

червоної фрези пластинами з твердих і надтвердих сплавів; нанесення захисних покриттів на поверхні зубців, які працюють в найменш сприятливих умовах різання.

1. Грицай І.Е. Исследование закономерностей изменения сечений срезов при нарезании зубчатых колес червячными фрезами // Автоматизация производственных процессов. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Львов. Изд-во ЛПИ. – 1990. – Вып. 29. – С. 40 – 45. 2. Основи підвищення ефективності процесу нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Дис. ... д-ра техн. наук. – На правах рукопису. – Львів, 2003. – 425 с. 3. Грицай І.С., Ситнік В.В. Силове поле черв'ячної зуборізної фрези та його кількісна оцінка // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1999. – № 371. – С. 3 – 13. 4. Грицай І.С. Кінематичні кути інструмента, який працює в умовах обкочування // Наукові нотатки Луцького держав. техніч. ун-ту. – 2001. – Вып. № 9. – С. 92 – 112. 5. Грицай І.С. Моделювання спектра гармонічних складових сили різання у процесах зубофрезерування в умовах обкочування // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – 2000. – № 412. – С. 18 – 32. 6. Грицай І.С. Прогнозування стійкості черв'ячних фрез за інтенсивністю теплових потоків і температурою їх робочих поверхонь // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2002. – № 442. – С. 26 – 35.

УДК 621.914.5:621.9.015

І.С. Грицай, Є.М. Махоркін

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ СИЛИ РІЗАННЯ ВІД ФАКТОРІВ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ

© Грицай І.С., Махоркін Є.М., 2003

Наведено результати експериментального дослідження питомої сили різання зубофрезерування. Отримано функцію питомої сили зубофрезерування від умов обробки, яка забезпечує вищу точність силових розрахунків цього процесу та можливість моделювання просторової функції сили різання на координатах активного простору черв'ячної фрези.

The outcomes of an experimental research of specific force of cutting of cylindrical cog-wheels by screw type are rotined. The functional connection of specific force of milling is obtained depending on conditions of cutting. This dependence allows more precisely to count power loading and introduce loading by the way force fields.

Однією із важливих проблем, вирішення якої необхідне для математичного моделювання сили й моменту різання, розрахунку силового навантаження на елементи зубофрезерного верстата та оптимізації умов його роботи, є визначення питомої сили різання зубофрезерування. За допомогою питомої сили різання, яка належить до основних характеристик оброблюваного матеріалу та різання, можна подати силу різання черв'ячної фрези та закономірності її зміни у часі обробки в функції від параметрів зрізів. Незважаючи на важливість даного параметра для силових розрахунків зубофрезерування, ця проблема на теперішній час все ще недостатньо вивчена.

Відсутність даних про питому силу різання зумовлена тим, що переважна більшість відомих залежностей для розрахунку сили різання черв'ячної фрези мають емпіричний характер і ставлять у залежність середнє або максимальнє значення цієї сили від факторів зубофрезерування (модуля, кількості зубців нарізаного колеса, робочих режимів тощо) за допомогою коефіцієнта різання C_p . [1 – 4]. Проте такий підхід виправданий для простих схем різання та методів обробки – одноінструментних та однолезових, які характеризуються незмінними в часі різання параметрами зрізів та постійною силою різання, як, наприклад, токарна обробка. У випадку зубофрезерування розрахунок середнього на фрезі значення сили різання призводить до надмірної схематизації та невиправданого спрощення дійсного силового навантаження, яке насправді має характер просторової функції, що періодично змінюється в часі різання з періодом обертання фрези і формується на координатах активного простору черв'ячної фрези. Окрім того, стримувальними факторами дослідження питомої сили є відсутність методів та залежностей для точного відтворення параметрів зрізів черв'ячної фрези на кожному зубці та лезі.

Використання для розрахунків сил та моментів різання питомої сили розповсюджене у теорії різання для різних методів обробки деталей машин і дає задовільні результати, але адекватність розрахункових даних залежить від точності та коректності визначення питомої сили різання. Так, у роботі [5] наведені числові значення цього параметра для зубонарізання низки конструкційних матеріалів, проте не враховано, що питома сила є функцією умов обробки, а її значення змінюється в широких межах внаслідок зміни робочих режимів, конструктивно-технічних параметрів інструмента та заготовки. Крім того, наведені дані питомої сили отримані для товщини і ширини зрізів, методика розрахунку яких не відповідає їх дійсним значенням. У результаті наведені у зазначеній праці значення питомої сили не відображають фактичних властивостей матеріалу і різання і потребують уточнення.

Враховуючи стан проблеми та практичне значення її вирішення для проектування технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс, метою досліджень було встановити залежність питомої сили зубофрезерування від модуля, кількості зубців колеса, швидкості і глибини різання та осьової подачі й отримати аналітичний вираз питомої сили зубофрезерування.

Методика експериментальних досліджень

Дослідження проводили в послідовних дискретних положеннях одного зубця інструментальної рейки і перехідної поверхні западини на основі методу моделювання однозубого різання [6, 7] на горизонтально-фрезерному верстаті, оснащеному ділильною головою. Циліндричні колеса $m = 3$ і $4,5$ мм; $z = 27, 33$ і 41 із сталі 45 і сталі 20 нарізали з зустрічною і попутною подачею, яку змінювали в межах від 1 до 4 мм/об. при швидкостях різання 20,1 м/хв.; 38,6 м/хв.; 43,5 м/хв.; 59 м/хв. Глибину різання змінювали в межах $(0,3 - 1) h$, де $h = 2,25 m$ – повна висота профіля зубця. Черв'ячні фрези, різання яких відтворювали за допомогою однозубої фрези – праві однозахідні (ГОСТ 9324-80) з кількістю рейок, що дорівнює 9 та кутом підйому основного черв'яка $2,2^\circ$. Матеріал різальної частини інструментів – швидкорізальна сталь Р6М5.

Для вимірювання головної складової сили різання і обертового моменту на осі зубчастого колеса використовували тензометричні та п'єзоелектричні давачі. У першому випадку в ободі колеса ($z = 27$) утворено вікна для установки тензометричних давачів, які наклеювали на внутрішні поверхні ободу, стінки та бокові площини спиць. Для деформування

елементів заготовки під дією сили різання товщина пружних елементів дорівнює 2,5 мм. Сигнали з тензодавачів, з'єднаних між собою двома мостовими схемами, які змонтовано на кронштейнах і закріплено на заготовці (рис. 1, а), відбирали за допомогою тензометричного підсилювача типу УТ4-1 і фіксували на екрані записувального електронного осцилографа мод. ІС-78 з часом збереження імпульсу до 10 с.

Для визначення сили різання за допомогою п'єзоелектричних давачів виготовлено заготовки зубчастих коліс модулем 4,5 мм, з кількістю зубців, що дорівнює 31; 33 і 41. У ступицях заготовок у радіальній площині і площині торця утворено площадки для установки і закріплення давачів (рис.1, б). Сигнал з п'єзоелектричних давачів знімали безпосередньо на осцилограф.

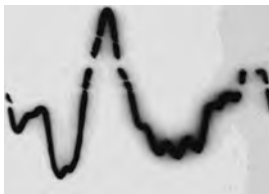


а

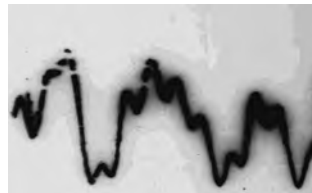


б

Рис. 1. Загальний вигляд заготовок для вимірювання сили різання за допомогою тензо- та п'єзоелектричних давачів



а



б

Рис. 2. Імпульси сили різання, зафіксовані за допомогою запам'ятовуючого осцилографа мод. ІС-78: а – $P_z = 198$ Н; б – $P_z = 174$

Тензоелектричні давачі тарували статичним навантаженням за допомогою системи важелів із заданими співвідношеннями плечей. Тарування п'єзоелектричних давачів здійснювали ударною, а силу удару визначали за розміром відбитку кулі діаметром 20 мм шарикопідшипника на загартованій до твердості HRC 47-49 та шліфованій пластині згідно з методикою [8]. Значення сили у момент кожної різі знаходили за розмахом першої гармоніки коливання, як площу під осцилограмою, поділену на довжину опорної ділянки осцилограми. Дійсну величину головної складової сили різання порівнювали з розміром сигналу на трубці осцилографа за масштабною сіткою; типові форми імпульсів, які відображають ударний характер сил тарування і різання, показані на рис. 2.

Результати досліджень та їх опрацювання

Відповідно до умов експериментального моделювання обкочувального зубофрезерування у послідовних відносних кутових та лінійних положеннях оброблюваного колеса та інструмента в попутному та зустрічному різанні фіксували максимальне значення головної складової сили різання. Для цих самих відносних положень за допомогою моделі парамет-

рів зрізів [9] розраховували усереднену по куту контакту сумарну максимальну площу поперечного перетину зрізу на усіх активних лезах даного зубця фрези. Середньо-максимальні силу і площу перерізу зрізів визначали як частку від ділення площі під графіками, відповідно, сили та площі перерізу зрізів, на довжину опорного відрізка L_x кривих. Питому силу різання знайдено як середню для даних умов частку від ділення експериментального значення сили різання на площу поперечного перерізу зрізу

$$p_i = \frac{1}{z_A} \cdot \sum_i \frac{P_{oi}}{S_i}; \quad (1)$$

де z_A – кількість активних зубців на поверхні основного черв'яка; S_i , $S_{i\text{серед}}$ – відповідно середньомаксимальна площа перетину зрізів на i -му зубці.

На рис. 3 показано експериментальні значення сили P_o однозубого дискретного різання у послідовних положеннях різця на активній довжині фрези під час зустрічного різання, а на рис.4 – площу перерізу зрізів для тих же умов обробки (сталь 45; $m = 3$ мм і 4,5 мм; $s_o = 1$ мм / об.; $z = 41$; $z_o = 9$; $d_{a\phi} = 80$ мм).

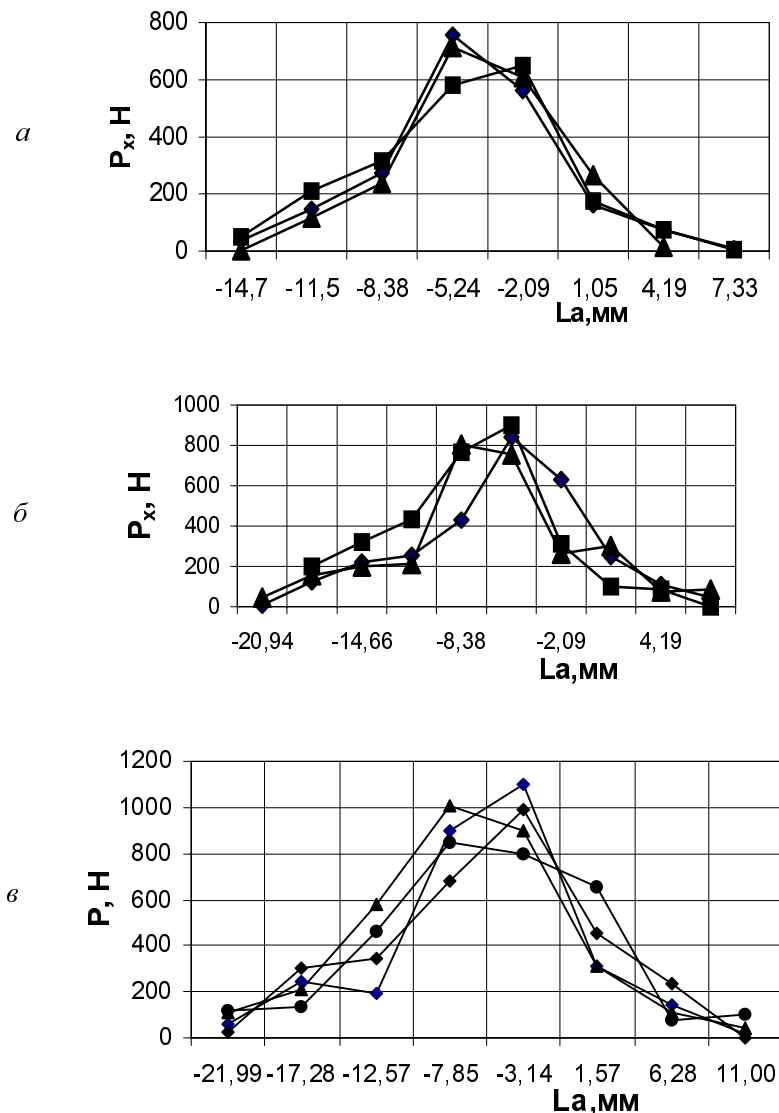


Рис. 3. Сила P_o однозубого різання у зустрічній подачі:
 а – $m = 3$ мм; $t = 0,6 \cdot 2,25$ т; б – $m = 3$ мм; $t = 2,25$ т; в – $m = 4,5$ мм; $t = 1,35$ т

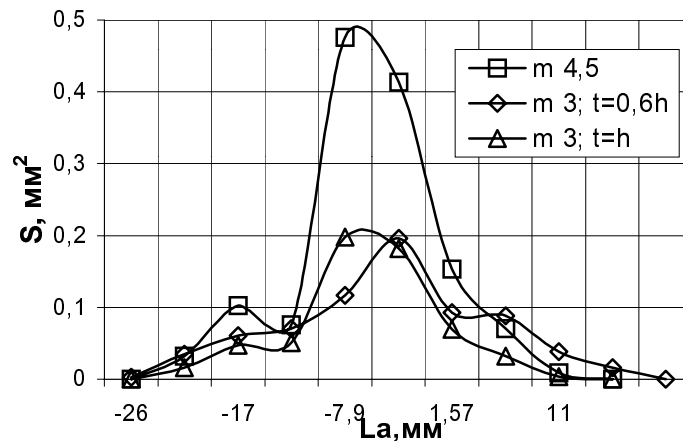


Рис. 4. Площа перерізів зрізів однозубого різання на активній довжині фрези
 $s_o = 1 \text{ мм / об.}; z_0 = 9; d_{af} = 80 \text{ мм}$

На підставі отриманих та опрацьованих даних встановлено таку функцію питомої сили різання зубофрезерування від початкових умов процесу

$$p = p_0 \cdot m^{-0,22} \cdot s_o^{-0,1} \cdot t^{0,1} \cdot z^{-0,51} \cdot V^{-0,15}, \text{ МПа.} \quad (3.34)$$

Постійна p_0 для марок сталей, які досліджували у цій роботі, під час нарізання коліс із зустрічним та попутним напрямками подачі наведена у таблиці. Значення “ p_0 ” відповідає таким значенням конструктивно-технічних параметрів процесу: $m = 3 \text{ мм}; z = 27; z_0 = 9; s_o = 1 \text{ мм / об.}; V = 20 \text{ м / хв.}$

Значення постійної у формулі питомої сили та середні значення питомої сили зубофрезерування сталей

Матеріал зубчастого колеса	сталь 45	сталь 20	сталь 50	сталь 40X
p_0 , МПа	23410	32500	28100	30220
p , МПа	Зустрічна подача			
	3750	5610	4500	4846
	Попутна подача			
	3050	4240	3660	3940

Графіки залежності питомої сили зубофрезерування від основних параметрів процесу і робочих режимів зубофрезерування показані на рис. 5 і рис. 6. Як це впливає із встановленої функції питомої сили від факторів процесу й режимів різання, ця залежність є “падаючою” для модуля, подачі, кількості зубців колеса та швидкості різання, і зростаючою – для глибини різання. Найвище значення питомої сили зубофрезерування сталі 20 можна пояснити високими пластичними властивостями цієї марки сталі та найбільшими з-поміж усіх досліджуваних матеріалів інтенсивністю деформування під час різання.

Одночасно зі збільшенням товщини зрізу зменшується кут зсуву і інтенсивність деформування в умовній площині зсуву. Цим можна пояснити “спадаючу” залежність питомої сили різання зубофрезерування від модуля та осьової подачі фрези, що відповідає умовам зменшення тиску на передній поверхні інструмента при збільшенні товщини зрізів і ділянки контакту.

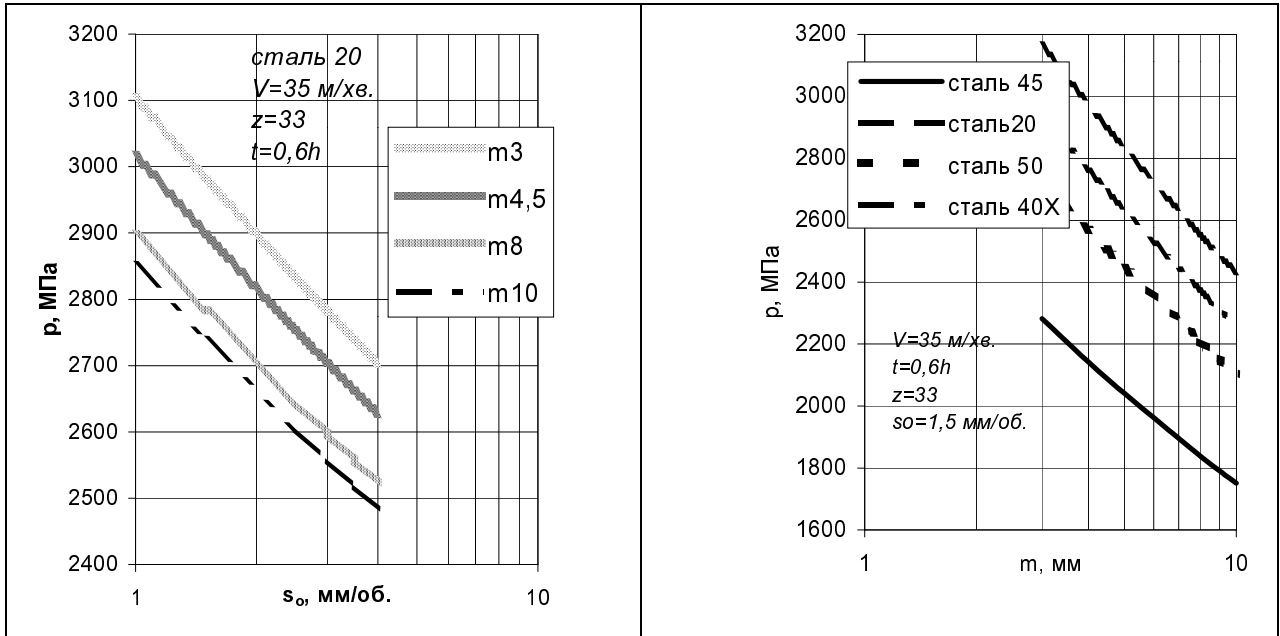


Рис. 3.45. Залежність питомої сили від осьової подачі (а) та модуля (б)

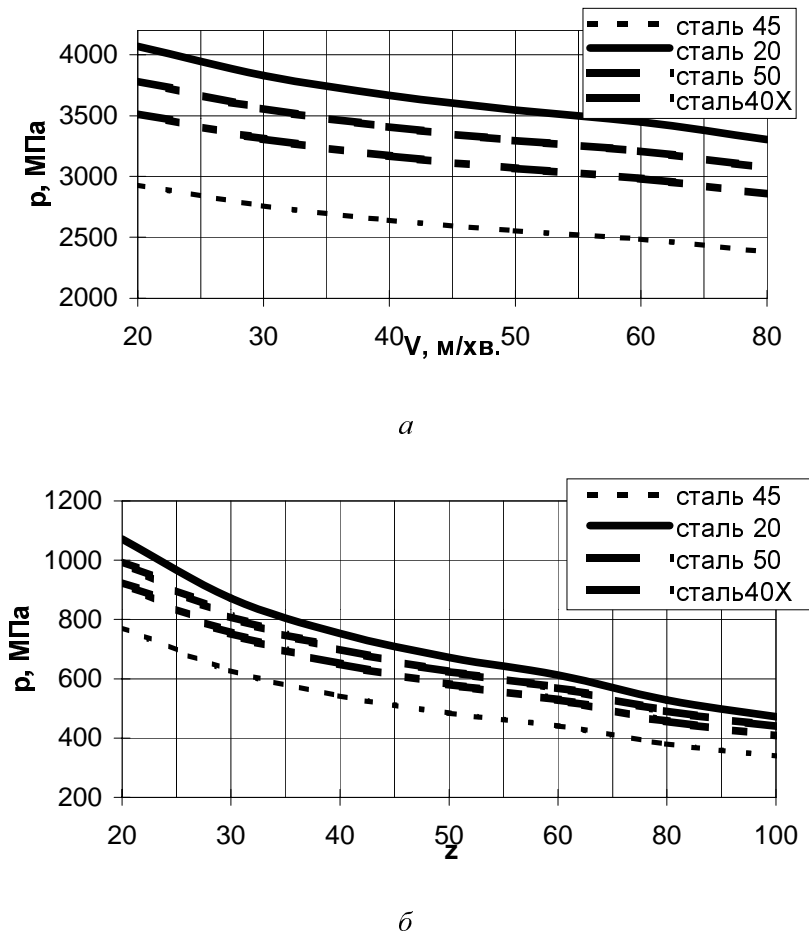


Рис. 6. Залежність питомої сили зубофрезерування від швидкості різання (а) і кількості зубців колеса (б)

За допомогою функції питомої сили різання, яка характеризує механічні властивості цього матеріалу, та площею перерізів зрізів (як функції конструктивно-технічних параметрів інструмента, зубчастого колеса та режимів різання) на кожному активному зубці черв'ячної фрези в довільній фазі повороту передньої його поверхні, можна розрахувати силу різання у всьому активному просторі черв'ячної фрези та відтворити просторову функцію її силового навантаження. Отже, досліджений у цій роботі параметр різання – питома сила зубофрезерування забезпечує вищу точність силових розрахунків, що відповідає зростаючим вимогам сучасного виробництва та можливостям наукових досліджень.

1. Адам Я.И., Овумян Г.Г., Сидоренко А.К. Нарезание зубчатых колес повышенной твердости. – М.: ВНИИТЯЖМАШ, 1957. – С. 25 – 27. 2. Митряев К.Ф. Новые исследования в области динамики и тепловых явлений при зубофрезеровании. Прогрессивные методы производства зубчатых колес и их технологичность / Под ред. М.Б. Громана. – М.: Машигиз, 1962. – С. 286 – 302. 3. Производство зубчатых колес: Справочник / С.Н. Калашиников, А.С. Калашиников, Г.И. Коган и др.; Под общ. ред. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с. 4. Медведев С.Н. Высокопроизводительное нарезание фрезами. – М.: Машиностроение, 1981. – 104 с. 5. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических зубчатых колес. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1977. – 168 с. 6. Спосіб визначення сили різання та параметрів зрізів при зубофрезеруванні в умовах обкочування: Пат. 30961А України, В23 F5/04 / І.Є. Грицай (Україна). № 98063301; Заявл. 24.06.98; опубл. 15.12.2000. Бюл. – № 7. – Ч. 2. – С.1. 102. 7. Грицай І.Є., Ситнік В.В. Силове поле черв'ячної зуборізної фрези та його кількісна оцінка // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1999. – № 371. – С. 3 – 13. 8. Литвиняк Я.М. Експериментальне дослідження процесу ударної взаємодії з поверхнею деталі робочих елементів інструментів для ППД // Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – 1998. – № 321. – С. 52 – 56. 9. Основи підвищення ефективності процесу нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Дис. ... д-ра техн. наук. – На правах рукопису. – Львів, 2003. – 425 с.

УДК 621.787

В.І. Кирилів*, Я.Б. Кирилів

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування”,

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ВПЛИВ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ НА ЗНОСОТРИВКІСТЬ СТАЛІ 40Х

© Кирилів В. І., Кирилів Я. Б., 2003

Показано підвищення мікротвердості приповерхневих шарів сталі 40Х вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою, внаслідок якої збільшується її зносотривкість в олівному середовищі, причому зносотривкість зростає зі збільшенням питомого навантаження.

The increase of steel 40X superficial layers microhardness by vibration-centrifugal strengthening processing as a result of which its wearing endurance is increased in oil environment, and it grows with increase of specific loading.

Довговічність, надійність, економічність, конкурентоспроможність – основні критерії сучасного розвитку техніки. Відомо [1], що 80 % відмов у техніці та передчасних виходів з