірування застосовувалось травлення реактивом – су-

мішню плавикової та азотної кислоти й води ( $HF + HNO_3 + 70\% H_2O$ ).

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

Для приготування металографічних шліфів застосовувались установки *Beta Grinder-Polisher* фірми *Buehler* та ХІМ-1012. 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 з матеріалів. Для дослідження мікроструктури застосовувались оптичні мікроскопи МІМ-7 і GX53.

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.

Було встановлено, що за умови подвійного кута при вершині лінійного індентора  $\alpha = 60^\circ$  і радіуса 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 в разі сили  $P = 0,02$  МН формується канавка завглибшки  $h = 2$  мм.

На рис. 2 подано загальний вигляд такої канавки.

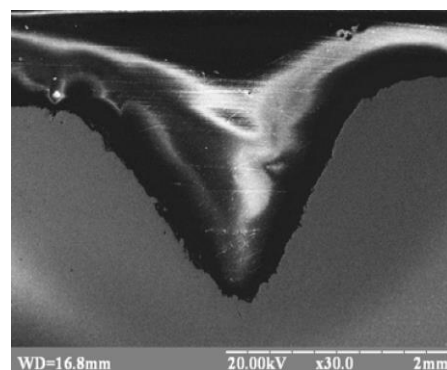


Рис. 2. Мікрофотографія канавки, отриманої заглибленням лінійного індентора

Було розроблено класифікацію регулярних мікро- та макрорельєфів за призначенням.

Попередній поділ припуску під час оброблення різанням відіграє важливу роль у ви-

готовленні деталей із пластичних матеріалів (сталей у незагартованому та поліпшеному стані, міді, латуней, бронз, алюмінієвих і титанових деформівних сплавів тощо). Ці метали та сплави внаслідок оброблення різанням дають міцну зливну стружку, а після отримання якісних глибоких отворів пакуються в стружкових канавках інструмента, погіршуючи геометричні властивості поверхонь деталей і створюючи небезпеку для інструмента.

Тому попередній поділ припуску в процесі оброблення різанням рельєфами поверхні заготовки, особливо в отриманні точних глибоких отворів, є досить ефективним і універсальним. Нами рекомендується глибина трикутної канавки в межах 0,5–0,7 товщини припуску, кут при вершині лінійного індентора  $60^{\circ}$ – $90^{\circ}$ , радіус при його вершині до 0,05 мм, а крок канавок таким, щоб забезпечити довжину стружки 50–200 мм.

Ще одним призначенням рельєфів поверхні деталей машин є створення лабіринтів для рідких, консистентних і твердих мастил. Прикладом може бути шийка колінчастого вала й підшипник ковзання. Глибина канавки має бути такою, щоб забезпечувати рясне мащення, радіус округлення канавки рекомендується 0,1–0,5 мм, опора поверхні деталі має становити 95–98 %. Сказане стосується і консистентних мастил, а джерелом твердого мастила може слугувати елемент (шайба) самого інструмента. Канавки лабіринту в цьому разі можуть також слугувати макрооб'ємами для розміщення шламу при прирацюванні пари деталей.

Перспективним є використання мікро- та макрорельєфів поверхні під час підготовки останньої перед нанесенням покриттів. У використанні для цього методу можна рекомендувати: кут при вершині індентора –  $60^{\circ}$ , радіус округлення цієї вершини 0,2–0,3 мм, крок канавки – залежно від необхідної дотичної міцності покриття.

Підготовка поверхонь деталей під нанесення пліткових антифрикційних покриттів (ФАБО) є різновидом попередньо розглянутого процесу. Проте необхідно додати, що в цьому разі з'являється можливість отримання поверхні з комбінованими властивостями. Адже об'єм канавки заповнюється пластичним матеріалом, наприклад латунню чи деформівним алюмінієм, а зміцнений ХПД у ділянці периферії канавки матеріал основи стає носієм.

Для технології виготовлення корпусів (оболонки боєприпасів) можна рекомендувати попередній поділ цих корпусів системою канавок. Корпус боєприпасів – це трубчасті деталі з діаметром отвору від 30 до 200 мм, на внутрішню поверхню яких наносяться макрорельєфи, що розділяють деталь на осколки різної величини внаслідок спрацювання твердої вибухової речовини. Глибина канавок трикутної форми залежить від товщини  $t$  стінки корпусу і, як правило, дорівнює  $h=(0,3-0,5)t$ . Кут розкриття канавки знаходиться у межах  $60^{\circ}$ , а радіус округлення біля основи має бути мінімальним, тобто  $\rho=0,05-0,1$  мм. Переваги методу, порівняно з відомими методами попереднього поділу осколкових корпусів, полягають у тому, що метал у основі канавки зміцнюється холодною пластичною деформацією. Отже, на розрив корпусу витрачається менше енергії, ніж зазвичай, а її залишок більш ефективно використовується на розліт осколків.

Для створення покриттів естетичного призначення використовуються мікрорельєфи завглибшки до 0,05 мм з наступними тонкими декоративними покриттями потрібного кольору методами PVD.

Ще одну властивість рельєфів, отриманих методами ХПД, тобто заглибленням лінійного клинового індентора, варто використати для відновлення зношених деталей. У процесі заглиблення індентора й утворення канавки матеріал перетікає з канавки у бокові виступи, висота яких може бути великою, перевищуючи висоту зношування. Оскільки матеріал виступів набуде значного холодного зміцнення, то ці виступи після певних технологічних операцій можуть стати новими опорними ділянками на поверхні деталі. Ці ділянки матимуть подвійну функцію. З одного боку, вони дають змогу повернути потрібний розмір деталі, а з іншого – створять опір новому зношуванню, оскільки матимуть підвищену твердість.

Технологічний процес отримання мікротамакрорельєфів за допомогою лінійного клинового індентора має в основі ХПД.

Одним із технологічних прикладних завдань цієї теорії є оцінка залишкової пластичності. Це необхідно для з'ясування можливості реалізації наступної операції, що пов'язується з пластичним деформуванням, а також отримання виробів із необхідними фізико-механічними характеристиками.

На рис. 3 показана схема дії сили  $P$  заглиблення лінійного індентора в металевий зра-

зок. На рис. 3:  $h$  – глибина заглиблення;  $\alpha$  – кут при вершині індентора;  $\rho$  – радіус округлення вершини індентора;  $h_1$  – висота виступів матеріалу після заглиблення індентора;  $A$  – площа цих виступів;  $B$  – площа поперечного перерізу утвореної канавки.

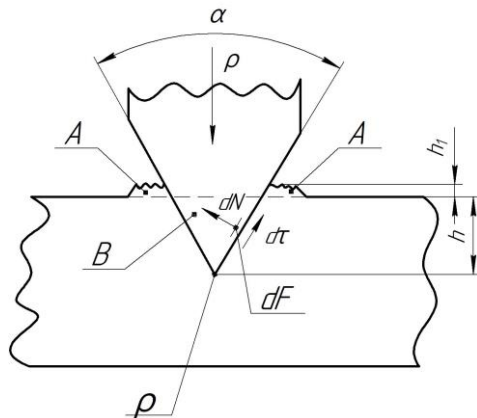


Рис. 3. Схема дії сили заглиблення на елементарну ділянку лінійного індентора

Для визначення глибини  $h$  канавки необхідно знати величину середнього коефіцієнта тертя  $\eta$  та контактного напруження  $\sigma_N$ . Приймаємо середнє значення для заглиблення лінійного індентора  $\eta=0,1-0,3$ . Контактне напруження  $\sigma_N$  можна визначити, якщо знати силу  $P$  і глибину канавки  $h$ .

Оскільки в процесах відновлення зношених деталей широко застосовується наплавлення, нами досліджувалась зміна глибини канавки під час зварювання плавленням. Відомо, що зазначений процес є основною наплавлення. Для дослідження використовувалися зразки з дюралюмінію Д16 (2117) (див. рис. 1), які мали в початковому стані твердість  $HV\ 300$  МПа і відносне видовження  $\delta=11\%$ .

Вихідний матеріал мав глибину  $h$  канавки 2 мм. Зона термічного впливу завдяки укрупненню зерен мікроструктури характеризується глибиною канавки  $h=2,4$  мм, а зона сплавлення  $h=1,83$  мм. По центру зварювального шва глибина канавки є найменшою ( $h=1,75$  мм), що свідчить про найбільшу твердість металу. На рис. 4 подано залежність глибини канавки від її місця розташування. На шліфі позначено 1 – нейтральна зона; 2 – зона основи; 3 – зона термічного впливу; 4 – зона сплавлення; 5 – зона шва.

У процесі індентування змінювались три основні параметри цього процесу: сила заглиблення індентора  $P$ , твердість  $HV$  або мікротвердість  $H\mu$  оброблюваного матеріалу

та відносне видовження  $\delta$  досліджуваних матеріалів.

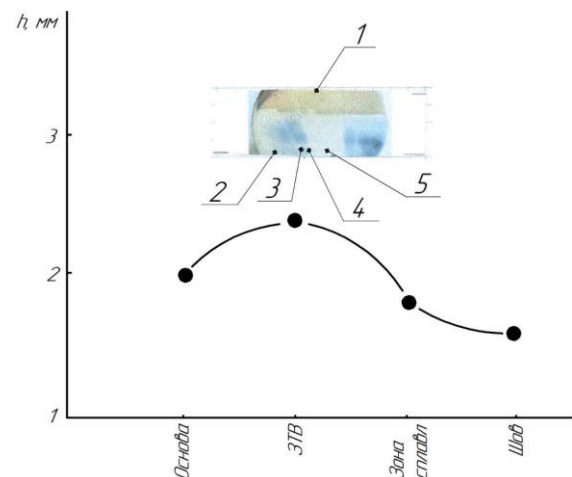


Рис. 4. Залежність глибини  $h$  канавки заглиблення лінійного індентора з кутом  $\alpha$  розкриття ( $\alpha=60^\circ$ ) і радіусом округлення вершини  $\rho=0,02$  мм від місця розміщення зразка наплавлення зразка з дюралюмінію Д16 (2117); над графіком – шліф зразка

Вплив сили заглиблення  $P$ , що вимірювалась у кН на 1 мм довжини леза лінійного індентора, полягає в безпосередній дії на глибину канавки  $h$  та дії на цей параметр оптимізації через проміжні фактори. Такими факторами є радіус округлення  $\rho$  та кут  $\alpha$  при вершині індентора, що сильно впливають на глибину канавки. Більш слабка дія спостерігається з боку мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) та швидкості  $v$  заглиблення. Перший зі слабких факторів має забезпечити індентування від адгезійних явищ і знизити чинник тертя. Цим умовам найкраще відповідає МОР на основі ріпакової олії. Швидкість заглиблення в межах  $v=0,01-0,05$  м/с практично не впливає на глибину канавки.

Твердість чи мікротвердість досліджуваних матеріалів та їх пластичність, що визначається відносним видовженням, належать до основних факторів процесу індентування. Тому також можуть сильно безпосередньо впливати на глибину канавки. Посередково ці фактори формують параметри оптимізації через кут  $\alpha$  при вершині індентора та радіус  $\rho$ . Слабкий вплив на глибину канавки мають склад МОР та швидкість заглиблення.

Отже, складниками «чорного ящика» математичної моделі індентування в процесі експериментів визначені: радіус округлення  $\rho$  та кут  $\alpha$  при вершині індентора (фактори інструмента) і мастильно-охолоджувальна

рідина та швидкість заглиблення як складники процесу.

На рис. 5 подано взаємозв'язок явищ під час рельєфоутворення індентуванням.

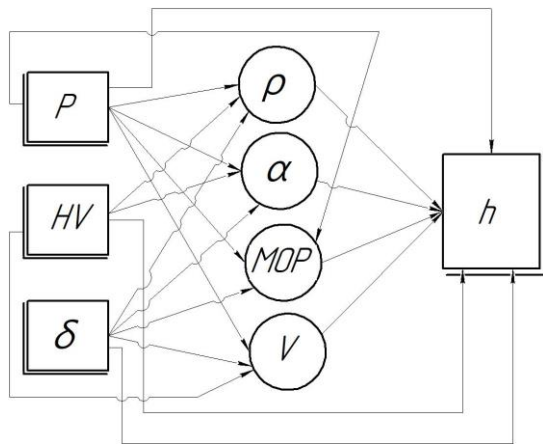


Рис. 5. Взаємозв'язок явищ у процесі заглиблення лінійного індентора

Результати дослідження заглиблення лінійного індентора в деталі засобів транспорту використовуються в навчальних дисциплінах університету, що стосуються інженерії поверхні деталей машин, відновлення останніх, а також у підготовці поверхонь для нанесення захисних покриттів.

Подальшим розвитком результатів статті планується їх практичне застосування під час отримання складних внутрішніх поверхонь: шліцьових, шпонкових, зубчастих коліс внутрішнього зачеплення, полігонних тощо. Такі поверхні можна отримати копіюванням на фасонних оправках відповідного профілю.

Результати дослідження подані в наших працях [7, 10–12].

### Висновки

Розроблено класифікацію регулярних рельєфів за призначенням: технологічні (для попереднього поділу припуску перед зрізанням, підготовки поверхні під нанесення покриттів та створення зміцнених нових поверхонь у відновленні деталей); експлуатаційні (для створення лабіринтів під мастильноохолоджувальні матеріали); поділу осколкових корпусів на фрагменти при ініційованні вибухових речовин; декоративні.

Розроблена механіка заглиблення лінійного індентора в металевий зразок, що об'єднує значення сили заглиблення з геометричними параметрами індентора, коефіцієнтом тертя, контактним напруженням і глибиною канавки.

Подано приклад дослідження зони зварювання алюмінієвого сплаву Д16 методом лінійного індентування.

Визначено взаємозв'язок явищ між факторами процесу індентування – силою, твердістю та відносним видовженням матеріалу, проміжними факторами – кутом при вершині та радіусом округлення вершини індентора, швидкістю заглиблення останньою та MOP на основі ріпакової олії та параметром оптимізації – глибиною канавки мікрорельєфу.

Розроблено методику експериментальних досліджень, що містить пресове обладнання, лінійні індентори, прилади й типові конструкційні матеріали, які використовуються для виготовлення деталей засобів транспорту.

### Література

1. ДСТУ 2860:1994. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ, 1995. 26 с.
2. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом: монография. Ленинград, 1982. 248 с.
3. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: навч. посіб. / І. С. Афтаназів та ін. Житомир, 2001. 516 с.
4. Нахайчук О. В. Механіка деформування при внедрении трапецеидального индентора. *Вібрації у техніці і технологіях*. Вінниця, 2000. № 2 (14). С. 47–51.
5. Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей / А. П. Марченко та ін. *Механіка та машинобудування*. Харків, 2017. № 1. С. 234–245.
6. Шепеленко І. В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2021. 43 с.
7. Posviatenko E., Posviatenko N., Rybak I. Structural Metal Materials of Machine Parts with Regular Surface Reliefs. *Bezpiecznosc I Materialy Eksploatacyjne wybrane zagadnienia: monografia*. 2020. № 20. Seria: Inzynieria Mechaniczna. Rzeszow. P. 81–84.
8. ISO 14577–3:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks. Geneva, ISO Publ, 2015.
9. Radzevich S.P., Storchak M. (Editors) *Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design*, USA: Springer. 2022. XXXIII. 663 p.
10. Посвятенко Е., Посвятенко Н. Холодне пластичне деформування, як ефективний метод інженерії поверхні деталей машин. *Scientific letters of academic society of Michal Baludansky*. Kosice, Slovakia, 2019. № 7. P. 73–78.
11. Posviatenko E., Posviatenko N., Budyak R. etc. Influence a material and the technological factors



on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Fastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48–56.

12. Rasheed A. Abdullah, Shepelenko I., Posviatenko E. Experimental quality improvement of the application of antifriction coating. *First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials (ICAPSM 2020)* (13–14 August 2020, Combatore, India) Published by the Institute of Physics, United Kingdom, 2020. P. 1–11.

### References

1. DSTU 2860:1994 (1995) Nadiynist' tekhniki. Terminy ta vyznachennya. [Reliability of equipment. Terms and definitions.] Kyiv [in Ukrainian].
2. Shneyder, Yu. G. (1982) Eksploatatsionnyye svoyst-va detaley s regulyarnym mikrorel'yefom: monografiya. [Performance properties of parts with a regular microrelief] Leningrad, [in Russian].
3. Aftanaziv, I. S., Havrysh, A. P., Kyrychok, P. O. etc. (2001) Pidvyshchennya nadiynosti detaley mashyn poverkhnevym plastychnym deformuvanniam. [Increasing the reliability of machine parts by surface plastic deformation.] Navch. posibnyk. Zhytomyr. [in Ukrainian].
4. Nakhaychuk, O. V. (2000) Mekhanyka deformyrovannya pry vnedrenny trapetseydal'noho yndentora. [Mechanics of deformation during the introduction of a trapezoidal indenter.] *Vibratsiyi u tekhnitsi i tekhnolohiyakh*. Vinnytsya, no 2 (14), pp. 47–51. [in Russian]
5. Marchenko, A.P., Tkachuk, M.A., Sobol, O.V. etc. (2017) Innovatsiyni tekhnolohiyi kompozytsiynoho zmitsnennya poverkhni elementiv vyrobiv dlya oboronnoyi ta enerhetychnoyi haluzey. [Innovative technologies of composite surface strengthening of product elements for the defense and energy industries] *Mekhanika ta mashynobuduvannya*. Kharkiv, no 1, pp. 234–245. [in Ukrainian].
6. Shepelenko, I. V. (2021) Naukovi osnovy tekhnolohiyi nanesennya antyfyryktsiynykh pokryttiv z vyko-rystanniam plastychnoho deformuvannya: avto-ref. dys. ... dokt. tekhn. nauk. [Scientific basis of the technology of application of antifriction coatings using plastic deformation] Kyiv, 2021.
7. Posviatenko, E., Posviatenko, N., Rybak, I. (2020) Structural Metal Materials of Machine Parts with Regular Surface Reliefs. *Bezpiecznstwo I Materialy Eksploatacyjne wybrane zagadnienia: monografia*, no. 20, seria: Inzynieria Mechaniczna. Rzeszow, pp. 81–84.
8. ISO 14577–3:2015. (2015) Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks. Geneva.

9. Radzevich, S.P., Storchak, M. (Editors) (2022) *Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design*, USA: Springer, XXXIII.
10. Posviatenko, E., Posviatenko, N. (2019) Kholodne plastychne deformuvannya, yak efektyvnyy metod inzheneriyi poverkhni detaley mashyn [Cold plastic deformation as an effective method of surface engineering of machine parts] *Scientific letters of academic society of Michal Baludansky*. Kosice, Slovakia, no 7, pp. 73–78. [in Ukrainian].
11. Posviatenko, E., Posviatenko, N., Budyak R, etc. (2018) Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Fastern-european journal of enterprise technologies*, no 5/12 (95), pp. 48–56.
12. Rasheed, A. Abdullah, Shepelenko, I., Posviatenko, E. (2020) Experimental quality improvement of the application of antifriction coating. *First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials (ICAPSM 2020)* (13–14 August 2020, Combatore, India) Published by the Institute of Physics, United Kingdom, 2020, pp. 1–11.

**Посвятенко Наталія Іванівна<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, natali1963@ukr.net, тел. +38 050-915-04-72.

**Посвятенко Едуард Карпович<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, pek1943@ukr.net, тел. +38 050-915-04-71.

**Рибак Ілля Петрович<sup>1</sup>**, аспірант кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, [ilya.0003@ukr.net](mailto:ilya.0003@ukr.net), тел. +38 097-214-78-31.

<sup>1</sup>Національний транспортний університет, 01010, Україна, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1.

**Ковалевський Сергій Германович<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова, 2407180@ukr.net, тел. +38097-24-071-80.

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002.

### The improvement of operational properties of the parts of means of transport by applying regular reliefs

**Abstract. Problem.** Specially created regular surface reliefs strongly influence the reliability and operational properties of machine parts. One of the effective methods of obtaining reliefs is cold plastic deformation (CPD). This method of modification does not lead to the occurrence of significant stresses in the material of the part and can be form-forming. The latter is important in repair production. However, to date, there is no systematic study of the formation of reliefs by CPD methods, especially with the use of linear indenters. **Goal.** To improve the operational properties of the parts of means of transport by

applying regular micro- and macro-reliefs of technological and operational purposes by deepening linear indenters. **Methodology.** Press hydroficated equipment was used to create a normal indenter penetration force. The brands of typical structural materials are defined: steel, gray cast iron, bronze, brass, aluminum and titanium alloys. A linear indenter made of high-speed steel with angles at the top of  $60^\circ$  -  $90^\circ$  and a radius at the base of 0.005 - 0.5 mm was created. Methods of microstructural analysis and microhardness, standard and original instruments and devices were used. The range of groove depths was 0.02-0.5 mm. A lubricating-cooling liquid based on rapeseed oil was used. **Results.** It was hypothesized that when the indenter is immersed in the material of the part, the factors that have the greatest influence on the depth and other parameters of the relief groove are the normal strength, hardness, and relative elongation of the material under study. These theoretical principles formed the basis of the mathematical model of the indentation process. **Originality.** It was created a classification of regular reliefs by purpose: for preliminary division of the allowance during cutting; for preparing the surfaces of parts for applying coatings, including anti-friction films; to create labyrinths on the surface of parts for lubricants; for preliminary separation of fragmentary ammunition cases; to create strengthened new load-bearing surfaces, in particular, discrete when restoring worn parts; to obtain complex profiles on the surfaces of the holes of the parts. The calculation of the impact of the indentation force and the geometric parameters of the linear indenter on the shape and dimensions of the relief groove has been developed. Theoretical propositions about the influence of the embedment force, hardness and plasticity of the material of the part on the parameters of the relief

groove were experimentally confirmed. These factors affect the optimization parameter both directly and through intermediate factors: the radius of rounding and the angle at the top of the indenter and the composition of the lubricating and cooling liquid and the speed of immersion. The interrelationship of phenomena during the formation of reliefs and the dependence of the depth of the groove on the process factors are constructed. **Practical value.** The method of restoring worn parts by indenting a linear indenter was developed, the principle of obtaining discrete surfaces of machine parts by alternating relief grooves with flat areas within a discreteness of 5-50% and methods of obtaining shaped surfaces in the holes of hollow parts by copying were developed.

**Key words:** relief, cold plastic deformation, operational properties of parts of means of transport, linear indenter, depth of microrelief groove.

**Posviatenko Nataliia**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Department of transport construction machinery engineering, natali1963@ukr.net, tel. +38 050-915-04-72.

**Posviatenko Eduard**<sup>1</sup>, professor, Doct. of Science, Department of Manufacturing, Repair and Materials Science, pek1943@ukr.net, tel. +38 050-915-04-71.

**Rybak Illia**<sup>1</sup>, post-degree student, Department of Manufacturing, Repair and Materials Science, [ilya.003@ukr.net](mailto:ilya.003@ukr.net), tel. +38 097-214-78-31.

<sup>1</sup>National Transport University, 1, Omelianovycha-Pavlenka str., Kyiv, 01010, Ukraine.

**Kovalevskiy Serhii**, PhD, Associate Professor Department of building and road machines, 2407180@ukr.net, tel. +38097-24-071-80.

<sup>2</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University Yaroslava Mudroho str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.