Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, 85-90
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.085-090

УДК 621.81

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ СВЕРДЛІННЯ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НАСКРІЗНИХ ОТВОРІВ

М. Б. Клендій[1], М. І. Клендій[1], Р. В. Шатров[2]

[1]Відокремлений підрозділ національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут», Україна.
[2]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: Klendiy@ukr.net, rvshatrov@outlook.com

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.
Бібл. 12, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Метою дослідження є обґрунтування необхідності зміни подачі свердла при його виході з деталі з урахуванням жорсткості вертикально-свердлильних верстатів, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, заточення свердел та інше. Об'єктом дослідження є технологічний процес свердління наскрізних отворів на верстатах з механічною подачею. Предметом дослідження є закономірності перебігу процесу свердління наскрізних отворів та вплив на них режимів різання.

У роботі наведені теоретичні залежності для призначення подач залежно від діаметрів використовуваних свердел, визначення зони, починаючи з якої необхідно зменшувати подачу, визначення значень осьового зусилля при свердлінні отвору.

Отримані теоретичні залежності для визначення значень величин подач верстата в залежності від діаметра свердла з врахуванням різних обмежень, а саме: стійкості і міцності свердел, міцності механізму подач верстата, а також для визначення величини зони випучування, при досягненні свердлом якої необхідно зменшити подачу.

Результати: встановлено, що для підвищення експлуатаційної надійності свердел і їх захисту від поломок необхідно на виході інструменту із деталі автоматично зменшувати величину подачі.

Ключові слова: подача, отвір, осьове зусилля, свердління.

Постановка проблеми

Однією із передумов подолання кризової ситуації у національній економіці є подальший розвиток машинобудування, які сприяють зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності виробництва, покращенню якості продукції та вимагає принципово нових підходів до створення й використання високоефективних ресурсоощадних технологій.

Існуючі конструкції деталей з яких збирають вузли й машини, що виконують різні свої службові призначення, в абсолютній більшості випадків мають отвори, одержувані свердлінням. Оброблення отворів, як правило, проводиться на свердлильних верстатах і в значній мірі на вертикально-свердлильних, основними базовими моделями яких є: 2НТГ8, 2АТ30, 2А135, 2А150.

Для свердління наскрізних отворів з мінімальними витратами часу потрібна інформація щодо навантажень на систему верстат-пристрій-інструмент-деталь, тобто визначення силових параметрів процесу різання.

Аналіз останніх досліджень

Питаннями дослідження свердління наскрізних отворів присвячені наукові праці [1-12] та інших. У працях, вказаних авторів приведені дослідження процесу свердління наскрізних отворів, проте, як встановили експериментальні дослідження і розрахункові теоретичні схеми, процес свердління наскрізних отворів має свої особливості і їх доцільно досліджувати.

Мета досліджень

Метою дослідження є обґрунтування необхідності зміни подачі свердла при його виході з деталі з урахуванням жорсткості вертикально-свердлильних верстатів, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, заточення свердел та інше.

Результати досліджень

Величина подачі повинна призначатися з врахуванням як міцності механізму подач верстата і

самого свердла так і його стійкості, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, експлуатаційної надійності і довговічності. Значення подач S_1 і S_2, що допускаються відповідно міцністю свердла і його стійкістю можуть бути визначені з відомих залежностей:

$$S_1 = C_s d^{xs} \tag{1}$$

$$S_2 = \left(\frac{P_{кр}}{\alpha^{XP} C_P} \right)^Y = \left(\frac{\pi^2 EI}{C_P \mu^2 l^2 \alpha^{xp}} \right)^Y \tag{2}$$

де: S_1 і S_2 - значення подач;

C_S і C_p – коефіцієнти, що враховують вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу відповідно на величину подачі й осьового зусилля;

E – модуль пружності матеріалу звірила (для сталі 2 10^4 кгс/мм^2);

I – мінімальний осьовий момент інерції (для свердлів $I = 0,004d^4$);

d – діаметр свердла;

μ – коефіцієнт приведеної довжини (для свердла, розглянутого у вигляді балки із затисненим одним кінцем і шарнірно-встановленими іншим - $\mu = 0,7$).

l – довжина виступаючої з патрона частини свердла $l = (1,15...1,2)kd$ тут $k = \frac{l_0}{d}$

l_0 – довжина на робочій частині;

X_S, X_P і $Y_P = \frac{1}{Y}$ показники ступенів, що відображають впливи відповідного параметра або їх сукупності на величину подачі ($X_S = 0,6;\ X_P = 1,0$ 0; $Y = 1,43$ - для сталі і $Y = 1,25$ - для чавунів).

Підставивши відповідне значення рівняння (1) у рівняння (2) і виконавши перетворення, одержимо:

$$S_2 = C_0 d^Y, \tag{3}$$

де $C_0 = \left(\frac{8,22}{C_P} \right)^Y$ - величина постійна для конкретного матеріалу заготовки і свердла.

Із залежностей (2) і (3) видно, що подачі, обумовлені міцністю й стійкістю свердл є функціями їх діаметрів. Аналіз довідкових даних показує, що $C_S > C_0$ а $Y > 1$, тому можна припустити, що при одних значеннях діаметрів свердел подача буде лімітуватися стійкістю, а при інших обмежуватися їхньою міцністю, а в третіх фізико-механічними властивостями матеріалу заготовки. Для визначення областей значень подач, що визначаються тим або іншим обмеженням введемо позначення:

$C_S = K_1 C_0;\ Y = k_2 X_S$ причому K_1 і $K_2 > 1$.

Розділивши рівняння (1) на (3) одержимо:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{K_1}{\alpha^{X_S (K_2 - 1)}}, \tag{4}$$

У випадку, коли подача лімітується стійкістю свердел, то $S_2 < S_1$, а отже $\frac{S_1}{S_2} < 1$, і це має місце при значеннях діаметрів свердел, обумовлених із залежності:

$$d < K_1^{\frac{1}{X_s (Ks - 1)}} \tag{5}$$

Якщо лімітуючим фактором є міцність свердла, тоді $S_1 < S_2$, а $\frac{S_1}{S_2} < 1$, а значення діаметрів при цій умові визначаються з виразу:

$$d > K_1^{\frac{1}{X_s (Ks - 1)}} \tag{6}$$

При, $S_1 = S_2$, $d = K_1^{\frac{1}{X_s (Ks - 1)}}$ і подача свердла обмежується рівною мірою одночасно як його міцністю так і стійкістю.

Для свердел більших діаметрів обмежуючим параметром значень подач є зусилля $P_{мп}$, що допускається міцністю механізму подач. У цьому випадку значення подач можна визначити, використавши відому залежність

$$S_3 \le C_1 \frac{1}{d^Y} \tag{7}$$

де $C_1 = \left(\frac{P_{МП}}{C_P} \right)^Y$ для конкретних умов обробки $C_1 = const.$

Розділивши почленно рівняння (1) на (7) і врахувавши, що необхідно виконання умови $\frac{S_1}{S_3} = 1$, після обчислень одержимо значення діаметрів, що відповідають заданій умові:

$$d \ge \left(\frac{C_1}{C_S} \right)^{\frac{1}{Xs + Y}} \tag{8}$$

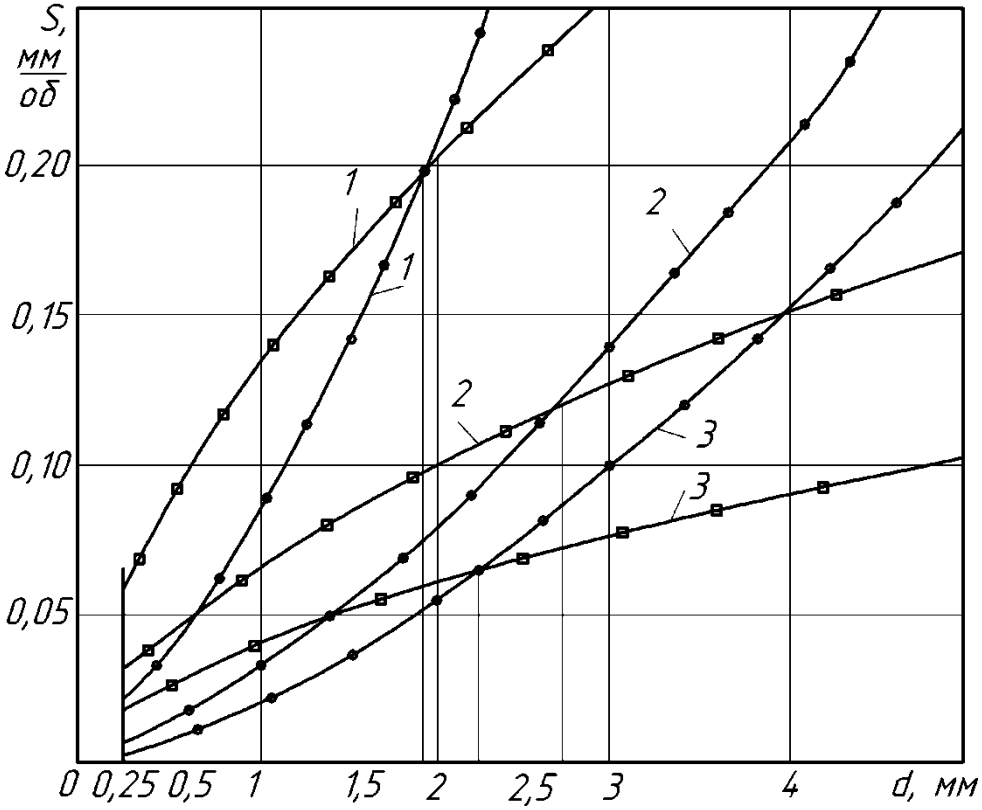

Рис. 1. Графіки залежності подач від діаметрів свердел, побудовані з умов:

- міцність свердел на кручення;

- стійкість свердла;

1 – для чавунів з НВ 170; *2* – для сталі з $\sigma_B = 75H/мм^2$; *3* – для сталі з $\sigma_B = 100H/мм^2$.

Fig. 1. Flow charts for drill diameters based on conditions:

- torsion drill strength;

- drill resistance;

1 - for cast iron with HB 170; 2 - for steel with $\sigma_B = 75H/мм^2$; 3 - for steel with $\sigma_B = 100H/мм^2$.

Таким чином на всьому діапазоні діаметрів значення подач визначаються з залежності:

$$S = \psi(d) = \begin{cases} \left(\dfrac{8,22}{Cp}\right)^Y d^Y & \text{при } 0 < d \le \left(\dfrac{C_S C_P^Y}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-Xs}} \\ C_s d^{Xs} & \text{при } \left(\dfrac{C_S C_P^Y}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-Xs}} \le d \le \left(\dfrac{P_{М.П.}^Y}{C_S C_P^Y}\right)^{\frac{1}{Xs+Y}} \\ \left(\dfrac{P_{М.П.}}{C_P}\right)^Y \dfrac{1}{d^Y} & \text{при } d > \left(\dfrac{P_{М.П.}^Y}{C_S C_P^Y}\right)^{\frac{1}{Xs+Y}}. \end{cases} \quad (9)$$

Аналіз виразу (9) показує, що при малих діаметрах свердел обмежуючою умовою величин подач є їхня стійкість, і тільки починаючи з певних діаметрів параметрами, що лімітують, процес свердління стають міцність свердел і механізму подачі.

Як приклад на рис.1 показані графіки залежності величини подач від діаметрів свердел, визначених з умов їх стійкості й міцності при свердлінні сталей з $\sigma_B = 75кгс/мм^2$, $\sigma_B = 100кгс/мм^2$ і чавунів із НВ 170.

У загальному випадку на підставі рівняння (9) характер залежності $S = \psi(d)$ виразиться графіком наведеному на рис.2.

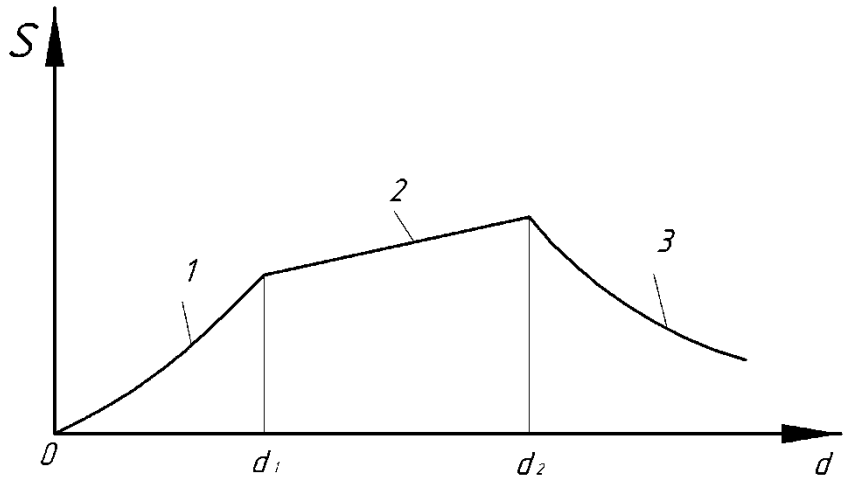

Рис. 2. Характер залежності $S = \psi(d)$

1 - обмеження подачі по стійкості; 2 - обмеження подачі по міцності свердла на крутіння; 3 - обмеження подач по міцності механізму подач

Fig. 2. The nature of the addiction $S = \psi(d)$

1 - feed restriction on stability; 2 - limiting the feed strength of the drill bit for torsion; 3 - limitation of feeds on the strength of the feed mechanism

Значення осьового зусилля P_o при свердлінні свердлами різних діаметрів визначається з урахуванням рівняння (9) по формулі:

$$P_0 = C_P d[\psi(d)]^{Yp} \tag{10}$$

Так, як величини діаметрів в інтервалі $0 < d \le d$ (див. рис. 2) невеликі $d_{1\max} = 2,5-3$ мм, то значення P_0 для таких свердел будуть незначні. Враховуючи те що в цьому інтервалі подачі вибираються з умови стійкості свердел, будемо вважати свердло абсолютно жорстким у поздовжньому напрямку. Знаючи приведену жорсткість верстата - $C_{пр}$ можемо знайти переміщення шпинделя Δ, як результат пружних деформацій деталей верстата від впливу осьової сили - P_0.

$$\Delta = \frac{P_0}{C_{ПР}} = \frac{C_P d[\psi(d)]^{Yp}}{C_{ПР}}. \tag{11}$$

Слід зазначити, що наведена твердість верстата залежить від діаметра свердла, тому що цей параметр визначає необхідні частоти обертання шпинделя й значення подач. У верстаті це відтворюється певними кінематичними ланцюгами тобто відповідною комбінацією зачеплень шестірень, валів, запобіжних пристроїв і т.д.

На підставі вищевикладеного випливає, що процес виходу свердел може мати різний характер.

Для свердел, діаметри яких перебувають в інтервалі:

$$0,25 \le d \le \left(\frac{C_S C_P}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-Xs}} \tag{12}$$

внаслідок малої подачі і осьової сили різання величина приведеної до шпинделя пружної деформації деталей верстата незначна. Тому, при виході свердла з заготовки, збільшенням подачі через наявність незначних пружних деформацій верстата можна знехтувати і вважати її постійною. Коли в момент виходу свердла шар металу під його ріжучими лезами починає випучуватися і розриватися з утворенням тріщин і своєрідних консольно-закріплених пелюсток, то під впливом конічної частини свердла, що рухається, вони звиваючись, утворюють заусениці. Якщо врахувати, що для свердел зазначених діаметрів величина подачі встановлювалася з умови забезпечення їх стійкості і з певним запасом міцності на кручення (див. рис. 1), а також і те, що в міру заглиблення свердла в процесі свердління збільшується коефіцієнт наведеної довжини μ то на виході свердла параметром, що лімітує подачу, стає допустиме значення крутного моменту. У такий спосіб представляється можливим, регулювати величину подачі в сторону зменшення чи збільшення в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, на величину $\Delta S = Csd^{Xs} - C_0 d^Y$ й зрізати при цьому допоміжними лезами, що утворюються заусениці.

Для свердел, діаметри яких більше величини $\left(\frac{C_S C_P}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-Xs}}$ і подача лімітується їхньою міцністю характер зміни подачі на виході в основному визначається наведеною жорсткістю верстата.

Якщо діаметри свердел незначно більше величини $\left(\frac{C_S C_P}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-Xs}}$, а виникаюче при цьому осьове зусилля P_0 викликає деформації верстата $\Delta = \kappa_0 S_1$, де $\kappa_0 = 0,2...0,3$, то практично при виході свердла подачу слід залишати незмінною. Для цього випадку граничні значення діаметрів свердел можна визначити з наступних міркувань. Знаючи

приведену до шпинделя жорсткість верстата й використавши залежності (9) і (10) можна записати

$$\Delta = \frac{P_0}{C_{ПР}} = \frac{C_P d[\psi(d)]^{Yp}}{C_{ПР}}, \qquad (13)$$

але оскільки $S_1 = S_s d^{Xs}$, то тоді

$$\kappa_0 C_s d^{Xs} C_{пр} = C_P d (C_S d^{Xs})^Y \qquad (14)$$

Розв'язавши рівняння (10) відносно d, при максимальному значенні κ_0 одержимо:

$$d \le \left(\frac{k_{0\max} C_{пр} C_s^{1-Y}}{C_P} \right)^{\frac{1}{1+Xs(Y-1)}} \qquad (15)$$

Для свердел, діаметри яких більше значень наведених у формулі (15) виникає необхідність зменшувати подачу. Момент початку зменшення подачі свердла повинен починатися на відстані від нижнього торця оброблюваної деталі рівному величині приведеної деформації привода до шпинделя, що виражається з врахуванням (15) функції діаметра свердла залежністю:

$$\sigma = \frac{C_P d C_S^Y d^{0,6Y}}{C_{пр}} = C_2 d^{0,6Y} \qquad (16)$$

Таким чином, величина небезпечної зони, по досягненню якої слід зменшувати подачу на підставі (16) залежить від: фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, приведеної до шпинделя жорсткості привода верстата й діаметра свердла.

Висновки

1. Отримані залежності дають можливість для кожного конкретного випадку визначити закони зміни подачі свердла в процесі його виходу з наскрізного отвору заготовки. Отримані дані є вихідними при розробленні й проектуванні спеціальних приводів і пристроїв, що забезпечують автоматичну зміну подачі при виході інструмента, а тим самим підвищення ефективності і якості обробки, а також підвищення експлуатаційної надійності свердел і їх захисту від поломок.

Список літератури

1. *Нагорняк С. Г., Луцив И. В.* Обработка отверстий большого диаметра инструментами с адаптивной кинематичесской связъю. Технология и организация производства. 1987. № 4. С. 27–29.

2. *Косилов А. Г.* Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Москва. Машиностроение, 1995. Т. 2. 495 с.

3. *Ящерицын П. И.* Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск. Высшая школа, 1981. 560 с.

4. *Бобров В. Ф.* Основи теории резания металлов. Москва. Машиностроение, 1975. 344 с.

5. *Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С.* Резание металлов: Термодинамический подход к системе взаимосвязей при резании: Учебн. для техн вузов. Москва. Издательство МГТУ им. Н. З. Баумана, 2001. 448 с.

6. *Грановский Г. И., Грановский В. Г.* Резание металлов. Москва. Высшая школа, 1985. 304 с.

7. *Крагельский И. В.* Трение и износ. Москва. Машиностроение, 1968. 480 с.

8. *Кожевников Д. В., Кирсанов С. В.* Резание металлов. Москва. Машиностроение, 2007. 303 с.

9. *Лоладзе Т. Н.* Износ режущего инструмента. Москва. Машиностроение, 1958. 480 с.

10. *Лоладзе Т. Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. Москва. Машиностроение, 1982. 320 с.

11. *Макаров А. Д.* Оптимизация процессов резания. Москва. Машиностроение, 1966. 278 с.

12. *Подураев В. Н., Камалов В. С.* Физико-химические методи обработки. Москва. Машиностроение, 1973. 346 с.

13. *Грабар І. Г.* Теорія різання: навчальний посібник. Житомир: ЖДТУ, 2006. 250 с.

14. *Арморего И. Дж., Браун Р. Х.* Обработка материалов резанием. Пер. с англ. Москва. Машиностроение, 1977. 329 с.

15. *Гаркунов Д. Н.* Триботехника. Москва. Машиностроение, 1989. 328 с.

16. *Остафьев В. А.* Расчет динамической прочности режущего инструмента. Москва. Машиностроение, 1979. 168 с.

17. Физические основи процесса резания металлов. Под ред. *Остафьева В. А.* Киев. Высшая школа. 1976. 135 с.

18. *Якимов А. В., Слободянник П. Т., Усов А. В.* Теплофизика механической обработки. Киев. Одесса: Лыбидь, 1991. 240 с.

19. *Резников А. Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. Москва. Машиностроение, 1981. 279 с.

20. *Розенберг Ю. А.* Резание материалов. Учебник для техн. вузов. Курган: Изд-во ОАО Полиграфический. Зауралье: 2007. 294с.

21. *Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. З.* Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск: Выща школа. 1990. 512 с.

References

1. *Nagornyak S. G., Lutsiv I. V.* (1987). Usinage de trous de grand diamètre avec des outils cinématiques adaptatifs. Technologie et organisation de la production. N ° 4. 27−29.

2. *Kosilova, A. G.* (1995). Technologue-constructeur de machines de référence: en 2 t. Kosilova, R.K. Meshcheryakov. M .: Ingénierie. T. 2. 1985. 495.

3. *Yashcheritsyn, P. I.* (1981). Bases des matériaux de coupe et des outils de coupe. P. I. Yascheritsyn, L. M. Eremenko, N. I. Zhigalko. Mn.: Vysh. École, 560.

4. *Bobrov V. F.* (1975). Fondements de la théorie de la coupe du métal. M. Génie mécanique, 344.

5. *Vasin S. A., Vereshchak A. S., Kushner V. S.*

(2001). Coupe du métal: approche thermodynamique du système de relations dans la coupe: Manuel. pour les universités de technologie. M.: Maison d'édition de MGTU im. N. Z. Bauman, 448.

6. *Granovsky G. I., Granovsky V. G.* (1985). Coupe de métal. M .: École supérieure, 304.

7. *Kragelsky I. V.* (1968). Friction et usure. M.: Génie mécanique, 480.

8. *Kozhevnikov D. V., Kirsanov S. V.* (2007). Coupe de métal. M .: Ingénierie, 303.

9. *Loladze T. N.* (1958). Usure d'un outil de coupe M.: Mechanical Engineering, 480.

10. *Loladze T. N.* (1982). Résistance et résistance à l'usure d'un outil de coupe M.: Mechanical Engineering, 320.

11. *Makarov A. D.* (1966). Optimisation des processus de coupe. M .: Engineering, 278.

12. *Poduraev V. N., Kamalov V. S.* (1973). Méthodes de traitement physico-chimiques. M .: Engineering, 346.

13. Theory of Rezannya: The First Courier. Zhytomyr (2006): ZhDTU, 250.

14. *Armorego I. J., Brown R. H.* (1977). Cutting materials. Per. from English M.: Engineering, 329.

15. *Garkunov D. N.* (1989). Tribotechnology. M.: Engineering, 328.

16. *Ostafiev V. A.* (1979). Calculation of the dynamic strength of the cutting tool. M.: Mechanical engineering, 168.

17. The physical basis of the metal cutting process. Ed. *Ostafieva V. A.* (1976). K.: Higher school. 135.

18. *Yakimov A. V., Slobodiannik P. T., Usov A. V.* (1991). Thermophysics of machining. TO.; Odessa: Lybid, 240.

19. *Reznikov A. N.* (1981). Thermophysics of the processes of mechanical processing of materials M.: Mechanical Engineering, 279.

20. *Rosenberg Yu. A.* (2007). Cutting materials. The textbook for tech. Universities. Kurgan: Publishing House OJSC Printing. Zauralie. 294.

21. *Lizard P. I., Eremenko M. L., Feldstein E. Z.* (1990). Theory of cutting. Physical and thermal processes in technological systems. Minsk: High. school. 512.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ СВЕРЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ

М. Б. Клендий, М. И. Клендий, Р. В.Шатров

Аннотация. Целью исследования является обоснование необходимости изменения подачи сверла при его выходе из детали с учетом жесткости вертикально-сверлильных станков, физико-механических свойств материала заготовки, заточки сверл и другое. Объектом исследования является технологический процесс сверления сквозных отверстий на станках с механической подачей. Предметом исследования являются закономерности протекания процесса сверления сквозных отверстий и влияние на них режимов резания.

В работе приведены теоретические зависимости для назначения подач в зависимости от диаметров используемых сверл, определение зоны, начиная с которой необходимо уменьшать подачу, определения значений осевого усилия при сверлении отверстия.

Полученные теоретические зависимости для определения значений величин подач станка в зависимости от диаметра сверла с учетом различных ограничений, а именно: устойчивости и прочности сверл, прочности механизма подач станка, а также для определения величины зоны выпучивания, при достижении сверлом которой необходимо уменьшить подачу.

Результаты установлено, что для повышения эксплуатационной надежности сверл и их защиты от поломок необходимо на выходе инструмента из детали автоматически уменьшать величину подачи.

Ключевые слова: подача, отверстие, осевое усилие, сверления.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF REGULATION OF BORROWING SUBMISSION FOR HANDLING HOLES

M. B. Klendii, M. I. Klendii, R. V. Shatrov

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the need to change the feed of the drill at its exit from the part taking into account the rigidity of the vertical-drilling machines, the physical and mechanical properties of the workpiece material, sharpening drills and more. The object of the study is the technological process of drilling through holes on machines with mechanical feed. The subject of the study is the regularity of the process of drilling through holes and the influence of cutting modes on them.

The paper presents theoretical dependencies for the purpose of feeding depending on the diameters of the drills used, the determination of the zone from which it is necessary to reduce the flow, the determination of the values of the axial force when drilling the hole.

Theoretical dependences were obtained to determine the values of the machine feeds, depending on the diameter of the drill, taking into account various restrictions, namely: the stability and strength of the drills, the strength of the machine feed mechanism, as well as to determine the size of the zone of production, when reaching the drill which must reduce the flow.

Results: It is found that to increase the operational reliability of the drill bits and to protect them from breakage, it is necessary to automatically reduce the feed size at the outlet of the tool.

Key words: feed, hole, axial force, drilling.

М. Б. Клендій ORCID 0000-0001-8271-5381.
М. І. Клендій ORCID 0000-0003-0762-7992.
Р. В. Шатров ORCID: 0000-0002-3596-0146.