

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

На правах рукопису

Самчук Володимир Володимирович

УДК 621.91.678.5

**ІНТЕГРАЦІЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ РІЗАННЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ
СИЛ ПРИ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

*Ідентичність з оригіналом
і іншими примірниками
дисертації засвідчує
Вчений секретар
вченої ради ДбУ
15.09.2016р. Н. Зубова Н. В.*



Науковий керівник
Тарасюк Анатолій Петрович
доктор технічних наук, професор

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ Й УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ ОБРОБЦІ РІЗАННЯМ.....	12
1.1. Класифікація кінематичних схем різання циліндричних виробів...	12
1.2. Пружні деформації циліндричного виробу в процесі обробки.....	16
1.3. Специфіка процесу різання нежорстких виробів.....	20
1.4. Силкові закономірності при різанні полімерного композиту.....	24
1.5. Показники ефективності процесу різання полімерних композитів	26
1.5.1. Формування шорсткості. Якість поверхневого шару.....	26
1.5.2. Шляхи підвищення продуктивності процесу різання.....	42
1.5.3. Вартість процесу різання виробів із полімерних композитів.	45
1.6. Підвищення ефективності процесу різання нежорстких виробів із полімерних композитів. Постановка мети та задач дослідження.....	47
РОЗДІЛ 2. УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	50
2.1. Вибір і характеристика полімерного композиту, що оброблюється...	50
2.2. Призначення інструментального матеріалу та інструменту.....	54
2.3. Методика теоретичних досліджень.....	55
2.4. Методика практичних досліджень.....	59
2.4.1. Методика визначення сили різання.....	59
2.4.2. Методика визначення якості поверхневого шару виробів із полімерних композитів.....	60
Висновки з другого розділу.....	63
РОЗДІЛ 3. ІНТЕГРАЦІЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ НЕЖОРСТКИХ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ...	65
3.1. Передумови зменшення пружних деформацій виробу.....	65
3.2. Спосіб інтеграції кінематичних схем різання механічної обробки	

нежорстких циліндричних виробів.....	68
3.3. Математична модель процесу різання циліндричних виробу.....	85
Висновки з другого розділу.....	94
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ РІЗАННЯ НЕЖОРСТКИХ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ...	95
4.1. Розробка експериментальної установки за інтегрованою кінематичною схемою різання	95
4.2. Призначення технологічних та режимних параметрів обробки.....	98
4.3. Визначення емпіричної залежності сили різання.....	100
4.4. Умова взаємокомпенсації. Раціональна область різання.....	104
4.5. Дослідження якості поверхневого шару оброблених поверхонь...	115
4.6. Узагальнена оцінка ефективності процесу різання нежорстких виробів із полімерних композитів	122
Висновки з четвертого розділу.....	129
РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	131
5.1. Напрямок проектування обладнання для обробки нежорстких виробів із полімерних композитів.....	131
5.2. Обробка внутрішніх циліндричних поверхонь.....	134
5.3. Комплексна обробка. Механічна обробка кінців труб.....	137
5.4. Розрізання нежорстких виробів листової форми.....	138
Висновки з п'ятого розділу.....	144
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148
ДОДАТОК А. Принципові кінематичні схеми різання за Г.І. Грановського	171
ДОДАТОК Б. Патенти України на корисні моделі.....	174
ДОДАТОК В. Акт про практичне впровадження результатів досліджень у виробничий процес.....	183
ДОДАТОК Г. Акт про впровадження результатів досліджень у навчальний процес.....	184

СКРОЧЕННЯ Й УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ПКМ – полімерний композитний матеріал	
КСР – кінематична схема різання	
«≡» – схема армування (виріб із повздовжнім армуванням)	
«⊙» – схема армування (виріб із тангенціальним армуванням)	
«#» – схема армування (виріб із полотняним армуванням)	
D_{ns} – кінематичний рух різання (обертання виробу)	
D_{ni} – кінематичний рух різання (обертання різального інструмента)	
D_{si} – кінематичний рух різання (подача різального інструмента)	
$n_e (n_\phi)$ – частота обертання виробу (фрези)	об/хв
$V (V_\phi/V_3)$ – швидкість різання (фрези/заготовки)	м/хв
$\omega_\phi (\omega_e)$ – кутова швидкість фрези (виробу)	рад./с
$S_{x\phi}$ – хвилинна подача	мм/хв
S_z – подача на зуб	мм/зуб
S_o – подача на оберт інструмента або заготовки	мм/об
$d_e (d_3)$ – діаметр виробу (діаметр заготовки)	мм
$d_p, (d_n), (d_{вол})$ – діаметр ровінга, (нитки), (волокна), що армує виріб	мкм
$L_e (L_o)$ – довжина виробу (довжина обробки)	мм
$t (t_3 \text{ та } t_{\Pi})$ – глибина різання (при зустрічному та побіжному різанні)	мм
$P (P_x, P_z, P_y, P_o, P_r, P_t)$ – сили різання (складові сили різання за напрямком дії)	Н
M_x – моменту опору різанню	Нм
$P_A, Y_A, Z_A (M_z, M_y)$ – реакції (крутні моменти щодо осі x та y) в опорі A	Н
D_ϕ – діаметр фрези	мм
R_e – радіус циліндричного виробу	мм
r_i – радіус інструмента	мм
$f_{\max}^i (f_x^i, f_y^i \text{ та } f_z^i)$ та f_ϕ^i – загальна величина пружної статичної деформації виробу (за напрямком координатної вісі x_e, y_e та z_e виробу) та кутова пружна деформації щодо точки i , що належить осі виробу	мм

$R_{\max}^o (R_x^o, R_y^o \text{ та } R_z^o)$ та R_{φ}^o – загальна величина розмаху коливань (за напрямком координатної вісі x_{ε} , y_{ε} та z_{ε} виробу) та крутний розмах коливань щодо точки O виробу	мм
H – розрахункова висота профілю залишкових нерівностей	мм
λ – кут орієнтації волокна до вектора швидкості різання	град.
β – кут загострення різального елемента	град.
γ – передній кут різального елемента	град.
α – задній кут різального елемента	град.
ε – кут при вершині в плані різального елемента	град.
w – кут нахилу різальної кромки фрези	град.
φ_0 – кут контакту зуба фрези із виробом	град.
Ψ – кут окружного кроку зубців фрези	град.
r_k – радіус кромки різального елемента	мм
z – кількість зубців фрези	шт.
Ra – середнє арифметичне відхилення профілю поверхні	мкм
Rz – висота нерівностей профілю по десятиох точках	мкм
Kv – ворсистість поверхні	%
N – ступінь деструкції поверхневого шару	спін/гр
M – глибина дефектного шару	мкм
Φ – відхилення профілю повздовжнього перетину циліндричної форми (похибка геометричної форми)	мкм
T_o – основний технологічний час (продуктивність процесу різання)	хв
N_e – ефективна потужність різання	Вт
$\sigma_{\varepsilon}, \sigma_{cm}, \sigma_{z2}$ – границя міцності ПКМ при розтягуванні, стиску, згині	Па
E – модуль пружності (модуль Юнга)	Па
G – модуль зсуву	Па
a – ударна в'язкість	Дж/м ²
δ – відносне подовження	%
HB – твердість матеріалу по Бринеллю	
v_{fi} – вміст волокна в полімерному композитному матеріалі	%

$P_{\#}^3, (P_{\#}^{\Pi})$ – сила різання при зустрічному різанні виробу із полотняним армуванням (при побіжному різанні)	Н
$P_{\odot}^3, (P_{\odot}^{\Pi})$ – сила різання при зустрічному різанні виробу із тангенціальним армуванням (при побіжному різанні)	Н
$P_{\equiv}^3, (P_{\equiv}^{\Pi})$ – сила різання при зустрічному різанні виробу із повздожним армуванням (при побіжному різанні)	Н
C_x, C_y та C_z – коефіцієнт жорсткості виробу за напрямком його координатної вісі x_6, y_6 та z_6	Н/мм
$C_{кр}$ – коефіцієнт жорсткості виробу при скручуванні	Н/мм
m_x, m_y та m_z – маса виробу за напрямком координатної вісі x_6, y_6 та z_6	кг
h_x, h_y та h_z – коефіцієнт демпфірування пружного виробу за напрямком його координатної вісі x_6, y_6 та z_6	Н·с/мм
$h_{кр}$ – коефіцієнт демпфірування виробу при скручуванні	Н·с/мм
D – узагальнений критерій ефективності процесу різання виробів	