ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

КРУК ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК621.87

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗОВНІШНІХ НАПІВКРУГЛИХ ШЛІЦЬОВИХ КАНАВОК У ВАЛАХ ТА НАПРАВЛЯЮЧИХ

05.02.08 – технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України "Бережанський агротехнічний інститут " Кабінету міністрів України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Михайлович Ярослав Миколайович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
декан механіко-технологічного факультету,
доцент кафедри технічного сервісу в АПК ім. М.П. Мамотенка.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Петрина Юрій Дмитрович
Івано-Франківський національний університет нафти і газу,
завідувач кафедри технології нафтогазового виробництва;

кандидат технічних наук, доцент
Стойко Ігор Іванович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
доцент кафедри підприємницької діяльності.

Захист відбудеться " 9 " грудня 2010 р. о 10^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська 56.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська 56.

Автореферат розісланий " 3 " листопада 2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Данильченко Л.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом в машинобудуванні широкого поширення набули кулькові шліцьові з'єднання, лінійні та рейкові направляючі, які дозволяють здійснювати осьові переміщення зі зменшеними осьовими зусиллями опору. Це дає можливість розширити сферу застосування цих вузлів у військовій, будівельній, медичній та інших промисловостях з підвищеною експлуатаційною надійністю і довговічністю.

Обробка валів цих з'єднань відноситься до складних операцій в машинобудуванні, оскільки величина відношення їх довжини до площі поперечного перерізу є великою.

Найпрацемісткішими у виготовленні є ступінчаті вали, які мають шийки під підшипники, шпоночні та шліцьові канавки, зубчаті колеса та нарізеві поверхні.

Виробництво і відновлення деталей типу "вал", характеризується недостатньою жорсткістю об'єкту виробництва, що вимагає від технології використання додаткових технологічних баз, а також спеціальних пристроїв, що значно ускладнює технологічний процес виробництва і відновлення деталей.

Удосконалення конструкції і технології виготовлення валів з напівкруглими шліцьовими канавками (НШК) і направляючих та існуючих методів оброблення таких шліцьових профілів, а також розроблення та впровадження нових прогресивних технологічних процесів є актуальною проблемою і має важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дослідження проведено відповідно до тематики відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів природокористування і ВАТ "Тернопільський комбайновий завод" і є складовою частиною наукової теми "Розробка і дослідження ресурсозберігаючих технологій в галузі сільськогосподарського машинобудування на 2006–2010 рр. (№ держреєстрації 0110 U002264), а також відповідно до державної науково-технічної програми ДНТП "Пріоритетні напрямки науки і техніки", які реалізуються в рамках Постанови Кабінету Міністрів України № 134 "Про розвиток сільського машинобудування", координаційного плану Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти і науки України з розділів "Машинобудування" (поз.43) і "Високоефективні технологічні процеси в машинобудуванні" на 2006–2010 роки, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

Мета і задачі дослідження. *Мета роботи* – розроблення науково-практичних рекомендацій удосконалення технологічних процесів та технологічного оснащення для високопродуктивного оброблення пар кочення з'єднань шліцьових валів і направляючих та підвищення їх ремонтопридатності.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються такі задачі:

- провести аналіз конструкцій і технологій виготовлення шліцьових валів і направляючих з аналізом їх на технологічність щодо виготовлення, ремонтопридатності й експлуатаційної надійності та довговічності і на цій основі сформувати завдання з подальшого удосконалення технології їх виготовлення з розробленням високопродуктивного технологічного оснащення та інструментального забезпечення;

- теоретично обґрунтувати параметри технологічних процесів протягування і дорнування для оброблення напівкруглих шліцьових канавок на зовнішніх поверхнях валів і направляючих;
- розробити математичну модель технологічного процесу дорнування зовнішніх шліцьових поверхонь із виведенням аналітичних залежностей для визначення зусилля дорнування залежно від конструктивних і технологічних параметрів;
- провести комплекс експериментальних досліджень і вивести рівняння регресії для визначення зусилля дорнування півкруглих шліцьових канавок валів і встановити вплив режимів дорнування на зміну шорсткості поверхні;
- розробити інженерну методику проектування інструментального забезпечення для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічного оброблення зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих.

Предмет дослідження – інструментальне та технологічне забезпечення технології виготовлення зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведено з використанням фундаментальних засад технології машинобудування, інформатики, теорії пружності та пластичного деформування, теоретичної механіки, інженерної творчості та вибору раціональних технічних рішень. Апробацію розроблених алгоритмів, програм і методик здійснювали методом комп'ютерного моделювання.

Експериментальні дослідження проведено з використанням теорії експерименту та математичної статистики за допомогою комплексної програми та методики, що полягають у сумісному використанні фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання об'єкту досліджень для підтвердження адекватності отриманих результатів за допомогою діючого технологічного обладнання, розробленого та виготовленого технологічного оснащення.

В розрахунках і при обробленні результатів досліджень використано комп'ютерну техніку та сучасне програмне забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у подальшому розвитку науково-прикладних основ технологічного процесу виготовлення напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих. При чому вперше отримані такі результати:

- теоретично обґрунтовано параметри технологічних процесів протягування і дорнування при обробленні напівкруглих шліцьових канавок на зовнішніх поверхнях валів та направляючих;
- розроблено математичну модель технологічного процесу дорнування зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів з виведенням аналітичних залежностей для визначення зусилля дорнування залежно від конструктивних і технологічних параметрів;
- досліджено осьову сталість шліцьових валів та направляючих при дорнуванні напівкруглих канавок розробленим новим технологічним оснащенням і запропоновано практичні рекомендації для удосконалення відповідних технологічних процесів виготовлення напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих;

- вперше на основі математичного моделювання технологічного процесу дорнування виведено рівняння регресії з визначення відповідного зусилля дорнування.

Практичне значення отриманих результатів.

– розроблено технологічний процес виготовлення та конструкції технологічного оснащення, протяжний, дорнувальний та вимірювальний інструменти для виготовлення шліців на валах, які підтверджено патентами України;

– експериментально підтверджено теоретичні залежності для визначення впливу конструктивних і технологічних параметрів на процес дорнування валів;

– спроектовано, виготовлено експериментальний зразок кулькового дорна та пристрій для протягування зовнішніх напівкруглих шліцьових канавок валів;

– розроблено інженерну методику проектування інструментального забезпечення для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів і конструкції технологічного оснащення, які впроваджено на ВАТ “Ковельсільмаш”.

Вироблені практичні рекомендації передані для впровадження на ВАТ "Тернопільський комбайновий завод", а також впроваджено в навчальний процес підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст за спеціальністю 7.091902 "Механізація сільського господарства" та використовуються для викладання дисциплін: “Технологія сільськогосподарського машинобудування”, “Ремонт машин”, “Піднімально-транспортні машини”, “Сільськогосподарські машини” в ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут». Технічну новизну розроблень захищено шістьма деклараційними патентами України на корисні моделі.

Особистий внесок здобувача. Основні результати отримані автором самостійно[1–5]. У цих працях розроблено теоретичні передумови процесу дорнування півкруглих шліцьових канавок. У працях, виконаних у співавторстві, здобувачем визначено величину, інтервал та кількість ремонтних розмірів, а також проведено аналіз величини розсіювання розмірів після дорнування, досліджено вплив змащувально-охолоджуювальних рідин на процес дорнування, подано рекомендації щодо їх використання [6-9]. Норми точності та технічні вимоги, що висуваються до зовнішніх шліцьових канавок, а також результати експериментальних досліджень їх дорнування наведено в роботах [10-11]. Наукову новизну роботи захищено патентами України на корисні моделі [12-17]. Конструкцію інструменту та його розмірний аналіз наведено в працях [18-19]. Постановка задачі та аналіз результатів виконано спільно з науковим керівником та, частково, із співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на: науково-практичних конференціях Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль 2003-2009); Донбаській машинобудівній академії “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” (Краматорськ, 2005); Міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків “Проблеми енергоощадності при проектуванні виготовленні та експлуатації машинобудівних конструкцій” (Львів, 2007); Всеукраїнській конференції докторантів, аспірантів і пошукачів “Проблеми створення та технічної експлуатації машин і обладнання” (Кіровоград, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційні

технології в АПК" в Луцькому Національному державному технічному університеті (Луцьк, 2007, 2008, 2009); міжнародній науково-практичній конференції "Процеси механічної обробки, верстати і інструмент" (Житомир, 2007); Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції "Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво" (Одеса, 2007), Харківському технічному університеті "ХПІ" (Харків, 2007, 2008, 2009), Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка (Харків, 2007). У повному обсязі робота доповідалась й отримала позитивний відгук на розширеному науково-технічних семінарах Тернопільському національному технічному університету імені Івана Пулюя та національного університету біоресурсів і природокористування України.

Публікації. Результати наукових досліджень викладено у 21 друкованих працях (5 одноосібних), з яких – 11 статей у фахових виданнях, 6 деклараційних патентів на винаходи і 5 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації - 190 сторінок, в тому числі: 54 рисунків, 11 таблиць, список використаних літературних джерел із 107 найменувань та 11 додатків на 21 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації – 157 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну й практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз та узагальнення відомих наукових напрацювань і проблемних питань з проектування технологічних процесів та інструментів для оброблення зовнішніх профільних елементів та напівкруглих канавок, обґрунтовано доцільність проведення досліджень та перспективність використання деталей машин, одержаних на їх основі. Представлено спектр застосування зовнішніх напівкруглих канавок, а також конструкції вузлів і механізмів (рис.1), розроблених на їх основі.

Основним завданням в роботі є відпрацювання конструкцій шліцьових валів та направляючих із напівкруглими канавками на технологічність з розробленням прогресивних технологічних процесів їх виготовлення і відповідного технологічного оснащення, що забезпечить підвищення якості технологічних процесів, їх надійності та довговічності.

Дослідженням процесу оброблення різанням зовнішніх профільних елементів та зміцненням в процесі оброблювання металів тиском займались Розенберг О.А., Розенберг А.М., Проскуряков Ю.Г., Посвятенко Е.К., Гриценко Є.І., Папшев Д.Д., Шнейдер Ю.Г., Кузнецов А.М., Монченко В.П., Позднякова І.В., Киричок П.О., Дзюра В.О. та інші.

Проведено патентний пошук технологій та конструкцій інструментів для оброблення зовнішніх напівкруглих канавок. На основі проведеного аналізу визначено наукові підходи та напрямки досліджень в якості вихідних даних для вирішення поставлених в роботі задач.

У другому розділі розроблено технологічні передумови виготовлення напівкруглих канавок шліцьових валів і технологічного оснащення для

виготовлення зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та лінійних направляючих.

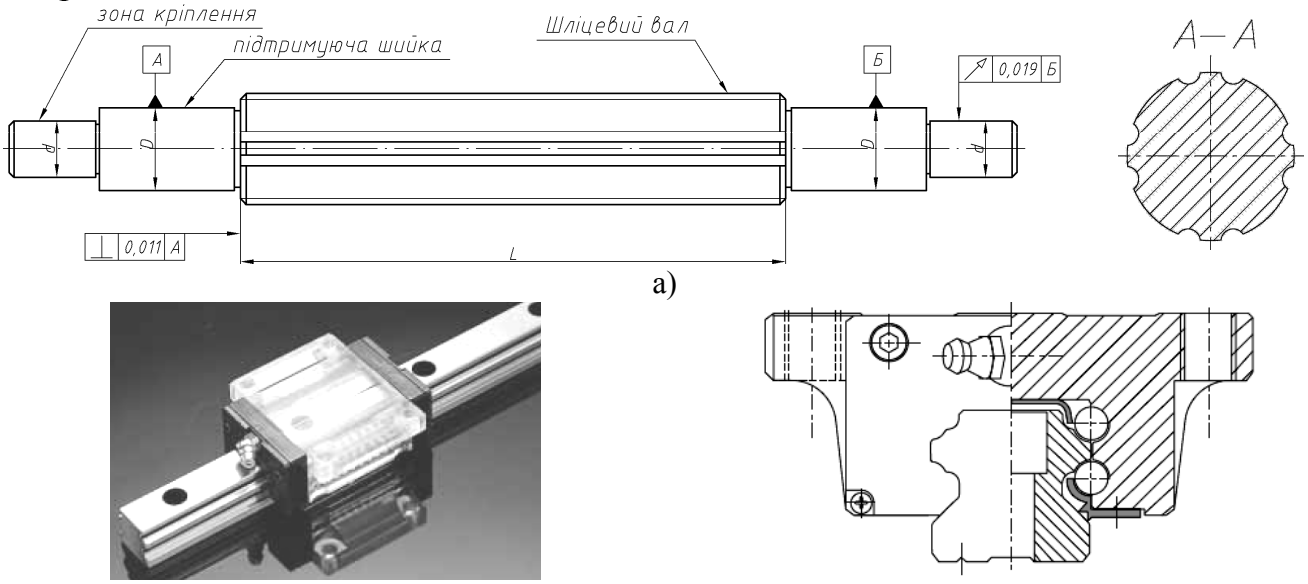


Рис.1. Шліцьовий вал: а) та система лінійного переміщення виробництва фірми “Thomson” з напівкруглими канавками в якості робочих поверхонь

Оскільки встановлено, що метод закріплення вала суттєво впливає на величину прогину δ_{max} при обробленні напівкруглих канавок шліцьових валів інструментом, то для розрахунку прийнято метод закріплення – консольне защемлення, яке досягається закріпленням вала і додатковим затиском в підтримуючій шийці та подовженні вала.

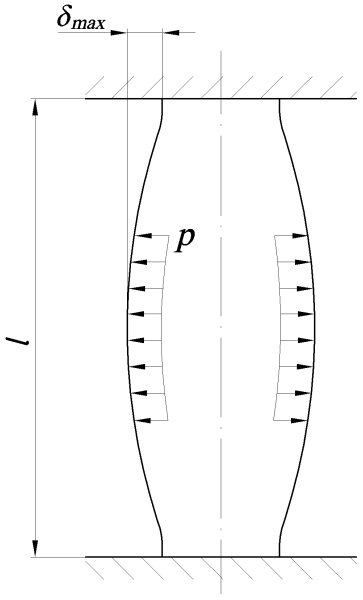


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення прогину шліцьового вала при обробленні напівкруглих канавок

Залежно від конструкції інструменту та навантаження оброблюваного вала розрахункова схема має різний вигляд.

Величину максимального прогину δ_{max} залежно від конструктивних та силових параметрів для даної розрахункової схеми (рис.2) визначено за формулою

$$\delta_{\max} = \frac{p \cdot l^4}{384EI} = \frac{1}{8} F_r l^3 C, \qquad (1)$$

де p – рівномірно розподілене навантаження по довжині вала, Н/м; l – довжина вала, м; E – модуль пружності першого роду, E =2,06×10^{11} Н/м^2; I – осьовий момент інерції, м^4; d – діаметр шліцьового вала, м; C – податливість шліцьового вала, 1/Н·м^2; F_r – радіальне навантаження на вал, Н.

Виведено залежність для визначення величини максимального прогину вала під час його оброблення пластичним деформуванням:

$$F_r = F\left(1 - \frac{\Delta}{4R}\right), \qquad (2)$$

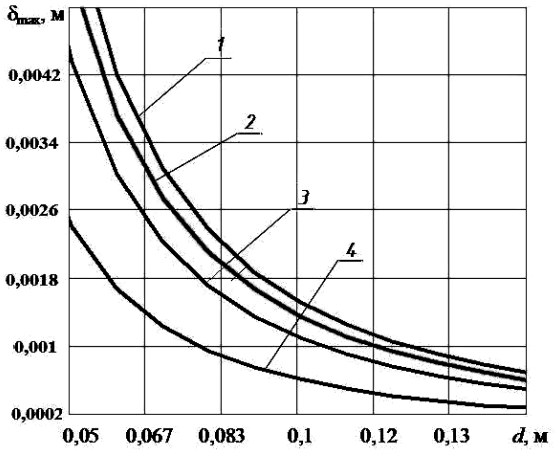
де F – сила деформування, Н;

$$\delta_{\max} = \frac{1}{4}\sigma_m \sqrt{\frac{2\Delta}{R}} \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) R^2 \left(1 - \frac{\Delta}{4R}\right) l^3 \frac{4}{3Ed^4\pi}, \qquad (3)$$

де Δ – величина припуску на оброблення дорнуванням (натяг), $\Delta = R\left(1-\cos\alpha\right)$ м;

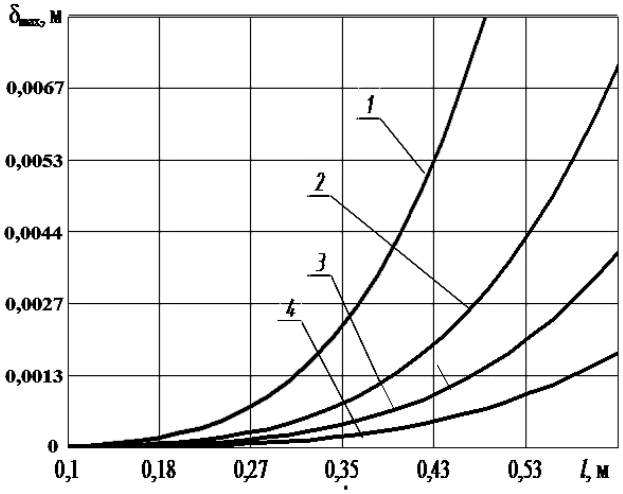
α – кут взаємодії між канавкою і кулькою в осьовому напрямку, $\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta}{R}}$, град; R – радіус канавки, м; h – глибина канавки, м; σ_m – межа текучості матеріалу канавки, МПа.

На рис. 3–6 зображено залежність величини прогину шліцьового вала від його конструктивних параметрів та технологічних параметрів процесу дорнування.



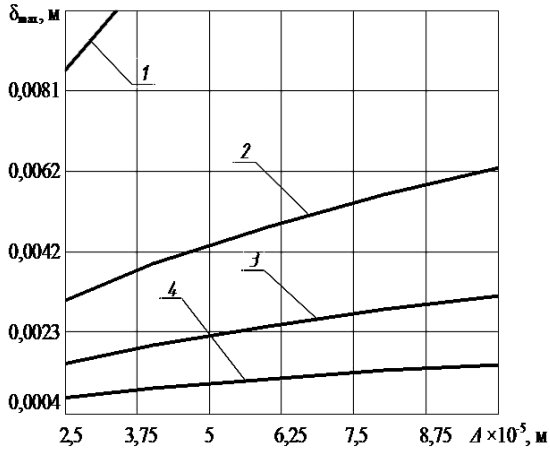
1 – сталь 18ХГТ (σ_m=900 МПа);
2 – сталь 40Х (σ_m=800 МПа);
3 – сталь 20Х (σ_m=650 МПа);
4 – сталь 45 (σ_m=360 МПа)

Рис. 3. Залежність прогину шліцьового вала при його дорнуванні від його діаметра для різних марок сталей (Δ=5×10^{-5}м; l=0,3м; h=3×10^{-3}м; R=5×10^{-3}м)



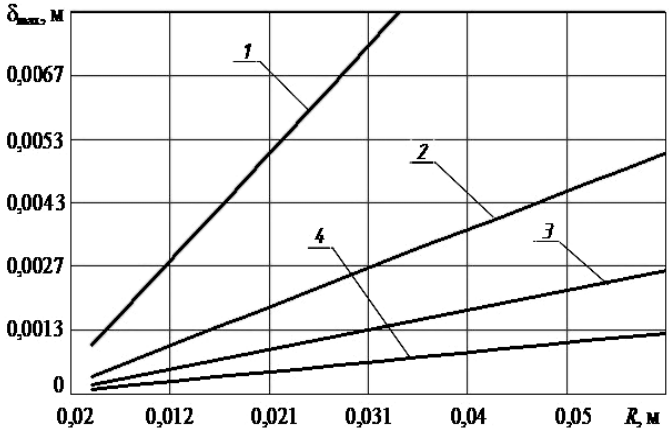
1 – d=0,03м; 2 – d=0,05м; 3 – d=0,07м;
4 – d=0,1м

Рис. 4. Залежність прогину шліцьового вала при обробленні дорнуванням від його довжини для різних діаметрів (σ_m=650 МПа; Δ=5×10^{-5}м; h=3×10^{-3}м; R=5×10^{-3}м)



1 – d=0,03м; 2 – d=0,05м; 3 – d=0,07м;
4 – d=0,1м

Рис. 5. Залежність прогину шліцьового вала при обробленні дорнуванням від припуску на оброблення для різних діаметрів вала (σ_m=650 МПа; h=3×10^{-3}м; R=5×10^{-3}м; l=0,3м)



1 – d=0,03м; 2 – d=0,05м; 3 – d=0,07м;
4 – d=0,1м

Рис. 6. Залежність прогину шліцьового вала при обробленні дорнуванням від радіусу напівкруглої канавки при обробленні для різних діаметрів валів (σ_m=650 МПа; h=3×10^{-3}м; l=0,3м; Δ=5×10^{-5}м)

Аналізуючи отримані теоретичні залежності для визначення величини прогину шліцьових валів з напівкруглими канавками під час їх оброблення дорнуванням в спеціальному пристрої, який забезпечує групове оброблення, робимо висновок, що за будь-яких технологічних параметрів процесу оброблення і конструктивних параметрів вала виникає необхідність компенсації його прогину, який значно перевищує припуски на оброблення дорнуванням. Тому, провівши теоретичні дослідження, а також проаналізувавши відомі конструкції інструментів для виготовлення напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих, розроблено конструкцію інструменту для дорнування валів, зображену на рис. 7.

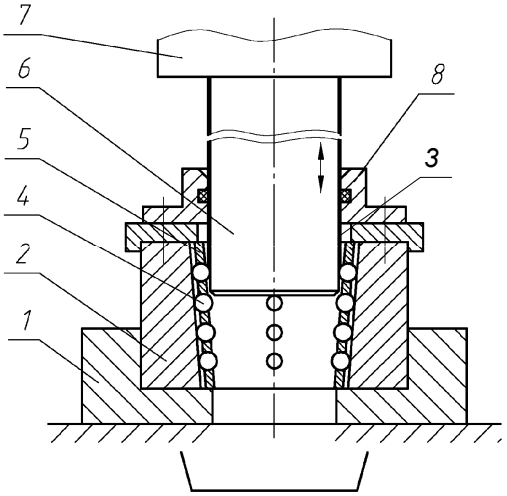


Рис. 7. Інструмент для дорнування напівкруглих шліцьових канавок валів та направляючих: 1 – корпус; 2 – матриця; 3 – напівкругла канавка; 4 – кульки; 5 – сепаратор; 6 – оброблюваний вал; 7 – повзун; 8 – направляюча (Пат. №48236, Україна)

Визначено натяг і зусилля деформації напівкруглих канавок шліцьових валів під час дорнування.

Процес дорнування напівкруглих канавок у валах та направляючих можна здійснювати двома способами (рис. 8).

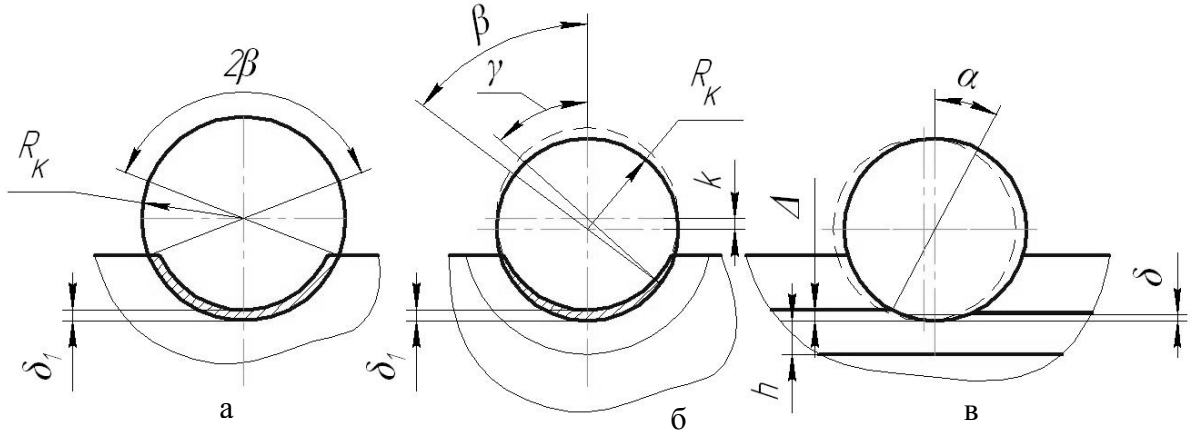


Рис. 8. Розрахункові схеми дорнування напівкруглої канавки кульками: а – центр кульки співпадає із центром канавки; б - центр кульки зміщений відносно центру канавки; в – схема взаємодії кульки і канавки в поперечному перерізі

Виведено аналітичну залежність для визначення зусилля дорнування, коли центр напівкруглої канавки співпадає із центром кульки:

$$F = 2\beta \cdot R_к^2 \cdot \left[\sigma_{TO} \cdot \alpha + \Pi \int_0^{\alpha} \ln\left(\frac{h + \Delta}{h + R_к\left(1 - \cos\alpha\right)} \right) d\alpha \right], \qquad (4)$$

де $R_к$ – радіус кульки, мм; β - кут взаємодії між кулькою та напівкруглою канавкою в поперечному напрямку, рад; σ_{TO} – екстрапольована межа текучості

матеріалу вала, МПа; α - кут взаємодії кульки та напівкруглої канавки в осьовому напрямку, рад; *П* – модуль зміцнення матеріалу вала, МПа; *h* – товщина деформованого шару, мм.

Виведено аналітичну залежність для визначення зусилля дорнування, коли центр кульки не співпадає із центром напівкруглої канавки (рис. 9):

$$F = 2 \cdot R_к^2 \cdot \left[\sigma_{TO}\beta + П \cdot \int_0^{\beta} \ln \left(\frac{h + \Delta}{h + \frac{\left(R_к \cos\beta + k\right) \cdot \sqrt{k^2 + \left(\frac{R_к \sin\beta}{R_к \cos\beta + k} \right)^2}}{k} - R_к} \right) d\beta \right] \times$$

$$\times \left[\sigma_{TO}\alpha + П \cdot \int_0^{\alpha} \ln \left(\frac{h + \Delta}{h + R_к\left(1 - \cos\alpha\right)} \right) d\alpha \right], \quad (5)$$

де *k* – величина зміщення центра кульки відносно центра напівкруглої канавки, мм.

На рис. 11, 12 наведено залежності зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів при обробленні із зміщеним центром кульки.

При цьому величину натягу визначено за залежністю:

$$\delta_1 = \frac{R_K \sin\beta}{\sin\gamma} - R_K, \quad (6)$$

де γ – кут між центром напівкруглої канавки і верхньою крайкою,

$$\sin\gamma = \frac{R_K \sin\beta \cdot k}{\left(R_к \cos\beta + k\right)\sqrt{k^2 + \left(\frac{R_k \sin\beta}{R_k \cos\beta + k} \right)^2}}. \quad (7)$$

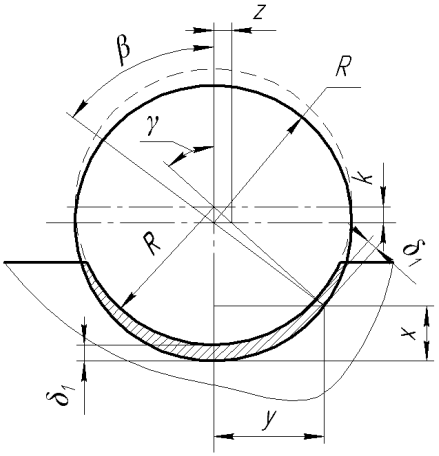


Рис. 9. Розрахункова схема для визначення величини натягу при зміщеному центрі кульки

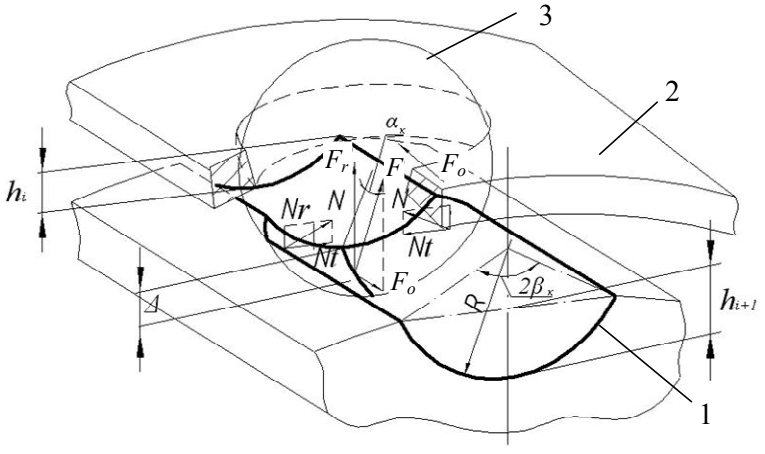


Рис. 10. Розрахункова схема для визначення складових зусилля дорнування напівкруглих шліцьових канавок: 1 – напівкругла канавка; 2 – сепаратор; 3 – кулька

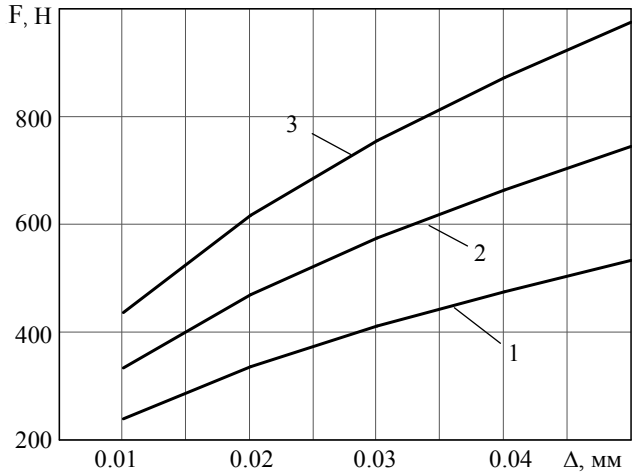


Рис. 11. Графік залежності зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від величини натягу (1 – $R_к$=4мм; 2 – $R_к$=5мм; 3 – $R_к$=6мм)

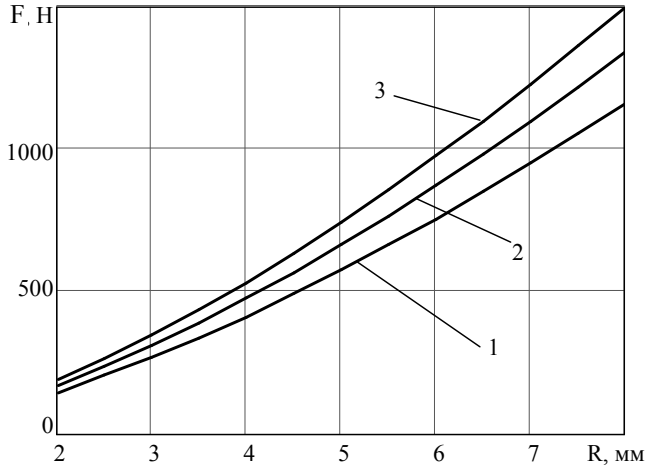


Рис. 12. Графік залежності зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від радіуса кульки (1 – Δ = 0,03 мм; 2 – Δ = 0,04 мм; 3 – Δ = 0,05 мм)

Проведено розрахунок на осьову сталість шліцьового вала при обробленні дорнуванням на запропонованому технологічному оснащенні.

Найбільш небезпечним фактором у процесі профілювання шліцьових канавок для довгих валів є втрата поздовжньої сталості при стисненні, що може призвести до деформації або поломки вала і є недопустимим. Тому метою подальшого дослідження є розрахунок сталості вала при поздовжньому навантаженні та вироблення рекомендацій для підвищення його сталості.

Проведено дослідження осьової сталості довгих валів при їх обробленні дорнуванням. Встановлено, що на різних етапах оброблення зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів в розробленому технологічному оснащенні закріплення вала здійснюється від консольного до шарнірного, що чинить суттєвий вплив на зміну осьової сталості при дорнуванні.

При цьому величина критичної сили при дорнуванні зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів в розробленому технологічному оснащенні визначено за формулою

$$F_{кр} = 4\pi^2 \frac{EI}{(\mu l)^2}, \qquad (8)$$

де μ – коефіцієнт, що визначає спосіб закріплення вала, I – осьовий момент інерції, l – довжина вала.

Зміна величини критичної сили при дорнуванні зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів в розробленому технологічному оснащенні здійснюється за рахунок зміни способу закріплення вала.

Для визначення розмірів інструменту проведено розмірний аналіз процесу дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів. Конструкція інструменту передбачає чистове оброблення методом дорнування напівкруглих канавок шліцьового вала з наступними параметрами: діаметр впадини напівкруглої канавки $d = 12{,}70^{+0{,}04}$ мм; внутрішній діаметр (діаметр розміщення впадин канавок), $d_д$=34,6$_{-0{,}06}$ мм; кількість канавок – 6; матеріал деталі – сталь 40.

Схему технологічного процесу пластичного деформування напівкруглих канавок шліцьового вала за розробленою технологією наведено на рис. 13, а схему відповідного розмірного ланцюга – на рис. 14.

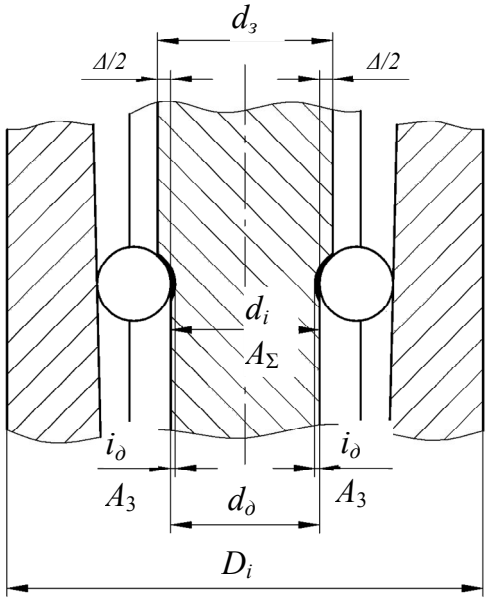


Рис. 13. Розрахункова схема технологічного процесу дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів:
$d_з$ – діаметр заготовки до пластичного деформування; d_i – діаметр (розмір) інструменту; i_∂ – пружні деформації у валу; Δ – величина припуску на одну кульку; d_∂ – діаметр вала після деформації

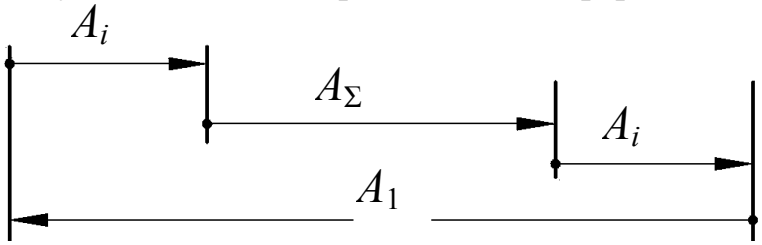


Рис. 14. Схема розмірного лінійного ланцюга для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів

Рівняння лінійного розмірного ланцюга для запропонованої схеми оброблення записано у вигляді:

$$A_\Sigma = A_1 - \left(A_i + A_2\right) = A_1 - 2A_i . \qquad (9)$$

Встановлено, що розмір інструменту (чистовий розмір) для пластичного деформування канавок для забезпечення d_∂ = $34{,}6_{-0{,}06}$ мм необхідно виконати з $d_i = 34{,}41_{-0{,}06}$ мм.

В третьому розділі наведено програму та методику проведення експериментальних досліджень. Досліджено технологічний процес виготовлення напівкруглих канавок на трьох типах об’єктів: валах шліцьових кулькових з’єднань, лінійних направляючих, систем лінійного переміщення та кулькових направляючих. Розроблено також програму та методику проведення експериментальних досліджень з визначення параметрів технологічного процесу дорнування зовнішніх напівкруглих канавок.

Спроектовано та виготовлено спеціальне технологічне оснащення, описано його будову та принцип дії, а також наведено конструкції вимірювальних інструментів.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідні зразки шліцьових валів з напівкруглими канавками (рис. 15). Матеріал валів – сталь 45; сталь 40ХН; сталь 20Х. Для чорнового нарізання напівкруглих канавок шліцьового вала розроблено спеціальну головку (рис. 16).

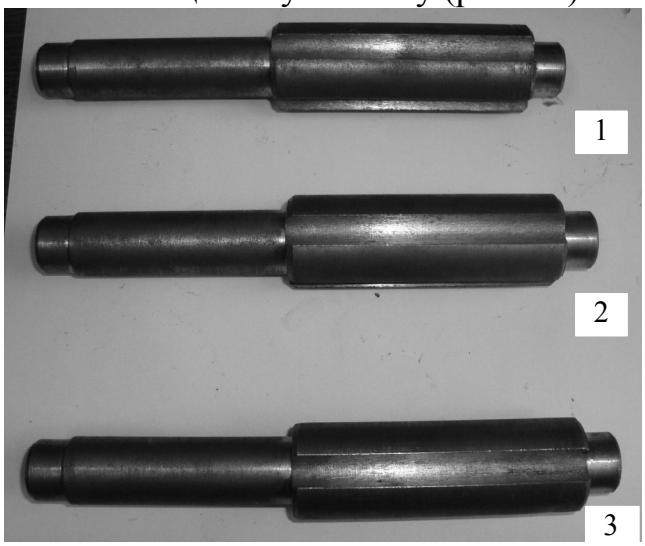


Рис. 15. Дослідні зразки шліцьових валів з напівкруглими канавками:
1 – сталь 45; 2 – сталь 40ХН; 3 – сталь 20Х

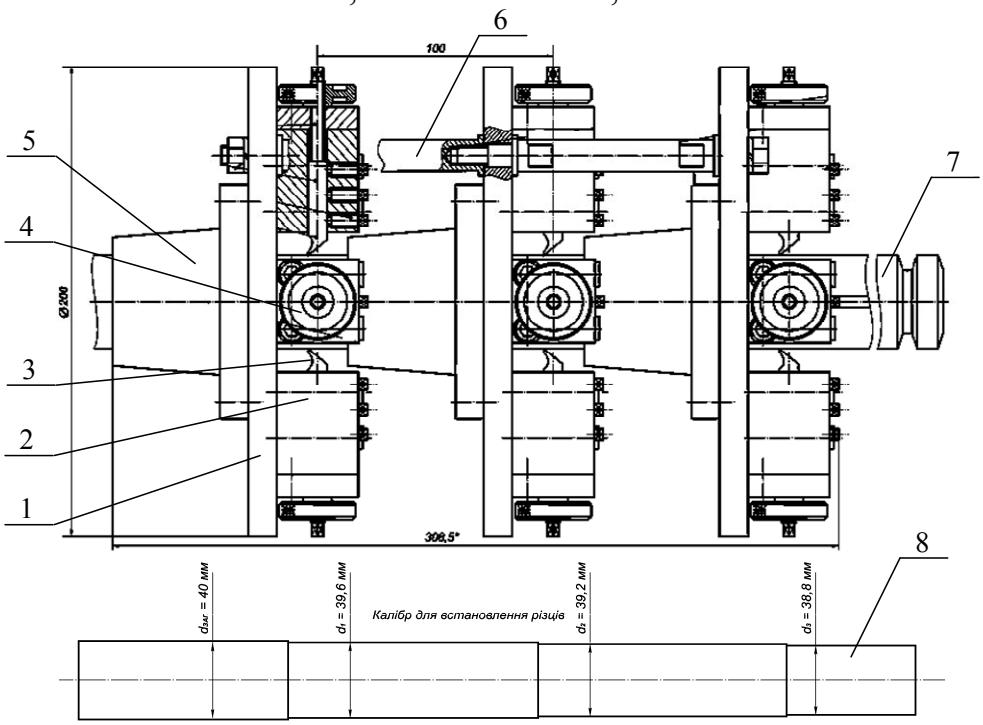


Рис. 16. Головка для одночасного протягування 4-х напівкруглих канавок:
1 – корпус; 2 – направляючі; 3 – різці; 4 – регулювальні механізми;
5 – направляючі втулки; 6 – з'єднувальні елементи; 7 – оброблювальна деталь;
8 – шаблон для встановлення різців

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень. Для виведення рівнянь регресії процесів дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів проведено повнофакторний експеримент ПФЕ 3^3.

Для проведення експерименту було спроектовано та виготовлено пристрій для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів (рис. 17).

Експериментальні дослідження проводили на гідравлічному пресі моделі П6320 (рис. 18).

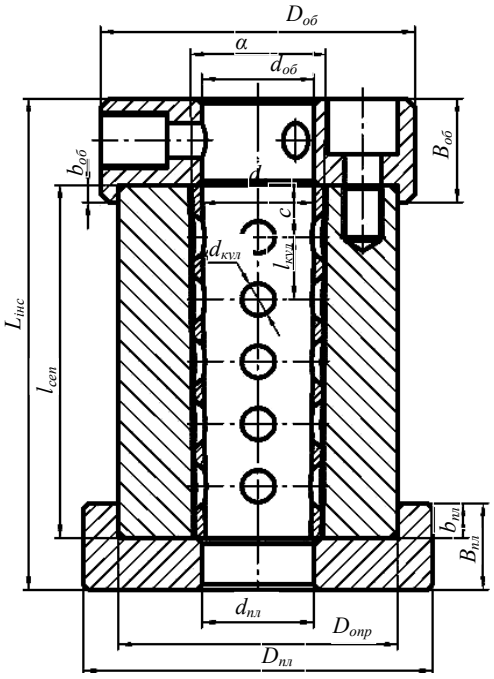


Рис. 17. Пристрій для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів

Рис. 18. Експериментальна установка для визначення зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів на гідравлічному пресі мод. П6320

Величини натягу на одну кульку Δ, мм змінювали від 0,01 до 0,07 з інтервалом 0,03. Глибини канавки h, мм змінювали від 2 до 8 з інтервалом 3. Кількість одночасно профілюючих кульок m змінювали від 4 до 14 з інтервалом 5.

Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 19, 20.

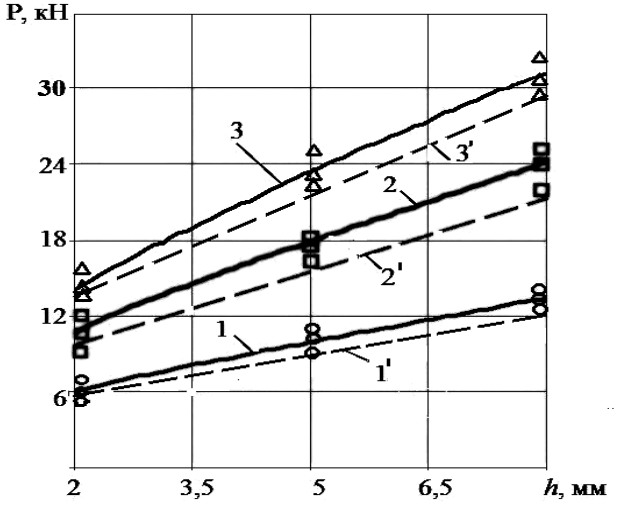


Рис.19. Графік експериментальної (суцільна лінія) і теоретичної (штрихова лінія) залежності зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від глибини канавки
(R = 6,35; Δ = 0,03 мм; m = 12; μ = 0,2)
1, 1`- Сталь 45; 2, 2`- Сталь 40ХН;
3, 3`- Сталь 20Х. 3, 3`- Сталь 20Х.

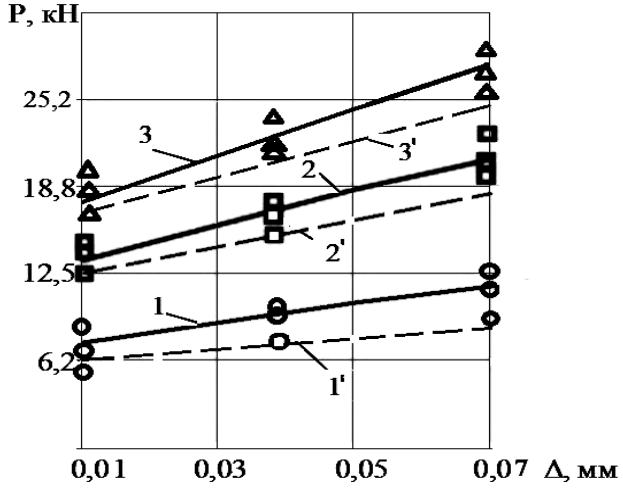


Рис. 20 Графік експериментальної (суцільна лінія) і теоретичної (штрихова лінія) залежності зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від припуску
(R = 6,35; h = 5 мм; m = 8; μ = 0,2)
1, 1`- Сталь 45; 2, 2`- Сталь 40ХН;
3, 3`- Сталь 20Х.

З графічних залежностей на рис.19 і 20 робимо висновок, що відхилення теоретичних залежностей від результатів експериментальних досліджень лежить в межах 10% - 20%.

Після проведення графоаналітичного аналізу результатів експериментальних досліджень виведено рівняння регресії у натуральних величинах, які після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

– для заготовок із сталі 45:

$$P^{45}_{(\Delta,h,m)} = 2904,68 - 38324\Delta - 469,4h - 352,49m + 23355\Delta h + \\ +21046,07\Delta m + 151,07hm - 963422\Delta^2 - 44,34h^2 + 0,52m^2; \quad (10)$$

– для заготовок із сталі 40ХН:

$$P^{40XH}_{(\Delta,h,m)} = 6458,3 - 85682\Delta - 1040,8h - 782,17m + 51877,8\Delta h + \\ +46773\Delta m + 335,8hm - 2133333\Delta^2 - 98,86h^2 + 1,01m^2; \quad (11)$$

– для заготовок із сталі 20Х:

$$P^{20X}_{(\Delta,h,m)} = 5238,3 - 69809\Delta - 847,69h - 630,95m + 42155,56\Delta h + \\ +38013,3\Delta m + 272,87hm + 1734444,4\Delta^2 - 80,17h^2 + 0,56m^2. \quad (12)$$

Побудовано поверхні відгуку та двомірні перерізи поверхонь відгуку (рис. 21–22).

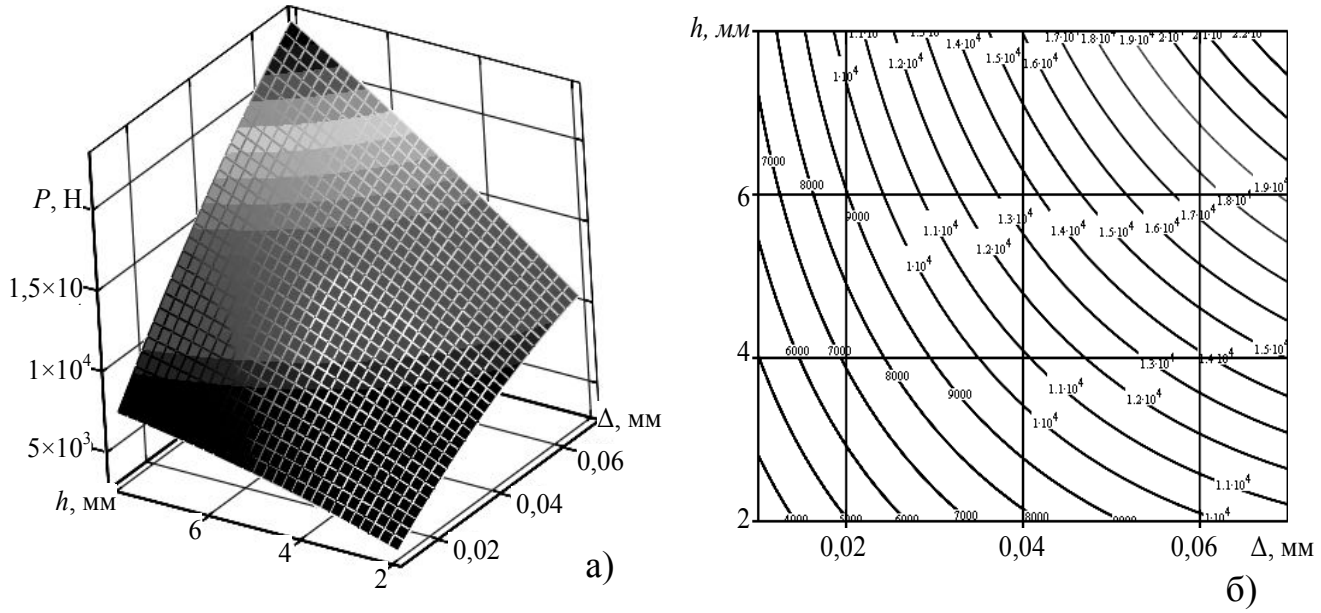


Рис. 21. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності зусилля дорнування заготовок із сталі 45 від величини припуску на одну кульку та глибини канавки (m=9)

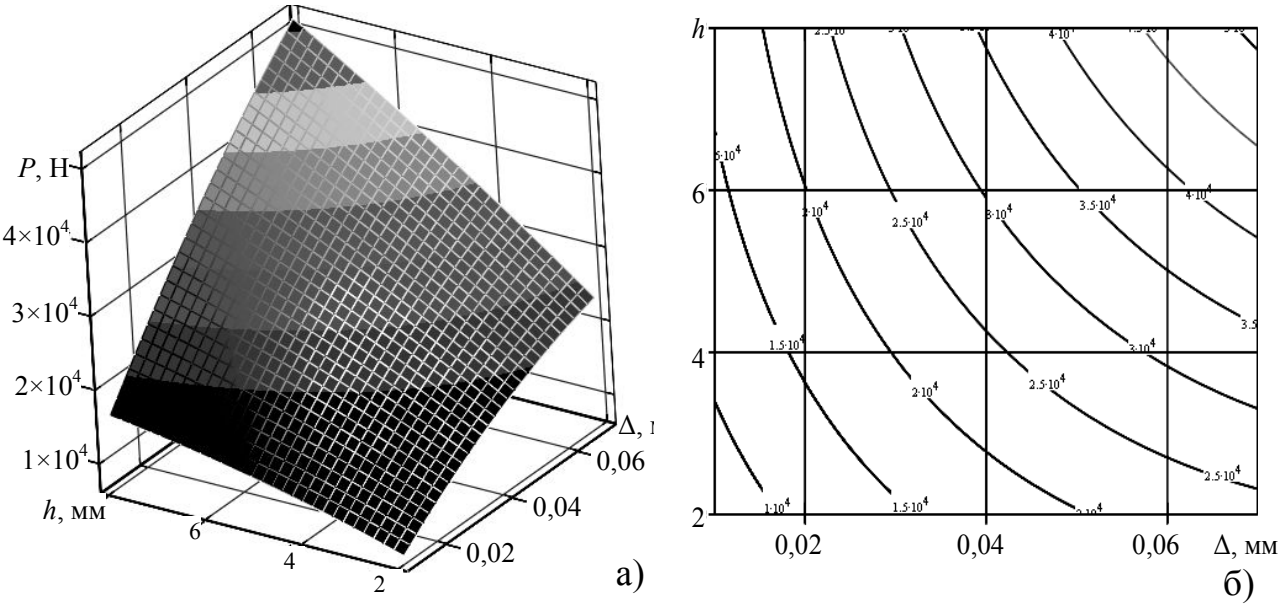


Рис. 22. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності зусилля дорнування заготовок із сталі 40ХН від величини припуску на одну кульку та глибини канавки (m=9)

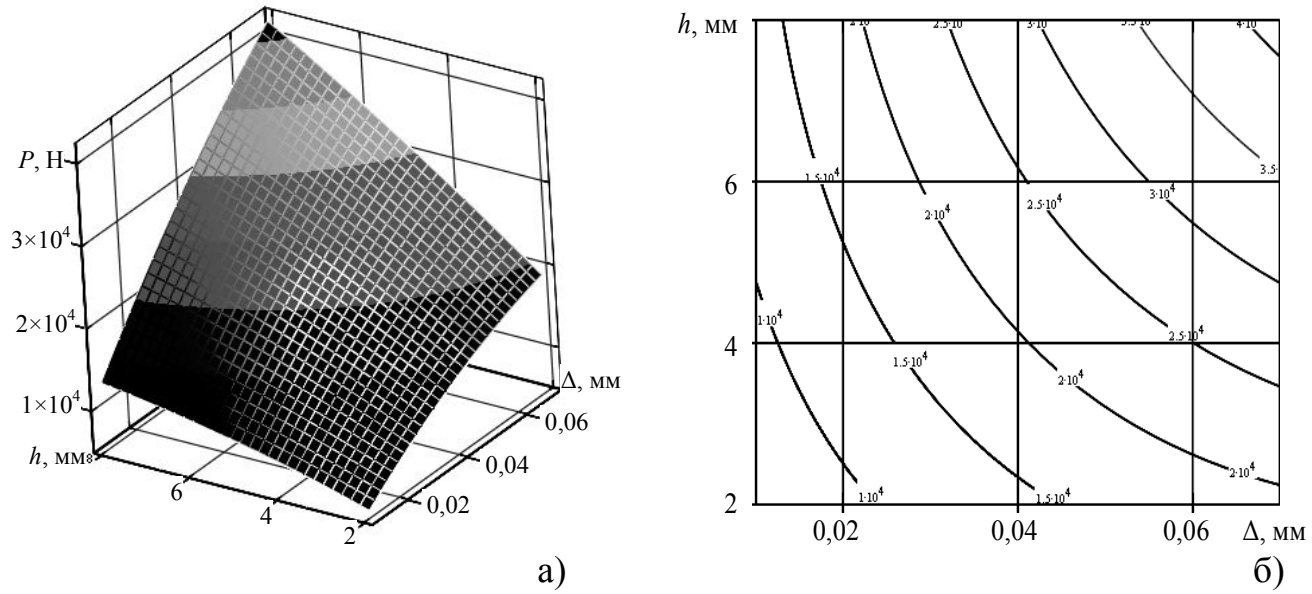


Рис. 23. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності зусилля дорнування заготовок із сталі 20Х від величини припуску на одну кульку та глибини канавки (m=9)

В п'ятому розділі розроблено конструкції пристосувань для контролю зовнішніх напівкруглих канавок валів та лінійних направляючих та автоматизований контрольний пристрій для заміру параметрів зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів (рис. 24).

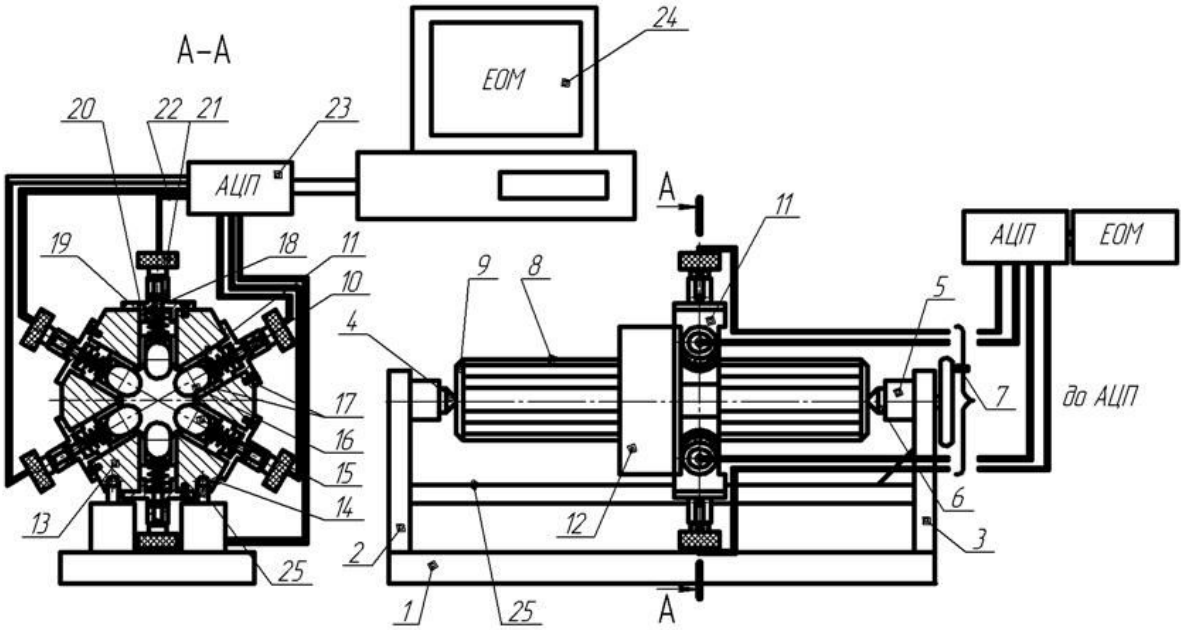


Рис. 24. Автоматизований контрольний пристрій для заміру параметрів зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів (Пат. №29132 Україна)

Розроблено інженерну методику проектування пристрою для дорнування зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих.

Для захисту робочих поверхонь шліцьових з'єднань розроблено спеціальний захисний кожух і технологічне обладнання для його виготовлення.

Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології виготовлення зовнішніх шліцьових канавок валів із використанням запропонованого технологічного оснащення. Витрати при використанні технології виготовлення шліцьових валів із напівкруглими канавками при використанні операції дорнування практично у 8,5 разів менші порівняно з базовою технологією, що доводить значну ефективність розробленого з'єднання і технології його отримання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертації виведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-технічної проблеми, що полягає в розробленні технологічних процесів виготовлення шліцьових валів, лінійних та рейкових направляючих із зовнішніми напівкруглими канавками, які характеризуються покращеними експлуатаційними і ремонтопридатними властивостями. (Задача вирішена за рахунок того, що автор вивів аналітичні залежності для визначення основних конструктивних, силових і технологічних параметрів технологічних процесів, технологічного оснащення та інструментів. Запропоновані в роботі рішення покращують технологічні та експлуатаційні показники, зокрема, підвищують продуктивність, якість і точність виготовлення зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів, лінійних та рейкових направляючих, а також покращують їх ремонтопридатність в процесі експлуатації).

1. Вперше розроблено математичну модель дорнування зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих залежно від схеми оброблення, що послужило вихідними даними для розроблення відповідного

технологічного оснащення та контрольних пристроїв, а також визначення оптимальних режимів технологічних процесів виготовлення елементів із зовнішніми напівкруглими канавками.

2. Теоретично обґрунтовано значення критичних сил при виготовленні напівкруглих канавок на валах та направляючих в процесі їх оброблення дорнуванням в розробленому технологічному оснащенні, яка залежить від етапу оброблення і способу кріплення вала. Виведено аналітичні залежності для визначення максимального прогину вала під час його оброблення з врахуванням силових і конструктивних параметрів. Встановлено раціональні режими дорнування: величину піднімання на одну кульку дорна в межах 0,02–0,03 мм, швидкості дорнування в межах 2–4 м/хв при відповідному використанні змащувально-охолоджувальних рідин.

3. На основі теорії розмірних ланцюгів проведено розмірний аналіз технологічного процесу дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів із визначенням розмірів проміжних і замикальних ланок, а також величини їх допусків. Запропоновано рівняння розмірного ланцюга з визначенням розміру технологічного оснащення в зборі та розмірів оправки інструменту для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих. Розмір інструменту для забезпечення $d_д = 34{,}6_{-0{,}06}$ мм становлять $d_і = 34{,}41_{-0{,}06}$ мм.

4. Розроблено конструкції технологічного оснащення та інструментів для дорнування зовнішніх напівкруглих канавок у валах та направляючих, виведено аналітичні залежності для визначення величини піднімання на одну кульку, яка становить 0,5–1,2% залежно від марки матеріалу та величини припуску на оброблення у звичайних пристроях і пристроях-супутниках. Спроектовано та виготовлено заготовки шліцьових валів із зовнішніми напівкруглими канавками з матеріалу сталь 45, сталь 40ХН і сталь 20Х і пристрій для дорнування цих валів матрицею з наскрізним конусним отвором, який забезпечує величину піднімання на одну кульку до 0,03 мм. Крім того, розроблено конструкції контрольних пристроїв для заміру конструктивних параметрів напівкруглих канавок шліцьових валів і їх шорсткості яка становить Ra =0,14…1,25. Проведено комплекс експериментальних досліджень виготовлення напівкруглих канавок шліцьових валів відповідно до розробленої програми повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3.

5. Розроблено пакет прикладних програм для проведення експерименту знаходження залежностей зусилля дорнування зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів залежно від величини припуску, марки матеріалу та глибини канавки. Встановлено раціональні значення конструктивних та технологічних параметрів технологічного процесу та технологічного оснащення для виготовлення шліцьових валів із зовнішніми діаметрами 25, 35 і 45 мм і напівкруглими канавками радіусом 4 і 5 мм. Проведено розрахунок ремонтних розмірів в кількості 3–5 при відновленні кулькового з’єднання шліцьового вала з використанням запропонованого технологічного оснащення.

6. Розроблено інженерну методику проектування технологічного оснащення для дорнування зовнішніх напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих для різних типорозмірів. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих технологічних процесів виготовлення шліцьових валів із зовнішніми напівкруглими канавками. Результати

досліджень впроваджено на ВАТ « Ковельсільмаш» Волинської області з річним економічним ефектом 2000 гривень. Технічну новизну розроблень з виготовлення зовнішніх напівкруглих канавок пар кочення захищено 6 деклараційними патентами України на корисні моделі.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крук В.В. Математичне моделювання процесу дорнування півкруглих шліцевих канавок валів: теорія і практика / В.В. Крук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка: зб. наук. праць. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип.59, Т2. – С.446-452.

2. Крук В.В. Результати експерементальних досліджень визначення зусилля дорнування півкруглих шліцьових канавок / В.В. Крук // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2008. – Вип.21. – С.121-126.

3. Крук В.В. Інженерна методика розрахунку основних конструктивних параметрів інструменту для дорнування внутрішніх шліцевих канавок / В.В. Крук // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – Вип.24. – С.122-125.

4. Крук В.В. Півкруглі шліцеві з'єднання, ресурс роботи і норми їх точності. Житомирський державний технологічний університет / В.В. Крук,В.О. Дзюра // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – Вип.3. – С.181-198.

5. Крук В.В. Дослідження технологічного процесу калібрування півкруглих шліцевих канавок деталей машин / В.В. Крук, В.О. Дзюра, О.В. Фльонц // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2007. – Вип.20. – С. 134-138.

6. Крук В.В. Конструкції індукторів для гартування шліцевих валів / Б.М. Гевко, В.В. Крук, В.О. Дзюра, // Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛДТУ, 2007. – №15. – С.108-111.

7. Крук В.В. Методика розрахунку ремонтопридатних кулькових шліцевих з'єднань сільськогосподарських машин / В.В. Крук, В.О. Дзюра // Агропромислові дослідження: Вісник Львівського державного аграрного університету: зб. наук праць. – Львів: ЛДАУ, 2007. – №11. – С.219-223.

8. Крук В.В. Дослідження впливу мастильно-охолодних рідин на процес дорнування напівкруглих шліцевих канавок деталей машин / В.В. Крук, В.О. Дзюра // Труды Одесского политехнического университета. Научный и производственно: практический сборник. – Одеса: ОНПУ, 2008. – Вип.1(29). – С 51-54.

9. Крук В.В. Методика розрахунку ремонтних розмірів робочих поверхонь шліцьових механізмів / Я.М. Михайлович, В.В. Крук, В.І. Диня // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: зб. наук. праць. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип.77. – С.83-88.

10. Крук В.В. Технологічні особливості виготовлення захисних кожухів приводів машин / В.В. Крук, П.М. Гнатьо, В.І. Диня // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – Вип.№24. –С.298-304.

11.Пат. №29132 Україна, МПК (2006) G01B 3/00. Пристрій для заміру параметрів шліцевих валів [Текст] / Гевко І.Б., Дзюра В.О.,Фльонц О.В., Крук В.В.; заявники і власники патенту Гевко І.Б., Дзюра В.О.,Фльонц О.В., Крук В.В. – № u200706608; заявл. 13.06.2007;опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1. – 3 с.

12. Пат. №30973 Україна, МПК (2006) B24B 39/00. Пристрій для калібрування осьових півкруглих канавок деталей машин [Текст] / Дзюра В.О., Крук В.В., Шевчук О.С.; заявники і власники патенту Дзюра В.О., Крук В.В., Шевчук О.С. – № u200710302; заявл. 17.09.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6. – 4 с.

13. Пат. №32758 Україна, МПК (2006) F16D 43/00. Привідний механізм з захисним кожухом [Текст] / Брощак І.І., Ляшук О.Л., Крук В.В.; заявники і власники патенту Брощак І.І., Ляшук О.Л., Крук В.В. – № u200801203; заявл. 31.01.2008; опубл.26.05.2008, Бюл. № 10. – 3 с.

14.Пат. №48236 Україна, МПК (2006) B24B 39/00. Пристрій для калібрування напівкруглих канавок шліцьових валів [Текст] / Крук В.В.; заявники і власники патенту Крук В.В. – u200909658; заявл. 21.09.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5. – 4 с.

15.Пат. №50886 Україна, МПК 7 B21D 39/00. Пристрій для завальцювання кульок в напрямні / Гевко Б.М., Крук В.В., Дзюра В.О., Гевко І.Б.,Ляшук О.Л.,Дячун А.Є. -u200913761; Заявл. 28.12.2009, Опубл. 25.06.2010; Бюл. №10. –3с.

16.Пат. №50887 Україна, МПК B65G 33/16. Подавальний транспортер / Дзюра В.О., Ляшук О.Л., Крук В.В., Пік А.І.,Кирик О.М. Заявлено 28.12.2009р., опубл.25.06.2010р. Бюл. №12.

17.Крук В.В. Дослідження прогину валів при їх калібруванні. / В.В. Крук // VI Студентська наукова конференція “Проблеми створення та технічної експлуатації машин і обладнання”. Матеріали II Всеукраїнської конференції – семінару докторантів, аспірантів та по шукачів у галузі аграрної інженерії. 7-8 червня 2007р. – Кіровоград: КНТУ. – С.14-15.

18.Крук В.В. Техніко-економічне обгрунтування обробки шліцьових поверхонь за допомогою дорна / І.Б. Гевко , В.В.Крук, Г.С. Ногорняк, В.О. Дзюра // IV-а Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів: Матеріали IV-ої Міжнародної наук.-практ. конф. МДАУ 24-26 вересня 2008р. – Миколаїв, 2008. – С.210-215.

19.Крук В.В. Пристрій для групової обробки шліцевих поверхонь валів / В.В. Крук // Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання: Матеріали одинадцятої наук.-практ. конф. ТДТУ 16–17 травня 2007р. – Тернопіль, 2007. – С.45.

20. Крук В.В. Пристрій для заміру параметрів шліцьових валів / В.В. Крук // Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання: Матеріали дванадцятої наук.-практ. конф. ТДТУ 14–15 травня 2008р. – Тернопіль, 2008. – С.50.

21. Крук В.В. Прес-форма для виготовлення гвинтових гофрованих рукавів / В.В. Крук // Перша Всеукраїнська наук. конф. ТДТУ 14–15 травня 2009р.: матеріали. – Тернопіль, 2009 – С.53.

Анотація

Крук В.В. Технологічне забезпечення виготовлення зовнішніх напівкруглих шліцьових канавок валів та направляючих. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2010.

Робота присвячена розробленню технології виготовлення напівкруглих шліцьових канавок шліцьових валів та направляючих систем лінійного переміщення і рейкових направляючих. Обґрунтовано вибрану схему оброблення валів та направляючих, виведено аналітичні залежності для визначення критичної сили для забезпечення осьової сталості вала під час оброблення запропонованим методом. Проведено розмірний аналіз процесу дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів та направляючих, встановлено значення розмірів спроектованого інструменту з врахуванням пружних і пластичних деформацій.

Представлено результати експериментальних досліджень впливу конструктивних і технологічних параметрів на величину зусилля дернування.

Розроблено інженерну методику визначення конструктивних параметрів інструменту залежно від конструктивних параметрів об’єкту виробництва та технологічних параметрів процесу оброблення.

Проведено техніко-економічне обґрунтування розробленого технологічного процесу.

Ключові слова: напівкругла канавка, шліцьовий вал, направляюча, дорнування, осьова сталість.

Аннотация

Крук В.В. Технологическое обеспечение изготовления внешних полукруглых шлицевых канавок валов и направляющих. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя. – Тернополь, 2010.

Работа посвящена разработке технологии изготовления полукруглых шлицевых канавок шлицевых валов и направляющих систем линейного перемещения и рельсовых направляющих. Обоснованно выбранную схему обработки валов и направляющих, выведено аналитические зависимости для определения критической силы для обеспечения осевой устойчивости вала при обработке предложенным методом. Проведено размерный анализ процесса дорнования полукруглых канавок шлицевых валов и направляющих, установлено значение размеров спроектированного инструмента с учетом упругих и пластических деформаций.

Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований. Спроектированы и изготовлены экспериментальные образцы шлицевых валов с полукруглыми канавками и предложено технологическое оснащение.

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и технологических параметров на величину усилия дорнования.

Разработана инженерная методика определения конструктивных параметров инструмента в зависимости от конструктивных параметров объекта

производства и технологических параметров процесса обработки.

Разработана методика определения ремонтных размеров пар качения в зависимости от размера их износа. Разработано устройство для контроля полукруглых канавок шлицевых валов и направляющих.

Проведено технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса.

Ключевые слова: полукруглая канавка, шлицевой вал, направляющая, дорнование, осевая устойчивость.

Annotation

Kruck V.V. Technological support of manufacturing the external semicircular splinted grooves of shafts and directives. – Manuscript.

Dissertation for the scholarly degree of a Candidate of Science (Technology) in speciality 05.02.08 – technology of mechanical engineering. – Ternopil National Ivan Pul'uy Technical University. – Ternopil, 2010.

The thesis is dedicated to the development of technology of manufacturing the semicircular splinted grooves of splinted shafts and directive systems of linear replacement and batten directives. The selected scheme of processing the shifts and directives is substantiated; the analytical dependences for the determining of critical power to support axial stability of a shift being processed by the proposed method are developed. The corresponding analysis of burnishing the semicircular grooves of splinted shafts and directives is carried out; the value of dimensions of a designed instrument taking into account elastic and plastic deformations is revealed.

The results of experimental research of the effect of structural and technological parameters on the value of burnishing force are presented.

The engineering technique of determining the structural parameters of the instrument depending on structural parameters of manufacturing object and technological parameters of processing is developed.

Technical and economical substantiation of the developed technological process is carried out.

Key words: semicircular groove, splinted shaft, directive, burnishing, axial stability.