

УДК 621.9.01

Б.Д. Даниленко, Ю.Г. Кравченко

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ТОЧІННЯ ВІДБІЛЕНИХ ЧАВУНІВ ПЛАСТИНАМИ ІЗ ПКНБ

Для розрахунку оптимальних параметрів процесу різання необхідно створити математичну модель, яка повинна складатися із системи залежностей показників процесу від змінних (тих, що підлягають оптимізації) параметрів, технічних обмежень (ТО) цих показників, області існування самих параметрів та цільової функції (ЦФ) в якості критерію оптимальності [1, 2]. Сучасна обчислювальна техніка та програмне забезпечення дозволяють вирішувати задачі багатofакторної оптимізації з економічною ЦФ методом нелінійного програмування .

Мета роботи – оптимізувати режимні та геометричні параметри процесу напівчистового та чистового точіння відбілених чавунів габаритними різальними пластинами із полікристалічного кубічного нітриду бора (ПКНБ).

Низьколеговані відбілені чавуни виконання з кульовидним КХН $HV = 330 - 400$ та пластинчатим ПХН $HV = 470 - 540$ графітом мають широке застосування для прокатних валиків та розмольних вальців.

Дослідження показників процесу різання виконувались збірними різцями [3, 4] високої жорсткості з регулюючим висуванням після заточки монолітної квадратної пластини $12,7 \text{ Ч } 12,7 \text{ Ч } 4,76$ мм із ПКНБ марки кіборіт та вставки з напайною пластиною на твердосплавній підложці $\varnothing 15,9 \times 4,76$ мм із ПКНБ ніборіт при незмінних кутах в плані $\varphi = \varphi' = 45^\circ$, задніх $\alpha = \alpha' = 8^\circ$, нахилу різальних кромки $\lambda = \lambda' = 8^\circ$ у квадратних та $\lambda = \lambda' = 0^\circ$ у напайних пластин.

Основу математичної моделі склали одержані емпіричні залежності показників процесу точіння від параметрів режиму різання (глибини t , подачі S , швидкості V), геометрії леза (переднього кута γ , радіуса вершини r , величини зносу по задній поверхні h) та твердості чавунів HV в зручному при розрахунках структурному виді.

Складові сили різання, H :

© Даниленко Б.Д., Кравченко Ю.Г., 2008

дотична $P_z = 883,8 \cdot t^{0,85} \cdot S^{0,68} \cdot V^{-0,15} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{0,6} \cdot (1+r)^{0,15} \cdot (1+h)^{0,6} \cdot (\frac{HB}{200})^{0,55}$;

радіальна $P_y = 369,2 \cdot t^{0,92} \cdot S^{0,60} \cdot V^{-0,11} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{1,4} \cdot (1+r)^{0,23} \cdot (1+h)^{1,5} \cdot (\frac{HB}{200})^{1,15}$;

осьова $P_x = 330,0 \cdot t^{1,0} \cdot S^{0,54} \cdot V^{-0,11} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{1,2} \cdot (1+r)^{-0,19} \cdot (1+h)^{1,3} \cdot (\frac{HB}{200})^{0,85}$.

Температура різання, $^{\circ}\text{C}$

$$\theta = 426,8 \cdot t^{0,1} \cdot S^{0,19} \cdot V^{0,3} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{0,4} \cdot (1+r)^{-0,2} \cdot (1+h)^{0,6} \cdot (\frac{HB}{200})^{0,65}$$

Період стійкості леза [5], хв

$$T = 29,26 \cdot t^{-0,3} \cdot S^{-0,75} \cdot V^{-1,55} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{-0,75} \cdot (1+r)^{0,11} \cdot \tau(h) \cdot (\frac{HB}{200})^{-1,4} \cdot K_{IT},$$

де $\tau(h) = h \cdot (1 + 25,8 \cdot h - 27,8 \cdot h^2 + 8,0 \cdot h^3)$; $K_{IT} = 1$ для кіборіту та 0,75 для ніборіту.

Імовірність неруйнування різальної кромки [6]

$$P_T = \exp[-3,376 \cdot t^{0,1} \cdot S^{0,8} \cdot V^{0,3} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{-4,5} \cdot (1+r)^{-0,4} \cdot p(h) \cdot (\frac{HB}{200})^{1,5} \cdot K_{IP}],$$

де $p(h) = h \cdot (1 - 3,44 \cdot h + 6,12 \cdot h^2 - 5,49 \cdot h^3 + 2,03 \cdot h^4)$; $K_{IP} = 1$ для кіборіту та 0,7 для ніборіту.

Висотний параметр шорсткості обробленої поверхні, мкм

$$R_a = 19,83 \cdot t^{0,1} \cdot S^{1,15} \cdot V^{-0,18} \cdot (1 - \frac{\gamma}{90})^{-0,1} \cdot (1+r)^{-0,55} \cdot (1+h)^{0,6} \cdot (\frac{HB}{200})^{-0,2}$$

Для кожного з цих показників процесу точіння застосовувались наступні ТО.

Потужність різання з вимоги довговічності верстата не повинна перебільшувати три чверті потужності головного приводу

$$N = P_z \cdot V \leq 0,75 |N_n| \cdot \eta, \quad (1)$$

де η - к. к. д. передачі.

Деформація (стріла згину) державки різця γ_i обмежує дотичну складову

$$P_z \leq |f_i| \frac{3 \cdot E_i \cdot I_i}{10^6 \cdot L_i^3}, \quad (2)$$

де $I_i = \frac{B \cdot H^3}{12}$ - момент інерції перетину державки шириною B та висотою H ; E_i - модуль пружності матеріалу державки; L_i - виліт стрижневого різця.

Пружна деформація заготовки γ з залежить від радіальної складової

$$P_y \leq |f_3| \frac{K_3 \cdot E_3 \cdot I_3}{10^6 \cdot L_3^3}, \quad (3)$$

де $I_3 = 0,05 \cdot D^4$ – полярний момент інерції перетину заготовки діаметром D ; E_3 – модуль пружності матеріалу заготовки; K_3 – коефіцієнт, який враховує спосіб закріплення заготовки в технологічній системі різання; L_3 – довжина заготовки.

Міцність механізму подачі верстата зв'язана з осьовою складовою нерівністю

$$P_x \leq 0,75 |P_{MT}|. \quad (4)$$

Температура різання повинна бути меншою критичної температуростійкості інструментального матеріалу

$$\theta \leq |\theta_T|. \quad (5)$$

Період стійкості для забезпечення раціональної експлуатації різального інструменту (PI) повинен бути більшим нормативного

$$T \geq |T_H|. \quad (6)$$

Імовірність неруйнування різальної кромки за період стійкості приймалась відповідно допустимому значенню імовірності безвідмовної роботи простих технічних систем, що не обслуговуються

$$P_T \geq |P_T|. \quad (7)$$

Площа обробленої поверхні $F_o = 600 \cdot S \cdot V \cdot T \cdot P_T$ повинна перевищувати площу поверхні заготовки $F_3 = \pi \cdot D \cdot L \cdot n_n / 100$ (n_n – кратне число проходів)

$$F \geq |F_3|. \quad (8)$$

Параметр шорсткості призначається відповідно нормам технологічного забезпечення вимогам креслення деталі

$$R_a \leq |R_a|. \quad (9)$$

Границі значень параметрів, що оптимізуються, складають область існування режимних та геометричних параметрів

$$X_i \min \leq |t, S, V, \gamma, r, h| \leq X_i \max \quad (10)$$

Всі необхідні дані для розрахунку ТО (1) – (10) містить табл. 1.

Ефективність експлуатації PI найбільш комплексно оцінюється змінними складовими технологічної собівартості обробки $C_T = E_e + E_i + E_e$, основні затрати якої зв'язані з амортизацією верстата та заробітною платою робітника – верстатника (E_e), експлуатацією інструмента (E_i) та витратою силової енергії (E_e). Тому ЦФ оптимізаційної моделі була прийнята питома собівартість обробки [7]

$$C_n = \frac{(1 + \varepsilon + \frac{\tau_i}{T \cdot P_T}) \cdot K_0 \cdot b_x + \frac{I + 3}{T \cdot P_T} + [N + Nn(1 + \varepsilon)(1 + Kn - \eta)] \cdot b_e}{60 \cdot t \cdot S \cdot V} \quad (11)$$

Формула (11) включає вартість верстатохвилини роботи верстата та робітника

$$v_x = \frac{B_B \cdot a_B}{60 \cdot \Phi_p \cdot K_{3B}} + \frac{3_P \cdot K_H}{60 \cdot \Phi_M} \quad (12)$$

належну на один період стійкості вартість РІ (пластини)

$$I = \frac{Ц_i \cdot K_{вз}}{(1 + i) \cdot n_e} \quad (13)$$

та вартість заточки

$$3 = \frac{\tau_3 \cdot B_3 + \frac{Ц_K}{i_K}}{n_6} \quad (14)$$

Таблица 1

Вихідні дані для розрахунку ТО

Найменування та розмірність елементів технічних обмежень	Значення	
	ніборіт, напівчистова обробка	кіборіт, чистова обробка
Оброблювана заготовка – представник: діаметр та довжина оброблюваної поверхні $D \times L$, мм загальна довжина валу L_3 , мм коефіцієнт способу закріплення заготовки (в патроні з підтримкою заднім центром) K_3 прогин заготовки $ f_3 $ (3), мм модуль пружності чавуну E_3 , Па число проходів різця за період стійкості n_n площа поверхні обробки F_3 (8), см І параметр шорсткості $ R_a $ (9), мкм	200 x 750 1500 110 0,02 130•10 ⁹ 1 5890 5	0,01 0,01
Токарний верстат: потужність головного приводу $ N_n $ (1), Вт к. к. д. передачі η зусилля механізму подачі $ P_{МП} $ (4), Н	15000 0,85 9000	
Різальний інструмент - прохідний різець: перетин державки $B \times H$, мм І довжина вільоту L_i , мм згин державки $ f_i $ (2), мм модуль пружності сталі E_i , Па температуростійкість ПКНБ $ \theta_T $ (5), °С нормативний період стійкості $ T_n $ (6), хв	32 x 40 75 0,02 130•10 ⁹ 1000 45	0,01 0,01 60

імовірність неруйнування $ P_T $ (7)	0,8	0,85
Границі пошукових параметрів (10):		
глибина t , мм	1 - 2	0,5 - 1
подача S , мм/об	0,1 - 0,5	
швидкість V , м/с	0,5 - 2,5	
передній кут γ , град	(-30) - 0	
радіус вершини r , мм	0,8 - 3,2	0,8 - 1,6
величина зносу h , мм	0,2 - 0,8	

Кількість заточок пластини в (13) визначається із виразу

$$i = B_i \cdot K_B \frac{[P_T(K_p - 1) + 1] \cdot \delta + \Delta}{(K_p \cdot \delta + \Delta)(\delta + \Delta)}, \quad (15)$$

де $\delta = \frac{h \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha}$ - величина природного зносу леза в основній

площині в напрямку головної січної площини.

Найменування та значення складових C_n (11) приведені в зведеній табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку C_n

Найменування та розмірність елементів собівартості обробки	Значення	
	ніборіт	кіборіт
Затрати часу на технологічні переходи ε	0,15	
Час на зміну та настройку інструмента τ_i , хв.	2	
Затрати часу на обслуговування верстата K_o	1,07	
Вартість токарного верстата B_B , п. г. о.	30 000	
Норма амортизаційних відрахувань a_B	0,075	
Річний фонд часу двозмінної роботи Φ_p , год	4015	
Коефіцієнт завантаження верстата $K_{зв}$	0,85	
Місячна зарплата верстатника Z_p , п. г. о.	500	
Коефіцієнт надбавки K_n	1,2	
Місячний фонд робочого часу Φ_m , год	164	
Вартість верстатохвилини обробки b_x (12), $\frac{\text{п.г.о.}}{\text{хв}}$	0,072	
Ціна різальної пластини C_i , п. г. о.	30	50
Коефіцієнт випадкових збитків $K_{вз}$	1,15	
Ширина пластини в напрямку заточки B_i , мм	14	12,7 / 2
Коефіцієнт використання пластини K_B	2 / 3	1 / 3
Коефіцієнт перевищення глибини руйнування леза над величиною зносу δ (15) K_p	4	
Технологічний припуск на заточку Δ , мм	0,1	

Число вершин пластины n_6	1	4
Штучний час на заточку τ_3 , хв.	5	10
Вартість заточного верстата B_3 , п. г. о.	6900	
Норма амортизаційних відрахувань a_3	0,103	
Місячна зарплата заточника Z_3 , п. г. о.	500	
Вартість верстатохвилин заточки e_x (12), $\frac{\text{п.г.о.}}{\text{хв}}$	0,064	
Ціна заточного (алмазного) круга C_K , п. г. о.	200	
Число заточок одним кругом i_K	200	75
Вартість заточки Z (14), п. г. о.	1,32	0,82
Затрати потужності на привод подачі та допоміжних механізмів K_n	0,2	
Вартість електроенергії e_e , $\frac{\text{п.г.о.}}{\text{Вт} \cdot \text{хв}}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	

Результати розрахунків, виконаних на ПЕОМ з використанням програмного продукту Mathcad, зведені в табл. 3.

Додатковими оціночними показниками при аналізі ефективності процесу точіння в залежності від умов обробки служили продуктивність обробки

$$Q = 60 \cdot t \cdot S \cdot V \quad (16)$$

та ресурс різальної пластины

$$R = T \cdot P_T \cdot (1+i)n_6 \quad (17)$$

Таблица 3

Оптимальні параметри процесу точіння

Призначення операції, марка ПКНБ	Твердість чавуну, HB	Твердість різання			Геометрія леза			Оціночні показники		
		t	S	V	γ	r	h	Q	R	C_n
		мм	мм/об	м/с	град	мм	мм	см ³ /хв	хв	п.г.о./с м ³
напівчистове точіння, ніборіт	400	2	0,5	1,4	-11,4	3,2	0,8	85,1	1445	0,0022
	540			2				1,0		-19,8
чистове точіння, кіборіт	400	1	0,24	2,1	-19,7	1,6	0,8	31,5	2099	0,0051
	540			1				1,5		-28,9

При прийнятих вихідних даних для ТО (табл. 1) та C_n (табл. 2) гранично обмеженими показниками процесу виявилися T , P_T та R_a , що вказує на повне використання експлуатаційних властивостей ПКНБ. Розрахункові величина зносу леза в основній площині та кількість заточок (15) відповідали $\delta = 0,104 - 0,109$ мм, $i = 39,1 - 39,6$ для

різцевої вставки із ніборіту та $i=9,3-9,4$ для пластини із кіборіту з $n_g = 4$.

Загальна тенденція забезпечення найменшої C_n полягає в застосуванні максимально допустимих глибин t , радіуса r та величини зносу в площині різання h .

Зі збільшенням твердості чавунів відмічається суттєве зменшення швидкості V та переднього кута γ , а при чистовому точінні в порівнянні з напівчистовим – значне зниження подачі S , збільшення швидкості V та зменшення переднього кута γ . В цілому збільшення твердості HB з 400 ($HRC_{\text{э}} = 43$) до 540 ($HRC_{\text{э}} = 53$) призводить до зниження продуктивності обробки Q (16) в 1,35 раза, збільшення ресурсу пластин R (17) в 1,01 раз та питомої собівартості обробки C_n в 1,36 раз. В порівнянні з напівчистовим точінням при чистовому через більш жорсткі T , P_T , R_a відбувається зниження Q в 2,69 раз та збільшення в 1,45 та 2,31 разів відповідно R та C_n .

Розрахункові режими різання та геометрія леза пластин табл. 3 пройшли апробацію в виробничих умовах і рекомендуються до впровадження.

Важливим достоїнством даної методології розрахунку є її здатність оптимізувати геометричні параметри леза та по економічно обґрунтованій величині зносу h (як аргумента функцій періода стійкості T , імовірності неруйнування різальної кромки P_T та кількості можливих заточок i) забезпечити максимальний ресурс коштовних пластин із ПКНБ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якобс Г.Ю., Якоб Э., Кохан Д. Оптимизация резания: Пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1981.- 279 с.
2. Кравченко Ю.Г., Пиньковский С.Г., Савченко Ю.В. Постановка задачи оптимизации параметров процесса резания металлов.- Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2005.- Вып.68.- С. 273-276.
3. Кравченко Ю.Г., Архипов О.В. Сборный резец с перетачиваемой пластиной. – А.с. 1710 203, БИ, М.: НИИПИ, 1992, №5.
4. Кравченко Ю.Г., Архипов О.В. Сборный резец.- А.с. 1773 573, БИ, М.: НИИПИ, 1992, №41.
5. Кравченко Ю.Г., Савченко Ю.В. Надёжность режущих пластин из композитов при точении отбеленных чугунов.- Високі технології в

- машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ».- Харків, 2005.- Вип. 1 (10).- С. 99-104.
6. Кравченко Ю.Г. Вероятность неразрушения режущей кромки пластин из композитов.- Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.- техн. сб.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2007.- Вып.73. - с. 118-123.
 7. Кравченко Ю.Г., Савченко Ю.В. Расчёт удельной себестоимости обработки при точении.- Сбор. науч. трудов НГУ №19, том 4 - Дн-ск: Национальный горный университет, 2004.- С. 88-91.

Получено 16.01.2008 г.