

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

**Жовтобрюх Валерій Олексійович**

УДК 621.923: 621.90.17

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
ДЕТАЛЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ ВИБОРУ  
РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАЦІЙ ЗА КРИТЕРІЄМ  
СОБІВАРТОСТІ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Маріуполь – 2012

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в ТОВ Технічний Центр “ВаріУс”, м. Дніпропетровськ

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Новіков Федір Васильович**,  
Харківський національний економічний університет,  
завідувач кафедри “Техніки і технології”

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Сизий Юрій Анатолійович**,  
Національний технічний університет “ХПІ”,  
професор кафедри “Технологія машинобудування та металорізальні верстати”

кандидат технічних наук, доцент  
**Барсуков Володимир Анатолійович**,  
ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”,  
доцент кафедри “Технологія машинобудування”

Захист відбудеться “19” грудня 2012 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 12.052.03 в ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7

Автореферат розісланий “18” листопада 2012 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Ю.В. Гусєв

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Практикою встановлено, що виготовлення деталей гідравлічних систем у силу підвищених вимог до точності і якості обробки поверхонь, характеризується досить високою трудомісткістю. Особливо це відноситься до обробки таких деталей як плунжер, п'ята, а також складних по конструктивному виконанню гідроагрегатів, виготовлених з матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями. В останні роки для обробки зазначених деталей намітилася тенденція застосування сучасних металорізальних верстатів типу “оброблювальний центр” зі ЧПУ й прогресивних збірних конструкцій інструментів, які реалізують умови високошвидкісного різання й дозволяють істотно підвищити продуктивність і якість обробки. Разом з тим, як показує практичний досвід, у зв'язку з високою вартістю даних верстатів і різальних інструментів (як правило, закордонного виробництва) різко зростає собівартість обробки, і застосування нових технологій високошвидкісної обробки стає економічно недоцільним. Тому для вирішення завдання ефективної механічної обробки деталей гідравлічних систем важливо визначити умови зменшення собівартості обробки, теоретично й експериментально встановити вплив температурного фактора, який є домінуючим при високошвидкісному різанні, на стійкість різального інструменту й відповідно собівартість, продуктивність і якість обробки. Це дозволить науково обгрунтовано підійти до вибору раціональних режимів різання й характеристик прогресивних лезових інструментів при обробці деталей гідравлічних систем на сучасних високооборотних верстатах зі ЧПУ. У зв'язку із цим, у роботі вирішується актуальне науково-практичне завдання розробки й впровадження у виробництво ефективних операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 516 від 18.04.2006 р. “Державна програма розвитку машинобудування на період 2006-2011 р.р.” і тематичного плану робіт ТОВ Технічний центр “ВаріУс” (м. Дніпропетровськ). Здобувач брав безпосередню участь у виконанні робіт як керівник та відповідальний виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є зниження собівартості й підвищення продуктивності обробки деталей гідравлічних систем на основі застосування прогресивних конструкцій інструментів і вибору раціональних режимів різання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- аналітично описати собівартість механічної обробки й обгрунтувати основні умови її зменшення;
- розробити інженерну методика вибору раціональних параметрів режиму різання й характеристик лезових інструментів за критерієм найменшої собівартості обробки;
- розробити математичну модель визначення теплового балансу й температури, що виникає в процесі різання на передній, задній поверхнях лезового інструмента й в умовній площині зсуву оброблюваного матеріалу, і на цій основі обгрунтува-

ти умови підвищення стійкості інструмента та продуктивності, а також зниження собівартості обробки;

– теоретично оцінити можливості підвищення продуктивності й зниження собівартості обробки деталей гідравлічних систем на основі застосування прогресивних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями;

– провести експериментальні дослідження основних технологічних параметрів операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем і оцінити вірогідність отриманих теоретичних результатів;

– розробити й впровадити у виробництво ефективні операції механічної обробки деталей гідравлічних систем.

*Об'єкт дослідження* – прогресивні технологічні процеси механічної обробки деталей гідравлічних систем.

*Предмет дослідження* – теоретичний аналіз умов зменшення собівартості й підвищення продуктивності обробки деталей гідравлічних систем і на цій основі обґрунтування й вибір раціональних режимів різання та характеристик лезових інструментів.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів, що базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, фізики, математичного аналізу, а також математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконані із застосуванням профілографа-профілометра, твердоміра Роквела, мікроскопа МІМ-8.

**Наукова новизна отриманих результатів.** 1. Одержала подальший розвиток математична модель визначення собівартості обробки, що дозволило на основі екстремальної залежності собівартості від продуктивності обробки науково обґрунтовано підійти до вибору раціональних параметрів операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем, включаючи режими різання й характеристики інструментів.

2. Теоретично доведена можливість істотного зменшення собівартості обробки за рахунок забезпечення сталості добутку швидкості різання й стійкості інструмента зі збільшенням швидкості різання шляхом зниження негативного впливу температурного фактора на стійкість інструмента.

3. Теоретично й експериментально обґрунтована ефективність застосування прогресивних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, що дозволяє за рахунок збільшення продуктивності обробки з надлишком компенсувати витрати на інструмент і зменшити собівартість і трудомісткість обробки.

4. Розроблено математичну модель визначення теплового балансу й температури, що виникає при різанні в умовній площині зсуву оброблюваного матеріалу, на передній і задній поверхнях лезового інструмента. Це дозволило обґрунтувати екстремальний характер залежності собівартості обробки від швидкості різання й умови підвищення стійкості інструмента та продуктивності, а також зниження собівартості обробки.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено ефективні операції механічної обробки деталей гідравлічних систем із застосуванням

прогресивних збірних твердосплавних інструментів із зносостійкими покриттями, котрі дозволяють зменшити собівартість та підвищити продуктивність обробки. Запропоновано методику вибору раціональних параметрів операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем за критерієм найменшої собівартості. Розроблені операції механічної обробки деталей гідравлічних систем впроваджено в ПрАТ “Гідросила АПМ” (м. Кіровоград) та ПАТ “Дніпрополімермаш” (м. Дніпропетровськ) із загальним економічним ефектом 145220 гривень на рік. Результати теоретичних і експериментальних досліджень роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі “Техніка та технології” Харківського національного економічного університету в курсовому та дипломному проектуванні.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, котрі виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно й опубліковано у 15 наукових працях. Постановка наукових завдань і обговорення результатів проводились разом з науковим керівником. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [2] – аналітичне визначення найменшої собівартості і найбільшої продуктивності обробки; [6] – результати теоретичних та експериментальних досліджень собівартості обробки; [7] – результати експериментальних досліджень технологічних параметрів лезової обробки; [11] – визначення оптимальних параметрів режимів різання при точінні; [13] – новий підхід до визначення оптимальних параметрів механічної обробки на основі собівартості; [14] – визначення температури різання; [15] – одержані залежності для визначення температури різання;

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на XVI і XVII Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні та комп’ютерні технології”, м. Харків, 2010–2011 р.р.; XX Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, м. Харків, 2012 р.; II Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми та перспективи автомобілебудування і автомобільного транспорту”, м. Харків, 2011 р.; XIX Міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку”, Харків – Алушта, 2011 р.; XI Міжнародній науково-практичній конференції “Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика”, Ялта – Київ, 2011 р.; науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні”, Одеса – Київ, 2011 р.; Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні напрямки та перспективи розвитку технології обробки й обладнання в машинобудуванні “Механообробка. Севастополь - 2012”, м. Севастополь, 2012 р.; XII Міжнародній науково-технічній конференції “Інженерія поверхні та реновація виробів”, Ялта – Київ, 2012 р.; IX Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології та інновації”, м. Курськ, Росія, 2012 р. Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширених наукових семінарах кафедри “Технологія машинобудування” ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет” (м. Маріуполь, 2012 р.), кафедри “Технологія хімічного машинобудування та апаратобудування” Українського державного хіміко-технологічного університету (м. Дніпропетровськ, 2012 р.) та науково-технічних семінарах технічної ради ТОВ Технічний центр “ВаріУс” (м. Дніпропетровськ, 2012 р.) і технічної ради ДП Харківський машинобудівний завод “ФЕД” (м. Харків, 2012 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях, у тому числі 8 наукових праць – у виданнях, затверджених ДАК МОНмолодіспорту України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 233 сторінки, з них 120 ілюстрацій на 59 сторінках; 25 таблиць за текстом; 7 таблиць на 4 сторінках, 136 найменувань використаних літературних джерел на 15 сторінках; 4 додатки на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, у котрій обґрунтовано актуальність, новизну та практичне значення отриманих результатів, сформульовано мету і задачі досліджень. Наведено особистий внесок здобувача у виконану роботу й результати апробації дисертації.

У першому розділі: **“Основні напрямки підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних систем”** – проведено аналіз технологічних процесів механічної обробки деталей гідравлічних систем і виявлені їхні недоліки, які полягають головним чином в низькій продуктивності обробки. Показано, що домогтися підвищення ефективності обробки можна за рахунок застосування сучасних верстатів зі ЧПУ типу “оброблювальний центр”, які реалізують умови високошвидкісного різання, і сучасних збірних різальних інструментів зі зносостійкими покриттями. Разом з тим, дані верстати й інструменти закордонного виробництва й досить дорогі, що приводить до збільшення собівартості обробки й вимагає пошуку нових технологічних рішень по її зменшенню.

Проведено аналіз літературних джерел і показано, що підвищити ефективність обробки деталей гідравлічних систем можна на основі вибору раціональних режимів різання й характеристик інструментів за критерієм найменшої собівартості обробки. Відзначається, що відповідно до існуючих теоретичних рішень, основною умовою зменшення собівартості обробки є підвищення зносостійкості різальних інструментів. Доведено, що при певній (оптимальній) стійкості різального інструменту собівартість обробки приймає екстремальне (мінімальне) значення. Тому встановлення оптимальних умов обробки на основі мінімуму собівартості слід розглядати основною науковою передумовою підвищення ефективності обробки деталей гідравлічних систем.

З огляду на переважний вплив на стійкість інструмента температурного фактора при різанні, проведено аналіз літературних джерел по визначенню температури різання. Показано, що на даний час сформувалося досить повне уявлення про теплову напруженість при різанні, отримані теоретичні залежності для визначення температури різання. Однак, дані залежності, як правило, носять емпіричний характер, досить громіздкі, складні при аналізі й вимагають чисельних розрахунків, що не дозволяє одержати загальні рішення й повною мірою виявити потенційні можливості процесу різання з погляду зменшення температури й підвищення стійкості інструмента та продуктивності обробки. Це обмежує можли-

вості теоретичного аналізу умов зменшення собівартості обробки й вимагає подальшого розвитку існуючих математичних моделей визначення температури різання й на їхній основі встановлення раціональних умов обробки з урахуванням обмеження за температурним критерієм, які забезпечують зниження собівартості обробки деталей гідравлічних систем.

У другому розділі: “Теоретичний аналіз умов зменшення собівартості й підвищення продуктивності механічної обробки” – одержала подальший розвиток математична модель визначення собівартості обробки  $C$  й отримана її залежність із урахуванням 4 змінних статей витрат, пов'язаних із заробітною платою робітника, витратами на інструмент і його заміну, а також на електроенергію:

$$C = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N_0 \cdot t_c \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N_0 \cdot \Pi + N \cdot P \cdot t_0 \cdot S_{\text{елект}} =$$

$$= \frac{\mathcal{G}_{\text{сум}} \cdot S_{\text{час}} \cdot k}{V \cdot t \cdot S} + \frac{\mathcal{G}_{\text{сум}}}{V \cdot t \cdot S \cdot T} \cdot (t_c \cdot S_{\text{час}} \cdot k + \Pi) + \mathcal{G}_{\text{сум}} \cdot \sigma \cdot S_{\text{елект}}, \quad (1)$$

де  $N$ ,  $N_0 = N/n$  – кількість оброблюваних деталей і споживаних інструментів, шт.;  $n = T/t_0$  – кількість деталей, оброблених одним інструментом, шт.;  $T$  – стійкість інструмента, хв.;  $t_0 = \mathcal{G}/Q$  – основний технологічний час обробки, с;  $\mathcal{G}$  – обсяг металу, що знімається з однієї деталі, м<sup>3</sup>;  $Q = V \cdot t \cdot S$  – продуктивність обробки (при поздовжньому точінні), м<sup>3</sup>/хв.;  $V$  – швидкість різання, м/хв.;  $t$  – глибина різання, м;  $S$  – подача, м/об;  $S_{\text{час}}$  – тарифна ставка робітника, грн./хв.;  $k$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на тарифну ставку робітника;  $t_c$  – час заміни інструмента, хв.;  $\Pi$  – ціна інструмента, грн.;  $P = \sigma \cdot Q$  – ефективна потужність різання, Вт;  $\sigma$  – енергоємність обробки, Н/м<sup>2</sup>;  $S_{\text{елект}}$  – вартість одиниці електроенергії, грн./Дж;  $\mathcal{G}_{\text{сум}} = N \cdot \mathcal{G}$  – обсяг металу, що знімається з  $N$  деталей, м<sup>3</sup>.

Розрахунками встановлено, що перші три статті витрат перевищують четверту статтю й тому її в першому наближенні в розрахунках можна не враховувати. Тоді, виходячи із залежності (1), основною умовою зменшення собівартості  $C$  й підвищення продуктивності обробки  $Q$  є забезпечення сталості добутку параметрів  $V \cdot T$  (довжини шляху різання) зі збільшенням швидкості різання  $V$ . Це досягається підвищенням стійкості інструмента за рахунок застосування нових інструментальних матеріалів і нанесення на них зносостійких покриттів. Доведено, що у випадку зменшення добутку параметрів  $V \cdot T$  зі збільшенням швидкості різання  $V$  (у зв'язку зі збільшенням температури різання й зменшенням стійкості інструмента) собівартість обробки  $C$  буде змінюватися по екстремальній залежності, проходячи точку мінімуму (рис. 1,а).

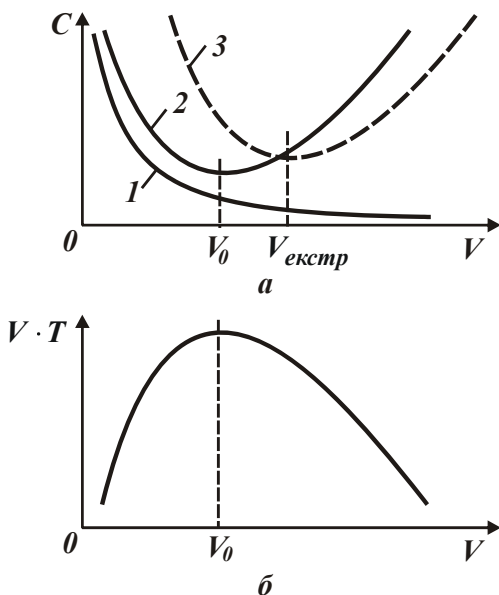


Рис. 1. Характер зміни першого (крива 1) і другого (крива 2) доданків залежності собівартості обробки  $C$  (крива 3) від швидкості різання  $V$  (а), і характер зміни  $V \cdot T$  від  $V$  (б).

У цьому випадку температурний фактор є визначальним у формуванні собівартості обробки. Для визначення екстремуму собівартість обробки  $C$  залежність (1) перетворена з урахуванням відомого співвідношення  $T = \frac{C_4}{(V - V_0)^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}$ :

$$C = \frac{\alpha_1}{V \cdot S \cdot t} + \alpha_2 \cdot \frac{(V - V_0)^{m_1}}{V \cdot S^{1-p} \cdot t^{1-q}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_1 = N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{час} \cdot k$ ;  $\alpha_2 = N \cdot \frac{\mathcal{G} \cdot (t_c \cdot S_{час} \cdot k + \Pi)}{C_4}$ ;  $C_4, m_1, q, p$  – постійні, визначаються експериментально ( $m_1 > p > q$ ;  $m_1 > 1$ );  $V_0$  – швидкість різання, при якій добуток параметрів  $V \cdot T$  приймає максимальне значення (рис. 1,б).

Підкоряючи функцію  $C$  необхідній умові екстремуму  $C'_V = 0$ , отримано:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2 \cdot S^p \cdot t^q} = (V_{екстр} - V_0)^{m_1-1} \cdot [(m_1 - 1) \cdot V_{екстр} + V_0]. \quad (3)$$

За умови  $V_0 = 0$  приходимо до спрощених залежностей для визначення екстремальних значень швидкості різання, продуктивності обробки, стійкості інструмента, оптимальної кількості інструментів  $N_0$ , необхідних для обробки партії з  $N$  деталей, і собівартості обробки:

$$V_{екстр} = \left[ \frac{C_4 \cdot S_{час} \cdot k}{(t_c \cdot S_{час} \cdot k + \Pi) \cdot (m_1 - 1) \cdot S^p \cdot t^q} \right]^{\frac{1}{m_1}} = \left[ \frac{C_4}{T_{екстр} \cdot (m_1 - 1) \cdot S^p \cdot t^q} \right]^{\frac{1}{m_1}}; \quad (4)$$

$$Q_{екстр} = V_{екстр} \cdot S \cdot t = \left[ \frac{C_4}{T_{екстр}} \cdot S^{m_1-p} \cdot t^{m_1-q} \right]^{\frac{1}{m_1}}; \quad (5)$$

$$T_{екстр} = \frac{(t_c \cdot S_{час} \cdot k + \Pi) \cdot (m_1 - 1)}{S_{час} \cdot k}; \quad (6)$$

$$N_0 = \frac{N}{n} = N \cdot \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot L \cdot V^{m_1-1} \cdot S^{p-1} \cdot t^q}{C_4}; \quad (7)$$

$$C_{min} = \frac{N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{час} \cdot k}{Q_{екстр}} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(m_1 - 1)} \right], \quad (8)$$

де  $D_{дет}$  – діаметр деталі, м;  $L$  – довжина поздовжнього ходу інструмента, м.

Із залежності (3) впливають основні умови зменшення  $C_{min}$ , які показані на рис. 2. Для кількісної оцінки екстремуму (мінімуму) собівартості і умов обробки, що його реалізують, залежність (2) представлена у відносних величинах:

$$\bar{C} = \bar{C}_1 + \bar{C}_2 = \frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1 - 1)}, \quad (9)$$

де  $\bar{C}$  – відносна собівартість обробки (безрозмірна величина);  $z = Q / Q_{екстр}$ .



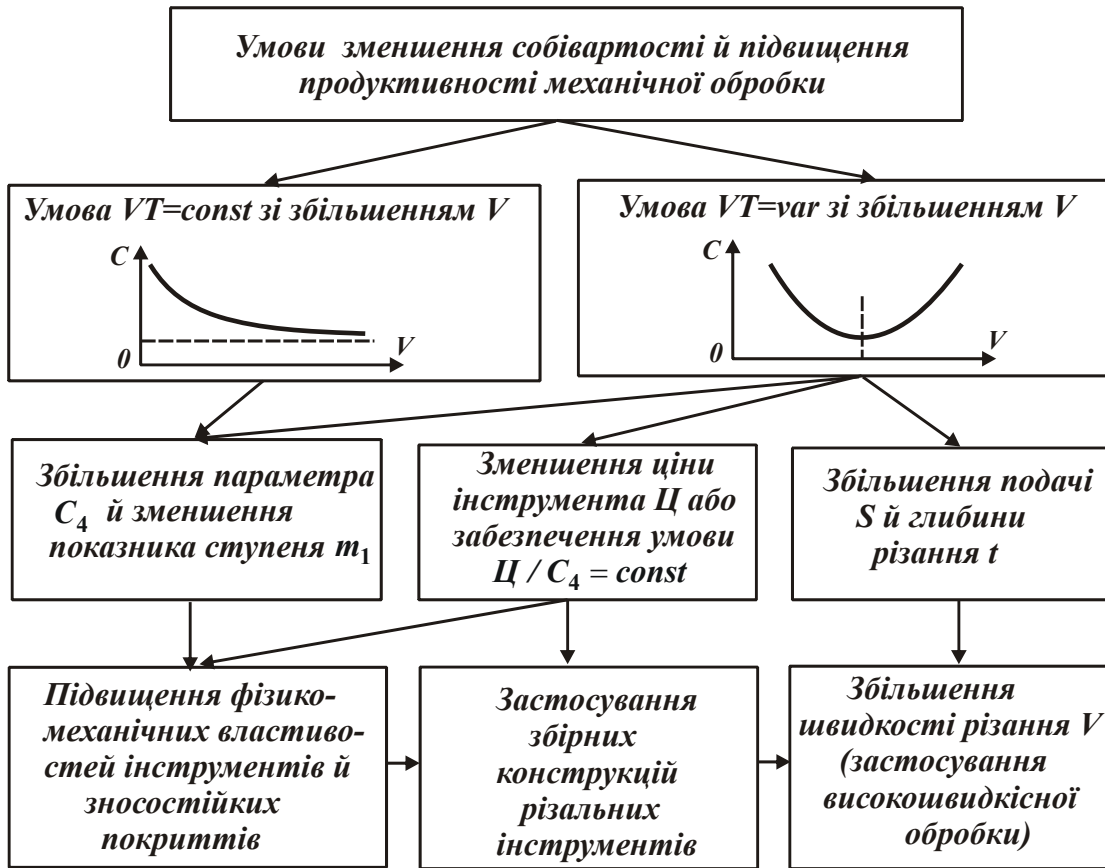


Рис. 2. Умови зменшення собівартості й підвищення продуктивності обробки.

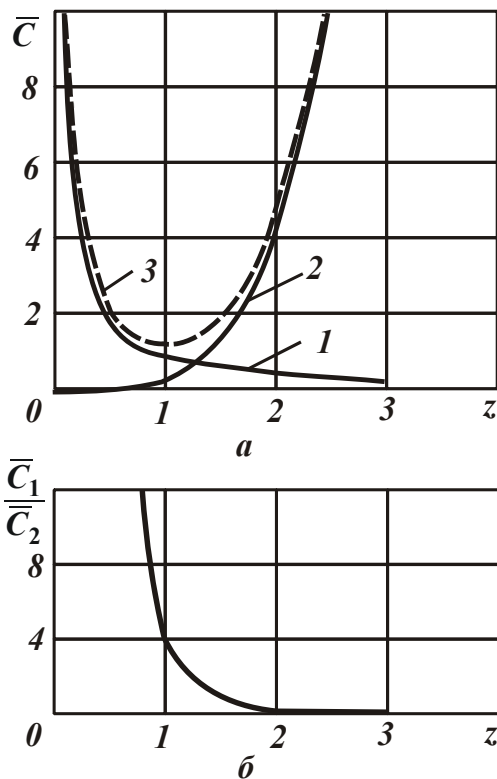


Рис. 3. Характер зміни функцій  $\bar{C}_1 = 1/z$  (1),  $\bar{C}_2 = 0,25 \cdot z^4$  (2),  $\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$  (3) (а) і відношення  $\bar{C}_1 / \bar{C}_2$  (б) для  $m_1 = 5$ .

Для випадку  $m_1 = 5$  графіки функції  $\bar{C}$  й відношення  $\bar{C}_1 / \bar{C}_2$  наведені на рис. 3. Як видно, зі збільшенням  $z$  відносна собівартість обробки  $\bar{C}$  змінюється по екстремальній залежності, проходячи точку мінімуму (при  $z=1$ ). Перший доданок ( $1/z$ ) у точці мінімуму собівартості в 4 рази більше другого доданка ( $0,25 \cdot z^4$ ). Отже, мінімальне значення собівартості обробки обумовлено статтею витрат, пов'язаною із заробітною платою робітника, тому що вона в кілька разів перевищує статтю витрат на різальний інструмент. Тому ефект зменшення собівартості обробки може бути досягнуто головним чином за рахунок зменшення даної статті витрат, наприклад, шляхом застосування прогресивних конструкцій різальних інструментів, виготовлених з інструментальних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями, які забезпечують збільшення продуктивності обробки  $Q_{екстр}$  й зменшення  $C_{min}$  відповідно до залежності (8). З метою оцінки вірогід-

ності отриманих теоретичних рішень були проведені експериментальні дослідження із установлення оптимальної стійкості інструментів і собівартості обробки на операції фрезерування деталей з важкооброблюваного матеріалу (сталі Х2 ГСНВМ-ВД). Порівнювалися два варіанти фрезерування: монолітною кінцевою фрезою  $\varnothing 40$  мм (виготовленою зі швидкорізальної сталі Р18) і збірною кінцевою фрезою  $\varnothing 32$  мм (оснащеною пластинами із твердого сплаву ТТ9030 зі зносостійким покриттям) спільного виробництва фірм TaeguTec (Південна Корея) і ТОВ ТЦ “ВаріУс” (Україна). Кількість зубів у фрез – 5; глибина різання – 2,5 мм; ширина різання – 6 мм; кількість проходів – 12.

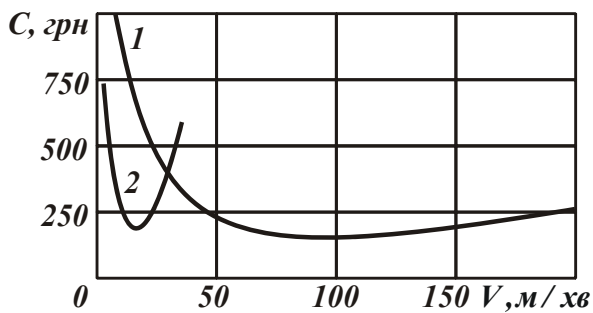


Рис. 4. Залежність  $C$  від  $V$ :

1–збірна фреза; 2– монолітна фреза.

Як видно, зі збільшенням швидкості різання  $V$  собівартість обробки  $C$  змінюється по екстремальній залежності, проходячи точку мінімуму, що погодиться з отриманими теоретичними рішеннями.

При обробці збірною фрезою, незважаючи на збільшену подачу, собівартість обробки  $C$  менше, ніж при обробці монолітною фрезою, а екстремум (мінімум) собівартості обробки  $C$  досягається при значно більшій швидкості різання ( $V=99$  м/хв. проти  $V=16$  м/хв. для монолітної фрези). Отже, при обробці збірною фрезою швидкість різання  $V$  можна встановлювати в широких межах, тому що при цьому собівартість обробки істотно не змінюється.

Експериментально встановлено, що оптимальна стійкість збірної кінцевої фрези становить  $T_{екстр} = 256$  хв., а монолітної кінцевої фрези –  $T_{екстр} = 384$  хв. Розрахунки по залежності (6) показали, що оптимальна (економічна) стійкість розглянутих інструментів приймає значення, які близькі до експериментальних (рис. 5,а). Їхня розбіжність не перевищує 15%, що свідчить про вірогідність отриманих теоретичних рішень. Отже, з'являється можливість розрахунковим шляхом, не прибігаючи до виконання трудомістких експериментальних досліджень, за залежністю (6) встановити оптимальну (економічну) стійкість інструмента, а по ній визначити раціональні параметри режиму різання, мінімальну собівартість обробки й інші параметри процесу різання. Причому, дана залежність є універсальною, справедливою для різних методів механічної обробки.

Порівняння відношення статей витрат  $C_1 / C_2 = \bar{C}_1 / \bar{C}_2$ , пов'язаних із заробітною платою робітника й витратою інструментів за період їхньої стійкості, також показали високу збіжність розрахункових і експериментальних значень (рис. 5,б). Їхня розбіжність становить не більше 10%. Експериментальні значення  $C_1 / C_2$  встановлювалися на основі даних рис. 5,в, а розрахункові значення – по залежно-

сті (9). Як встановлено експериментально, зниження витрат при обробці збірною фрезою привело до 10-кратного зниження трудомісткості обробки (рис. 5, г). Цим показана ефективність застосування з погляду зниження собівартості обробки більш продуктивного, хоча й дорогого збірного твердосплавного інструмента, оскільки в цьому випадку, виходячи з експериментальних даних, підвищення продуктивності обробки з надлишком компенсує витрати на їхнє придбання. При цьому ціну інструмента, по суті, визначає вартість ріжучої пластини, яка за рахунок своєї багатогранності допускає багаторазове використання. У результаті вартість однієї “умовної” ріжучої кромки пластини різко зменшується, що дозволяє збільшити швидкість різання й продуктивність і відповідно зменшити собівартість обробки.

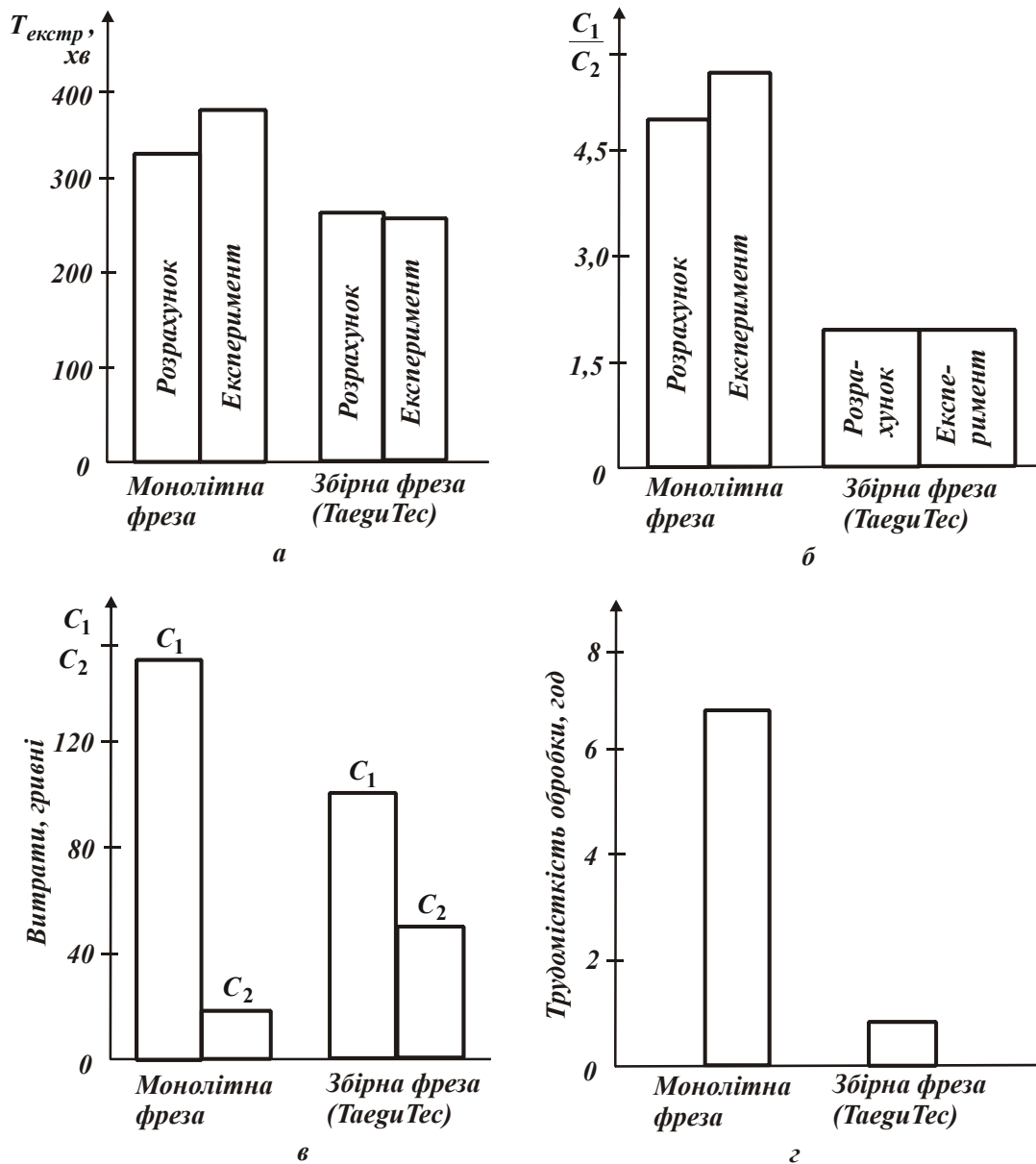


Рис. 5. Діаграми розподілу значень параметрів  $T_{екстр}$  (а),  $C_1/C_2$  (б),  $C_1$  і  $C_2$  (в) і трудомісткості обробки (г) монолітною й збірною кінцевими фрезами.

У третьому розділі: “Аналітичний опис і аналіз теплового балансу й температури при різанні матеріалів” – розроблено математичну модель визначення тепло-

вого балансу й температури, що виникає при різанні в умовній площині зсуву матеріалу, на передній і задній поверхнях інструмента. Це дозволило обґрунтувати екстремальний характер залежності собівартості обробки від швидкості різання, виявити умови зменшення температури різання й відповідно підвищення стійкості інструмента та продуктивності, а також зниження собівартості обробки.

Спочатку була визначена температура, що виникає при різанні на передній поверхні інструмента (різця). Для цього стружка, що утворюється, представлена у вигляді безлічі елементарних нескінченно тонких адіабатичних стержнів, кожний з яких нагрівається до певної величини за  $\tau$  час тертя з передньою поверхнею різця (рис. 6). Використовуючи теоретичний підхід до визначення температури різання, запропонований проф. Якімовим О.В. і Новиковим Ф.В., отримані аналітичні залежності для визначення температур, які виникають у різці й стружці:

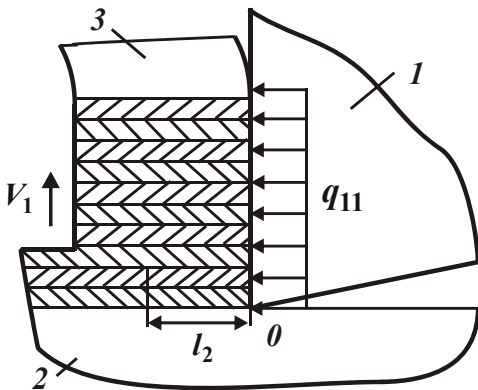


Рис. 6. Розрахункова схема температури стружки: 1 – різець; 2 – оброблюваний матеріал; 3 – стружка.

де  $q_1 = q_{11} + q_{12}$  – сумарна щільність теплового потоку, що виникає на передній поверхні різця, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{11}$ ,  $q_{12}$  – щільності теплового потоку, що йде відповідно в різець і стружку, Вт/м<sup>2</sup>;  $H$  – товщина твердосплавної пластини, м;

$$\theta_{max1} = \frac{(q_1 - q_{11}) \cdot H}{\lambda_u}; \quad \theta_{max2} = \frac{q_{11} \cdot l_2}{\lambda_m},$$

де  $q_1 = q_{11} + q_{12}$  – сумарна щільність теплового потоку, що виникає на передній поверхні різця, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{11}$ ,  $q_{12}$  – щільності теплового потоку, що йде відповідно в різець і стружку, Вт/м<sup>2</sup>;  $H$  – товщина твердосплавної пластини, м;

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_m}{c_m \cdot \rho_m}} \cdot \tau - \text{глибина проникнення тепла}$$

адіабатичний стержень, м;  $\lambda_u$ ,  $\lambda_m$  – коефіцієнти теплопровідності інструментального й оброблюваного матеріалів, Вт/(м · К);  $c_m$  – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг · К);  $\rho_m$  – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

З умови  $\theta_{max1} = \theta_{max2}$ , маємо  $q_{11} = q_1 \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{l_2}{H} \cdot \frac{\lambda_u}{\lambda_m}\right)}$ ;  $\theta_{max2} = \frac{q_1}{\lambda_m} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{l_2} + \frac{1}{H} \cdot \frac{\lambda_u}{\lambda_m}\right)}$ .

Оскільки  $H > l_2$ , то  $q_{11}$  буде незначно відрізнятися від  $q_1$ . Із цього випливає, що основна частина тепла, що утворюється в результаті тертя стружки з передньою поверхнею різця, йде в стружку, а в інструмент йде досить незначна частина тепла. Це підтверджується відомими експериментальними даними проф. Данієляна А.М., згідно яким, наприклад, при точінні сталі в стружку йде найбільша кількість тепла, а в різальний інструмент – найменша кількість тепла. Тоді температура  $\theta_{max2}$  визначиться

$$\theta_{max2} = \sigma_{cm} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot V}{c_m \cdot \rho_m \cdot \lambda_m}}, \quad (10)$$

$\sigma_{cm}$  – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, Н/м<sup>2</sup>;  $f$  – коефіцієнт тертя інструментального й оброблюваного матеріалів;  $a$  – товщина зрізу, м;  $V$  – швидкість різання, м/с.

Аналогічно визначена температура, що виникає при різанні на задній поверхні різця, у результаті його тертя з оброблюваним матеріалом:

$$\theta_{max2} = f \cdot HV \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot V}{c_m \cdot \rho_m \cdot \lambda_m}}, \quad (11)$$

де  $HV$  – твердість оброблюваного матеріалу (по Віккерсу),  $\text{H/m}^2$ ;  $h$  – довжина площадки зношування на задній поверхні різця, м.

Відмінність значень температур  $\theta_{max2}$ , розрахованих за залежностями (10) і (11), визначається розходженням значень  $a$  і  $h$ , а також значень  $HV$  і  $\sigma_{cm}$ . Як відомо, для конструкційних загартованих сталей відношення  $HV / \sigma_{cm} \approx 3$ . Отже, за умови  $a = h$  температура, що виникає при різанні на задній поверхні різця, буде перевищувати температуру, що виникає на передній поверхні різця. За умови  $a > h$ , навпаки, температура, що виникає при різанні на задній поверхні інструмента, буде менше температури, що виникає на передній поверхні інструмента.

Температура, що виникає при різанні в умовній площині зсуву оброблюваного матеріалу, описується залежністю

$$\theta_{max} = \frac{\sigma_{cm}}{c_m \cdot \rho_m \cdot \text{tg}\beta}, \quad (12)$$

де  $\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}$  – умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу (формула проф. Зворикіна К.О.);  $\gamma$  – передній кут інструмента;  $\psi$  – умовний кут тертя на передній поверхні інструмента, град ( $\text{tg}\psi = f$ ).

Така ж за структурою залежність була отримана при визначенні температури, що виникає при різанні на передній поверхні різця, за залежністю (10):

$$\theta_{max2} = \frac{\sigma_{cm}}{c_m \cdot \rho_m \cdot \text{tg}\beta} \cdot U, \quad (13)$$

де  $U = 0,5 \cdot (1 - \text{tg}^2\beta) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot c_m \cdot \rho_m \cdot a \cdot V}{\lambda_m} \cdot \frac{1}{(\text{tg}\beta + \text{tg}\psi)}}$  – безрозмірна функція.

На рис. 7 наведені розрахункові значення функції  $U$  для вихідних даних:

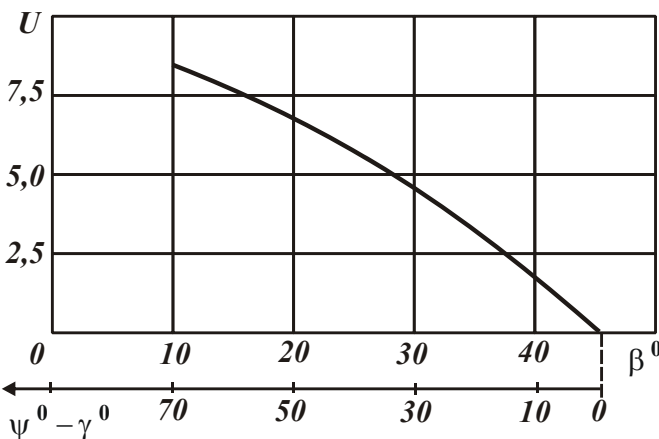


Рис. 7. Залежність функції  $U$  від кута  $\beta$  й різниці кутів  $(\psi - \gamma)$ .

коefficient температуропровідності оброблюваного матеріалу (сталі ШХ15)  $\frac{\lambda_m}{c_m \cdot \rho_m} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $a = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $V = 600 \text{ м/хв.}$ ;  $\psi = 30^\circ$ . Для реальних значень кута  $\beta = 10^\circ \dots 30^\circ$  безрозмірна функція  $U$  приймає досить великі значення –  $U = 8,6 \dots 4,8$ . Отже, температура  $\theta_{max}$ , що виникає при різанні на передній поверхні інструмента в результаті його тертя зі стружкою, значно перевищує температуру, що виникає в умовній площині зсуву матеріалу.

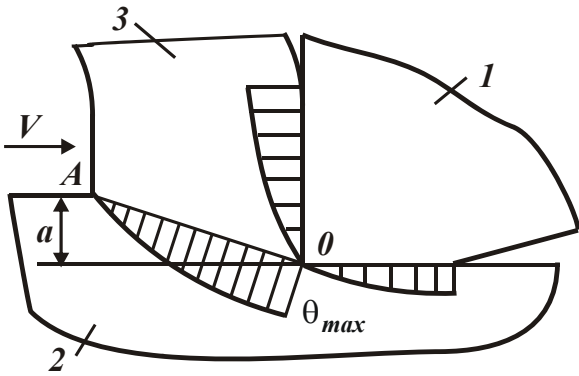


Рис. 8. Епюри розподілу температур, що виникають при різанні в умовній площині зсуву матеріалу, на передній і задній поверхнях інструмента: 1 – різець; 2 – оброблюваний матеріал; 3 – стружка.

площині зсуву матеріалу, так і на передній поверхні інструмента (рис. 8). У цьому випадку зношування по задній поверхні інструмента буде визначати період його стійкості, продуктивність і якість обробки.

При відносно невеликому значенні кута  $(\psi - \gamma) < 10^0$  температура, що виникає при різанні в умовній площині зсуву матеріалу, може перевищувати температуру, що утворюється на передній поверхні інструмента (рис. 7).

Дане рішення справедливе при різанні “гострим” інструментом, коли довжина площадки зношування на задній поверхні незначна ( $h \approx 0$ ). У міру збільшення довжини площадки зношування, відповідно до залежності (11), температура, що утворюється в результаті тертя задньої поверхні інструмента з оброблюваним матеріалом, збільшується й за певних умов досягає температури, що утворюється як у

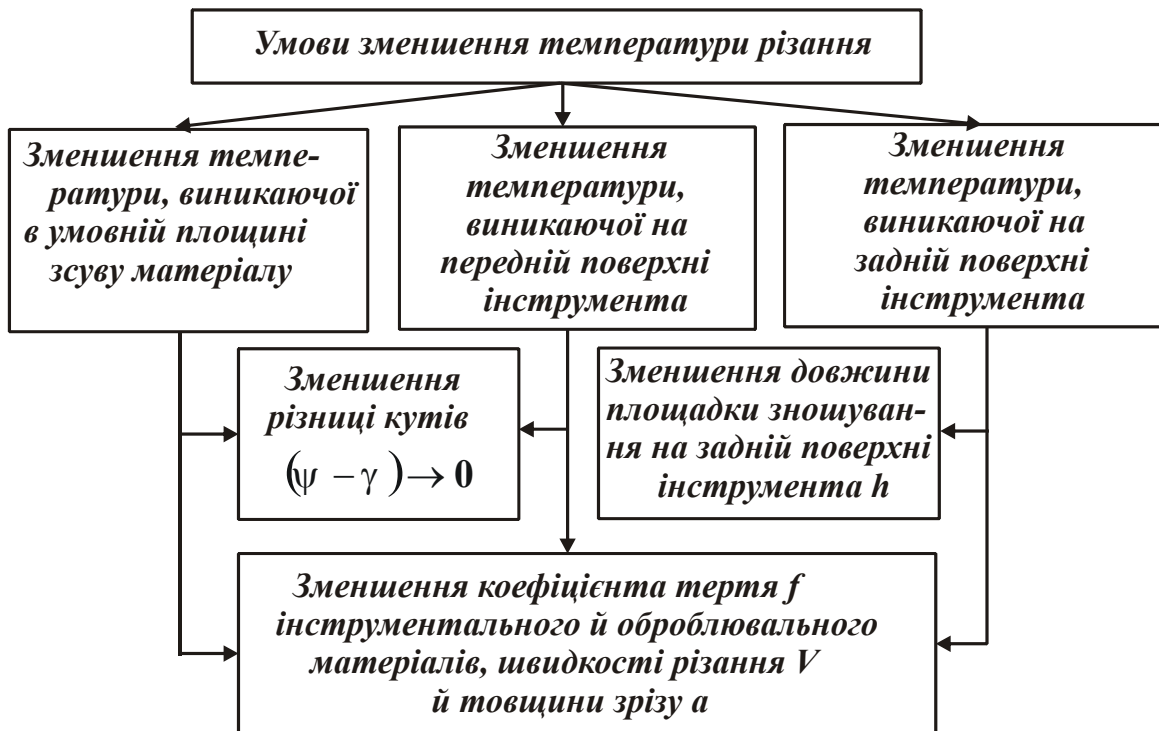


Рис. 9. Структурна схема умов зменшення температури різання.

Із залежності (11) випливає, що основною умовою зменшення температури, що виникає при різанні на задній поверхні інструмента, є зменшення коефіцієнта тертя інструментального й оброблюваного матеріалів, швидкості різання й товщини зрізу. За умови забезпечення високої гостроти ріжучого леза інструмента й зменшення довжини площадки зношування на його задній поверхні з'являється можливість істотного збільшення швидкості різання й відповідно продуктивності



обробки за рахунок застосування високошвидкісного різання на сучасних металорізальних верстатах зі ЧПУ (рис. 9). Необхідно відзначити, що отримані теоретичні рішення погодяться з відомими результатами теоретичних і експериментальних досліджень температури різання, дозволяють їх уточнити й науково обгрунтовано підійти до визначення умов підвищення стійкості інструмента та продуктивності, а також зниження собівартості обробки.

У четвертому розділі: “Розробка й впровадження ефективних операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем” – наведено результати експериментальних досліджень, розробки й впровадження у виробництво ефективних операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем. Для цього була виконана оцінка економічної ефективності застосування збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на основі визначення собівартості обробки  $C = C_1 + C_2 + C_3 + P_{випр}$  при фрезеруванні сталі Х2 ГСНВМ-ВД із використанням експериментальних даних, наведених у розділі 2 (де  $C_1$  – витрати на заробітну плату робітників, грн.;  $C_2$  – витрати на різальний інструмент, грн.;  $C_3$  – витрати на технологічне обладнання, грн.;  $P_{випр}$  – інші витрати, грн.).

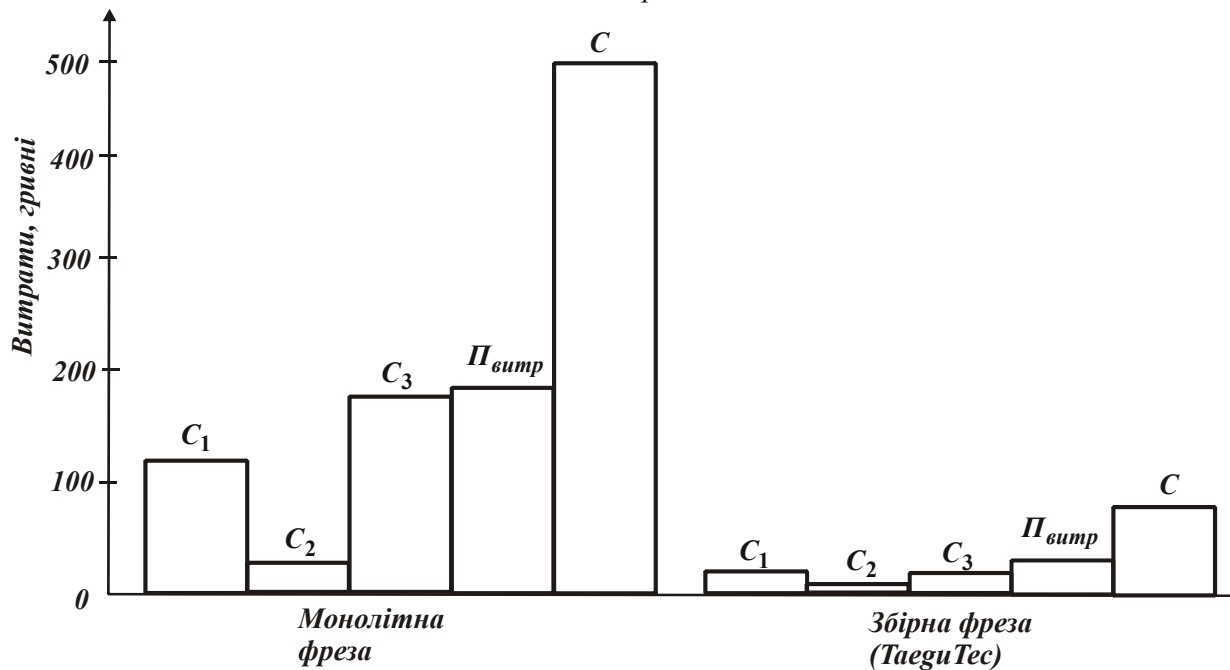


Рис. 10. Діаграма розподілу значень витрат  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $P_{випр}$  і  $C$  при фрезеруванні монолітною й збірною фрезами.

Експериментально встановлено, що застосування зірної кінцевої твердосплавної фрези зі зносостійким покриттям замість монолітної кінцевої фрези дозволяє в 6,7 рази зменшити собівартість і в 8,6 рази підвищити продуктивність обробки (рис. 10), незважаючи на її більш високу вартість (1400 грн., тоді як монолітної фрези – усього 138 грн.). Це пов'язане з тим, що частка витрат на інструмент у собівартості обробки невелика (5 – 7 %), а ефект зниження собівартості обробки від застосування зірної кінцевої фрези досягається за рахунок багаторазового збільшення продуктивності обробки й відповідно зменшення витрат  $C_1$ . Із цього зроблений висновок про те, що підвищити ефективність механічної

обробки (зменшити собівартість обробки  $C$ ) можна головним чином за рахунок збільшення продуктивності обробки, застосовуючи для цього прогресивні конструкції збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями. Вартість інструмента при цьому не є визначальним обмежуючим фактором, тому що частка витрат на різальний інструмент у сумарних витратах невелика й не приводить до помітного збільшення собівартості обробки  $C$  (рис. 10).

Виходячи із цього, розроблено методику вибору раціональних параметрів операцій механічної обробки за критерієм найменшої собівартості. У її основу покладена аналітична залежність (6) для визначення оптимальної (економічної) стійкості інструмента  $T_{екстр}$  з урахуванням безрозмірного параметра  $m_1$ , який встановлюється експериментально (рис. 11,а). Наприклад, для вихідних даних:  $C=3$  грн. (вартість умовної ріжучої кромки пластини із твердого сплаву ТТ8125);  $t_c=2$  хв.;  $S_{чac}=24$  грн./година;  $k=1,37$  і  $m_1=3$ , отримано  $T_{екстр}=15$  хв. (на рис. 11,а показано пунктирною лінією). Це відповідає швидкості різання  $V=350$  м/хв., що незначно перевищує швидкість різання ( $V=300$  м/хв.), яка досягається в точці максимуму добутку параметрів  $V \cdot T$  (рис. 11,б).

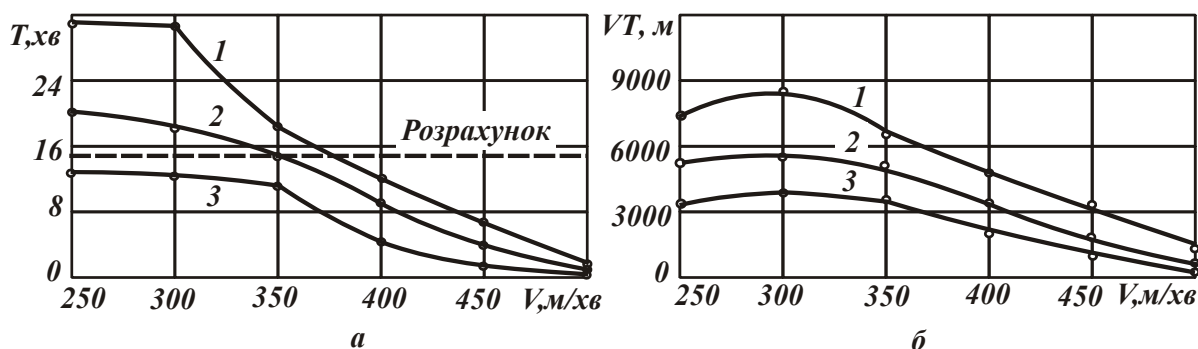
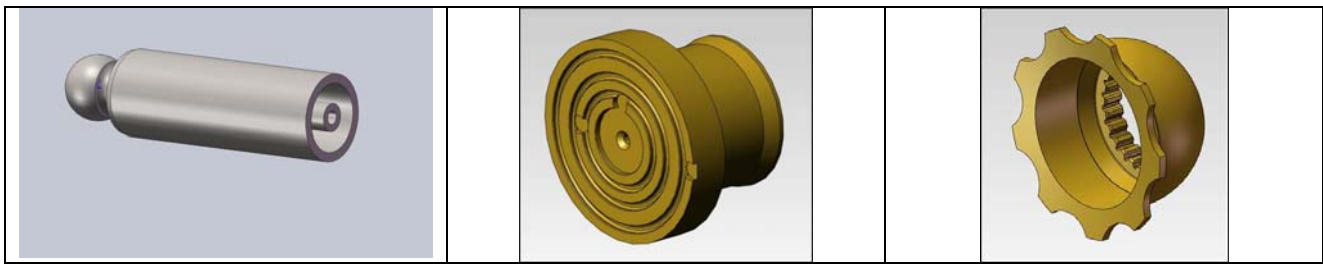


Рис. 11. Залежності стійкості інструмента  $T$  (а) і добутку параметрів  $V \cdot T$  (б) від швидкості різання  $V$  при точінні сталі 45 різцями, оснащеними твердосплавними пластинами: 1 – ТТ8115; 2 – ТТ8125; 3 – ТТ8135 (глибина різання  $t=2$  мм, подача  $S=0,3$  мм/об).

Використовуючи запропоновану методику розрахунку, визначені раціональні параметри операцій механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем (плунжера, п'яти й втулки сферичної, рис. 12). Так, установлено, що застосування сучасного збірних різця зі змінною багатогранною пластиною із твердого сплаву ТТ8115 зі зносостійким покриттям на операції чистового точіння плунжера, виготовленого зі сталі 40ХФ2, дозволяє реалізувати режим різання:  $V=250$  м/хв.,  $S=0,12$  мм/об,  $t=0,3$  мм. За існуючою технологією дана операція виконувалася з використанням звичайного різця із твердого сплаву Т15К6 з режимом різання:  $V=40$  м/хв.,  $S=0,15$  мм/об,  $t=0,1$  мм. У результаті досягнуто майже 10-кратне збільшення продуктивності обробки й майже таке ж зменшення собівартості обробки. У цілому, як установлено експериментально, застосування збірних твердосплавних інструментів на операціях точіння, розточування, фрезерування й свердління дозволило в 3 – 5 разів підвищити продуктивність обробки й забезпечити необхідні показники якості оброблюваних поверхонь.





а

б

в

Рис. 12. Деталі гідравлічних систем: а – плунжер; б – п'ята; в – втулка сферична.

Обробку зазначених деталей запропоновано здійснювати на сучасному високопродуктивному двошпindelному токарному оброблювальному центрі PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом і контр-шпindelом (“DOOSAN” виробництва Південна Корея), оснащеному револьверною голівкою для зміни інструмента й системою управління (ЧПУ) Fanuc Oi-TD. Для кожного виробу був виготовлений окремий комплект затискного оснащення.

У роботі обґрунтована можливість зниження трудомісткості й собівартості обробки деталей гідравлічних систем (рис. 12) за рахунок універсалізації встаткування зі ЧПУ шляхом використання нестандартних різальних інструментів і спеціального оснащення.

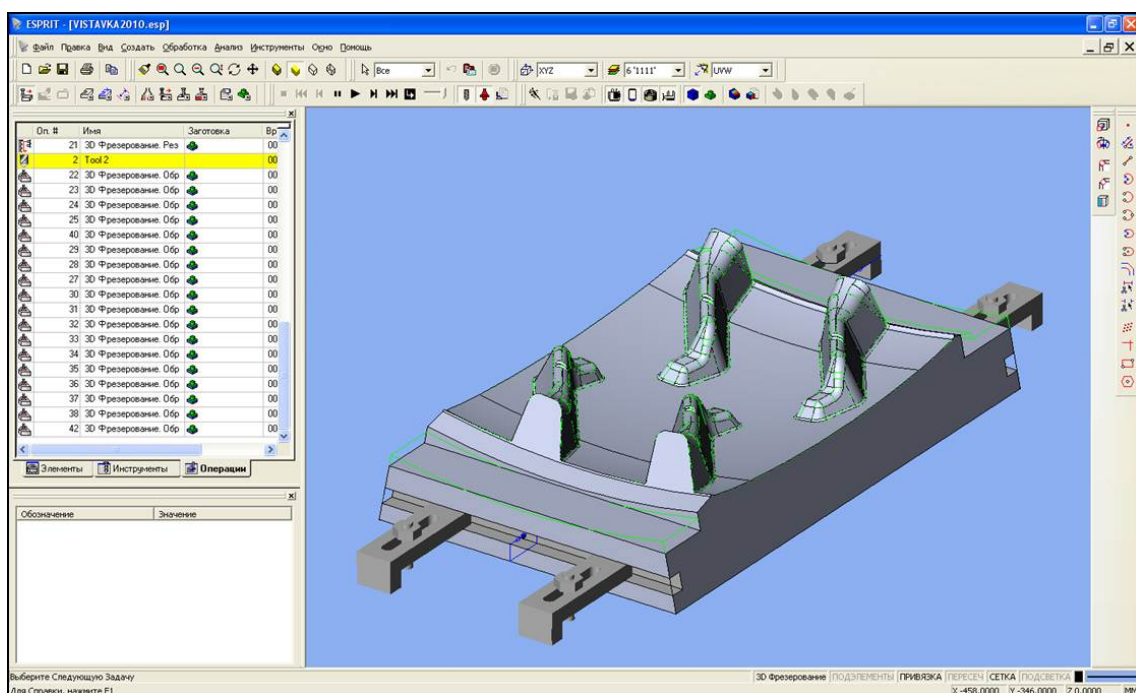


Рис. 13. Траєкторії руху інструмента в САМ системі Esprit.

Отримані результати досліджень були використані також для розробки технологічних операцій обробки різних деталей, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів. Так, експериментально встановлено, що застосування збірних твердосплавних фрез зі зносостійкими покриттями замість монолітних фрез дозволило в 11,5 разів зменшити трудомісткість обробки складнопрофільних поверхонь сектора прес-форми для шини діаметром 2200 мм. Ефект досягнуто за раху-

нок інтенсифікації режимів різання й зменшення кількості проходів фрези. При цьому застосовані нестандартні підходи до контролю якості – впроваджено САМ системи ESPRIT (рис. 13). Використання даного програмного засобу дозволяє виключити необхідність проміжних вимірів у процесі обробки деталі, що додатково підвищує продуктивність праці.

Розроблені ефективні технологічні операції механічної обробки деталей гідравлічних систем, а також інших деталей з важкооброблюваних матеріалів впроваджені в ПрАТ “Гідросила АПМ” (м. Кіровоград) та ПАТ “Дніпрополімермаш” (м. Дніпропетровськ) із загальним економічним ефектом 145220 гривень на рік. Їхнє застосування забезпечило багаторазове зниження собівартості й підвищення продуктивності обробки, а також необхідні показники якості оброблюваних поверхонь.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішене актуальне науково-практичне завдання зниження собівартості й підвищення продуктивності обробки деталей гідравлічних систем за рахунок застосування прогресивних конструкцій інструментів і вибору раціональних режимів різання.

1. У роботі одержала подальший розвиток математична модель визначення собівартості обробки, що дозволило встановити умови її зменшення й науково обґрунтовано підійти до вибору раціональних параметрів операцій механічної обробки деталей гідравлічних систем, включаючи режими різання й характеристики інструментів, за критерієм найменшої собівартості обробки. Установлено, що основною умовою зменшення собівартості й підвищення продуктивності обробки є забезпечення сталості добутку швидкості різання й стійкості інструмента зі збільшенням швидкості різання. Це досягається підвищенням фізико-механічних властивостей інструментальних матеріалів і зменшенням температури різання.

2. Теоретично встановлено, що у випадку зменшення добутку швидкості різання й стійкості інструмента зі збільшенням швидкості різання собівартість обробки змінюється по екстремальній залежності, проходячи точку мінімуму. У цьому випадку зменшити собівартість обробки можна за рахунок застосування високопродуктивних, хоча й дорогих збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, оскільки збільшення продуктивності обробки з надлишком компенсує витрати на їхнє придбання, а трудомісткість обробки зменшується до 10 разів.

3. Проведено порівняння розрахункових і експериментальних значень стійкості інструмента й витрат, пов'язаних із заробітною платою робітника й споживанням інструмента, і встановлена їхня незначна розбіжність (у межах 15%), що свідчить про вірогідність отриманих теоретичних рішень.

4. Розроблено математичну модель визначення теплового балансу й температури, що виникає при різанні в умовній площині зсуву матеріалу, на передній і задній поверхнях інструмента. Доведено визначальну роль швидкості різання в збільшенні температури різання й зниженні стійкості інструмента, що погодиться з експериментальними даними. Це дозволило обґрунтувати екстремальний харак-

тер залежності собівартості обробки від швидкості різання й виявити умови підвищення стійкості інструмента та продуктивності, а також зниження собівартості обробки.

5. Розрахунками встановлено, що найбільша температура при різанні виникає на задній поверхні інструмента внаслідок утворення на ній площадки зношування. Тому, забезпечуючи високу гостроту ріжучого леза (за рахунок застосування інструментальних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями) і знижуючи інтенсивність тертя в зоні різання, з'являється можливість підвищення стійкості інструмента й продуктивності обробки.

6. Проведено експериментальні дослідження собівартості й продуктивності обробки, які дозволили уточнити теоретичні рішення й розробити практичні рекомендації. Так, експериментально встановлено, що застосування збірної твердосплавної кінцевої фрези зі зносостійким покриттям замість монолітної кінцевої фрези при фрезеруванні деталі зі сталі Х2ГСНВМ-ВД дозволяє в 6,7 рази зменшити собівартість і в 8,6 рази підвищити продуктивність обробки, незважаючи на її більш високу вартість. Це пов'язане з тим, що частка витрат на інструмент у собівартості обробки невелика (5 – 7 %), а ефект зменшення собівартості обробки від застосування збірної кінцевої фрези досягається за рахунок багаторазового збільшення продуктивності обробки.

7. Експериментально встановлено, що застосування сучасних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операціях точіння, розточування, фрезерування й свердління деталей гідравлічних систем (плунжера, п'яти, втулки сферичної) дозволило в середньому в 3 – 5 разів підвищити продуктивність і зменшити собівартість обробки при забезпеченні необхідних показників якості оброблюваних поверхонь.

8. Експериментально доведена можливість зниження собівартості обробки за рахунок універсалізації встаткування зі ЧПУ шляхом використання нестандартних різальних інструментів і спеціального оснащення, а також нестандартних підходів до контролю якості – впровадження САМ системи ESPRIT, що виключає проміжні виміри в процесі обробки деталі.

9. На основі отриманих результатів розроблені ефективні технологічні операції механічної обробки (точіння, розточування, фрезерування й свердління) відповідальних деталей гідравлічних систем і інших деталей з важкооброблюваних матеріалів, які забезпечують багаторазове зниження собівартості й підвищення продуктивності обробки. Економічний ефект від їхнього впровадження в ПрАТ “Гідросила АПМ” (м. Кіровоград) та ПАТ “Дніпрополімермаш” (м. Дніпропетровськ) склав 145220 гривень на рік.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Жовтобрюх В.А. Теоретический анализ условий уменьшения себестоимости механической обработки / В.А. Жовтобрюх // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2011. – Вип. 115. – С. 68-73.

2. Новиков Ф.В. Разработка эффективных технологий механической обработки деталей машин / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2011. – Вып. 29. – С. 212-215.

3. Жовтобрюх В. А. Теоретическое определение теплового баланса и температуры резания при механической обработке / В. А. Жовтобрюх // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №5/5(53). – С. 51-54.

4. Жовтобрюх В. А. Определение условий уменьшения себестоимости обработки деталей машин / В. А. Жовтобрюх // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/7(54). – С. 50-53.

5. Жовтобрюх В.А. Определение температуры при механической обработке материалов / В.А. Жовтобрюх // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2011. – Вип. 118. – С. 136-146.

6. Жовтобрюх В.А. Определение оптимальных условий механической обработки по наименьшим затратам на операцию / В.А. Жовтобрюх, Ф.В. Новиков, Е.Ю. Бенин // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – Вип. 9 (205). – С. 142-146.

7. Новиков Ф.В. Определение условий осуществления процессов резания и пластического деформирования / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский, В.А. Жовтобрюх // Вісн. СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ. – 2012. – Вип. 128/2012. – С. 153-158.

8. Жовтобрюх В. А. Теоретический анализ себестоимости обработки / В. А. Жовтобрюх // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/1(56). – С. 18-21.

9. Жовтобрюх В.А. История и общая информация о группе компаний "ВариУс" / В.А. Жовтобрюх // Труды 16-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2010. – С. 166-172.

10. Жовтобрюх В.А. Повышение эффективности механической обработки деталей гидроаппаратуры / В.А. Жовтобрюх // Труды 17-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2011. – С. 68-73.

11. Новиков Ф.В. Расчет параметров режимов резания по критериям наименьшей себестоимости и наибольшей производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф. – Одесса – Киев: АТМ Украины. – 2011. – С. 148-151.

12. Жовтобрюх В.А. Разработка эффективных технологических процессов механической обработки сложнопрофильных деталей и их метрологическое обеспечение / В.А. Жовтобрюх // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: материалы 11-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Ялта – Киев: АТМ Украины. – 2011. – С. 53-56.

13. Новіков Ф.В. Визначення оптимальних параметрів механічної обробки за критерієм найменшої собівартості / Ф.В. Новіков, В.О. Жовтобрюх // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХ Міжнар. наук.-практ. конф., Ч. 1. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – С. 131.

14. Новиков Ф.В. Определение условий повышения стойкости режущего инструмента по температурному критерию / Ф. В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, Е.Ю. Бенин // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 12-й Международ. науч.-техн. конф. – Ялта – Киев: АТМ Украины. – 2012.– С. 219-220.

15. Новиков Ф.В. Определение температуры резания и условий повышения стойкости режущего инструмента / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы IX Международ. науч.-техн. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т. – 2012. – С. 278-281.

**Жовтобрюх В.О.** Підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних систем шляхом вибору раціональних параметрів операцій за критерієм собівартості. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, Маріуполь, 2012.

Дисертація присвячена розробці ефективних операцій обробки деталей гідравлічних систем на основі застосування прогресивних конструкцій інструментів і вибору раціональних режимів різання. У зв'язку із цим теоретично визначені оптимальні параметри обробки за критерієм найменшої собівартості й доведена ефективність застосування високопродуктивних, хоча й дорогих збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, оскільки збільшення продуктивності обробки з надлишком компенсує витрати на їхнє придбання. Показано незначну розбіжність (у межах 15%) розрахункових і експериментальних значень стійкості інструмента й собівартості обробки. Розроблено математичну модель визначення теплового балансу й температури, що виникає при різанні в умовній площині зсуву матеріалу, на передній і задній поверхнях інструмента. Це дозволило обґрунтувати екстремальний характер залежності собівартості обробки від швидкості різання й виявити умови підвищення продуктивності й зниження собівартості обробки. На основі результатів досліджень розроблені й впроваджені у виробництво ефективні операції механічної обробки деталей гідравлічних систем, що забезпечують багаторазове зниження собівартості й підвищення продуктивності обробки.

**Ключові слова:** механічна обробка, різальний інструмент, математична модель, собівартість обробки, температура різання

**Жовтобрюх В.А.** Повышение эффективности механической обработки деталей гидравлических систем путем выбора рациональных параметров операций по критерию себестоимости. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, Мариуполь, 2012.

Диссертация посвящена разработке эффективных операций механической обработки деталей гидравлических систем на основе применения прогрессивных

конструкций инструментов и выбора рациональных режимов резания. В связи с этим в работе получила дальнейшее развитие математическая модель определения себестоимости обработки, что позволило установить условия ее уменьшения и научно обоснованно подойти к выбору рациональных параметров механической обработки по критерию наименьшей себестоимости обработки. Доказано, что основным условием уменьшения себестоимости и повышения производительности обработки является обеспечение постоянства произведения скорости резания и стойкости инструмента с увеличением скорости резания. Установлено, что в случае уменьшения произведения скорости резания и стойкости инструмента с увеличением скорости резания себестоимость обработки изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. В этом случае уменьшить себестоимость обработки можно за счет применения высокопроизводительных, хотя и дорогостоящих сборных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями, поскольку увеличение производительности обработки с избытком компенсирует затраты на их приобретение.

Произведено сравнение расчетных и экспериментальных значений стойкости инструмента и затрат, связанных с заработной платой рабочего и потреблением инструмента, и установлено их незначительное расхождение (в пределах 15%). Это свидетельствует о достоверности полученных теоретических решений и позволяет расчетным путем установить оптимальную (экономичную) стойкость инструмента, а по ней определить рациональные параметры режима резания и другие технологические параметры для различных методов механической обработки.

Разработана математическая модель определения теплового баланса и температуры, возникающей при резании в условной плоскости сдвига материала, на передней и задней поверхностях инструмента. Доказана определяющая роль скорости резания в увеличении температуры резания и снижении стойкости инструмента. Это позволило обосновать экстремальный характер зависимости себестоимости обработки от скорости резания. Расчетами установлено, что наибольшая температура при резании возникает на задней поверхности инструмента вследствие образования на ней площадки износа. Поэтому, обеспечивая высокую остроту режущего лезвия (за счет применения инструментальных материалов с повышенными физико-механическими свойствами) и снижая интенсивность трения в зоне резания, появляется возможность повышения стойкости инструмента и производительности обработки.

Экспериментально установлено, что применение сборной твердосплавной концевой фрезы с износостойким покрытием взамен монолитной концевой фрезы позволяет в 6,7 раза уменьшить себестоимость и в 8,6 раза повысить производительность обработки, несмотря на ее более высокую стоимость. Это связано с тем, что доля затрат на инструмент в себестоимости обработки небольшая (5–7 %), а эффект уменьшения себестоимости обработки от применения сборной концевой фрезы достигается за счет многократного увеличения производительности обработки.

Экспериментально установлено, что применение прогрессивных сборных твердосплавных резцов с износостойкими покрытиями на операциях точения деталей гидравлических систем (плунжера, пяты, втулки сферической) позволяет в

5 и более раз повысить производительность и примерно в такое же количество раз уменьшить себестоимость обработки. Также экспериментально доказана возможность снижения себестоимости обработки за счет универсализации оборудования с ЧПУ путем использования нестандартных режущих инструментов и специальной оснастки, нестандартных подходов к контролю качества – внедрение САМ системы ESPRIT, что исключает промежуточные измерения в процессе обработки детали. Внедрение разработанных эффективных операций механической обработки деталей гидравлических систем, а также других деталей из труднообрабатываемых материалов, обеспечило многократное снижение себестоимости и повышение производительности обработки.

**Ключевые слова:** механическая обработка, режущий инструмент, математическая модель, себестоимость обработки, температура резания

**Zhovtobryukh V.A.** Improving the efficiency of machining de-hydraulic hoists by choosing rational parameters of operations by cost. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.02.08 – technology of mechanical engineering. - GVUZ "Azov State Technical University", Mariupol, 2012.

The thesis is devoted to the development of efficient processing operations de-hoists the hydraulic systems on the basis of the progressive construction tools and rational choice of the cutting. Therefore theoretically the optimal processing parameters for least-cost and proven efficacy of high-performance, albeit expensive teams of carbide tools with wear-resistant coatings, as the increase in processing performance with an excess of the costs for their purchase. Shown little difference (within 15%) of the calculated and experimental values of tool life and cost of treatment. A mathematical model for determining those pilaf-balance and temperature that occurs when cutting in the conventional shear plane of the material on the front and back surfaces of the tool that will allow physically-ly justify the extreme nature of the dependence of the cost of processing speeds and conditions of performance and reduce costs-tion treatment. Based on research-Developm HN and implemented in the production of effective technological machining operation of hydraulic systems, providing a reduction in the multiple-cost and increase productivity and quality of processing.

**Keywords:** machining, cutting tool, the mathematical model, the cost of processing, the cutting temperature

Підписано до друку 14.11.2012 р. Формат 60x90 1/16.  
Папір офсетний. Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 085054

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.  
Свідоцтво №24800170000040432 від 21.03.2001 р.  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16