

УДК 621.923

Новіков Ф. В.

д.т.н., професор

кафедра здорового способу життя, технологій і безпеки життєдіяльності

ХНЕУ ім. С. Кузнеця

РОЗРОБЛЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИСОКОТОЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Сучасний стан розвитку технології машинобудування, особливо авіаційного призначення, вимагає виготовлення високоточних деталей з матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями. До них відносяться такі важкооброблювальні матеріали, як високоміцні сталі та сплави, високотверді крихкі матеріали (магнітні й тверді сплави), кольорові метали (бронза, латунь) тощо. Експериментально встановлено, що при цьому найбільш масовими технологічними операціями є обробка отворів у складнопрофільних деталях гідро- та паливорегулюючої апаратури (рис. 1). Для підвищення ефективності їх здійснення застосовують метод високошвидкісного розфрезерування твердосплавними кінцевими фрезами, який забезпечує суттєве підвищення показників точності, якості та продуктивності обробки. Цей метод подібний до внутрішнього шліфування, оскільки діаметр фрези менше діаметра оброблюваного отвору. Однак, на відміну від внутрішнього шліфування тепло, що виділяється при різанні, в основному надходить до стружок, які утворюються. В оброблювану деталь надходить невелика кількість тепла, що й забезпечує високу якість обробки.

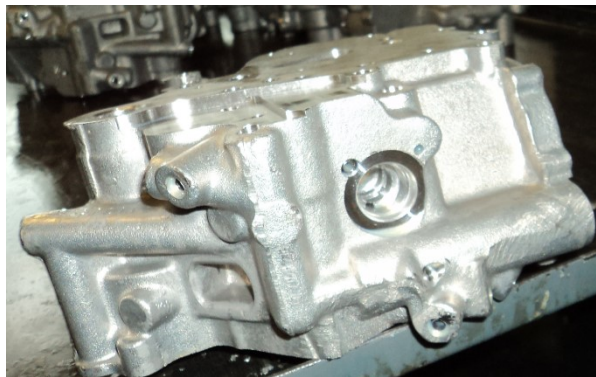


Рис. 1. Загальний вигляд корпусної деталі гідроапаратури

Значні труднощі викликає обробка відповідальних деталей сепаратора (виготовленого із сталі 20Х3 МВФ-Ш твердістю $HV \geq 800$), плунжера діаметром 13 мм і довжиною 54,5 мм (виготовленого зі сталі Х12 МФ-У твердістю HRC 60 – 64) та інших деталей (рис. 2а, б). Плунжер входить в отвір ротора, утворюючи пару тертя (рис. 3). До точності та якості виготовлення цих деталей пред'являються високі вимоги. Так, під час обробки сепаратора необхідно

забезпечити площинність обробки – до 0,005 мм, шорсткість поверхні $R_a = 0,16$ МКМ.

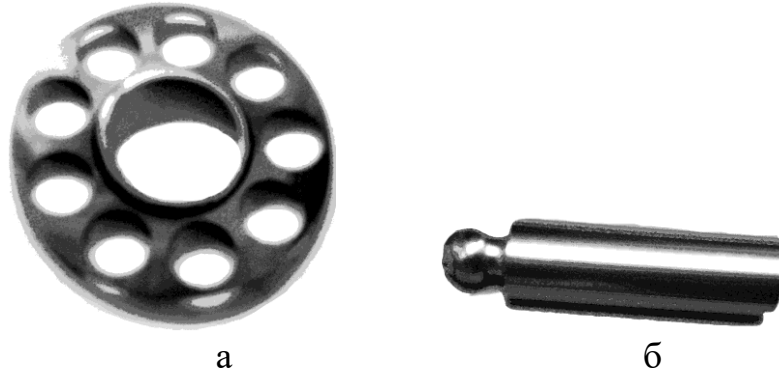


Рис. 2. Сепаратор (а) і плунжер (б)

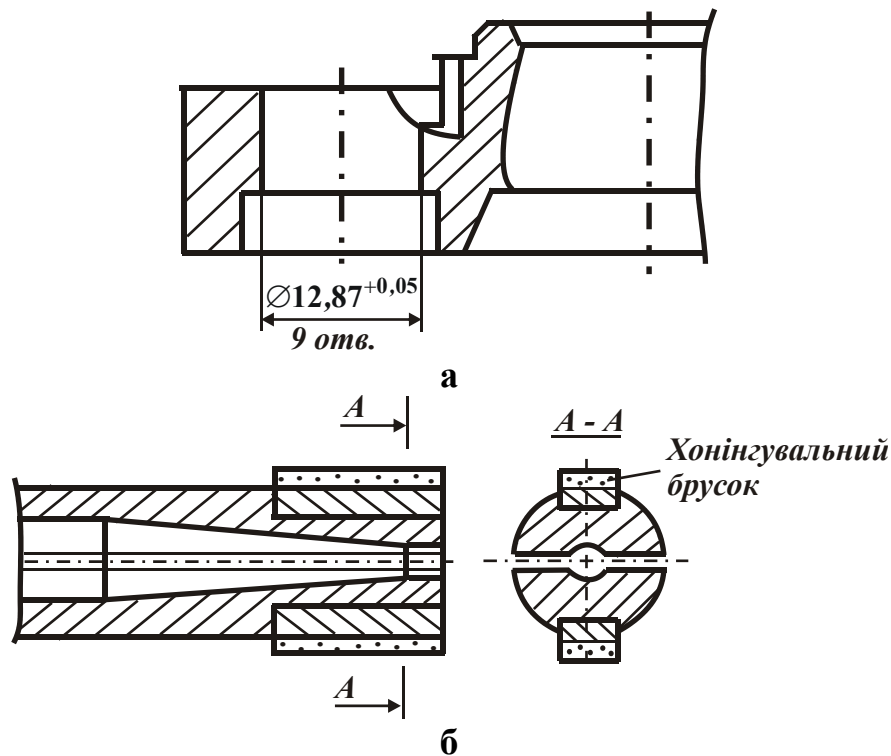


Рис. 3. Пара тертя ротора з плунжером

При обробці плунжера необхідно забезпечити конусність і овальність – не більше 0,003 мм, шорсткість поверхні – на рівні 11-го класу чистоти. Однак виконати ці вимоги на фінішних операціях складно. Наприклад, згідно з діючим технологічним процесом, фінішна обробка торцевої поверхні сепаратора виконується з використанням доведення абразивним порошком. Однак при цьому не забезпечується необхідна площинність навколо всіх 9 оброблюваних отворів і зовнішньої кромки деталі. При шліфуванні плунжера на оброблюваній поверхні утворюються припикання й окремі риси-подряпини. Для їхнього усунення технологічним процесом передбачене виконання трудомістких операцій доведення на плиті послідовно пастою й повстяним кругом.

З метою підвищення ефективності обробки сепараторів проведено оцінювання технологічних можливостей високошвидкісного фрезерування і алмазного хонінгування в них наскрізних отворів замість традиційно застосовуваного малопродуктивного ручного притирання алмазною пастою

АСМ НОМГ зернистістю 14/10, 5/3, 3/2. Експерименти виконувалися на хонінгувальному верстаті фірми «Nagel», що працює в автоматичному режимі, з використанням хонінгувальної головки $\varnothing 12,85_{-0,05}$ мм із двома хонінгувальними брусками 15x3,88x3x1 зернистістю 60/40, 100-відсоткової концентрації на металевій зв'язці М2-01 (рис. 4). Встановлено, що алмазне хонінгування дозволяє підвищити продуктивність праці в 1,8 рази та стабільно забезпечити необхідну перпендикулярність отвору в межах 0,05 мм, тоді як за діючою технологією досягалося лише значення 0,1 мм. Також експериментально встановлено, що використання на даній операції високошвидкісного фрезерування дозволяє ще в більшій мірі підвищити продуктивність і точність обробки порівняно з алмазним хонінгуванням, наприклад, забезпечити перпендикулярність отвору в межах 0,01 мм.



**Рис. 4. Схема розташування наскрізного отвору в сепараторі (а)
і схема хонінгувальної головки (б)**

Експериментально встановлено, що реалізація на верстаті «Теленхауз» схеми шліфування торцевої поверхні сепаратора торцем абразивного круга з безупинно зменшуваною в часі швидкістю знімання припуску, здійснюваною шляхом періодичного створення в технологічній системі натягу величиною 0,01 мм (рис. 5), виключає утворення припикань на оброблюваних поверхнях без зниження продуктивності обробки. Це дозволяє здійснити перехід від малоефективного притирання сепаратора абразивним порошком до його шліфування, що забезпечує високі вимоги щодо точності та шорсткості обробки (площинність обробки – до 0,005 мм, шорсткість обробленої поверхні $R_a = 0,16$ мкм). Обробка виконується чашковим циліндричним кругом розміром 36x50x12 із зернистістю 4 і твердістю Т3 (при чорновому шліфуванні) і кругом із

зернистістю М7 (при чистовому шліфуванні), охолоджувальна рідина – трансформаторне масло.

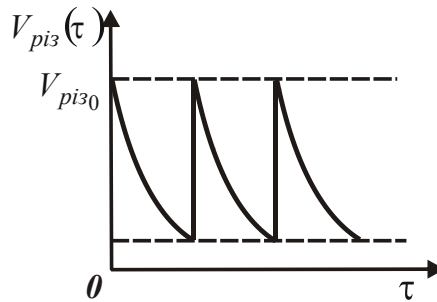


Рис. 5. Характер зміни швидкості знімання припуску $V_{різ}(\tau)$

Також експериментально встановлено, що застосування круглого зовнішнього шліфування на сучасному верстаті «Okamoto» плунжера діаметром 13 мм і довжиною 54,5 мм (виготовленого із сталі Х12МФ-В твердістю HRC 60 – 64) замість безцентрового шліфування дозволило усунути утворення на оброблюваних поверхнях припикань і окремих рисок-подряпин. Це дозволило вирішити задачу високоякісної обробки (конусність і овальність не перевищують 0,003 мм, шорсткість поверхні відповідає 11-му класу чистоти) і виключити наступні трудомісткі операції доведення на плиті послідовно пастою і повстяним кругом. Позитивні результати досягнуто завдяки зниженню енергоємності обробки завдяки застосуванню абразивних кругів 300x25x27 64С 40СМ 25, що характеризуються високою ріжучою здатністю. Режими шліфування: $n_{кр} = 1\ 778 \dots 2\ 145$ об/хв.; $n_{дет} = 150$ об./хв; $S_{нозд} = 3$ м/хв. (при чорновому шліфуванні); $S_{нозд} = 1,1$ м/хв. (при чистовому шліфуванні); охолоджувальна рідина – Тенол ПЛ-1СН-І.

Серед складних питань механічної обробки деталей гідроапаратури необхідно особливо виділити обробку отворів діаметром 6 – 10 мм у деталях (кільцях) з важкооброблюваних магнітних сплавів АНКО-3А та ЮНКД-18 твердістю HRC 62 – 63, які характеризуються низькою оброблюваністю різанням і низькими показниками якості та продуктивності обробки. Зазначені магнітні кільця є деталями в насос-регуляторах. Під час розточування отворів діаметром 8,5 мм у кільцях з високотвердих магнітних сплавів АНКО-3А і ЮНКД-18 (HRC 62 – 63) на краях отворів утворюються значні відколи (рис. 6).



Рис. 6. Кільця з магнітного сплаву АНКО-3А після розточування в них отворів

Застосування внутрішнього шліфування дозволяє практично усунути відколи, однак процес характеризується високою трудомісткістю обробки у зв'язку зі зніманням відносно великого припуску (0,8 мм на сторону). Тому проведено теоретичні та експериментальні дослідження різних методів механічної обробки отворів, які дозволили вирішити проблему підвищення якості та продуктивності обробки.

Величина відколу при різанні визначається за залежністю:

$$h = \frac{a}{\left(\frac{1}{\sin \omega} - 1\right)}, \quad (1)$$

де a – товщина зрізу, мм; $\omega = \psi - \gamma$ – кут дії; ψ – умовний кут тертя на передній поверхні ріжучого інструмента; γ – позитивний передній кут ріжучого інструмента.

При лезовій обробці кут $\omega = \psi - \gamma$ менше, ніж при абразивній обробці $\omega = \psi + \gamma$. Тому із цього погляду, відповідно до залежності (1), ефективно застосовувати лезову обробку. Однак при абразивній обробці значно менше товщина зрізу a , що знижує величину відколу h . Проведені експериментальні дослідження підтвердили вірогідність теоретичного рішення (рис. 7).

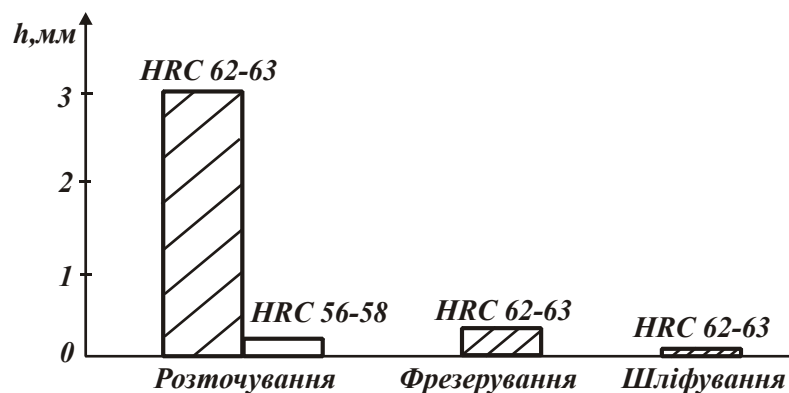


Рис. 7. Вплив методу обробки отворів на величину відколів

Встановлено, що під час обробки отворів у кільцях з магнітних сплавів твердістю HRC 62 – 63 найбільші відколи утворюються при розточуванні різцем із твердого сплаву T15K6 (глибина різання $t = 0,1$ мм, частота обертання оброблюваного кільця $n = 600$ об./хв., подача $S = 0,05$ мм/об., припуск – 0,8 мм), а найменші – при внутрішнім шліфуванні абразивним кругом ПП 8x20x3 25А 25Н СТ 7К5 35 м/с (швидкість обертання круга – $V_{кр} = 16,7$ м/с; поздовжня подача $S_{позд} = 2$ м/хв; частота обертання оброблюваного кільця $n = 600$ об./хв.; глибина шліфування $t = 0,005$ мм). При високошвидкісному розфрезеруванні отвору (частота обертання фрези – 20 000 об./хв.; подача – 0,2 м/хв.; глибина різання (за прохід) $t = 0,05$ мм, рис. 8) утворюються відколи до 0,3 мм. Це дозволяє даний метод використовувати при попередній обробці, а внутрішнє шліфування – при остаточній обробці отворів. Розточування твердосплавним різцем може бути ефективним лише при попередній обробці

отворів у магнітних сплавах з меншою твердістю (HRC 56 – 58) за умови зменшення кута дії $\omega = \psi - \gamma$.

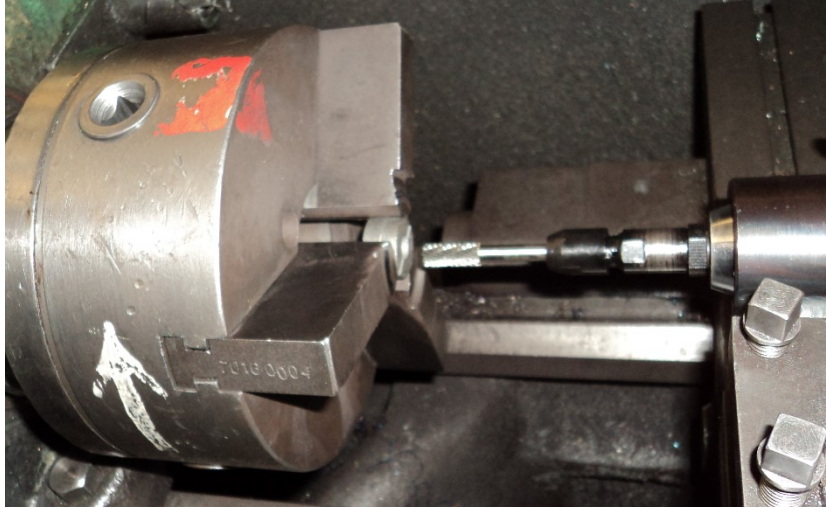


Рис. 8. Загальний вигляд схеми розфрезерування отвору в кільці з магнітного сплаву

Встановлено, що здійснюючи попередню обробку отворів за методом високошвидкісного розфрезерування, а остаточну обробку за методом внутрішнього шліфування, можна в 2,8 рази зменшити трудомісткість обробки порівняно з обробкою отвору в одну операцію із застосуванням лише внутрішнього шліфування (рис. 9, а).

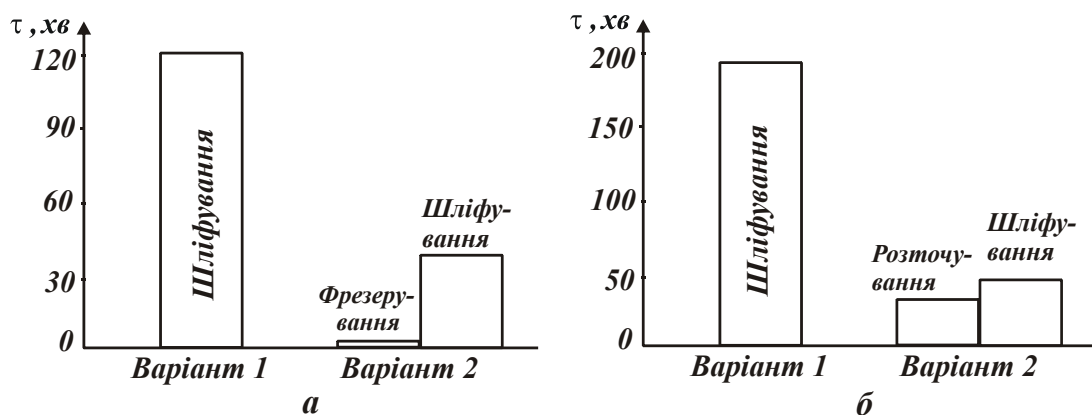


Рис. 9. Діаграма розподілу машинного часу обробки для двох варіантів технологічного процесу обробки отворів у кільцях з магнітного сплаву твердістю HRC 62 – 63 (а) і твердістю HRC 56 – 58 (б)

При цьому відколи, які утворюються на краях оброблюваних отворів при високошвидкісному розфрезеруванні, усуваються під час наступного внутрішнього шліфування. При обробці отворів у магнітних сплавах меншої твердості (HRC 56 – 58) знімання основної частини припуску можна здійснювати методом розточування, а остаточну обробку – методом внутрішнього шліфування. Машинний час при цьому майже в 2 рази менше, ніж при зніманні всього припуску (0,8 мм на сторону) за методом внутрішнього шліфування (рис. 9, б).

Експериментально встановлено, що у зв'язку з низькою жорсткістю технологічної системи (300 Н/мм) величина пружного переміщення при внутрішньому шліфуванні із часом обробки безупинно збільшується (фактично за лінійним законом). Це обмежує можливості застосування шліфування за жорсткою схемою. Виходячи із цього, доцільно перейти до пружної схеми шліфування, створюючи в технологічній системі періодично натяги й здійснюючи обробку, за суттю, за схемою виходжування. Так, при початковому натягу 0,05 мм знімання припуску величиною 0,8 мм може бути здійснено за 16 етапів створення в технологічній системі початкових натягів (рис. 10).

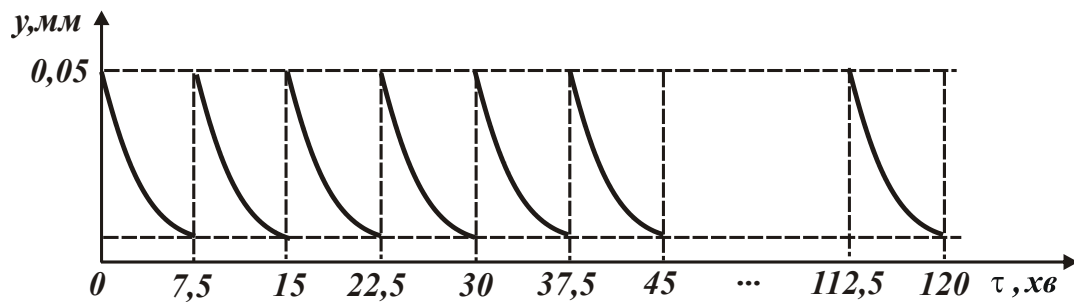


Рис. 10. Характер зміни величини пружного переміщення y в технологічній системі від часу обробки τ

Тривалість кожного етапу становить приблизно 7,5 хвилин, а припуск величиною 0,8 мм видаляється за 120 хвилин, тоді як за діючою технологією внутрішнього шліфування (за жорсткою схемою) тривалість обробки становить 3,2 години. Отже, перехід від жорсткої схеми шліфування до пружної схеми дозволяє скоротити час обробки більш ніж в 1,5 рази.

Таким чином встановлено, що застосування ефективних технологій обробки матеріалів різанням та шліфуванням дозволяє суттєво підвищити точність, якість та продуктивність обробки, забезпечити виготовлення високоточних деталей машин.

Список використаної літератури

1. Новіков Ф. В. Технологічне забезпечення високоякісної та високоточної механічної обробки : монографія / Ф. В. Новіков. – Дніпро : ЛІРА, 2024. – 460 с. <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/34842>.
2. Новіков Ф. В. Теоретичний аналіз закономірностей формування шорсткості оброблюваної поверхні під час шліфування та абразивного полірування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні*: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків : НТУ «ХПІ», 2024. № 2 (10) 2024. С. 92–101. DOI: 10.20998/2079-004X.2024.2(10).10.