

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Білявський Максим Леонідович

УДК 621.914

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ
СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ КОМБІНОВАНИМ
ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українській академії друкарства Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шахбазов Яків Олександрович,
Українська академія друкарства Міністерства освіти і науки
України, завідувач кафедри „Технології матеріалів та
поліграфічного машинобудування”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Грицай Ігор Євгенович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри „Технологія машинобудування”;

кандидат технічних наук, доцент,
Криськов Олег Дем'янович,
Кіровоградський національний технічний університет
професор кафедри „Технологія машинобудування”

Захист відбудеться 21 квітня 2010 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06 у Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 12, навчальний корпус №14, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «__» березня 2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Шоловій Ю.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним направленням розвитку машинобудівної промисловості є створення нових або вдосконалення вже існуючих технологічних процесів з метою підвищення продуктивності праці, покращення якості відповідальних вузлів деталей машин та механізмів, в тому числі плоских поверхонь, які виготовляються з чавунів, а також загартованої та незагартованої сталі. В більшості випадків, матеріалом сталевих деталей, до яких пред'являються жорсткі вимоги по якості оброблених плоских поверхонь є сталь 40X, чистову обробку якої реалізують торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами. Підвищення ресурсу роботи таких інструментів дозволить знизити собівартість продукції та підвищити ефективність технологічного процесу обробки плоских поверхонь сталевих деталей з одночасним забезпеченням якісних показників.

У зв'язку з цим, розробка прогресивних способів чистової обробки плоских поверхонь сталевих деталей, які б дали можливість покращити оброблюваність різанням з одночасним підвищенням продуктивності праці та якості обробки є актуальною задачею для машинобудівних і ремонтних підприємств держави.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри „Технологія матеріалів і поліграфічного машинобудування” Української академії і пов'язана з державними науково-технічними програмами: “Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування”, “Підвищення надійності та довговічності машин та конструкцій”, “Розвиток промисловості України на 2003 – 2011 р.р.” та програмою Кабінету Міністрів “Україна - 2010” (проект 4 – “Технологічне та технічне оновлення виробництва”).

Мета і задачі досліджень. Метою дисертації є технологічне забезпечення якості обробки сталевих деталей комбінованим торцевим фрезеруванням інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами з попереднім пластичним деформуванням оброблюваного матеріалу.

Для досягнення мети були сформульовані та розв'язувалися такі задачі:

1. На підставі аналізу особливостей сучасних підходів запропонувати спосіб торцевого фрезерування плоских поверхонь сталевих деталей з попереднім їх пластичним деформуванням з метою технологічного забезпечення якісних показників обробленої поверхні.
2. Теоретично встановити вплив режимів попереднього пластичного деформування і торцевого фрезерування на якісні показники обробленої плоскої поверхні.
3. Експериментально дослідити вплив технологічного режиму комбінованої обробки на показники якості обробленої плоскої поверхні сталевих деталей та стійкість різального інструмента, оснащеного надтвердими матеріалами.
4. Розробити оптимізаційну модель вибору режиму комбінованої обробки з метою забезпечення необхідної якості плоскої поверхні сталевих деталей та встановити шляхи удосконалення комбінованого метода обробки і ефективного його використання в умовах діючого виробництва.
5. Виробничі випробовування і впровадження результатів роботи на машинобудівних підприємствах.

Об'єкт дослідження – технологічний процес чистової обробки комбінованою торцевою фрезою плоских поверхонь деталей, які виготовлені із загартованої та незагартованої сталі 40Х.

Предмет дослідження – операція комбінованої обробки, яка поєднує технологічний процес попереднього пластичного деформування оброблюваної поверхні та торцевого фрезерування інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології машинобудування, теорії розмірних ланцюгів, теорії пружних та пластичних деформацій, теорії різання, теорії ймовірності та математичної статистики в тому числі засобів математичного і комп'ютерного моделювання в системах Matlab Simulink, Deform. Експериментальні дослідження виконувалися з використанням математичного планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше теоретично обґрунтовано та запропоновано метод обробки плоских поверхонь сталевих деталей, який поєднує попереднє пластичне деформування оброблюваної поверхні деформуючими елементами, які розташовані в радіальному напрямку на більшій відстані від осі фрези, а різання припуску зміцненого шару здійснюється різальними елементами, оснащеними надтвердим матеріалом та розташованими в радіальному напрямку на меншій відстані від осі фрези відносно деформуючих елементів, що дозволяє підвищити оброблюваність сталевих деталей та забезпечити якісні показники плоскої поверхні порівняно з обробкою чистовими торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами.

2. На основі теоретичних досліджень та математичної моделі комбінованого торцевого фрезерування плоских поверхонь сталевих деталей, визначений вплив режиму обробки на якісні показники поверхні, що дало можливість встановити граничні значення технологічних режимів обробки.

3. Доведено перевагу реалізації комбінованого методу порівняно з традиційним чистовим торцевим фрезеруванням: збільшення стабільності процесу обробки (зменшення сили різання та амплітуди осьових вібрацій шпинделя), що призводить до підвищення стійкості різального інструмента та покращення якісних показників обробленої плоскої поверхні.

4. Із використанням результатів теоретико – експериментальних досліджень створено оптимізаційну модель вибору режиму комбінованої обробки плоских поверхонь сталевих деталей з метою забезпечення її ефективності.

5. Встановлені шляхи удосконалення запропонованого комбінованого методу обробки, які дозволяють забезпечити підвищення якості обробленої поверхні, за рахунок рівномірного розподілення глибини зміцненого шару по ширині заготовки.

Наукове значення роботи. Одержані нові науковообґрунтовані результати стосовно використання комбінованого методу обробки при технологічному забезпеченні якісних показників плоских поверхонь сталевих деталей, що дозволяє передбачити подальший розвиток технології чистового торцевого фрезерування інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами.

Практичне значення отриманих результатів. Використання запропонованих у роботі математичних залежностей та методики оптимізаційної математичної моделі дозволяє на етапі технологічної підготовки виробництва суттєво зменшити її цикл та визначати оптимальний режим комбінованої обробки. Отримані результати можуть бути впроваджені на машинобудівних підприємствах, а також у науково-дослідних та проектних організаціях у процесі виробництва нових видів машин, деталі яких містять плоскі поверхні, які виготовлені із загартованої або незагартованої сталі. Розроблений метод комбінованої обробки та методика оптимізації режиму обробки впроваджені у виробництво на ВАТ «Львівський завод фрезерних верстатів» та ТзОВ «Кайлас», а також у навчальному процесі на кафедрі «Технологія матеріалів та поліграфічного машинобудування» Української академії друкарства.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем: встановлена виробнича необхідність технологічного забезпечення якості обробки сталевих деталей [1], розроблено математичну та імітаційну модель технологічного забезпечення якості обробки плоских поверхонь комбінованим методом [2-4], виконані експериментальні дослідження та проаналізовано їх результати [5,6], розроблено аналітичні залежності і на їх основі програмно реалізовано оптимізаційну математичну модель [7].

Формулювання задач досліджень, розробка основних напрямків роботи і рекомендації для впровадження у виробництво, виконані разом із науковим керівником.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: Восьмій Всеукраїнській молодіжній науково – технічній конференції: «Машинобудування України: очима молодих», (м. Луцьк, 2008 р.); Дев'ятому Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові, (м. Львів, 2009 р.); П'ятій міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті», (Болгарія, м. Варна - 2009 р.); Міжнародній науково – технічній конференції: «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», (м. Краматорськ, 2009 р.); Другій конференції молодих вчених та спеціалістів «Майбутнє машинобудування Росії», (МДТУ ім. М.Е. Баумана, м. Москва - 2009 р.); Всеросійській науково – практичній конференції «Сучасні проблеми в тех-

нології машинобудування», (м. Новосибірськ – 2009 р.); Двадцять першій міжнародній інноваційно – орієнтованій конференції молодих вчених по проблемам машинознавства (Інститут проблем машинознавства, РАН, Москва – 2009 р.).

В повному обсязі робота доповідалась та отримала позитивний відгук на розширеному семінарі Національного технічного університету «Львівська політехніка» та Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Публікації. Результати дисертації відображені у 11 публікаціях: 6 статей у провідних фахових журналах (з них 2 без співавторів), 1 патент, 4 тез доповідей на конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Вона містить 152 сторінки; 64 рисунка та 30 таблиць, 94 назви літературних джерел на 11 сторінках, 5 додатків на 80 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та задачі досліджень, наведені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також зв'язок з науковими програмами, планами і темами.

В **першому розділі** представлені результати аналізу літературних джерел за темою дисертаційного дослідження, які свідчать, що на протязі останнього часу спостерігається тенденція збільшення питомої ваги чистового торцевого фрезерування в загальній структурі технологічних операцій механічної обробки плоских поверхонь, що обумовлено зменшенням припуску на чорнову та напівчистову обробку внаслідок впровадження ресурсозберігаючих технологій заготівельного виробництва, ускладненням конструкцій деталей та підвищенням технологічних вимог до них, застосуванням нових марок конструкційних сталей з низькою оброблюваністю різанням.

Потенціал наукових досягнень всесвітньо відомих вчених Новікова М.В., Мельничука П.П., Розенберга О.О., Клименка С.А., Свірінського Р.М., Лоєва В.Ю., Коротченка В.Л. та інших в області технологічного забезпечення якості обробки плоских поверхонь залізовуглецевих сплавів торцевим фрезеруванням інструментом,

оснащеними надтвердими матеріалами, свідчить про пошук шляхів підвищення ефективності обробки сталей та відхід від дискретних методів обробки і сполучення в одній операції різання та поверхневого пластичного деформування.

Було встановлено, що допустима швидкість різання плоских поверхонь сталевих деталей чистовими торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами обмежена діапазоном для загартованих сталей та незагартованих сталей відповідно 80 – 400 м/хв та 60 – 120 м/хв, що пов'язано із втратою стійкості різального інструмента. Таке становище стримує подальший розвиток прогресивної технології чистового торцевого фрезерування. Тому було визначено, що основою підвищення якості обробки плоских поверхонь сталевих деталей є: поліпшення оброблюваності матеріалів, зменшення деформацій та просторових переміщень елементів технологічної системи від дії зовнішніх факторів, та напруженості процесу обробки. Мінімізувати вплив вищевказаних факторів можливо за рахунок керування окремими показниками поверхневого шару (мікротвердість, глибина зміцненого шару) шляхом реалізації технології різання з попереднім пластичним деформуванням.

Відомими вітчизняними та зарубіжними вченими Подураєвим В.М., Ярославцевим В.М., Посвятенком Е.К., Амбросімовим С.К., Полянчиковим Ю.М., Крайневим Д.В., Schmidt Gerhard, Jurgен Leopold та іншими були закладені наукові основи реалізації технології різання з попереднім пластичним деформуванням на операціях точіння, стругання, протягування залізовуглецевих сплавів інструментом, оснащеним твердим сплавом.

Результати аналізу робіт за темою дисертації дали можливість зробити висновок, що технологічні методи комбінованої обробки плоских поверхонь, що поєднують торцеве фрезерування з попереднім поверхневим пластичним деформуванням до цього часу не були достатньо вивчені та поширені.

Отже, доцільним є виконання комплексних теоретичних і експериментальних досліджень, результати яких стали б підґрунтям для створення комбінованого методу забезпечення якості обробки плоских поверхонь сталевих деталей на чистових операціях.

За результатами аналізу сформульовані мета і задачі досліджень.

У другому розділі запропонований та теоретично обґрунтований метод технологічного забезпечення якості обробки плоскої поверхні комбінованим торцевим фрезеруванням.

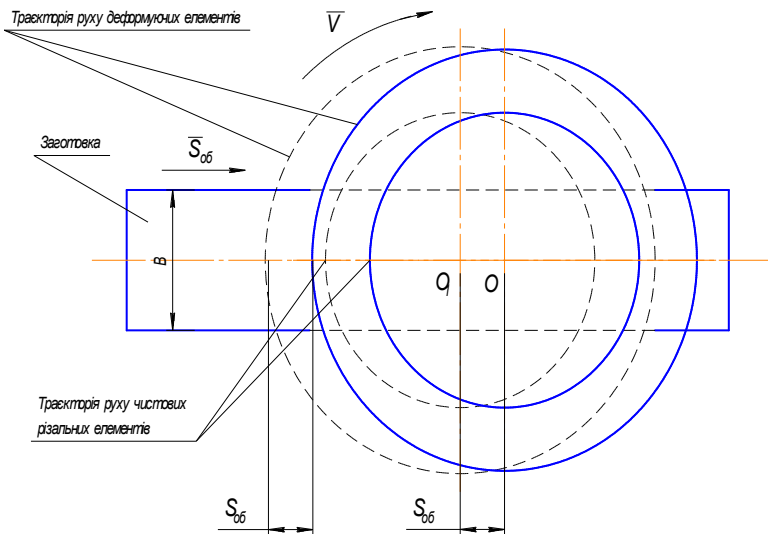


Рис. 1. Траекторія руху формуютьючих елементів при технологічного забезпечення якості обробки плоскої поверхні комбінованим торцевим фрезеруванням

невого пластичного деформування за допомогою деформуючих елементів, які пружно закріплені в корпусі фрези і розташовані в радіальному напрямку на більшій відстані від осі фрези ($R_1 > R_2$) з меншим вильотом відносно різальних елементів, а зрізання частини зміцненого шару ($H_2 > H_1$) здійснюють різальними елементами, які розташовані в радіальному напрямку на меншій відстані від осі фрези з більшим вильотом відносно деформуючих елементів.

При математичному моделюванні показників якості обробленої сталеві деталі комбінованим торцевим фрезеруванням розглядали систему (рис. 2) та вплив просторових переміщень її елементів та деформацій на відхилення від площинності Δ , габаритного розміру деталі по висоті δ , прямолінійності ξ та висоту мікронерівності R_z .

У запропонованому методі передбачена наступна послідовність обробки плоскої поверхні: при підході фрези до оброблюваної поверхні деталі першими вступають у роботу деформуючі елементи, які здійснюють рух кочення та формують зміцнений поверхневий шар оброблюваної плоскої поверхні шляхом поверх-

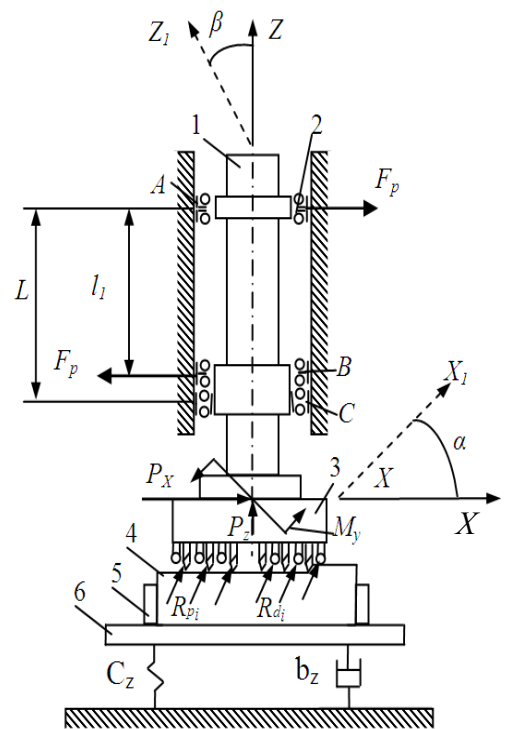


Рис. 2. Схема досліджуваної технологічної системи (1 – шпindelь; 2 – підшипникові опори; 3 – інструмент; 4 – заготовка; 5 – пристосування; 6 – стіл)

Відхилення від площинності. Математична модель, що описує вплив просторових переміщень системи на відхилення від площинності представлена у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 = \frac{D_\phi}{2} \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}; \\ \alpha = \frac{1}{J\theta_{22}} (-\Theta_x + m\dot{y}_1\theta_{12} - J_z\omega\theta_{22} + (P_\Sigma \sin\alpha\theta) \cdot \theta_{12} + (M_\Sigma \sin\alpha\theta) \cdot \theta_{22}); \\ \beta = \frac{1}{J\theta_{22}} (-\Theta_y - m\dot{x}_1\theta_{12} + J_z\omega\theta_{22} + (P_\Sigma \cos\alpha\theta) \cdot \theta_{12} + (M_\Sigma \cos\alpha\theta) \cdot \theta_{22}); \\ R_{p_i} = \sqrt{\left(\sum_1^{m_r} P_{rx}\right)^2 + \left(\sum_1^{m_r} P_{ry}\right)^2 + \left(\sum_1^{m_r} P_{rz}\right)^2}; R_{d_i} = \sqrt{\left(\sum_1^{m_d} P_{dx}\right)^2 + \left(\sum_1^{m_d} P_{dy}\right)^2 + \left(\sum_1^{m_d} P_{dz}\right)^2}; \\ P_\Sigma = \sqrt{(R_{p_i})^2 + (R_{d_i})^2}; M_\Sigma = \sqrt{\left(\sum_1^{m_r} R_{p_i} \cdot R_2\right)^2 + \left(\sum_1^{m_d} R_{d_i} \cdot R_1\right)^2}; \\ S_k = 0,32 \cdot HV = \sum_1^{m_d} R_{d_i} \cdot \frac{1}{0,013 \cdot R_d^2}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де D_ϕ – діаметр інструмента; P_Σ , M_Σ – узагальнений головний вектор дії сили попереднього пластичного деформування і різання та моменту відповідно; Θ_x та Θ_z – кути повороту шпинделя навколо осей X та Z ; $J_x=J_y=J$, J_z – моменти інерції шпинделя відносно осей X , Y , Z відповідно; θ_{11} – зсув центра мас під дією одиничної інерційної сили; θ_{12} – кут повороту від дії одиничної сили; θ_{22} – кут повороту від дії одиничного моменту; ω – частота обертання шпинделя, хв^{-1} ; R_{d_i} , R_{p_i} – відповідно головний вектор дії сили попереднього пластичного деформування та різання; m_d , m_r – відповідно кількість деформуючих та різальних елементів, що приймають участь у формуванні; P_{rx} , P_{ry} , P_{rz} – складові сили різання попередньо zdeформованого шару, розраховуються по методиці проф. Розенберга О.О. з врахуванням фундаментальної механічної характеристики S_k ; R_d – радіус деформуючого елемента;

Математична модель впливу похибки переміщень системи «шпиндельний вузол - інструмент» в нерухомій системі координат XOZ Δ_1 , похибки вертикальних переміщень тієї ж системи та робочого столу відповідно Δ_2 та Δ_3 на величину відхилення від площинності визначено рівняннями:

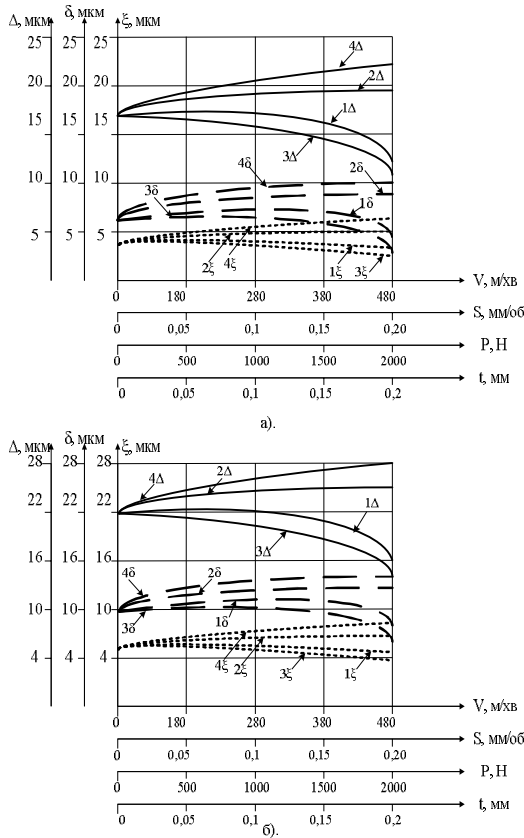


Рис. 3. Результати математичного моделювання забезпечення показників точності плоскої поверхні комбінованим торцевим фрезеруванням

(а – загартована сталь; б – незагартована сталь) при: 1 – швидкість різання; 2 – подачі комбінованого інструмента; 3 – сили попереднього пластичного деформування; 4 – глибини різання

«комбінований інструмент – шпиндельний вузол» та системи робочого столу на **відхилення розміру деталі по висоті** при реалізації комбінованого торцевого фрезерування представлена у вигляді:

$$\begin{cases} \Delta\delta = \frac{0,18}{k_\delta} \sqrt{\left(\frac{l_1}{l}\right)^2 (Z_{ei})^2 + \left(\frac{l_2}{l}\right)^2 (Z_{pc})^2}; \\ m_{ei} \ddot{Z}_{ei} + b_z \dot{Z}_{ei} + C_z Z_{ei} = -\sum_1^{m_r} P_{rz} + \sum_1^{m_d} P_{dz}, \end{cases} \quad (3)$$

де k_δ – коефіцієнт відносного розсіювання замикаючої ланки технологічної системи; l_1 – відстань від задньої опори шпинделя до оброблюваної поверхні деталі; l_2 – відстань від оброблюваної поверхні деталі до основи вертикально – фрезерного верстата; m_{ei} – маса системи «шпиндельний вузол – інструмент»; b_z – коефіцієнт, який враховує опір підшипникових вузлів; C_z – жорсткість переміщень системи «шпиндельний вузол – інструмент» по осі Z;

$$\begin{cases} \Delta_2 = \frac{\sqrt{\left(\sum_1^{m_r} P_{rz}\right)^2 + \left(\sum_1^{m_d} P_{dz}\right)^2}}{G} \\ m_{pc} \ddot{Z}_{pc} + b_z \dot{Z}_{pc} + C_z \Delta_3 = -\sum_1^{m_r} P_{rz} + \sum_1^{m_d} P_{dz}; \\ \sum_{i=1}^n \Delta = \Delta_1^i + \Delta_2^i + \Delta_3^i, \end{cases} \quad (2)$$

де G – сумарна жорсткість системи «шпиндельний вузол – інструмент»; P_{dz} – складова сили попереднього пластичного деформування по осі Z; P_{rz} – складова сили різання по осі Z; m_{pc} – маса робочого столу; b_z – коефіцієнт, який враховує опір напрямних стола; C_z – жорсткість переміщень системи робочого столу в напрямку осі Z;

Математична модель, що визначає вплив динамічних переміщень системи

Математична модель формування **прямолінійності** плоскої поверхні по ширині заготовки в процесі комбінованого торцевого фрезерування:

$$\begin{cases} \alpha_u = \beta = \frac{1}{J\theta_{22}} \left(-\Theta_y - m\dot{x}_1\theta_{12} + J_z\Omega\psi\theta_{22} + (P_\Sigma \cos \omega t) \cdot \theta_{12} + (M_\Sigma \cos \omega t) \cdot \theta_{22} \right); \\ \alpha_c = \operatorname{arctg} \frac{\Delta_3}{L_c}; \\ \alpha_\Delta = \sqrt{\alpha_u^2 - \alpha_c^2 + \alpha_5^2}; \\ \xi = B \cdot \operatorname{tg} \alpha_\Delta, \end{cases} \quad (4)$$

де ξ – величина відхилення від прямолінійності; α_u – кутове переміщення системи «шпиндельний вузол – інструмент» у просторі, відносно осі обертання нерухомого шпинделя; α_c – кутове переміщення системи робочого столу; L_c – довжина робочого столу.

При створенні математичної моделі впливу комбінованого торцевого фрезерування на **висоту мікронерівності R_z** , окремо розглядався процес попереднього пластичного деформування та обробки інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, гексанітом – Р, після чого по теорії технологічної спадковості встановлений зв'язок між двома операціями у вигляді:

$$\begin{cases} R_z^{3c} = \frac{1}{K_{125}} \cdot R_{z1} + \frac{1}{K_{235}} \cdot R_z^d + \frac{1}{K_{345}} \cdot R_z^r; \\ R_z^{H3c} = \frac{1}{K_{126}} \cdot R_{z0} + \frac{1}{K_{236}} \cdot R_{z1} + \frac{1}{K_{346}} \cdot R_z^d + \frac{1}{K_{456}} \cdot R_z^r; \\ R_z^d = h_1^d + h_2^d + h_3^d; \\ R_z^r = h_1^r + h_2^r + h_3^r, \end{cases} \quad (5)$$

де R_z^{3c} , R_z^{H3c} – відповідно висота мікронерівності загартованої та незагартованої сталі після комбінованого торцевого фрезерування; R_{z0}, R_{z1} – відповідно висота мікронерівності після операції штучного старіння та чорнової лезової обробки; R_z^d, R_z^r – відповідно висота мікронерівності після попереднього пластичного деформування та лезової обробки зміцненого шару;

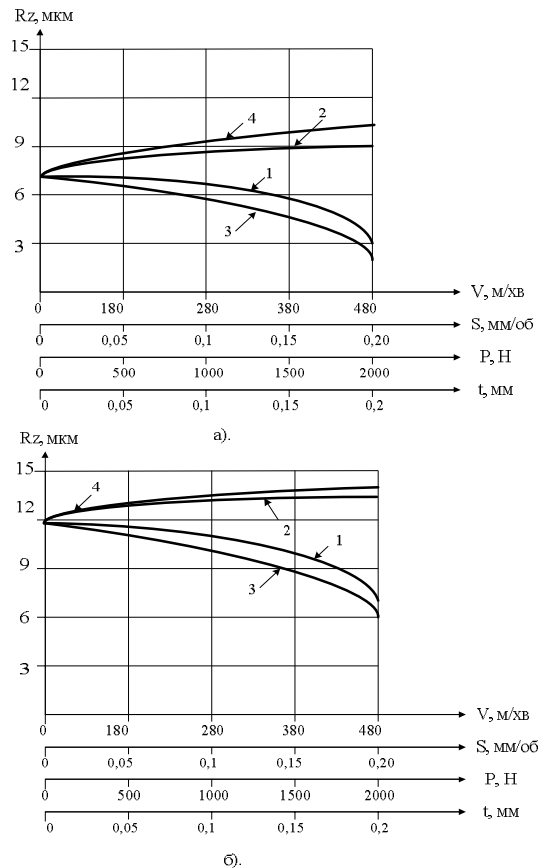


Рис. 4. Результати математичного моделювання забезпечення шорсткості плоскої поверхні комбінованим торцевим фрезеруванням (а – загартована сталь; б – незагартована сталь) при: 1 – швидкості різання; 2 – подачі комбінованого інструмента; 3 – сили попереднього пластичного деформування; 4 –

h_1, h_2, h_3 – відповідно висота мікронерівності сформована внаслідок впливу геометрії формоутворюючого інструмента, просторових переміщень комбінованого інструмента, деформацій в зоні обробки; K_{I25} - коефіцієнт передачі спадкового зв'язку.

Результати математичного моделювання забезпечення показників якості плоскої поверхні при комбінованому торцевому фрезеруванні (рис. 3,4) дозволили встановити, що збільшення швидкості різання до межі 480 м/хв та сили попереднього пластичного деформування до 2000 Н призводять до покращення показників якості (відхилення від площинності, габаритного розміру деталі по висоті, висоти мікронерівності) плоскої поверхні виготовленої із загартованої та незагартованої сталі в середньому на 1,1 та 1,3 рази відповідно. Збільшення подачі комбінованого інструменту до значення 0,2 мм/об та глибини різання до 0,2 мм погіршують показники якості плоскої поверхні виготовленої із загартованої та незагартованої сталі в середньому на 1,2 та 1,4 рази відповідно. Проведений аналіз теоретичних досліджень дозволив встановити гранично – допустимі режими комбінованого торцевого фрезерування сталі 40X: $V=460\dots480$ м/хв; $S=0,15$ мм/об; $P=2000$ Н; $t=0,1$ мм.

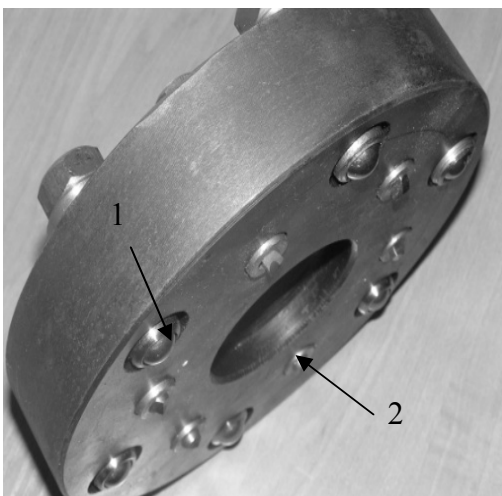


Рис.5. Дослідний зразок комбінованої торцевої фрези (1 – деформуючі елементи; 2 – різальні елементи, оснащені гексаніт - Р) $D_\phi=120$ мм; $z=6$

У третьому розділі розроблено методику проведення експериментальних досліджень технологічного забезпечення якості обробки сталевих деталей на верстаті 6Д82ШФ20, представлено конструкцію комбінованої торцевої фрези (рис. 5), яка дозволяє реалізувати запропонований метод.

Постійно в контакті з оброблюваною заготовкою знаходились 3...4 формоутворюючі елементи, взаємозв'язок їх кількості, ширини фрезерування із стабільністю комбінованого процесу обробки детально розглянутий в додатках.

Під час проведення експериментальних досліджень для контролю якості обробленої плоскої поверхні були прийняті наступні показники: відхилення від площинності Δ , відхилення розміру деталі по висоті δ , висота мікронерівності по десяти точкам R_z , шлях різання до затуплення різального інструмента L .

У зв'язку з технологічними можливостями обробної системи та встановленими

в ході теоретичних досліджень граничних значень комбінованої обробки були прийняті наступні обмеження: швидкість різання V (280...480 м/хв), подача інструмента S (0,1...0,2 мм/об), глибина різання t (0,05...0,15 мм), сила попереднього пластичного деформування P (1000 Н...2000 Н). Для проведення експериментальних досліджень в якості дослідних зразків були прийняті плоскі поверхні довжиною 240 мм та шириною 60 мм, які виготовлені із загартованої та незагартованої сталі 40Х.

Вимірювання показників точності обробленої плоскої поверхні виконували на приладі «Струна оптична ДП725М» з точністю вимірювання показників до 0,001мм. Оцінка та порівняння мікрогеометрії поверхонь оброблених комбінованим методом, чистовими торцевим фрезеруванням і шліфуванням (з виходжуванням) проводилось на профілографі Talysurf 6 (виробництво фірми “Taylor - Hobson”, Англія). За допомогою вимірювальної системи Talysurf проведений спектральний аналіз оброблених поверхонь загартованої сталі 40Х комбінованим методом та чистовим торцевим фрезеруванням інструментом, який дозволив встановити, що використання комбінованого торцевого фрезерування забезпечує зменшення висоти мікронерівності з $R_z=6,8...7,2$ мкм до $R_z=2,6...3,2$ мкм, на базовій довжині (0,25 мм), в 1,4–1,7 рази.

У додатках наведено профілограми обробленої загартованої та незагартованої сталі комбінованим торцевим фрезеруванням, чистовим торцевим фрезеруванням та шліфуванням із виходжуванням, які дозволили провести порівняльний аналіз та встановити, що плоска поверхня оброблена шліфуванням та комбінованим торцевим фрезеруванням практично має однакові величини мікронерівності $R_a=0,4...0,6$ мкм.

На основі експериментальних досліджень визначена доцільність заміни операції шліфування на комбіноване торцеве фрезерування.

Узагальнюючий порівняльний аналіз показників якості обробленої плоскої поверхні комбінованим та традиційним торцевим фрезеруванням інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, показав, що розроблений комбінований метод обробки забезпечує підвищення якості обробленої поверхні в середньому для загартованої сталі з $\Delta = 20 \pm 1$ мкм до $\Delta = 11 \pm 1$ мкм; з $\delta = 6,8 \pm 0,5$ мкм до $\delta = 12 \pm 0,5$ мкм; з $R_z = 6 \pm 1$ мкм до $R_z = 3,2 \pm 1$ мкм; для незагартованої сталі 40Х з $\Delta = 28 \pm 1$ мкм до $\Delta = 14 \pm 1$ мкм; з $\delta = 7,8 \pm 0,5$ мкм до $\delta = 17 \pm 0,5$ мкм; з $R_z = 8 \pm 1$ мкм до $R_z = 6,4 \pm 1$ мкм, а

також підвищити стійкість різального інструмента для загартованої сталі 40Х з $L = 4,2 \times 10^3 \pm 0,2 \text{ м}$ до $L = 6,5 \times 10^3 \pm 0,2 \text{ м}$; для незагартованої сталі 40Х з $L = 3,2 \times 10^3 \pm 0,2 \text{ м}$ до $L = 4,8 \times 10^3 \pm 0,2 \text{ м}$ мм, тобто в середньому у 1,4 рази за рахунок зменшення сили різання та осьових вібрацій.

Результати експериментальних досліджень комбінованої обробки плоских поверхонь сталевих деталей дали можливість отримати адекватну математичну модель (6-11) для розрахунку і прогнозування стійкості різального інструмента та якісних показників плоскої поверхні (відхилення від площинності, відхилення розміру деталі по висоті, висоти мікронерівності профілю деталі по десяти точкам), які можна рекомендувати для використання у виробничих умовах.

Запропонована методика встановлення вильоту формоутворюючих елементів та регулювання сили попереднього пластичного деформування, яка дозволяє скоротити час на налагодження технологічної системи.

У **четвертому розділі** приведений приклад вдосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення плоских поверхонь сталевих деталей типу «Корпус» на ВАТ «Львівський завод фрезерних верстатів», за яким відбувається скорочення задіяного металообробного обладнання, кількості обслуговуючого персоналу, зменшується час на налагодження технологічної системи, що призводить до підвищення продуктивності обробки плоских поверхонь з одночасним забезпеченням якісних показників деталі та підвищення стійкості різального інструмента, оснащеного надтвердим матеріалом.

Розроблена математична модель і пакет прикладних програм, які дозволили встановити оптимальний режим комбінованої обробки плоских поверхонь сталевих деталей шляхом вирішення нелінійної задачі математичного програмування:

$$Q = 1000 \sum b_m \cdot V_m \cdot \frac{\sum_1^q \frac{b_{mi} \cdot k_i}{n_i \cdot S_i}}{T_o} \Rightarrow \max \quad (6)$$

де Q - продуктивність обробки, $\text{м}^2/\text{хв}$; b_m - довжина твірної, мм; V_m - середня швидкість руху інструмента, $\text{м}/\text{хв}$; m - кількість різальних елементів; T_o - основний час обробки, хв ; l_m - довжина напрямної для кожного елемента, мм; q - кількість опера-

цій, необхідних для обробки поверхонь із потрібною точністю і якістю поверхневого шару; b_{mi} – розрахункова довжина обробки у напрямі подачі на i -й операції, мм; k_i – кількість проходів на i -й операції; n_i – число обертів або подвійних ходів за хвилину інструменту чи деталі на i -й операції; S_i – подача на один оберт шпинделя або подвійний хід деталі чи інструменту на i -й операції.

Розв’язання задачі (6) проводили з урахуванням таких обмежень:

$$\begin{cases} v_{\min} \leq v \leq v_{\max}; \\ s_{\min} \leq s \leq s_{\max}; \\ t_{\min} \leq t \leq t_{\max} \end{cases}, \quad (7)$$

Для обмежень режиму комбінованого торцевого фрезерування (7) умови допустимої якості обробленої поверхні та стійкості різального інструмента визначаються з рівнянь, які були отримані в ході опрацювання результатів експериментальних досліджень методом регресійного аналізу з урахуванням математичного планування і проведення повного факторного експерименту:

$$\Delta = \exp \left(\begin{array}{l} 1,81 \cdot \ln HB + 0,42 \cdot \ln V - 0,913 \cdot \ln S - 2,1 \cdot \ln t + 1,38 \cdot \ln P + \\ + 0,14 \cdot \ln V \cdot \ln t - 0,14 \cdot \ln V \cdot \ln HB - 0,38 \cdot \ln S \cdot \ln t + 0,12 \cdot \ln t \cdot \ln P - \\ - 0,2 \cdot \ln P \cdot \ln HB - 8,1 \end{array} \right) \leq \Delta^T \quad (8)$$

$$\delta = \exp \left(\begin{array}{l} -48,8 - 0,04 \cdot \ln V - 0,64 \cdot \ln t + 6,33 \cdot \ln P + 8,5 \cdot \ln HB + 0,38 \cdot \ln V \cdot \ln t + \\ + 0,602 \cdot \ln S \cdot \ln HB - 3,74 \cdot \ln S - 0,2 \cdot \ln t \cdot \ln P - 1,045 \cdot \ln P \cdot \ln HB \end{array} \right) \leq \delta^T \quad (9)$$

$$L = \exp \left(\begin{array}{l} 21,68 - 3,41 \cdot \ln V - 0,4 \cdot \ln S - 0,12 \cdot \ln t - 1,2 \cdot \ln P - 0,45 \cdot \ln HB + \\ 0,20 \cdot \ln V \cdot \ln HB + 0,23 \cdot \ln V \cdot \ln P \end{array} \right) \leq L^T \quad (10)$$

$$R_z = \exp \left(\begin{array}{l} 1,45 \cdot \ln HB + 8,54 \cdot \ln V - 37,07 \cdot \ln S - 3,03 \cdot \ln t + 108 \cdot \ln P + 0,13 \cdot \ln V \cdot \ln t + \\ + 0,16 \cdot \ln V \cdot \ln HB - 0,26 \cdot \ln P \cdot \ln HB + 2,5 \cdot \ln V \cdot \ln S - 0,8 \cdot \ln V \cdot \ln P + 3,12 \cdot \ln S \cdot \ln P + \\ + 0,37 \cdot \ln t \cdot \ln HB - 95,7 \end{array} \right) \leq R_z^T \quad (11)$$

де Δ^T – допуск на відхилення від площинності обробленої поверхні; δ^T – допустиме відхилення габаритного розміру деталі по висоті; L^T – допустиме значення

шляху різання інструмента до затуплення; R_z^T – допустиме відносне значення висоти мікронерівності.

Розроблений програмний продукт, що призначений для вирішення задачі (6) складається з двох частин генераторної та виконавчої. Робота програмного продукту генераторної частини передбачає аналіз введених першочергових даних стосовно характеристик технологічної системи, параметрів комбінованого інструмента та оброблюваного матеріалу. По характеристикам технологічної системи визначаються допустимі значення швидкості різання v_{min} , v_{max} та подачі комбінованого інструмента s_{min} , s_{max} . Граничні значення глибини різання приймаються відповідно $t_{min}=0,05$ мм; $t_{max} = 0,15$ мм. Перераховані граничні значення режиму комбінованої обробки формують область обмеження (7). Після чого генераторна частина програмного продукту проводить серію досліджень у межах визначеної області обмежень і оцінює отриману ймовірність попадання окремої точки в межі області допустимих розв'язків і в подальшому будує новий паралелепіпед, в якому цикл повторюється.

Точки, для яких не виконуються умови допустимої якості обробленої поверхні (8 – 11) відкидаються, а для точок, що попали в область допустимих розв'язків обирається точка з найбільшим значенням продуктивності. З допомогою розробленого програмного продукту для забезпечення заданих параметрів якості ($\Delta= 14..16$ мкм, $\delta=6...8$ мкм; $R_z=3,2...4,8$ мкм) плоскої поверхні виготовленої із загартованої та незагартованої сталі 40Х при виконанні умови (6), пропонуємо прийняти відповідні обмеження на режими комбінованої обробки: $V=460...480$ м/хв; $S=0,15...0,2$ мм/об; $t=0,1$ мм; $P=1500...2500$ Н.

Запропоновано шлях удосконалення обґрунтованого комбінованого методу обробки зміною траєкторії руху деформівного елемента з колової на прямолінійну, перпендикулярну вектору руху подачі заготовки, що забезпечує рівномірне зміцнення плоскої поверхні по ширині заготовки та підвищення стабільності процесу комбінованого торцевого фрезерування.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу існуючих методів технологічного забезпечення якості обробки плоских поверхонь сталевих деталей визначені шляхи підвищення ефективності обробки за рахунок комбінованого методу, який об'єднує попереднє пластичне деформування та торцеве фрезерування інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами.

2. Теоретично встановлено і експериментально доведено переваги розробленого методу обробки порівняно з традиційним чистовим торцевим фрезеруванням. Розроблений комбінований метод забезпечує якісні показники обробленої поверхні та стійкість різального інструмента, за рахунок поліпшення оброблюваності матеріалів та зменшення напруженості обробки. Встановлені граничні значення режиму обробки комбінованим методом.

3. Експериментальним шляхом встановлено позитивний вплив збільшення сили попереднього пластичного деформування на якісні показники плоскої поверхні сталевих деталей, а також на підвищення ресурсу роботи різального інструмента, оснащеного надтвердими матеріалами на 20%.

4. Розроблена методика визначення оптимальних режимів комбінованої обробки плоских поверхонь сталевих деталей із заданими якісними показниками плоскої поверхні.

5. Результати впровадження показали, що економічна ефективність від застосування на виробництві комбінованого методу обробки плоских поверхонь сталевих деталей та пакету прикладних програм при річному виготовленні 4 - ох тисяч деталей «Корпус», становить 16 тисяч 782 гривні.

6. Подальше удосконалення комбінованого методу обробки плоских поверхонь сталевих деталей пропонується орієнтувати в напрямку забезпечення рівномірності розподілу глибини зміцненого шару по ширині заготовки та забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей плоскої поверхні за рахунок технологічного керування стискаючими напруженнями.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Білявський М.Л., Козира Д.П., Ємельяненко С.С. Виробнича необхідність застосування продуктивного торцевого фрезерування при обробці незагартованих сталей // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки (Матеріали і технології в машинобудуванні). – Суми: Видавництво СумДУ.- 2008. - № 3 – С. 5–13. Здобувачем визначена виробнича необхідність застосування високопродуктивного торцевого фрезерування при обробці загартованих та незагартованих сталей, розрахований економічний ефект, обґрунтований напрямок вдосконалення існуючих технологічних процесів обробки плоских поверхонь.

2. Білявський М.Л., Степчин Я.А. Моделювання термосилових процесів при зрізанні частини попередньо зміцненого шару незагартованої сталі інструментом, оснащеним надтвердим матеріалом // Тези доповідей Восьмої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції „Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво”. - Луцьк: ЛНТУ, 2008. – С. 30-31. Здобувачем розглянуті особливості математичного моделювання термосилових процесів при обробці сталевих деталей по технології різання з попереднім пластичним деформуванням інструментом, оснащеним надтвердим матеріалом.

3. Шахбазов Я.О., Стецько Ю.Б., Білявський М.Л. Математичний аналіз технологічного процесу обробки площин корпусних деталей комбінованими торцевими фрезами // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. - №642 (2009) - С. 32-41. Здобувачем проведений математичний аналіз основних чинників процесу торцевого фрезерування сталевих деталей по технології різання з попереднім пластичним деформуванням та визначений їх вплив на точність обробки.

4. Шахбазов Я.О., Стецько Ю.Б., Білявський М.Л. Математичне моделювання точності оброблення плоских поверхонь деталей технологічного спорядження // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. Науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. – 76, С. 198-217. Здобувачем вдосконалені існуючі ма-

тематичні моделі впливу елементів технологічної системи в процесі чистового торцевого фрезерування на точність обробки плоских поверхонь.

5. Білявський М.Л. Експериментальні дослідження впливу чинників процесу комбінованого торцевого фрезерування на точність та шорсткість обробленої поверхні // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – Вип. – 25, С. 22-27.

6. Шахбазов Я.О., Прилипко О.І., Білявський М.Л., Ємельяненко С.С. Оптимізація режимів обробки комбінованою торцевою фрезою деталей технологічного спорядження, за критерієм стійкості інструмента // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки (Матеріали і технології в машинобудуванні). – Суми: Видавництво СумДУ.- 2009. - № 1 – С. 101–108. Здобувачем був проведений математичний аналіз результатів експериментальних досліджень.

7. Білявський М.Л. Оптимізаційна модель технологічного забезпечення якості оброблення плоских поверхонь комбінованими торцевими фрезами // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. - 2009 - №24 - С. 303-308.

8. Білявський М.Л. Метод підвищення ефективності оброблення плоских поверхонь торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами // Матеріали V – ої міжнародної конференції «Стратегії якості в промисловості та освіті», Дніпропетровськ – Варна, - 2009 р. - С. 54-56.

9. Белявский М.Л. Технологическое обеспечение качества обработки плоской поверхности комбинированным торцевым фрезерованием // Материалы второй всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России» - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2009 р. - С. 22-23.

10. Білявський М.Л. Технологічне забезпечення якості оброблення плоских поверхонь деталей технологічного спорядження комбінованими торцевими фрезами // Матеріали 9- ого міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків. - Львів – 2009 р. – С. 183-184.

11. Виговський Г.М., Громовий О.А., Білявський М.Л. Патент України на винахід «Спосіб плоского фрезерування деталей з незагартованих сталей торцевими фреза-

ми, оснащеними елементами з надтвердих матеріалів» № 87360 Україна, В23С3/00, – № а200710531; Заявлено 24.09.2007; Опубл. 10.07.2009, бюл. №13. Здобувачем складено опису винаходу та узагальнено результати досліджень.

АНОТАЦІЯ

Білявський М.Л. Технологічне забезпечення якості обробки сталевих деталей комбінованим торцевим фрезеруванням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2010.

Робота присвячена технологічному забезпеченню якості обробки плоских поверхонь сталевих деталей на операціях чистової обробки. Для досягнення поставленої мети був розроблений спосіб комбінованого торцевого фрезерування, який полягає в попередньому пластичному деформуванні оброблюваного матеріалу поверхні заготовки та наступному зрізанні припуску зміцненого шару інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами. На основі теоретичних та експериментальних досліджень впливу процесу попереднього пластичного деформування на оброблюваність різанням обґрунтовано ефективність нового способу обробки сталевих деталей.

Створено методику розрахунку оптимального режиму комбінованої обробки засобами обчислювальної техніки.

Встановлені шляхи удосконалення комбінованого методу обробки.

Ключові слова: чистове торцеве фрезерування, показники якості, плоска поверхня, технологія різання з попереднім пластичним деформування, надтверді матеріали, сталева деталь.

SUMMARY

Biliavskiy M.L. Technological maintenance of quality surface steel details during combined face milling. – Manuscript.

Thesis for Candidate of Technical Sciences Degree in speciality 05.02.08 – Technology of Machine Design. – National University “Lviv Politechnic”, Lviv, 2010.

The work devoted technological maintenance of quality flat surfaces of steel details at a stage of finishing operation. The way has been developed for achievement quality of surface during combined face milling which consists in preliminary plastics deformation of surface and the following cutting of a part of the strengthened layer by the instruments equipped with superhard materials.

Experimental researches have confirmed adequacy of theoretical models. Procedure of the project of an optimum way of incorporated processing by the computer is created.

The way of development of the combined method of processing is established.

Key word: finish face milling, quality indicators, flat surface, technology of cutting with are preliminary plastic deformation, superhard materials, steel detail.

АННОТАЦИЯ

Белявский М.Л. Технологическое обеспечение качества обработки стальных деталей комбинированным торцевым фрезерованием. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения». – Украинская академия печати, Львов, 2010.

Работа посвящена технологическому обеспечению качества обработки плоских поверхностей стальных деталей на операциях чистовой обработки. Для достижения поставленной цели был разработан способ комбинированного торцевого фрезерования, который заключается в предварительном пластическом деформировании обрабатываемого материала поверхности заготовок и последующего срезания припуска упрочненного слоя инструментом, оснащенным сверхтвёрдыми материалами.

Разработана методика расчёта оптимальных режимов комбинированной обработки.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованной литературы и приложения.

Во **введении** обоснованы актуальность и целесообразность выполнения исследований, сформулированы цель и задачи исследований, приведены научная и практическая значимость, а также личный вклад автора.

В **первом разделе** на основании известных работ систематизированы основные типы объектов и существующие требования, предъявляемые к качеству обработки плоских поверхностей стальных деталей. Было определено, что основным направлением технологического обеспечения качества обработки плоских поверхностей стальных деталей является улучшения обрабатываемости материала путём реализации способа резания с предварительным пластическим деформированием.

Во **втором разделе** изложены теоретические исследования метода технологического обеспечения качества обработки плоских поверхностей стальных деталей. Разработаны математические, имитационные модели, которые позволяют провести анализ влияния технологических параметров процесса комбинированного торцевого фрезерования на качество обработанной поверхности.

В **третьем разделе приведены** экспериментальные исследования влияния технологических параметров процесса комбинированного торцевого фрезерования на качество обработанной поверхности. Основываясь на результатах системной обработки экспериментальных данных, получены математические зависимости, которые позволяют оценить влияние каждого параметра процесса обработки торцевым фрезерованием сверхтвердыми материалами на качество обработанной поверхности.

В **четвертом разделе** решена задача оптимизации режима комбинированной обработки с целью технологического обеспечения качества обработанной плоской поверхности. Установлены пути усовершенствования комбинированного метода обработки.

Ключевые слова: *чистовое торцевое фрезерование, показатели качества, плоская поверхность, технология резания с предварительным пластическим деформированием, сверхтвердые материалы, стальная деталь.*