

УДК 621.923

Петраков Ю.В. д.т.н., проф., Чамата С.М.
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ПРОДУКТИВНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ОПРАВКИ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Petrakov Y., Chamata S.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (yp-86@yandex.ru)

GRINDING PRODUCTIVITY OF WORKING SURFACE OF MANDREL COLD-ROLLING MILLS PIPES

Наведений алгоритм визначення трьох складових режиму різання при шліфуванні чорнового припуску. Запропоновано розраховувати повздовжню подачу на оберт за необхідною шорсткістю поверхні, що обробляється, а сполучення поперечної подачі на прохід і кутової швидкості обертання заготовки - за математичною моделлю процесу і зданого коефіцієнту допустимої пружної деформації технологічної обробляючої системи. Математична модель урахує замкненість процесу різання в пружній системі і нелінійні залежності сили різання від швидкості зрізування припуску. Створені прикладні програми вирішення задачі визначення такого сполучення трьох складових режиму шліфування, що забезпечують максимум продуктивності. Розроблені методика і алгоритми використовуються в САМ системі проектування операції шліфування робочої поверхні оправки стану ХПТ.

Ключові слова: продуктивність шліфування, оправка станів холодної прокатки труб, режим різання.

Вступ

У відповідності до технологічного процесу виготовлення оправки стану холодної прокатки труб (ХПТ) на операцію шліфування робочої поверхні, яка є заключною, передбачається значний припуск – 1мм на сторону і більше, а урахування криволінійну утворюючу в середині робочої поверхні припуск може перевищувати 2мм на сторону. Операція шліфування виконується на круглошліфувальному верстаті з ЧПК 3М152МВФ3, який був обладнаний системою ЧПК фірми Siemens, і спеціальним люнетом, який забезпечує підвищення жорсткості технологічної обробляючої системи (ТОС). Таким чином, продуктивність операції цілком залежить від режиму шліфування при зрізуванні більшої частини припуску до його критичної величини, яка визначається за граничним алгоритмом [1]. Тому визначення максимально допустимого режиму шліфування на цьому етапі є актуальною науково-технічною задачею.

Постановка задачі

Шліфування робочої поверхні оправки 1 стану ХПТ шліфувальним кругом 2 відбувається за рахунок трьох рухів: повздовжньої подачі $F_{np/об}$ на оберт заготовки, поперечної подачі на прохід F_n і обертання ω заготовки навколо своєї осі Z (рис.1). Необхідно визначити таке сполучення цих трьох рухів, яке приводить до максимуму продуктивності при забезпеченні обмежень, що накладаються на процес умовами якості і сталості процесу різання. Реалізація визначеного управління за трьома складовими режиму різання забезпечується відповідною управляючою програмою через систему ЧПК верстату.

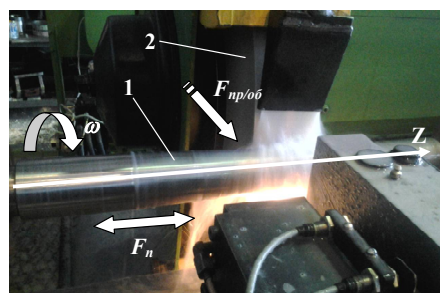


Рис. 1. Схема рухів

Виклад основного матеріалу

Визначення повздовжньої подачі. Для визначення максимально допустимої повздовжньої подачі $[F_{np/об}]$ було використане розв'язання геометричної задачі формоутворення поверхні оправки шліфувальним кругом зі сферичною вихідною інструментальною поверхнею за критерієм утворення гребінця, що не перевищує задану шорсткість поверхні, що обробляється, за параметром Rz. В роботі [2] було доведено, що повздовжня подача для виконання поставленої умови має змінюватись за повздовжньою координатою у відповідності до залежності:

$$[F_{np/об}]_i = \sqrt{Rz(Rz - 2[R_k]_i)(2Rz[R_k]_i - 4Rs[R_k]_i + 4Rs^2 - Rz^2)} \cdot \frac{\cos[\alpha]_i}{[R_k]_i - Rz}, \quad (1)$$

де $[R_{\kappa}]_i$ – радіус кривизни профілю робочої поверхні у місці оброблення, R_s – радіус сферичної інструментальної поверхні шліфувального круга, $[\alpha]_i$ – кут нахилу нормалі до профілю робочої поверхні у місці оброблення. На рис.2 представлено графіки зміни повздовжньої подачі на оберт заготовки в залежності від координати Z обробки оправки по довжині: лінія 1 – при $Rz=0.4\text{мкм}$, лінія 2 – при $Rz=0.8\text{мкм}$, лінія 3 – профіль оправки (координата X). Графіки побудовані по залежності (1) для шліфування оправки КРВ-25 шліфувальним кругом з радіусом сфери інструментальної поверхні $R_s=1600\text{мм}$.

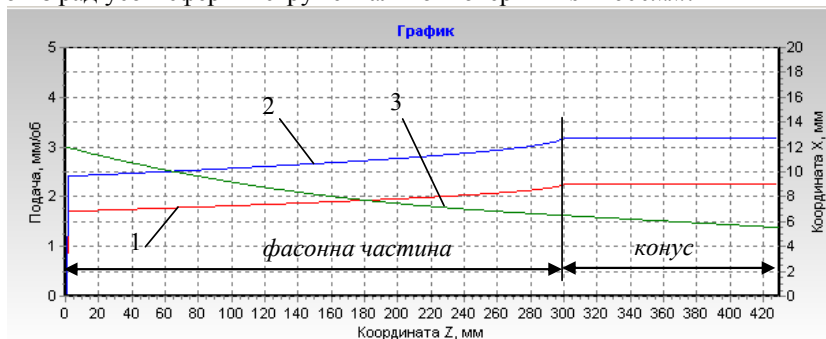


Рис. 2. Графіки зміни повздовжньої подачі на оберт

Визначення поперечної подачі на прохід. Поперечна подача визначає товщину шару припуску, що заданий для зрізування на прохіді. Процес різання відбувається в пружній ТОС, яка за своєю природою є замкненою [3] і може бути представлена функціональною схемою рис.3. На схемі прийняті наступні позначення: H_z , H_ϕ – задана і фактична товщина шару припуску, що зрізується; P_y – складова сили різання; W_{np} і W_{enc} – передатні функції відповідно процесу шліфування і еквівалентної пружної системи, δ_y – пружна деформація, що викликана складовою P_y сили різання.

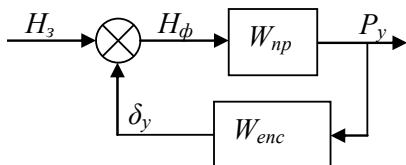


Рис. 3. Функціональна схема

З функціональної схеми (рис.3) може бути отримана математична модель процесу різання у замкненій ТОС:

$$\begin{cases} H_\phi = H_z - \delta_y \\ P_y = H_\phi \cdot W_{np} \\ \delta_y = P_y \cdot W_{enc} \end{cases} \quad (2)$$

Ураховуючи наявність лонету, який встановлений навпроти шліфувального круга, жорсткість C ТОС можна вважати постійною величиною, а передатна функція еквівалентної пружної системи в першому наближенні, без урахування динамічних явищ може бути представлена простою залежністю:

$$W_{enc} = \frac{1}{C}, \quad (3)$$

де C – жорсткість еквівалентної пружної системи, визначається експериментальним шляхом [4].

Для визначення передатної функції процесу шліфування доцільно скористатися головною характеристикою процесу різання, якою є швидкість зрізування припуску (Material Removal Rate) [5]. Тоді радіальна складова сили різання:

$$P_y = Cp(Q \cdot \omega_d)^\alpha, \quad (4)$$

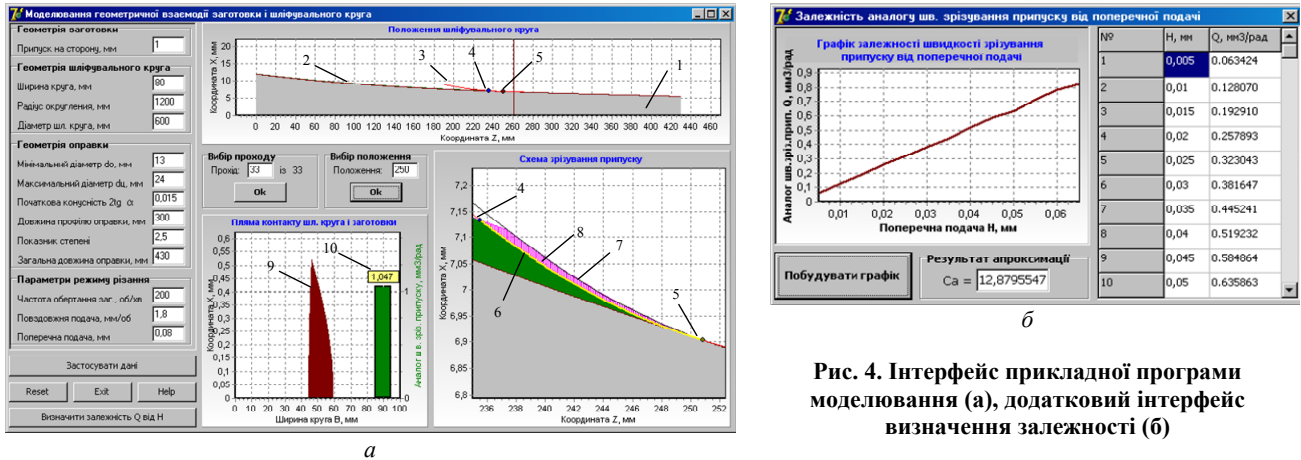
де Cp і α – емпіричний коефіцієнт і показник степеня, Q – аналог швидкості зрізування припуску, $\text{мм}^3/\text{рад}$, ω_d – кутова швидкість обертання деталі, рад/с .

Оскільки аналог Q швидкості зрізування припуску залежить від фактичної глибини різання H_ϕ , при шліфуванні фасонної поверхні оправки інструментальною поверхнею круга у формі тора, його визначення необхідно проводити чисельним методом, застосовуючи моделювання геометричної взаємодії інструментальної поверхні із заготовкою за допомогою створеного програмного забезпечення (рис.4, а).

Зліва інтерфейсу знаходяться вікна для введення відповідних вихідних даних. Після введення вихідних даних і їх перевірки, для початку процесу моделювання потрібно натиснути кнопку «Застосувати дані». У верхньому вікні з'являється зображення поверхні оправки 1 з припуском 2. Після підтвердження вибору проходу (парне число – прохід вліво, непарне – вправо) і вибору положення шліфувального круга, у вікні відображається поточна поверхня оправки, інструментальна поверхня 3 і точки входу/виходу шліфувального круга 4, 5 із зони різання.

У нижньому правому вікні відображається схема зрізування припуску, де при шліфуванні заготовки показано два положення шліфувального круга 6, 7, які відрізняються на величину повздовжньої подачі на оберт заготовки. Товщина шару, що зрізується – заштрихована область 8 – відповідає поперечній подачі на один прохід. Точка вершини гребінця 5, висота якої визначає детерміновану складову шорсткості. У нижньому

лівому вікні відображається пляма контакту 9 шліфувального круга і поточної поверхні оправки і величина аналогу швидкості зрізування припуску 10, для заданого проходу і положення шліфувального круга. Зліва знизу знаходяться функціональні кнопки.



За допомогою прикладної програми була визначена залежність аналога Q швидкості зрізування припуску від фактичної товщини H_ϕ товщини шару припуску, що зрізується. Експерименти проводились при визначених умовах досліду в наступних діапазонах зміни режиму різання: для поперечної подачі на робочий хід $H_\phi = 0.001 \dots 0.1$ мм, для повздовжньої подачі $S_{пов} = 1,8$ мм/об. і для частоти обертання деталі $n_{дет} = 200$ об/хв.

Після натиснення кнопки «Визначити залежність» відкривається додатковий інтерфейс (рис.4, б). Результатом натиснення кнопки «Побудувати графік» є побудований графік залежності аналогу швидкості Q зрізування припуску від фактичної глибини різання H_ϕ , а також числова таблиця розрахованих значень залежності аналогу швидкості Q зрізування припуску при різних значеннях фактичної глибини різання H_ϕ . В програмі виконується апроксимація залежності лінійною функцією з автоматично обчисленим коефіцієнтом k_1 :

$$Q = k_1 \cdot H_\phi = 12,9 \cdot H_\phi. \quad (5)$$

Оскільки передатна функція процесу шліфування (дивись рис.3) є суто нелінійною, для подальших обчислень доцільно її лінеаризувати за фактичною глибиною різання в області режиму, що встановився. Коефіцієнт лінеаризованої залежності складової P_y сили різання і фактичної глибини H_ϕ різання, з урахуванням залежностей (4) і (5):

$$W_{np} = k_p = \left(\frac{\partial P_y}{\partial H_\phi} \right)_0 = C_p (k_1 \cdot \omega_d)^\alpha \alpha H_\phi^{\alpha-1}. \quad (6)$$

За правилами перетворення з функціональної схеми процесу шліфування (дивись рис.3) передатна функція ТОС за пружною деформацією δ_y має вигляд:

$$\frac{\delta_y}{H_3} = \frac{W_{np} W_{enc}}{1 + W_{np} W_{enc}}, \quad (7)$$

При проектуванні алгоритму управління циклом шліфування для визначення верхнього обмеження за швидкістю зрізування припуску призначають максимально допустиму деформацію ТОС. Ця величина приймається технологом-програмістом, як правило, з практичного досвіду і має забезпечувати сталий процес різання без «осипання» шліфувального круга і відсутності вібрацій. Тому при вирішенні поставленої задачі визначення сполучення трьох рухів, яке приводить до максимуму продуктивності при забезпеченні обмежень, доцільно представити максимально допустиму деформацію на етапі зрізування чорнового припуску у вигляді частини від заданої товщини припуску, що зрізується на проході:

$$\delta_y = k \cdot H_3, \quad (8)$$

де k – коефіцієнт відношення пружної деформації до заданої глибини різання, причому $k < 1$.

Таким чином, вирішується задача призначення заданої на прохід товщини шару припуску, що зрізується, тобто поперечної подачі F_n на прохід:

$$H_3 = \frac{H_\phi}{(1-k)}, \quad (9)$$

де k визначається з (7) з урахуванням залежності (6):

$$k = \frac{k_p}{C + k_p}. \quad (10)$$

Визначення кутової швидкості деталі. Ураховуючи зв'язок кутової швидкості деталі і товщини шару припуску, що зрізується, через нелінійну залежність складової сили різання, яка була використана при визначенні заданої поперечної подачі на прохід, визначення третьої складової режиму різання, а саме, кутової швидкості доцільно проводити ітераційним методом за чисельними процедурами обчислення у відповідності до алгоритму, укрупнена схема якої показана на рис.5.

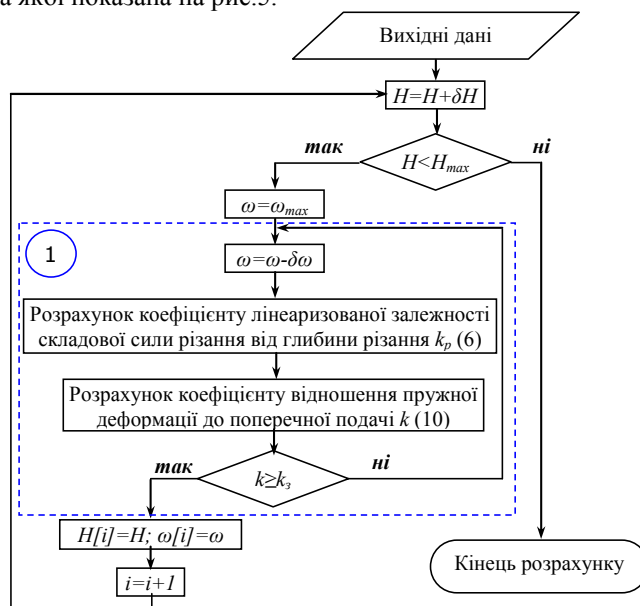


Рис. 5. Ітеративний алгоритм визначення залежності кутової швидкості обертання деталі від поперечної подачі

За алгоритмом: H_{max} – максимальна глибина різання, ω_{max} – максимальна кутова швидкість обертання деталі, k_s – заданий коефіцієнт відношення пружної деформації до глибини різання. Блоком 1 (давись рис.5) відбувається знаходження максимально можливої кутової швидкості обертання для заданих: глибини різання і коефіцієнту відношення пружної деформації до глибини різання. При цьому, після введення вихідних даних, за алгоритмом виконується розрахунок числових масивів глибини різання $H[i]$ і відповідної кутової швидкості обертання деталі $\omega_\delta[i]$.

Розроблений алгоритм було покладено в основу прикладної програми автоматичного визначення залежності кутової швидкості обертання деталі від глибини різання, інтерфейс якої зображено на рис.6. Після натиснення кнопки «Застосувати дані» відбувається розрахунок і у вікні «Залежність кутової швидкості обертання деталі від глибини різання» відображаються графіки залежності кутової швидкості обертання деталі від глибини різання при значеннях коефіцієнта відношення пружної деформації до глибини різання k_s [0.1, 0.15, 0.2]. Залежності було отримано для наступних вихідних даних: коефіцієнт і показник ступеню у залежності (6) $C_p=4$, $\alpha=0.6$; коефіцієнт лінеаризованої залежності швидкості зрізування припуску від глибини різання у залежності (9), який визначається за допомогою прикладної програми (рис.4), $C_a=12.9$; жорсткість ТОС під час обробки $C=2995$ Н/мм.

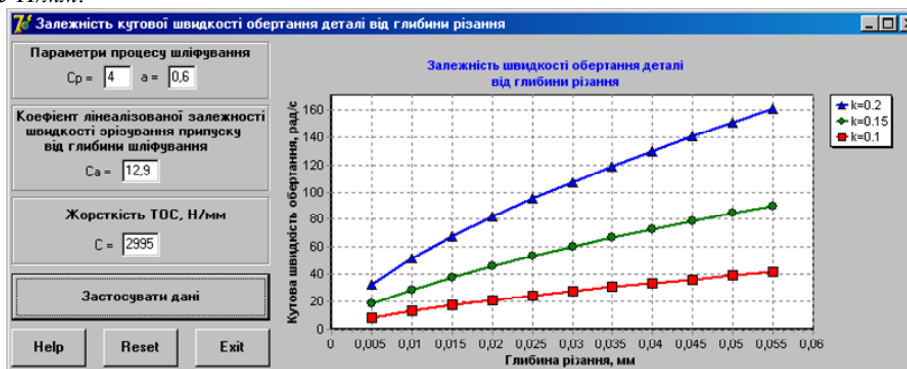


Рис. 6. Інтерфейс прикладної програми визначення кутової швидкості обертання деталі

Висновки

1. Продуктивність всієї операції шліфування робочої поверхні оправки стану ХПТ в основному визначається максимально допустимою швидкістю зрізування припуску на чорнових проходах, яка залежить від сполучення трьох складових режиму різання: повздовжньої подачі на оберт, поперечної подачі на прохід і кутової швидкості обертання деталі. Необхідно визначити таке сполучення цих трьох рухів, що приводить до

максимуму продуктивності при забезпеченні обмежень, які накладаються на процес умовами якості і сталості процесу різання.

2. Повздовжню подачу на оберт деталі доцільно визначати з умови необхідності отримання заданої шорсткості робочої поверхні оправки, що шліфується за залежністю (1). Визначення сполучення поперечної подачі і кутової швидкості обертання деталі виконується за ітераційним алгоритмом, який урахує замкненість процесу оброблення в пружній ТОС в залежності від коефіцієнту, що визначає частку допустимої пружної деформації в заданій товщині шару припуску, що зрізується за один прохід.

3. Доведено, що в математичній моделі процесу шліфування зв'язок між аналогом швидкості зрізування припуску і товщиною шару, що зрізується можна апроксимувати лінійною залежністю, коефіцієнт пропорційності якої визначається за моделюванням геометричної взаємодії шліфувального круга і заготовки.

Аннотация. Представлен алгоритм определения трех составляющих режима резания при шлифовании чернового припуска. Предложено рассчитывать продольную подачу на оборот по необходимой шероховатости обрабатываемой поверхности, а сочетание поперечной подачи на проход и угловой скорости вращения заготовки - по математической модели процесса и введенного коэффициента допустимой упругой деформации технологической обрабатывающей системы. Математическая модель учитывает замкнутость процесса резания в упругой системе и нелинейные зависимости силы резания от скорости срезания припуска. Созданы прикладные программы решения задачи определения такого сочетания трех составляющих режима шлифования, которые обеспечивают максимум производительности. Разработаны методика и алгоритмы используются в САМ системе проектирования операции шлифования рабочей поверхности оправки стана ХППТ.

Ключевые слова: производительность шлифования, оправка стана холодной прокатки труб, режим резания.

Abstract. Purpose. To develop the algorithm of determination of the cutting mode at grinding of working surface of mandrel cold-rolling of pipes on the stage of removal of draft allowance.

Methodology. The algorithm of determination of three constituents of the cutting mode at grinding of draft allowance is presented. It is suggested to count a longitudinal feed on a turn from the necessary roughness of the processed surface, and combination of transversal feed on a passage-way and rotation feed of workpiece - on the mathematical model of process and entered coefficient of possible resilient deformation of the technological processing system. A mathematical model takes into account loop of cutting process in the resilient system and nonlinear dependences of cutting force from material removal rate. The application programs of decision of task of determination of such combination are created three constituents of the grinding mode which provide a maximum of the productivity. A method and algorithms developed are utilized in the computer aided manufacturing system for operation of grinding of working surface of mandrel cold-rolling mills pipes.

Keywords: grinding productivity, mandrel cold-rolling of pipes, cutting mode.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
2. Петраков Ю.В., Чамата С.М. Управление шлифованием оправок станом холодной прокатки труб / Вісник СевНТУ, Випуск 151, Севастополь, 2014.-С.127-134.
3. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Теория автоматического управления технологическими системами / М.: Машиностроение, 2008. – 336с.
4. Петраков Ю.В., Чамата С.М. Проекування управляющих программ для шліфування оправок станів холодної прокатки труб на верстаті з ЧПК / Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування №69, Київ, 2013.- С.51-57.
5. Jerard R.B., Fussell B.K., Ercan M.T. On-Line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining / NSF Desing, Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Florida, 2001.

References

1. Mihelkevich V.N. Avtomaticheskoe upravlenie shlifovaniem prokatka trub. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 304 p.
2. Petrakov Y.V., Chamata S.M. Upravlenie shlifovaniem opravok stanov holodnoy prokatki trub. Visnyk SevNTU, Vypusk 151, Sevastopol, 2014. P.127-134.
3. Petrakov Y.V., Drachev O.I. Teoria avtomaticheskogo upravlenia tehnologycheskimi systemami. Moscow: Mashinostroenie, 2008. 336 p.
4. Petrakov Y.V., Chamata S.M. Proektuvannia upravliauchykh program dla shlifuvannia opravok staniv holodnoi prokatky trub na verstaty z CNC. Visnyk NTUU "KPI", Mashinbuduvannia 69, Kyiv, 2013. P.51-57.
5. Jerard R.B., Fussell B.K., Ercan M.T. On-Line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining. NSF Desing, Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Florida, 2001.

Подана до редакції 16.12.2014