

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ СТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК

У статті представлені результати теоретичних й експериментальних досліджень процесу глибокого свердління спіральними свердлами. Отримана математична модель залежності осьового зусилля від глибини різання, діаметру свердла, подачі і швидкості різання.

Ключові слова: глибоке свердління, механізм подач, стійкість, жорсткість, ефективність, математичне моделювання.

Постановка проблеми. У даний час спостерігається тенденція, коли багато операцій, які здійснюються на розточувальних верстатах, переводять на більш дешеві і простіші вертикально-свердлильні верстати. Свердління глибоких отворів є трудомісткою технологічною операцією, особливо при обробці в'язких матеріалів. В системі верстат – пристосування – інструмент – деталь (ВПД) при глибокому свердлінні в найбільш важких умовах працює інструмент (спіральне свердло). Замкнений об'єм обробки, різноманітні функції, виконання яких повинна забезпечувати конструкція інструменту та форсовані режими різання змушують працювати корпус свердла, його ріжучі і напрямні елементи із значними напруженнями. Ці обставини роблять незаперечними переваги переведення механічної обробки отворів на вертикально-свердлильні верстати в умовах машинобудівного виробництва при обробці складнопрофільних поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологія глибокого свердління спіральними свердлами докорінно відрізняється від свердління кільцевими та гарматними свердлами. Основними відмінностями є кінематичні й динамічні особливості токарних, свердлильних верстатів і модулів, можливість керування вихідними параметрами процесу за рахунок використання в складі технологічної системи опорних елементів з різними характеристиками і т.д. Використання відомих теорій свердління гарматними свердлами, щодо процесу глибокого свердління спіральними свердлами, практично не можливе [1-6].

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми Широке розповсюдження глибокого свердління стримується відсутністю визначення раціональних галузей його використання, практичних рекомендацій і методик для одержання заданої точності і якості оброблених поверхонь при найменших витратах. Розробка теорії й методів підвищення ефективності процесу глибокого свердління спіральними свердлами з урахуванням одержання необхідної якості виробу являє собою актуальну проблему, що має велике значення для економіки України.

Постановка завдання. У зв'язку з вищевикладеним, метою роботи є підвищення економічної ефективності свердління глибоких отворів за рахунок збільшення продуктивності процесу різання, підвищення стійкості інструменту, надійності процесу свердління, зменшення енерговитрат та кількості використовуваного інструменту. При вирішенні поставленого завдання необхідно провести теоретичні й експериментальні дослідження, оцінити точність і достовірність одержуваних результатів. Об'єктом дослідження є обладнання для виконання глибокого свердління. Предметом дослідження є фізика явищ, які виникають при взаємодії свердла з заготовкою, а також вплив параметрів і режимів роботи обладнання на показник шорсткості оброблюваної поверхні.

Основний матеріал і результати. Для практичної реалізації глибокого свердління спіральним свердлом нам необхідно здійснити технологічне забезпечення, а саме: отримати залежності і дані для розрахунків і вибору типу пристрою для вимірювання осьового зусилля у випадку, коли

$$P_{o\max} \leq [P_{m.n.}], \quad (1)$$

де $P_{o\max}$ – максимальне осьове зусилля при свердлінні, Н;

$[P_{m.n.}]$ – допустиме, регламентоване паспортом верстата зусилля механізму подачі, Н.

А також конструктивних параметрів пружного елемента пристрою, наприклад, пружини, із забезпеченням умови

$$P_{np} \geq P_o, \quad (2)$$

P_{np} – зусилля, що створюється пружиною при її деформації (стиску) в процесі різання, Н;

P_o – осьове зусилля при свердлінні, Н.

Аналіз значень осьових зусиль P_o , кН, визначених за різними діючими нормативами та довідниками [1-4] при постійних значеннях глибини різання t , діаметру свердла $D = 30$ мм, подачі $S = 0,06$ мм/об., швидкості різання $V = 16$ м/с наведені на рис. 1.

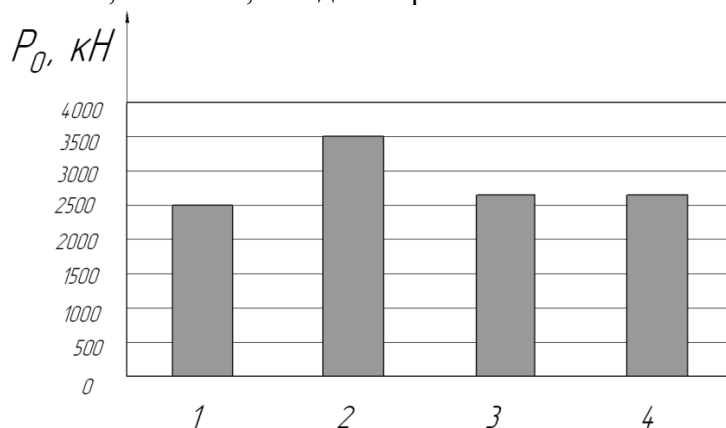


Рис. 1. Гістограма значень осьового зусилля P_o (кН) при свердлінні отвору в матеріалі сталь 40 при $d = \text{const}$, $S = \text{const}$, $V = \text{const}$ відповідно до літературних джерел [1-4]

Аналіз наведених даних свідчить про суттєву різницю визначення осьового зусилля при глибокому свердлінні спіральними свердлами, для нашого випадку в межах від 250 до 340 кН, і, відповідно, різні режими різання при свердлінні. З метою отримання достовірних значень P_o при свердлінні глибоких отворів нами запропонована методика, яка базується на використанні елементів теорії ймовірностей.

Дослідження процесу глибокого свердління зразків з сталі 40 планується проводити на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н135. Схема установки показана на рис. 2.

Свердлильний верстат складається зі шпинделя, в який кріпиться свердло (рис. 2). Заготовка 1, що свердлиється, закріплюється на столі верстата.

Як цільову функція оцінки можливостей елементів технологічної системи доцільно прийняти продуктивність процесу глибокого свердління Q [2]

$$Q = \frac{V \cdot S \cdot d \cdot T}{2(T + t_{зм})}, \quad (3)$$

де V , S , d – величини швидкості, подачі і діаметру свердління, м/хв., мм/об., мм відповідно;

T – період стійкості свердла, хв.;

$t_{зм}$ – час заміни інструменту, хв.

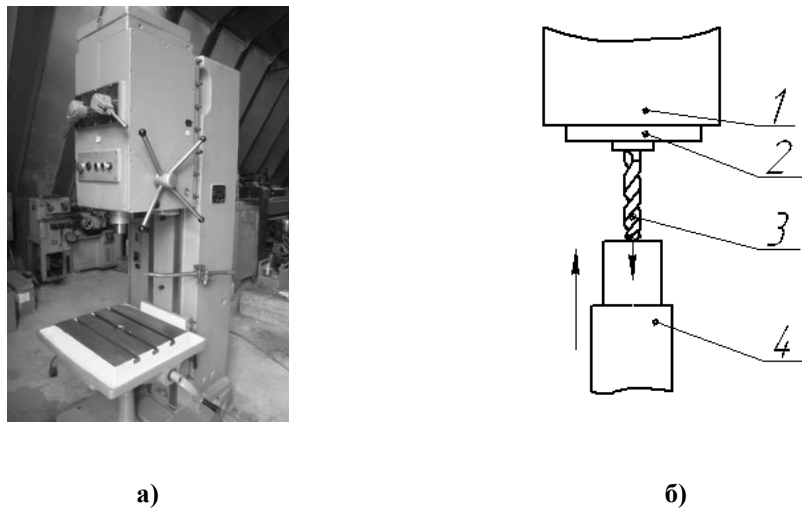


Рис. 2. Дослідна установка: а – вигляд загальний; б – конструктивна схема: 1 – верстат; 2 – шпиндель; 3 – свердло; 4 – заготовка

Для досягнення найвищої продуктивності процесу свердління необхідно вести обробку з максимально допустимою величиною подачі S . У той же час максимальна допустима подача свердління обмежується міцністю і стійкістю свердла. Контролюється вимірюванням осевого зусилля.

Подача, обмежена міцністю робочої частини свердла. Може бути визначена

$$S = \sqrt[3]{\frac{0,02d^{(3-x_m)} \cdot \sigma_s}{1,73 \cdot C_m \cdot HB}} \quad (4)$$

де d – діаметр інструменту, мм;

σ_s – допустиме напруження для матеріалу інструменту, МПа;

C_m , ум, хм – постійні коефіцієнти, які залежать від механічних властивостей матеріалу, що оброблюють, а також матеріалу ріжучої частини свердла;

HB - твердість матеріалу, що оброблюють.

Із збільшенням глибини свердління спіральним свердлом подача S , крім того, також обмежується поздовжньою стійкістю стебла інструменту. Оскільки осьова сила різання при свердлінні P не повинна перевищувати критичну силу $P_{кр}$, Н, що визначається

$$P_{кр} = \frac{E \cdot \pi^3 \cdot I}{(\mu \cdot l)^2} \quad (5)$$

де E – модуль пружності, Па;

I – момент інерції поперечного перетину інструменту, кг·м²;

μ – коефіцієнт приведеної довжини;

l – довжина стебла свердла, мм.

Для збереження поздовжньої стійкості стебла інструмента у міру збільшення глибини обробки необхідно зменшувати осьову складову сили різання шляхом зниження подачі. Проте, зменшення подачі призводить до збільшення питомої сили різання, що, у свою чергу, якісно впливає на процес різання. Обробка глибоких отворів на малих подачах є малопродуктивною, а на граничних подачах – веде до зниження якості обробки отворів.

Наявність наведених обмежень по міцності, стійкості інструменту і мінімальному значенню допустимої подачі свердління визначає область можливого вибору допустимих параметрів технологічної системи. Існуюча теорія і практика глибокого свердління дає деякі рекомендації економічної доцільності тих або інших способів глибокого свердління, які показані на рис. 3. Зрозуміло, що ці рекомендації певною мірою є умовними, а їх межі

розпливчасті і у кожному конкретному випадку обробки глибоких отворів можуть бути переглянутими [3].

Теоретичні дослідження при обробці сталі 40 дозволяють використати наведені дані для вибору рекомендованих параметрів інструменту для глибокого свердління. З наведених на рис. 3 графіків можна зробити висновок, що економічно доцільно виконувати операції глибокого свердління спіральними свердлами у відносно широких межах – до 200D.

Проте можливості підвищення жорсткості інструменту за рахунок зміни форми перерізу стебла свердла на даний час досить повно вивчені і практично вичерпані. Тому, вказуючи на складність істотного підвищення жорсткості свердла за рахунок оптимізації його поперечного перерізу, основна увага спрямована на раціональну експлуатацію свердел.

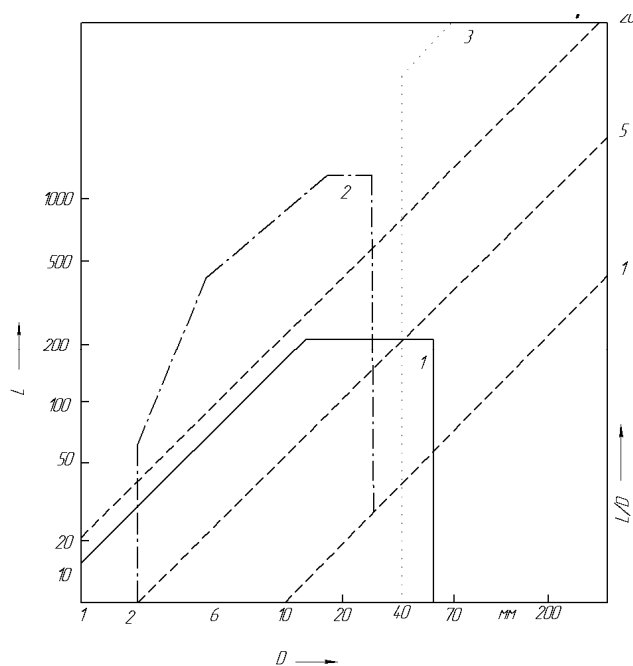


Рис. 3. Номограма для визначення економічної ефективності способів глибокого свердління залежно від глибини L та діаметра D обробки:

1 – область можливої обробки спіральними свердлами;

2 – розсвердлювання 3 – область обробки гарматними свердлами

Експериментальні дослідження визначення номінальних значень осьових зусиль при свердлінні сталі 40 здійснювали шляхом забезпечення міцності стебла свердла за умови збереження інструментом повздовжньої стійкості різними розмірами інструмента при фіксованому значенні подачі. Одержані значення осьового зусилля P_o нанесені на графік рис. 4. З'єднання точок відбувалось шляхом апроксимації.

Аналіз наведених на рис. 4 графічних залежностей свідчить, що робоча область в системі координат „подача-осьове зусилля” визначається двома показниками: мінімальною для даного діаметру свердла величиною подачі, що визначається стійким характером стружкоутворення і мінімальною продуктивністю, а також максимально допустимою величиною подачі відповідно з міцністю поперечного перерізу інструменту і подовжньої стійкості стебла свердла.

Нами доведена можливість використання рекомендацій [3], які впевнено забезпечують використання рекомендованих режимів різання при досягненні економічної доцільності. Узагальнення результатів експериментальних досліджень створили основу для аналізу ефективності процесу свердління зі змінним вильотом інструмента.

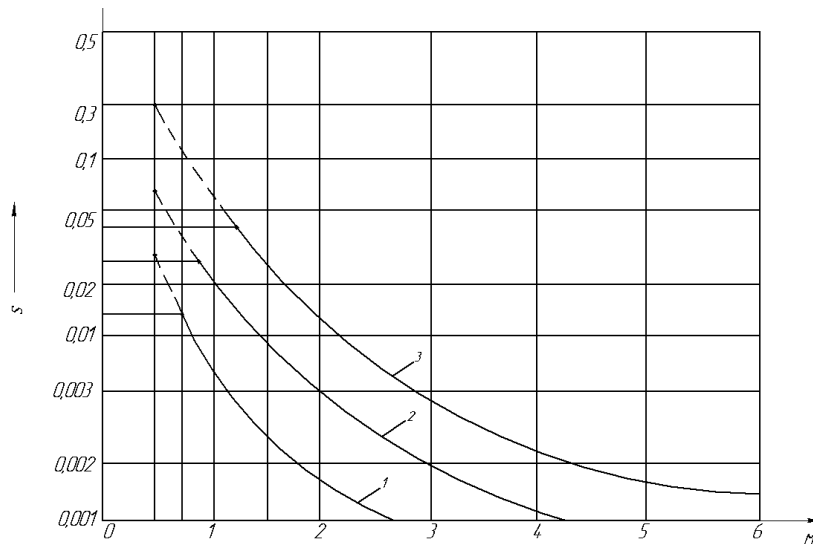


Рис. 4. Допустимі подачі S при обробці сталі 40

за умови міцності стебла свердла і умови збереження інструментом подовжньої стійкості при одержаному осьовому зусиллі

при діаметрі свердла: 1–5 мм; 2 – 7,5 мм; 3 – 10мм

Відомо [3], що величина стійкості інструмента зі збільшенням глибини свердління нелінійно залежить від довжини вільоту

$$\left(\frac{T}{T_0}\right)^m = \left(\frac{l_0}{l}\right)^n \quad (6)$$

де l – робоча довжина вільоту, мм;

l_0 – вихідна розрахункова довжина вільоту, мм;

m, n – показники, які враховують вплив вільоту на стійкість інструменту.

Залежно від способу виготовлення свердла, а також матеріалу, який оброблюють, показники степенів m і n за результатами досліджень [4, 5] приймають в межах від 0,2 до 0,3.

Проаналізувавши процес глибокого свердління отворів свердлом зі змінним вільотом, необхідно відзначити, що величина вільоту буде однаковою тільки на граничній глибині обробки. Протягом усього процесу обробки при роботі зі змінним вільотом інструмента ця величина завжди буде меншою. Таким чином, за всіма рівними умовами відношення стійкості інструмента при обробці зі змінним вільотом може бути визначене

$$\frac{T}{T_0} = \frac{k - k^{\frac{n}{m}}}{k - 1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{n}{m}}, \quad (7)$$

де k – відношення вільоту наприкінці обробки до вихідного вільоту.

Відповідно до залежностей будуюмо графіки стійкості інструмента при свердлінні зі змінним вільотом від відношення вільотів наприкінці і початку обробки (рис. 5). Показник степеня n , що враховує вплив вільоту на стійкість, при цьому прийнятий рівним 0,25.

Наведені графічні залежності показують, що зі збільшенням відношення вільотів наприкінці і початку обробки, стійкість інструмента зростає. З погіршенням оброблюваності матеріалу (збільшення показника n) ефект зростання стійкості збільшується. Ці висновки співпадають з експериментальними дослідженнями, проведеними в роботі на звичайних свердлах постійного перерізу по всій довжині інструмента, які показали, що обертові коливання, які знижують стійкість свердлів, є пропорційними кубу

довжини вильоту свердла. При цьому шляхом зменшення довжини вильоту свердла можна збільшити величину подачі в три-сім разів при одночасному збільшенні стійкості інструмента від трьох до семи разів.

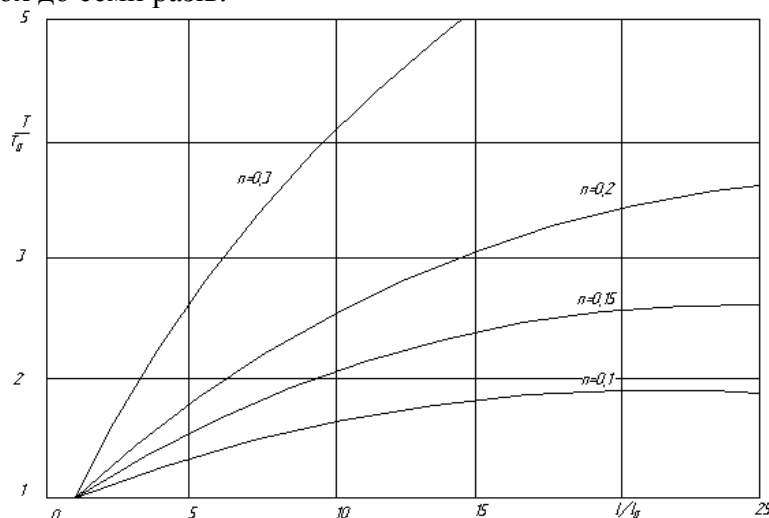


Рис. 5. Стійкість інструмента при свердлінні зі змінним вильотом

Висновки. Аналіз отриманих теоретичних і експериментальних даних показує, що значення глибини свердління поверхні в основному залежить від глибини різання, діаметру свердла, подачі і швидкості різання. Також уточнені параметри режимів різання при глибокому свердлінні сталі 40 спіральними свердлами. Для підвищення продуктивності процесу свердління необхідно вести обробку з максимально допустимою величиною подачі. У той же час максимальна допустима подача свердління обмежується міцністю і подовжньою стійкістю інструменту.

Література

1. Пестунов В.М. Решение проблем глубокого сверления в металлообработке / В.М. Пестунов, В.В. Свяцкий, Л.П. Свяцкая // Вестник НТУУ „КПИ”. – К.: НТУУ «КПИ», 2006. – №49. – С.173-178.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мецержакова. – М.: Машиностроение, 1983. – Т. 1. – С. 100 – 105.
3. Устройство для сверления сквозных отверстий. А.с. 1491624 СССР, МКП В23 В47/00/ Нагорняк С.Г., Кузьмин Н.И., Кривый П.Д. (СССР) – №4279167/31-08; заявлено 07.07.87; опубл. 07.07.89, бюл. №25. – 4 с.
4. Устройство для сверления отверстий малого диаметра. А.с. 975238 СССР, МКП В23 В47/00/ Кузьмин Н.И., Кривый П.Д., Сопрончук В.Н.(СССР)–№3326065/25-08; заявлено 07.08.84; опубл. 23.11.82, бюл. №43 – 2 с.
5. Ertunc H.M. Decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in Drilling / H.M. Ertunc, K.A. Loparo // International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2001. – №41. – P. 1347-1362.
6. Hong Li. Research on deep drilling / Hong Li // Applied Mechanics and Materials, 2012. – №101-102. – P. 1101-1104.

©А.В. Васильєв, С.В. Попов, І.В. Тимошенко

УДК 621.923.01

А.В. Васильев, к.т.н., доцент

С.В. Попов, к.т.н., доцент

И.В. Тимошенко, магистрант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса глубокого сверления спиральными сверлами. Получена математическая модель зависимости осевого усилия от глубины резания, диаметра сверла, подачи и скорости резания.

Ключевые слова: *глубокое сверление, механизм подач, устойчивость, жесткость, эффективность, математическое моделирование.*

UDC 621.923.01

A.V. Vasilyev, Ph.D.

S.V. Popov, Ph.D.

I.V. Timoshenko, master student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

IMPROVING THE EFFICIENCY DEEP DRILLING OF STEEL BILLET

The article presents the results of theoretical and experimental studies of the process of deep drilling spiral drill. Mathematical model of dependence of the axial force from the depth of cut, drill diameter, feed and cutting speed.

Keywords: *deep drilling, the feed mechanism, stability, stiffness, efficiency, and mathematical modelling.*