

УДК 621.923.01

*В.С. Передерій, студент; А.В. Васильєв, к.т.н., доц.;
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТРІЧКОВОГО ШЛІФУВАННЯ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ СТАЛІ 30Х13

У статті авторами отримана математична модель залежності параметра шорсткості поверхні від таких змінних факторів як зернистість стрічки, зусилля притискання стрічки й лінійна швидкість на зовнішньому діаметрі заготовки.

***Ключові слова:** стрічкове шліфування, шорсткість поверхні, математичне моделювання, зернистість стрічки.*

УДК 621.923.01

*В.С. Передерий, студент; А.В. Васильев, к.т.н., доц.;
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ СТАЛИ 30Х13

В статье авторами получена математическая модель зависимости параметра шероховатости поверхности от таких переменных факторов как зернистость ленты, усилия прижима ленты и линейная скорость на внешнем диаметре заготовки.

Ключевые слова: ленточное шлифование, шероховатость поверхности, математическое моделирование, зернистость ленты.

UDK 621.923.01

*VS Perederiy, student; A.V. Vasiliev, PhD.
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

OPTIMIZATION OF BELT GRINDING ON A LATCHE STEEL 30CH13

In the article the authors derived a mathematical model based on the surface roughness parameter variables such as grain ribbon, tape clamping force and the linear velocity at the outer diameter of the workpiece.

Keywords: belt grinding, surface roughness, mathematical modeling, grain belt.

Постановка проблеми. Стрічковим називають шліфування, при якому в якості інструменту застосовується абразивна стрічка. Обладнання для стрічкового шліфування просте за конструкцією й економічне в експлуатації. Також спосіб такого шліфування поєднує переваги круглого, безцентрового,

плоского і фасонного шліфування. На відміну від традиційних шліфувальних верстатів воно не вимагає спеціальних пристосувань для захисту від можливого розриву кола, складних і дорогих пристосувань для балансування й виправлення інструмента, легко вбудовується практично в будь-який технологічний процес. Стрічкове шліфування рекомендується застосовувати і в тих випадках, коли особливо неприпустимі пригорання. Ці обставини роблять незаперечними переваги абразивних стрічок у порівнянні з абразивними колами в умовах енергетичного й авіаційного машинобудування при обробці складнопрофільних поверхонь із більшою кількістю галтелей і переходів таких, як лопатки парових і газових турбін, лопаті гвинтів і вентиляторів.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Технологія шліфування абразивними стрічками докорінно відрізняється від шліфування абразивними колами або брусками [1, 2]. Основними відмінностями є кінематичні й динамічні особливості стрічково-шліфувальних верстатів і модулів, використання одношарового абразивного інструмента на еластичній основі з упорядкованим розташуванням зерен на ріжучій поверхні, можливість керування вихідними параметрами процесу за рахунок використання в складі технологічної системи опорних елементів з різними характеристиками і т.д. [3 – 5]

Таким чином, використання відомих теорій шліфування абразивними колами, щодо процесу стрічкового шліфування практично не можливе.

Широке розповсюдження стрічкового шліфування стримується відсутністю теорії визначення раціональних галузей його використання, практичних рекомендацій і методик, необхідних для одержання необхідної точності і якості оброблених поверхонь при найменших витратах. У зв'язку із цим, найважливішою проблемою є розробка теоретичних і технологічних основ високопродуктивного шліфування абразивними стрічками [5].

Таким чином, розробка теорії й методів підвищення ефективності процесу шліфування абразивними стрічками з урахуванням одержання необхід-

ного якості виробу являє собою актуальну проблему, що має велике значення для економіки України.

Формулювання цілей статті.

У зв'язку з вищевикладеним метою роботи є підвищення ефективності шліфування абразивними стрічками шляхом керування параметрами контактної взаємодії інструмента із заготовкою. Об'єктом дослідження є обладнання для виконання стрічкового шліфування, а також технологічний процес взаємодії нескінченної абразивної стрічки з оброблюваною заготовкою. При вирішенні поставлених завдань проводилися теоретичні й експериментальні дослідження, оцінювалася точність і достовірність одержуваних результатів. Предметом дослідження є фізика явищ, які виникають при взаємодії абразивної стрічки з заготовкою, а також вплив параметрів і режимів роботи обладнання на показник шорсткості оброблюваної поверхні.

Виклад основного матеріалу. Стрічковим називають шліфування, при якому в якості інструменту застосовується абразивна стрічка. Обробка здійснюється рухомою з великою швидкістю стрічкою, покритою шаром абразиву і натягнутою між двома роликками: приводним і натяжним. Основними параметрами, що характеризують стрічкове шліфування, є швидкість стрічки V_n , швидкість переміщення виробу (поздовжня подача), глибина мікрорізання, питомий тиск, характеристика абразивного шару стрічки, температура в зоні різання. При підвищенні швидкості, питомого тиску стрічки і зернистості абразиву зрізаня металу зростає.

Вплив параметрів режиму на шорсткість поверхні дослідники процесів різання представляють, як правило, у вигляді степеневих залежностей [3], заснованих на проведенні експериментів за методикою одно- або багатofакторного експерименту.

Кращим є багатofакторне планування експерименту [4], що дозволяє при проведенні малого числа дослідів у граничних точках області експериментування одержувати у вигляді математичних моделей вичерпний опис досліджуваного процесу.

Слід очікувати з досліду раніше виконаних досліджень [2], що при вивченні стрічкового шліфування залежність параметра шорсткості поверхні R_a від досліджуваних факторів: зернистості абразивної стрічки d_3 , зусилля притискання стрічки F_s і швидкості заготовки $v_{\text{и}}$ буде мати вигляд:

$$R_{a=CR}d_3^{\alpha_1}F_s^{\alpha_2}v_{\text{и}}^{\alpha_3} \quad (1)$$

де d_3 , F_s , $v_{\text{и}}$ – змінні фактори, відповідно, зернистість стрічки, зусилля притискання стрічки й швидкість виробу; C_R – коефіцієнт, що враховує сумарний вплив неврахованих у рівнянні (1) факторів; α_1 , α_2 , α_3 – показники ступеня при змінних факторах.

Завданням експерименту є визначення величини коефіцієнта C_R і показників ступені α_1 , α_2 , α_3 при змінних факторах d_3 , F_s , $v_{\text{и}}$.

Для цього рівняння (1) шляхом логарифмування слід привести в більш простий вид рівняння лінійної регресії, яке для 3-факторного експерименту має вигляд [4]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (2)$$

де $y = \lg R_a$ – логарифмічний вираз параметра шорсткості R_a (відгук моделі); x_1 , x_2 , x_3 – змінні фактори в закодованому вигляді, відповідні до параметрів d_3 , F_s і $v_{\text{и}}$ відповідно; b_0 , b_1 , b_2 , b_3 – коефіцієнти регресії при змінних факторах, що є їх оцінками, значимості; b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} – коефіцієнти регресії, що враховують значимість взаємного впливу змінних факторів на досліджуваний процес.

Для забезпечення роботи абразивної стрічки в умовах найменшого зносу необхідно, щоб дотримувалася умова:

$$P' < [P],$$

де $[P]$ - допустима загрузка на одне абразивне зерно, яка може бути визначена по наступній формулі:

– Критичне навантаження, відповідна початку викришування зерна:

$$[P]^B = 0,63X_{\text{и}}^{0,5},$$

де $X_{и}$ – середній розмір зерна, мм.

– Критичне навантаження, відповідно об'ємному руйнування зерна,

$$[P]^0 = 5,6X_{и} + 0,58X_{и}^2,$$

Для абразивної стрічки зернистістю 40 отримуємо:

$$[P]^B = 3,98 \text{ Н}; [P]^0 = 23,3 \text{ Н}.$$

Для визначення навантаження на зерно, що виникає в процесі роботи, скористаємося наступною формулою:

$$P' = \frac{\delta P_y}{z^p F_k},$$

де δ - коефіцієнт, що характеризує нерівномірність розподілу навантаження по площі контакту, 1,0-2,0; P_y - радіальна складова сили різання, Н; z^p - число ріжучих зерен на одиниці поверхні контакту, шт.; F_k - площа контакту інструменту і заготовки, мм².

Після визначення коефіцієнтів регресії b_0, b_1, b_2, b_3 у рівнянні (2) здійснюємо оцінку їх значимості з виключенням з розгляду незначущих коефіцієнтів. Далі здійснюємо перетворення (декодування) по залежностях (3) змінних факторів x_1, x_2, x_3 з натурним їхнім вираженням як d_3, F_s і $v_{и}$ відповідно. Перетворене рівняння регресії (2), у якому значення відгуку y представляє логарифмічне вираження параметра R_a , почленно потенціюємо і в результаті одержуємо шукану степеневу залежність параметра шорсткості R_a від досліджуваних факторів у вигляді виразу (1).

Стрічкове шліфування зразків з нержавіючої сталі 30X13 проводилося на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16K20, оснащеному додатковим модулем для стрічкового шліфування.

Шліфувальний модуль складається з рами, на якій установлені два ролики: ведучий 3 і ведений 4 (див. рис. 1). На роликах розміщується абразивна стрічка. Заготовка 5, що шліфується, закріплюється в кулачковому патроні верстата.

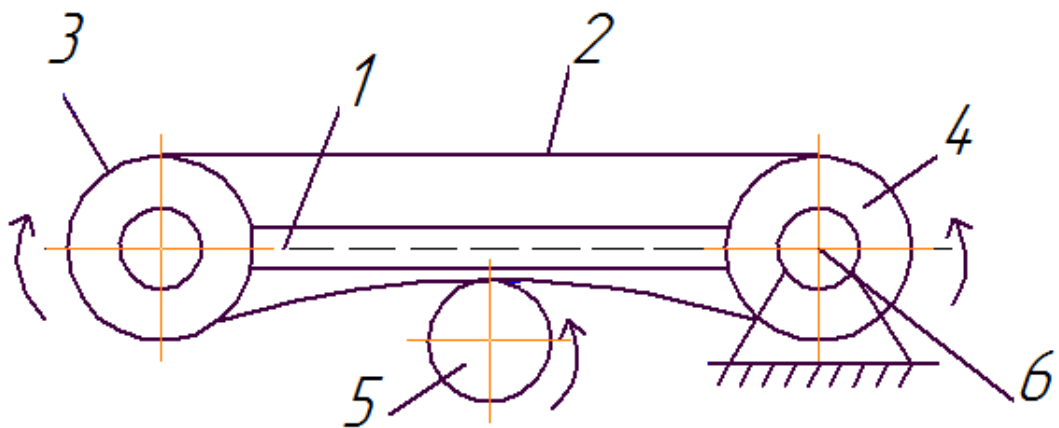


Рисунок 1 – Конструктивна схема:

1 – корпус шліфувального пристрою; 2 – абразивна стрічка; 3 – ведучий ролик; 4 – ведений ролик; 5 – деталь яка обробляється; 6 – вісь обертання шліфувального пристрою

Зусилля притискання стрічки F_S визначається шляхом вимірювання за допомогою динамометра сили F з відомого співвідношення плечей сил h_F/h_{F_S} .

За методикою проведення експерименту [4] перенесемо початок координат у центр куба і привласнимо новим осям позначення x_1, x_2, x_3 , відповідні до напрямків векторів d_3, F_S і $v_{и}$ відповідно. Точка « O » нових координат повинна відповідати основному «нуль»-рівню. Тоді максимальні значення змінних факторів d_3, F_S і $V_{и}$, закодовані як x_1, x_2, x_3 будуть у новій системі приймати позначення як «+1» або просто «+», а мінімальні значення – як «-1» або просто «-».

У табл. 1 наведені числові значення рівнів варіювання й коди змінних факторів.

Таблиця 1 – Рівні варіювання й схема кодівих позначень змінних факторів

Рівень варіювання	Зернистість стрічки		Зусилля притискання		Швидкість виробу	
	$d_3 \cdot 10^{-2}$, мм	x_1	F_s , Н	x_3	$V_{и}$, м/хв	x_3
Основний	32	0	50	0	7	0
Верхній	50	+ 1	90	+ 1	12	+ 1
Нижній	12	- 1	35	- 1	2	- 1

Математична модель залежності шорсткості поверхні від параметрів режиму у вигляді степеневі залежності уможлиблює керування параметрами шорсткості поверхні при стрічковому шліфуванні в практичних умовах. Так, поверхню відгуку моделі можна представити як геометричне місце точок, що відповідають тільки одному, конкретно заданому рівню параметра шорсткості R_a , тобто

$$R_a = 2.25 \cdot d_3^{2.05(1-0.38061 \lg F_s)} F_s^{1.69} V_{и}^{0.13} = const \quad (3)$$

При цьому у всьому факторному просторі для двох довільно обраних значень варіюваних факторів знайдеться єдине значення третього, при яким результат їх взаємодії буде перебувати на поверхні відгуку. У цьому випадку поверхня відгуку моделі можна використовувати в практичних цілях як номограма для визначення раціональних режимів стрічкового шліфування по гарантованому забезпеченню заданої шорсткості поверхні.

Основними причинами відхилення профілю лопатки від теоретичного є:

- вплив «технологічної спадковості»;
- коливання припуску, створені на попередній операції, внаслідок деформації при фрезеруванні, які повторюються на остаточно обробленій поверхні;
- знос стрічки призводить до поступового зменшення знімання матеріалу в процесі обробки, при цьому похибка обробки може досягати при чорновому шліфуванні $\delta = 0,15-0,25$ мм, при чистовому $\delta = 0,05-0,1$ мм;

– при обробці опуклих і увігнутих ділянок різної кривизни змінюється площа поверхні контакту стрічки і деталі, що призводить до зміни контакт-ного тиску при постійному зусиллі притиску в діапазоні $\pm 20\%$ від номіналь-ного, а це призводить до коливань припуску що знімається;

– інерційність рухомих вузлів верстата приводить до змін притискаю-чого зусилля і нерівномірного зніманню металу на ділянках різкої зміни тра-екторії;

– при обробці прикромкових ділянок відбувається зменшення площі зони контакту з огляду на обмеженість заготовки, це призводить до збіль-шення питомої тиску в зоні контакту, в результаті відбувається підвищення глибини знімання і «заріз» кромки.

На рис. 4 наведена номограма режиму стрічкового шліфування, розра-хована по залежності (3) для гарантованого забезпечення шорсткості поверх-ні $R_a \leq 1,25$ мкм при шліфуванні сталі 40X13.

Суть побудови номограм (поверхонь відгуку) зводиться до наступного. З розглянутих параметрів суворо фіксованими факторами є параметри шорсткості R_a і зернистість стрічки d_z , значення яких регламентовані ГОСТ 2789–73 і ГОСТ 3647–80, відповідно. Швидкість на зовнішньому діаметрі заготовки V_n також є не вільним фактором і залежить від технічних можливостей і прийнятої системи регулювання швидкостей у верстаті, тобто її значення також можна задавати дискретними величинами. Таким чином, вільним фактором є зусилля притискання стрічки F_s , розрахункове значення якого визначається з умови за-безпечення $R_a = const$. Власне, забезпечення певного зусилля притискання не являє собою якоїсь проблеми під час виконання стрічкового шліфування.

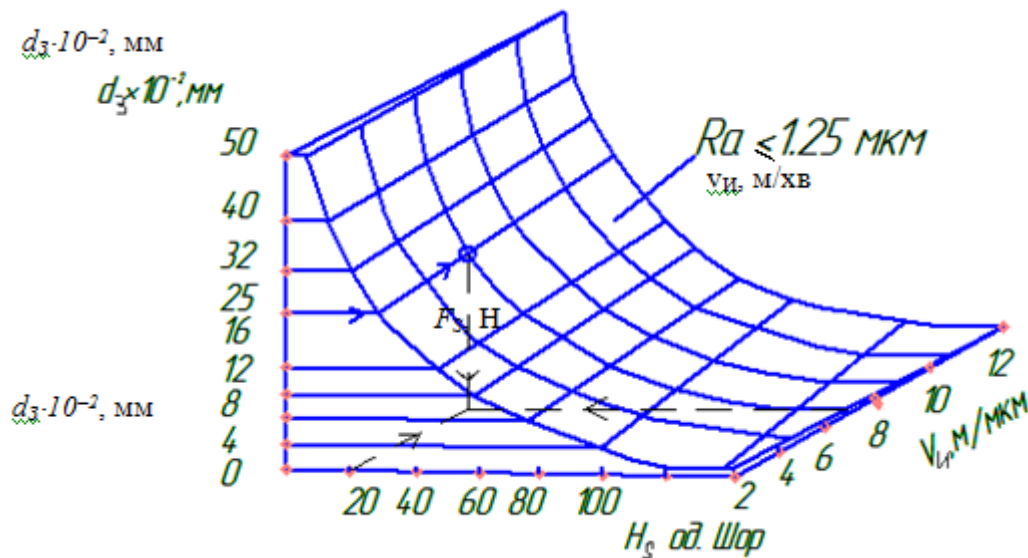


Рисунок 4 – Номограма режиму стрічкового шліфування по гарантованому забезпеченню параметрів шорсткості поверхні $R_a \leq 1,25$ мкм

Для цього отримане рівняння регресії слід розв'язати щодо параметра F_s у такий спосіб:

$$\lg F_s = \frac{\lg R_a + 3,6481 - 2,0507 \lg d_3 - 0,1313 \lg V_n}{1,6939 - 0,7805 \lg d_3} \quad (4)$$

За допомогою комп'ютерного забезпечення легко автоматизувати вироблені по формулі (4) розрахунки з виводом на дисплей графічної побудови поверхонь відгуку.

Суть користування номограмами зводиться до наступного: для прийнятих, наприклад, зернистості абразивної стрічки 25 і швидкості заготовки $v_n = 6$ м/хв для гарантованого забезпечення параметра $R_a \leq 2,5$ мкм при шліфуванні необхідно забезпечити зусилля притискання $F_s = 65$ Н для одержання в таких же умовах шорсткості поверхні $R_a \leq 1,25$ мкм зусилля притискання повинно бути не більше 25 Н.

Аналогічні міркування можна провести і при користуванні номограмами для фіксованих значень R_a і V_n , d_3 і F_s .

Висновки. Отримана математична модель залежності параметра R_a шорсткості поверхні при стрічковому шліфуванні є робочою для всіх точок дослідженого факторного простору з інтервалами варіювання змінних факто-

рів: зернистості стрічки $d_3 = 12...50$, зусилля притискання стрічки $F_s = 30...90$ Н й швидкості на зовнішньому діаметрі заготовки $V_{\text{и}} = 2...12$ м/хв.

Аналіз отриманої математичної моделі показав, що значення шорсткості поверхні при стрічковому шліфуванні в основному залежить від зернистості застосовуваної стрічки й зусилля притискання стрічки й мало змінюється залежно від швидкості виробу.

Список використаних джерел

1. Соколова Л.С. Шлифование абразивными лентами с постоянной силой прижима / Л.С. Соколова. – М.: Спутник, 2005. – 146 с.
2. Корягин А.А., Михрютин В.В.Повышение точности ленточного шлифования лопаток компрессора ГТД Справочник. Инженерный журнал, 2008.
3. З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин, Технология шлифования в машиностроении. — Санкт-Петербург:Политехника, 2007. — 425 с.
4. Experimental Research on the Abrasive Belt Grinding Turbine Blades Material 1Cr13 Stainless Steel / H.L. Wu, Y. Huang, Z. Huang and G.J. Cheng // Key Engineering Materials. – Vol. 487 (2011). – pp. 452 - 456.
5. Research on Accuracy of Abrasive Belt Grinding / Hong Li // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 101-102 (2012). – pp. 1101-1104.