

Підвищення ефективності процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами

Наведені теоретичні і експериментальні дослідження механізмів приводів верстатів для обробки глибоких отворів спіральними свердлами. Показано, що застосування пристроїв із змінною величиною вильоту інструмента, а також механізмів вібраційного свердлення підвищують ефективність обробки глибоких отворів.

глибоке свердлення, вібраційне різання, стійкість, жорсткість, інструмент, ефективність

Свердлення глибоких отворів є трудомісткою технологічною операцією, особливо при обробці в'язких матеріалів. В системі верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) при глибокому свердлінні в найбільш важких умовах працює інструмент – свердло [1]. Замкнений об'єм обробки, різноманітні функції, виконання яких повинна забезпечувати конструкція інструменту, форсовані режими різання змушують працювати корпус свердла, його ріжучі і напрямні елементи з високими напруженнями.

Відомо, що в основі оптимізації процесу глибокого свердлення лежить функція стійкості інструменту від параметрів процесу різання [2]. Математичний опис цього процесу визначається великим числом взаємозв'язаних чинників, які не подаються на сьогоднішній день узагальненню. Основним елементом системи ВПД, що обмежує вихідні параметри верстата при глибокому свердлінні, є інструмент. Оптимізація процесу глибокого свердлення при цьому зводиться, як правило, до зняття певних технічних обмежень по стійкості, міцності або жорсткості свердла.

Для підвищення продуктивності процесу свердлення необхідно вести обробку з максимально допустимою величиною подачі. У той же час максимальна допустима подача свердлення обмежується міцністю і подовжньою стійкістю інструменту.

Подача, допустима міцністю робочої частини свердла, може бути визначена по формулі [3]:

$$S_{\Pi} = y_M \sqrt{\frac{0,02 \cdot d^{3-x_M} \cdot \sigma_{\Pi}}{1,73 \cdot C_M \cdot HB}}, \quad (1)$$

де d – діаметр інструменту;

σ_{Π} – допустима напруга для матеріалу інструменту;

C_M , y_M , x_M – постійні коефіцієнти, які залежать від механічних властивостей матеріалу, що оброблюють, і матеріалу ріжучої частини свердла;

HB – твердість матеріалу, що оброблюють, по Брінеллю.

Із збільшенням глибини свердлення швидкість подачі обмежується подовжньою стійкістю стебла інструменту, оскільки осьова складова сил різання не повинна перевищувати критичну силу по Ейлеру, що визначається по формулі [3]:

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

де $P_{кр}$ – критична сила;

E – модуль пружності;

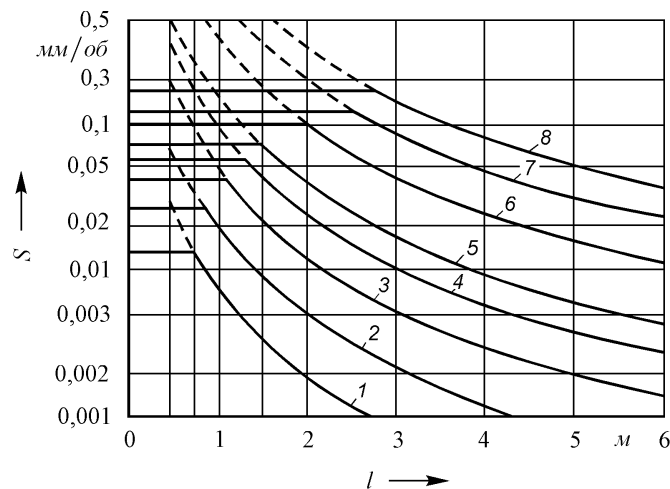
l – довжина стебла свердла;

I – момент інерції поперечного перетину інструменту;

μ – коефіцієнт приведенної довжини; η – коефіцієнт стійкості.

Для збереження подовжньої стійкості стебла інструмента у міру збільшення глибини обробки необхідно зменшувати осьову складову сили різання шляхом зниження швидкості подачі. Проте, зменшення швидкості подачі приводить 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.

На рис. 1 наведені графіки допустимої швидкості подачі при обробці сталі 45 за умови міцності стебла свердла по крутильному моменту і умови збереження інструментом подовжньої стійкості відповідно до залежностей (1) і (2).



Діаметр свердла: 1 – 5 мм; 2 – 7,5 мм; 3 – 10 мм; 4 – 12,5 мм;
5 – 15 мм; 6 – 20 мм; 7 – 25 мм; 8 – 30 мм

Рисунок 1 – Допустимі подачі при обробці сталі 45 за умови міцності стебла свердла по крутильному моменту і умови збереження інструментом подовжньої стійкості

Аналіз приведених на рис. 1 графічних залежностей свідчить, що робоча область в системі координат „подача – глибина свердлення” визначається двома показниками: мінімальною для даного діаметру свердла величиною подачі, що визначається стійким характером стружкоутворення і мінімальною продуктивністю; і максимально допустимою величиною подачі відповідно з міцністю поперечного перерізу інструменту і подовжньої стійкості стебла свердла.

В роботі [4] встановлена причина виникнення крутильних коливань свердлів і визначений їхній ступінь впливу на стійкість інструмента. Достатня відповідність в роботі [4] теоретичних досліджень результатам експерименту при обробці титанових сплавів дозволяють використати наведені дані для вибору оптимальних параметрів інструменту для глибокого свердлення. З наведених у роботі [5] графіків можна зробити висновок, що збільшення жорсткості інструмента в півтора-два рази приводить до зниження кута розкручування спіралі свердла у два-три рази.

Проте можливості підвищення жорсткості інструменту за рахунок зміни форми перерізу стеблини свердла на даний час досить повно вивчені і практично вичерпані. Тому автори [5], вказуючи на складність істотного підвищення жорсткості свердла за рахунок оптимізації його поперечного перерізу, звертають основну увагу на раціональну експлуатацію свердлів.

На рис. 2, а показана схема установки свердла з однією проміжною опорою, що поділяє відстань l на ділянки a і b . Застосування даної схеми дозволяє підвищити поздовжню стійкість інструменту при глибокому свердленні. Проте, у міру заглиблення свердла в заготовку змінюється величина його вильоту i , відповідно, відношення a до b , яке для отримання максимальної жорсткості інструменту під час процесу свердлення бажано зберігати постійним. Сказане призводить до ускладнення конструкції механізму. Завдання не вирішується і на схемі (рис. 2, б), не дивлячись на те, що технологічні можливості по допустимій глибині свердлення поліпшуються. Схема (рис. 2, в) забезпечує рівномірну зміну відстані між опорами у міру заглиблення свердла в заготовку, проте наявність пружин і проміжних опор збільшує загальний виліт свердла порівняно з глибиною свердлення.

Підвищення поздовжньої стійкості і жорсткості інструменту в процесі обробки отворів забезпечує схема (рис. 2, г). По цій схемі шток гідроприводу подачі безпосередньо з'єднаний із свердлом. А оскільки жорсткість штока завжди вище за жорсткість свердла при рівних діаметрах, то схема (рис. 2, г) забезпечує підвищення жорсткості інструмента і, відповідно, підвищує ефективність процесу глибокого свердлення. Схема (рис. 2, д) забезпечує подальше підвищення жорсткості інструмента і ефективності свердлення, а схема (рис. 2, е) до того ж скорочує приблизно удвічі осьові габарити приводу подачі.

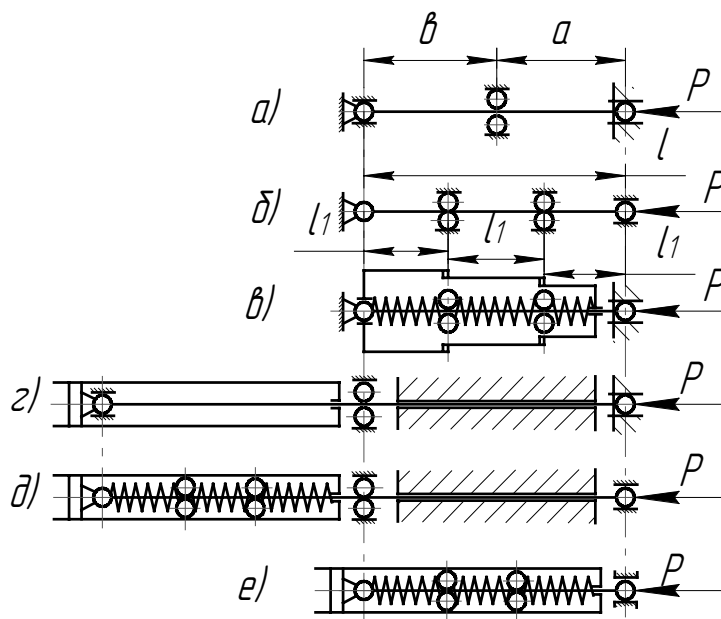


Рисунок 2 – Схеми вирішення задачі підвищення поздовжньої стійкості свердел при глибокому свердлінні [6]

Схеми привода (див. рис. 2), отримані результати досліджень [6] і узагальнення робіт [1 – 6] склали теоретичну основу створення ряду принципово нових конструкцій механізмів зі змінною структурою, що працюють за методом перехоплення стебла інструмента по його довжині. Ці механізми забезпечують передачу крутильного моменту осової сили свердлу при мінімальному вильоті і здійснюють дискретну подачу. Конструктивною особливістю цих механізмів є наявність в осовому напрямку рухливих затискачів і механізму керування затискачами. Механізм керування затискачами забезпечує по чергову фіксацію свердла в осовому напрямку і дискретне його переміщення.

Конструкція механізму привода верстатів для глибокого свердління, розроблена за схемою (рис. 2, г), наведена на рис. 3. У корпусі 1 на підшипниках установлений шпindel 3, виконаний у вигляді гідроциліндра. У циліндрі встановлений поршень 2, шток 4 якого жорстко з'єднаний зі свердлом 5. Для зміни діаметра свердла шпindelна група головки виконана змінною.

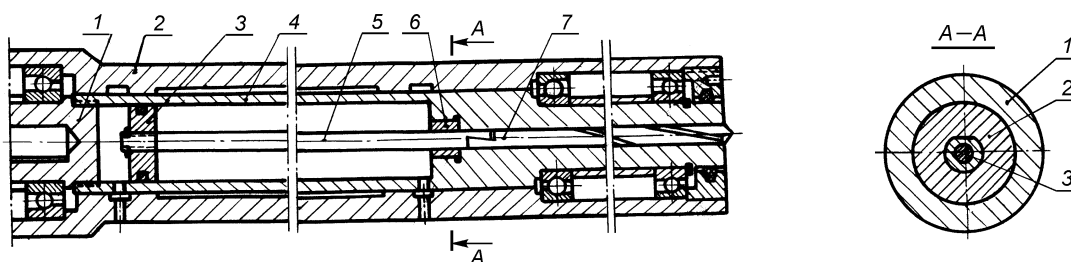


Рисунок 3

Підвищення поздовжньої стійкості штока розглянутого механізму (див. рис. 3) забезпечується установкою проміжних опор (див. рис. 4). Проміжні опори 8 встановлені в циліндрі на штоку 4 по вільному садінні і мають отвори для проходження мастила. Між поршнем 2, опорами 8 і торцевою поверхнею циліндра встановлені спіральні пружини 7 рівної жорсткості. У процесі робочої подачі, що здійснює гідропривід, поршень 2 стискає послідовно встановлені пружини 7, які, в свою чергу, забезпечують рівномірне переміщення проміжних опор у напрямку подачі при рівномірному взаємному зближенні.

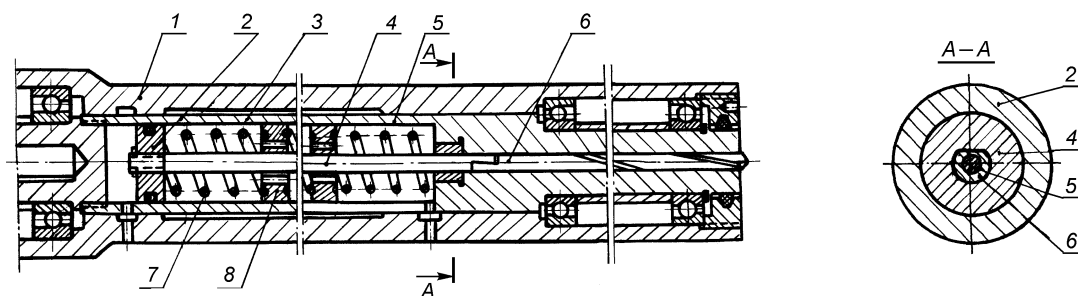


Рисунок 4

Повний цикл зворотно-поступальних рухів свердла надається гідравлічним механізмом подачі, що забезпечує відповідно до заданої програми подачу робочої рідини в праву або ліву порожнини обертового гідроциліндра. Керування циклом роботи гідроприводу і настроювання на задану програму поступальних переміщень здійснюється за допомогою шляхової автоматики (на схемі не показана).

Ефективність обробки глибоких отворів спіральними свердлами можна підвищити завдяки застосуванню вібраційного свердлення, що у порівнянні із традиційним свердленням забезпечує: зниження сил тертя по поверхні контакту інструмента із заготовкою, надійне дроблення і транспортування зливної стружки від зони різання, підвищення ефективності застосування мастильно-охолодного технічного засобу (МОТЗ) тощо.

На рис. 5 показана модульна система привода для глибокого вібраційного свердлення, що дозволяє в широкому діапазоні змінювати параметри обробки [7]. При цьому основною характеристикою інструмента, що визначає умови передачі заданих коливань різальним пругам в процесі вібраційного свердлення, є його крутильна і

осьова жорсткість [2]. Нехтування цим фактором призводить до частої зміни параметрів коливань, які передаються ріжучим пругам інструмента, що в свою чергу істотно впливає на стабільність процесу різання.

Верстат містить привід головного руху, що включає електродвигун 1, коробку швидкостей 2, шпиндель 3, що встановлені на напрямні 4 станини 5. На станині встановлений також вібратор 6, в шпинделі якого закріплений інструмент 7. На коробці швидкостей 2 встановлений гідравлічний циліндр 8 з поршнем 9, шток якого з'єднаний зі станиною 5. Порожнини гідравлічного циліндра з'єднані каналом, в якому встановлений зворотний клапан 10.

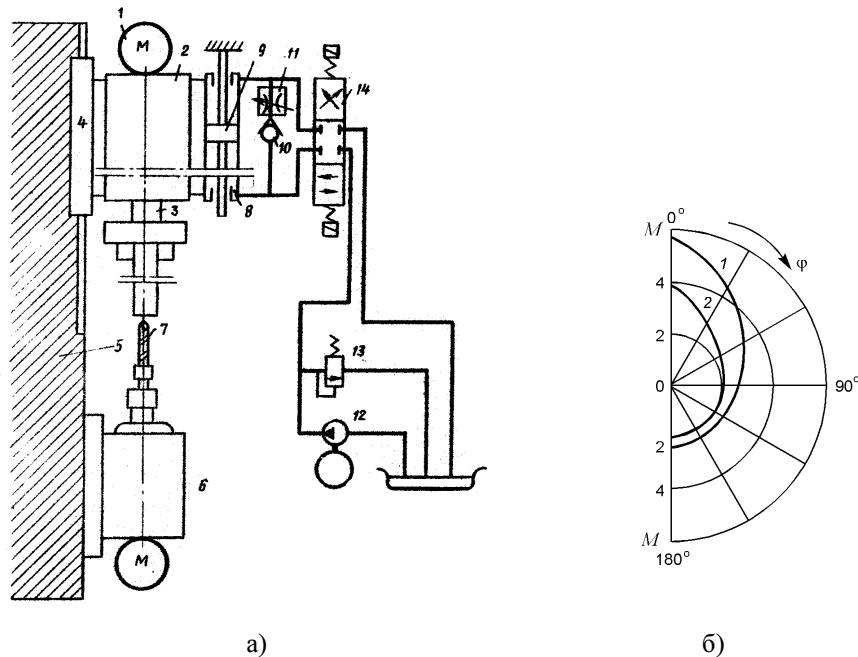


Рисунок 5 – Модульна система приводу для глибокого вібраційного свердлення (а) і залежність крутильного моменту від кута повороту планшайби (б)

В процесі свердлення деталь, закріплена в патроні шпинделя 3, одержує обертання із швидкістю головного руху. Під дією сили ваги рухомих вузлів і деталей привід головного руху 1–3 переміщується у напрямку свердла. Встановлений послідовно дросель 11 обмежує максимально допустиму швидкість цього руху. Для здійснення неробочого і установного переміщень приводу головного руху верстат забезпечений окремим гідроклапаном, що містить насос 12, клапан 13 і розподільник 14. При подачі мастила під тиском в одну із порожнин гідроциліндра 8 забезпечується швидке установне переміщення приводу вгору або вниз по напрямних 4 станини 5.

Підвищити ефективність процесу глибокого свердлення спіральними свердлами можна зміною положення ріжучого інструмента в просторі. Проведені дослідження процесу свердлення показали (рис. 5, б), що поворот планшайби від 0° до 180° (перехід від свердлення зверху до свердлення знизу) забезпечує зниження моменту крутильного навантаження на інструмент в три рази при обробці сталі (рис. 5, б, крива 1) і в два рази при обробці чавуну (рис. 5, б, крива 2) за однакових умов різання. Підведення МОТЗ при цьому здійснюється по внутрішніх каналах в свердлі, через які МОТЗ безпосередньо поступає в зону різання, зменшуючи тим самим дію сил тертя і вимиваючи стружку з отвору, що оброблюється.

Таким чином, проведені теоретичні і експериментальні дослідження показують, що застосування механізмів приводів верстатів для глибокого свердління, що мають

проміжні опори, приводить до збільшення періоду стійкості інструмента. Крім ефекту підвищення стійкості з'являється можливість здійснення безкондукторного свердлення глибоких отворів. Використання вібраційного свердлення підвищує ефективність обробки глибоких отворів спіральними свердлами завдяки надійному дробленню і транспортуванню зливної стружки від зони різання. Застосування даних механізмів фактично знімає обмеження процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами за критерієм поздовжньої стійкості інструмента.

Список літератури

1. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Элементы системы СПИД, ограничивающие выходные характеристики процесса глубокого сверления // *Materialy IV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji „Naukowym progress na rubieży tysiącleci – 2008”*. – Przemysł: Nauka i studia, 2008. – Тум 14. Techniczne nauki. – Str. 53 – 55.
2. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Разработка привода по условиям оптимальной стойкости инструмента и производительности процесса глубокого сверления // *Материали за 4-а международна научна практична конференция „Научно пространство на Европа – 2008”*. – София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2008. – Том 27. Технологии. – С. 28 – 30.
3. Лищинский Л.Ю. Оптимизация операций глубокого сверления // *Станки и инструмент*. – 1971. – №10. – С. 18 – 24.
4. Бурмистров Е.В., Мурашкин Е.М., Таратов А.В. Крутильные колебания и их влияние на стойкость сверл малых диаметров при обработке жаропрочных и титановых сплавов // *Материалы симпозиума „Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация”*. – Вильнюс: ЛитНИИНТИ, 1974. – С. 13.
5. Жилис В.И., Казокайтис В.Ф., Вайкунас П.С. Исследование износа быстрорежущих спиральных сверл // *Материалы симпозиума „Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация”*. – Вильнюс: ЛитНИИНТИ, 1974. – С. 34.
6. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Решение проблем глубокого сверления в металлообработке // *Вестник НТУУ „КПИ”*. Машиностроение. – К.: НТУУ „КПИ”, 2006. – №49. – С. 173 – 178.
7. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Увеличение производительности процесса глубокого сверления изменением пространственного положения инструмента // *Materialy V mezinárodní vědecko-praktická konference „Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2009”*. – Praha: Publishing House „Education and science” s.r.o., 2009. – Díl. 15. Technické vědy. Výstavba a architektura. – S. 14 – 16.

Приведены теоретические и экспериментальные исследования механизмов приводов станков для обработки глубоких отверстий спиральными сверлами. Показано, что применение устройств с переменной величиной вылета инструмента, а также механизмов вибрационного сверления повышают эффективность обработки глубоких отверстий.

In the article the theoretical and experimental researches of mechanisms of machine tools drives for the deep drilling by means of twist bits are considered. The application of devices with a variable quantity of tool extension, and also mechanisms of vibration drilling raise effectiveness of deep-hole machining are demonstrated.