

Забезпечення параметрів якості круглої внутрішньої різі при обробці високопродуктивним способом

А.О. Нешта

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Received: 13 July 2017 / Accepted: 8 November 2017

***Анотація.** Виконано аналіз різних способів механічної обробки круглої внутрішньої різі ISO 10208, DIN 20317 і сформульовані критерії їх високопродуктивної обробки. Запропоновано спосіб однопрохідної обробки внутрішніх круглих різей непрофільним інструментом на верстатах з ЧПК. Розроблено методику компенсації розмірного зносу різальних пластин. Експериментальним шляхом при обробці виробничої партії деталей визначені оптимальні режими обробки для забезпечення максимальної продуктивності при досягненні необхідної шорсткості і розмірної точності профілю круглої різі. У результаті статистичного аналізу оброблених деталей встановлено, що розсіювання фактичних значень шорсткості внутрішньої поверхні різі на партії деталей відповідає закону Гауса.*

Експериментально доведено, що застосування запропонованого способу підвищило продуктивність обробки круглої внутрішньої різі в 2,5 рази. На основі порівнянь техніко-економічних показників встановлені ефективні області застосування високопродуктивного способу обробки круглих різей.

***Ключові слова:** технологічний процес, профіль різі, компенсація зносу, непрофільний інструмент, траєкторія, подача, шорсткість, корпус бурової коронки.*

1. Вступ

В умовах ринкової економіки основною тенденцією сучасного машинобудування є підвищення продуктивності виготовлення деталей. Особливо це актуально для вузькоспеціалізованої області виготовлення бурового інструменту в гірничо- і нафтогазовидобувній галузях. Деякі конструкції бурових інструментів мають різьові роз'ємні з'єднання. До таких деталей відносяться: сполучні й перехідні муфти, гайки, корпуси бурових коронок, бурові штанги [1, 2]. Виходячи зі складних умов роботи, що передбачають знакозмінні динамічні навантаження в абразивному середовищі, різьові з'єднання мають спеціальні R, T, C, GD-профілі. Спеціальні різі характеризуються великою довжиною профілю, відсутністю гострих кутів на витках і великим кутом підйому гвинтової лінії для опору динамічним навантаженням у процесі експлуатації таких з'єднань [3].

Внаслідок великої довжини профілю виникають труднощі при механічній обробці даних різей, що обумовлені виникненням вібрацій і, як наслідок, призводять до зниження стійкості різального інструменту.

У зв'язку з цим виробники змушені знижувати режими обробки, що відповідно знижує продуктивність та підвищує технологічну собівартість кінцевого продукту.

2. Постановка задачі

У зв'язку з тим, що в останнє десятиріччя активного поширення набули верстати із ЧПК, які мають широкі технологічні можливості, необхідно впроваджувати прогресивні способи обробки. Наприклад, різьове фрезерування фрезами зі змінними твердосплавними пластинами для внутрішніх різей діаметром від 30 мм активно використовується на верстатах із ЧПК. Цей спосіб в даний час найбільш ефективний в порівнянні з іншими способами обробки внутрішніх різей, але він вимагає дорогого інструменту для реалізації.

Тому на основі вищезазначеного **метою** даної роботи є удосконалення обробки круглої внутрішньої різі шляхом застосування непрофільного інструменту на фрезерному верстаті із ЧПК.

3. Основна частина

3.1. Сучасний стан досліджень в області обробки внутрішніх різей

Обробці внутрішніх різей приділяється багато досліджень провідних вчених через проблеми що виникають під час зняття великого об'єму припуску, який необхідно видаляти із западин різей. Так,

дослідження стружкоутворення за генераторною схемою різання та вплив даної схеми на якість поверхні докладно описано у [4, 5]. Аналіз похибок обробки різей, а саме кроку та кута профілю висвітлений у працях P. Erbao та Z. Guotong [6]. Моделюванням обробки різей методом копіювання шляхом огинання профілю за допомогою різцевих фрез та аналізом параметрів отриманих профілів займались Lee S. W. та Nestler A. [7]. У свою чергу, дослідження обробки різей із несиметричним профілем та аналіз параметрів якості їх обробки описані у [8].

Щодо сучасного стану досліджень в області обробки внутрішніх різей спеціального профілю, то найбільш поширеними серед спеціальних різей зустрічаються різі з круглим профілем по ISO 10208 [9] і DIN 20317 [10], особливістю яких є велика величина кроку $p = 12,7$ мм. Кругла різь ISO 10208 виконується за типорозмірами: внутрішній діаметр $D_1 = 22 \div 36$ мм з постійною висотою профілю різі $H_1 = 1,5$ мм, радіусом виступу різі $R_1 = 5,5$ мм і радіусом западини різі $R_2 = 6$ мм; а згідно DIN 20317: внутрішній діаметр $D_1 = 36 \div 64$ мм з постійною висотою профілю $H_1 = 1,9$ мм, радіусом виступу $R_1 = 4,3$ мм і радіусом западини різі $R_2 = 5,2$ мм (рис. 1). Загальним параметром для круглої різі ISO 10208 і DIN 20317 є крок різі p .

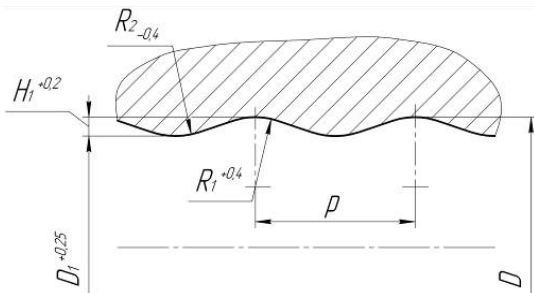


Рис. 1. Параметри профілю круглої внутрішньої різі по ISO 10208

глибини різання на кожному наступному проході (рис. 2). Знімання припуску здійснюється за рахунок поєднання рівномірних синхронних рухів: обертання деталі і прямолінійного руху фасонного різця уздовж її осі (рис. 3). За один оборот заготовки різець переміщується на величину кроку нарізання різі, при цьому врізання по глибині здійснюється за кілька проходів. Для кожного конкретного профілю різі визначається оптимальна величина площі перетину зрізаного різцем шару, яка в процесі різання повинна залишатися незмінною або наближатися до неї. Це забезпечується зменшенням глибини різання зі збільшенням номера проходу. Даним способом обробляється більшість різей в машинобудуванні [11].

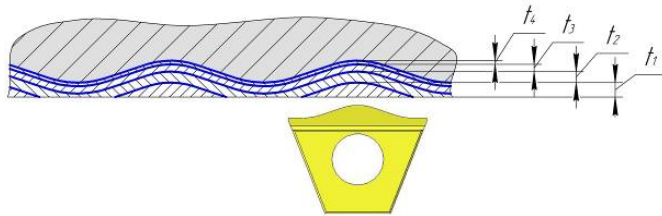


Рис. 2. Схема зрізання припуску при точінні фасонним різцем із застосуванням стандартного багатопрохідного циклу різенарізання

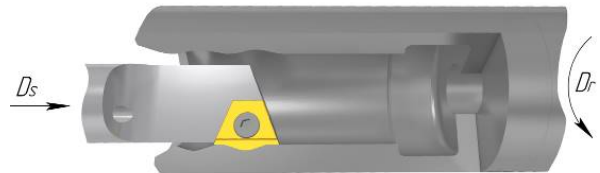


Рис. 3. Модель точіння фасонним різцем із застосуванням стандартного багатопрохідного циклу різенарізання

Точність профілю різі в даному способі забезпечується точністю виготовлення різальної пластини і точністю універсального обладнання, яке може бути використане в умовах одиничного виробництва для обробки круглої різі.

Різні варіації способу також поширені в наступних наукових працях і винаходах [12-15]. Загальним недоліком вищезгаданих способів є підвищені вібрації внаслідок великої довжини контакту різальної кромки і деталі, і як наслідок погіршення якості поверхні та зменшення продуктивності процесу обробки.

До недоліків даного методу також можна віднести необхідність використання спеціалізованих вартісних різальних пластин [12] для кожного кроку різі, що значно підвищує собівартість її обробки.

При обробці різі різцем зі стандартним профілем різальної пластини зі змінною глибиною різання (рис. 4) знімання припуску здійснюється за рахунок поєднання рівномірних рухів: обертання деталі, прямолінійного руху різця уздовж осі деталі і його радіального зворотно-поступального руху, синхронізованого з обертанням деталі (рис. 5), що може бути реалізовано на токарно-фрезерному обробному центрі Okuma LU300 V1CAM [15]. При цьому отримання необхідного профілю різі можливо здійснити за один прохід. Подача визначається не кроком різі, а нормативними значеннями для конкретної різальної пластини, матеріалу деталі, глибини профілю і необхідної шорсткості оброблюваної поверхні. Особливістю цих методів є те, що обробка

здійснюється пластинами для точіння, кут профілю яких менше, ніж кут між дотичними до радіусних поверхонь різі типу CNMG, VNMG, DNMG [12, 14].

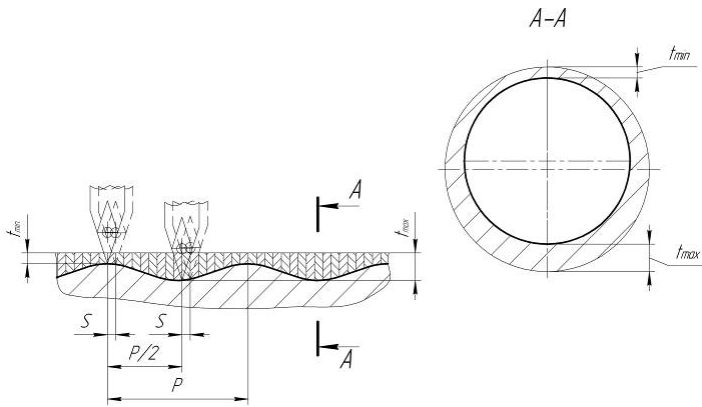


Рис. 4. Схема зрізання припуску при точінні стандартним різцем зі змінною глибиною різання

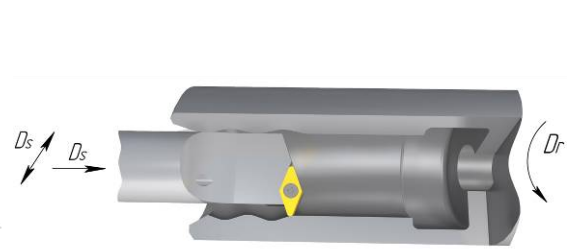


Рис. 5. Модель точіння стандартним різцем зі змінною глибиною різання

Обробка за один прохід істотно підвищує продуктивність механічної обробки в порівнянні з багатопрхідним циклом нарізування різі. Перевагою способу є мала залежність точності обробки від точності виготовлення різальних пластин, так як профіль різі утворюється за рахунок правильності задання траєкторії його руху шляхом поєднання синхронності руху повороту деталі на певний кут і зміни глибини різання на необхідну величину.

Основна проблема реалізації способу полягає в синхронізації обертового руху шпинделя та зворотно – поступального переміщення різця. Також необхідна наявність верстатів з програмним керуванням з керованою С-віссю для забезпечення складної кінематики рухів, змінної глибини різання на вершинах і западинах профілю.

Для обробки круглих різей також застосовують спосіб точіння стандартним різцем з постійним зміщенням вершини різця вздовж профілю різі, де знімання припуску здійснюється за рахунок виконання різцем декількох проходів (рис. 6). Кінематичні рухи при цьому є поєднанням синхронного рівномірного обертового руху деталі і прямолінійного руху різця вздовж її осі (рис. 7).

Початок кожного нового проходу зміщене щодо попереднього, повторюючи профіль різі. Величину зміщення в радіальному і осьовому напрямку необхідно дуже точно розраховувати з урахуванням радіуса при вершині, щоб забезпечити отримання необхідного профілю різі [25]. Величина зміщення нового проходу щодо попереднього повинна бути достатньою для забезпечення необхідної точності і, особливо, шорсткості різьової поверхні, так як в результаті зміщення утворюються макрорельєф на поверхні профілю.

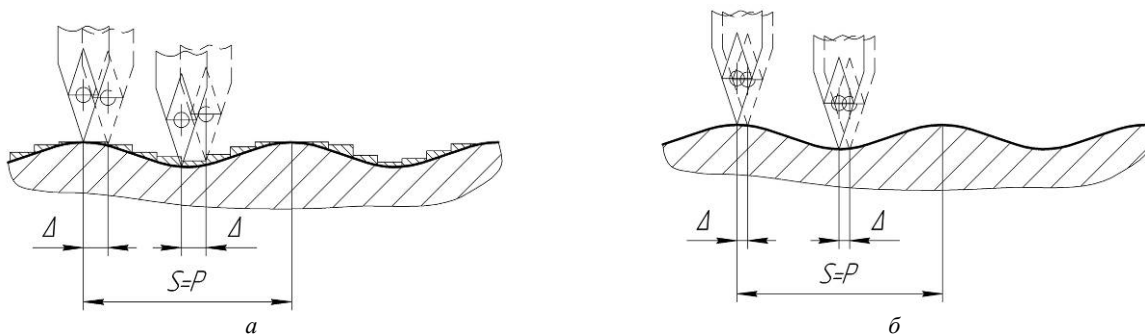


Рис. 6. Схема зрізання припуску при точінні внутрішніх різей стандартним різцем: а) чорнова обробка; б) чистова обробка



Рис. 7. Модель точіння стандартним різцем

Даний спосіб може бути реалізований на універсальному обладнанні та характеризується низькими силами різання та вібраціями, що дозволяє забезпечити відносно високу стійкість інструменту [26, 27].

Недолік даного методу полягає в тому, що точність і шорсткість профілю круглої різі залежить від величини радіальних і осьових зміщень, а також в необхідності використання обладнання із ЧПК та підвищеному зносі верстата.

3.2. Актуальність дослідження

Аналіз існуючих способів обробки круглої внутрішньої різі показав, що усі вищерозглянуті способи не дозволяють в повній мірі реалізувати можливості металооброблювального обладнання та інструменту. А саме, способи, що засновані на методі копіювання і багатопрхідного точіння з постійним зміщенням вершини різця вздовж профілю різі, є трудомісткими, а способи, що засновані на методі огинання, вимагають наявності дорогого інструменту та обладнання. На основі комплексного аналізу техніко-економічних показників існуючих способів обробки круглих різей (табл. 1) було встановлено, що розробки високопродуктивного способу механічної обробки круглих різей є актуальною науково-технічною задачею, що і обумовило хід подальшого дослідження. Умовне позначення «+» вказує на те, що дана характеристика може бути досягнута конкретним способом, а знак «-» навпаки.

Таблиця 1

Способи обробки круглих внутрішніх різей на верстатах із ЧПК

СПОСІБ		КРИТЕРІЙ					
		Продуктивність	Розмірна точність	Шорсткість	Економічно виправдана вартість різального інструмента	Універсальність	Простота реалізації
КОПІЮ-ВАННЯ	Нарізання різцем [11]	-	+	+	-	+	+
	Комбінований спосіб іглокарної обробки [25]	-	+	+	+	-	-
ОГИНАННЯ	Обробка на токарних верстатах із ЧПК за програмою [26]	-	+	+	-	+	-
	Спосіб нарізання різі з круглим профілем [22]	-	+	+	+	-	-
	Осцилюючий спосіб обробки [15]	+	+	+	+	-	-

В результаті сформульовані наступні вимоги до нового високопродуктивного способу, який би включав переваги існуючих способів і усував їх недоліки.

Високопродуктивний спосіб полягає в:

- 1) підвищенні продуктивності;
- 2) забезпеченні розмірної точності та якості різьових поверхонь;
- 3) зниженні собівартості обробки різі;
- 4) універсальності застосування;
- 5) простоті конструкції різального інструменту;
- 6) використанні ресурсу різальних пластин до досягнення критичного значення фаски зносу;
- 7) можливості обробки різьових поверхонь в глухих і наскрізних отворах.

3.3. Методика дослідження

3.3.1. Концепт високопродуктивного способу обробки

Для підвищення універсальності і продуктивності процесу обробки круглої внутрішньої різі з великою довжиною профілю розроблений концепт способу, а також траєкторія огинання профілю різі вершиною інструменту (рис. 8).

Обробка здійснюється за рахунок огинання вершиною інструменту профілю оброблюваної різи. При цьому профіль різальної частини інструменту не відповідає профілю різи. Максимальна глибина різання дорівнює висоті профілю різи для забезпечення однопрохідної обробки.

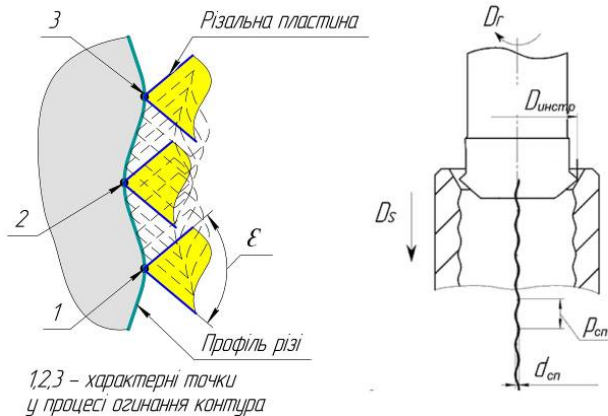


Рис. 8. Концепт високопродуктивного способу

Принципова схема обробки полягає у забезпеченні головного руху різання D_r - обертального і руху подачі D_s - переміщення центру інструменту вздовж спіральної траєкторії. Спіральна траєкторія характеризується діаметром спіралі d_{tr} та кроком спіралі p_{tr} .

Запропоновано здійснювати механічну обробку круглої різи в попередньо розточеному отворі, діаметр якого відповідає діаметру виступів різи, шляхом поєднання обертального руху фрези що здійснює огинання вершиною різальної пластини інструменту профілю різи та переміщення стола верстата по трьом координатам з допустимою величиною подачі.

3.3.2. Схема компенсації розмірного зносу різальних пластин

Процес механічної обробки відбувається зі зміною розмірів різальної частини інструменту внаслідок виникнення розмірного зносу. Виходячи з особливостей кінематики концепту, представлена схема налаштування на розмір і компенсації зносу різальної частини інструменту при обробці різи (рис. 9).

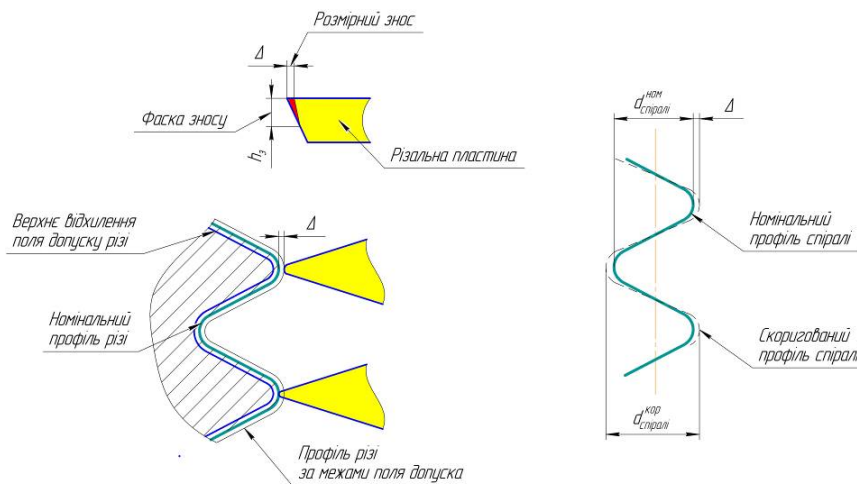


Рис. 9. Схема компенсації розмірного зносу різальних пластин

Суть компенсації розмірного зносу полягає в тому, що при зменшенні фактичного діаметру інструменту необхідно збільшити діаметр спіральної траєкторії d_{en} на подвійну величину зносу Δ для продовження обробки в межах поля допуску.

В результаті компенсації розмірного зносу вершин різальних пластин, шляхом збільшення діаметра спіральної траєкторії до величини $d_{en}^{кор}$ стійкість різальних пластин збільшилась.

Збільшення зовнішнього діаметра різи забезпечувалось шляхом збільшення діаметру спіралі d_{en} .

3.4. Реалізація високопродуктивного способу

Суть винаходу полягає в обробці з однієї установки заготовки тіла обертання з внутрішньою різькою непрофільним багатолезовим інструментом [29]. Інструмент з різальною частиною діаметром D обертається навколо своєї осі і переміщається з кроком, рівним кроку різи p , по спіральної траєкторії всередині отвору деталі. Діаметр спіральної траєкторії дорівнює висоті профілю різи. Діаметр непрофільного багатолезового інструменту дорівнює сумі внутрішнього діаметра різи і висоті профілю різи. Різальні пластини інструменту трикутного профілю розташовані симетрично відносно площини, перпендикулярній осі інструменту. Основною умовою отримання необхідного радіуса заокруглення R та кута α повздожнього профілю різи є неприпустимість контакту бічних поверхонь пластини зі сформованим профілем різи та радіуса при вершині різальної пластини r_e з радіусом заокруглення R різи, тобто: $\epsilon < \alpha$ та $r_e < R$ (рис. 10).

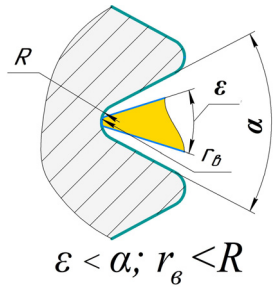


Рис. 10. Умова обробки профілю різи непрофільним інструментом

При цьому обробка різи проводиться в заготовці з виконаним отвором необхідного діаметра для конкретного типорозміру різи, знятою фаскою і канавкою для виходу інструменту. Для даного способу не обов'язково виконання канавки для виходу інструменту, на відміну від способів [21-23, 28].

Обробка внутрішньої різи виконується на вертикально-фрезерному верстаті із ЧПК спеціальним непрофільним багатолезовим інструментом зі стандартними різальними пластинами типу SCMT060204 і VCMТ110302 [24], кількість яких залежить від розміру інструменту.

Інструмент (рис. 12) складається з корпусу 1 із встановленими в ньому різальними пластинами 2, які закріплені гвинтами 3. Кількість пластин залежить від діаметра інструмента D і конструкції місць для сходу стружки. Різальні кромки пластин радіально віддалені від осі інструменту на однакові відстані. В даному випадку інструмент оснащують трьома різальні вставками, що розташовані рівномірно по периферії кола.

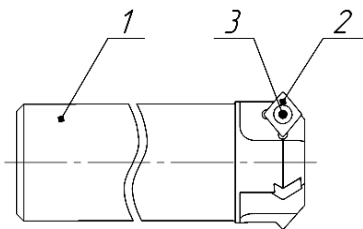


Рис. 12. Конструкція багатолезового непрофільного інструменту

Для здійснення обробки інструмент 2 встановлюється в оправку 3 і закріплюється в шпинделі верстата із ЧПК, що має можливість переміщення по трьом осям. За допомогою керуючої програми задається величина діаметра спіральної траєкторії та її крок. Заготовка 1 нерухомо встановлюється і закріплюється в пристосуванні на верстаті (рис. 11).

Після налаштування обладнання та інструменту обробку ведуть в такій послідовності:

- 1) підведення інструменту в початкову точку;
- 2) обробка різи інструментом на робочій подачі по заданій траєкторії;
- 3) виведення інструменту в початкову точку по заданій траєкторії на прискореній подачі.

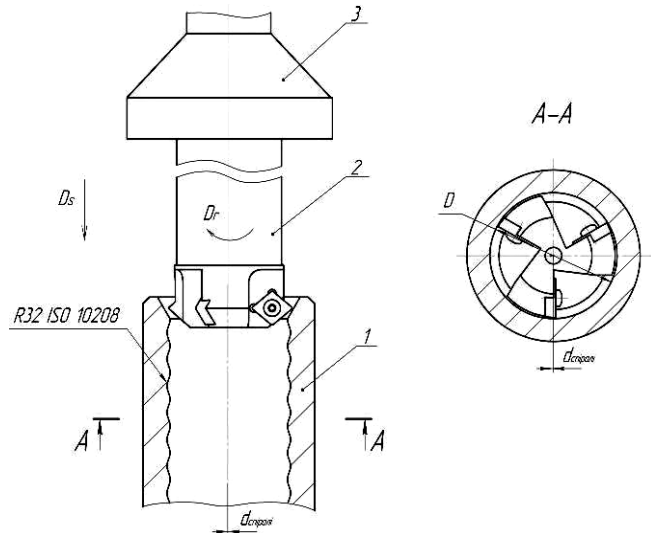


Рис. 11. Кінематична схема руху непрофільного інструменту

Величина діаметра D різальної частини непрофільного інструменту для різних типорозмірів круглої різи визначається за формулою:

$$D = (D_1 + E_{SD_1}) + H_1 \quad (1)$$

де D_1 – внутрішній діаметр різи, мм;

H_1 – висота витка різи, мм;

E_{SD_1} – верхнє відхилення внутрішнього діаметра різи, мм.

Для всіх типорозмірів круглих внутрішніх різей по [9, 10] розраховані діаметри непрофільного інструменту (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри непрофільного інструменту та круглої різи [9, 10]

Діаметр круглої різи R , мм	Внутрішній діаметр різи D_1 , мм	Висота витка різи H_1 , мм	Верхнє відхилення внутрішнього діаметра різи E_{SD_1} , мм	Діаметр інструмента D , мм
22	18,86	1,5	+0,25	20,36
25	21,70	1,5	+0,25	23,20
28	24,85	1,5	+0,25	26,35
32	28,36	1,5	+0,25	29,86
38	35,01	1,5	+0,25	36,51
45	40,71	1,5	+0,25	42,61
55	51,20	1,5	+0,25	53,10
64	60,23	1,5	+0,25	62,13

3.5. Чисельне моделювання конструкції непрофільного інструменту

Здійснення чисельного моделювання різальних інструментів під час їх проектування є невід’ємним етапом, що передує їх виготовленню та експериментальним дослідженням розроблених конструкцій. Враховуючи специфіку обробки внутрішніх різей виконано дослідження напружено-деформованого стану різального інструменту в програмному комплексі ANSYS Workbench, що передбачало визначення напружень у конструкції різального інструменту та величин відхилень вершин різальних пластин під дією сил різання.

Кінематичні та силові граничні умови моделі досліджуваної конструкції були задані відповідно до реальної схеми закріплення інструменту в оправці верстата та навантаження його різальних кромки під час обробки круглої різі (рис. 13). Значення величини навантажень для обробки наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові значення сил різання

Величина навантаження	P_z	P_x	P_y
Пластина 1	650	390	250
Пластина 2	430	260	175
Пластина 3	215	130	90

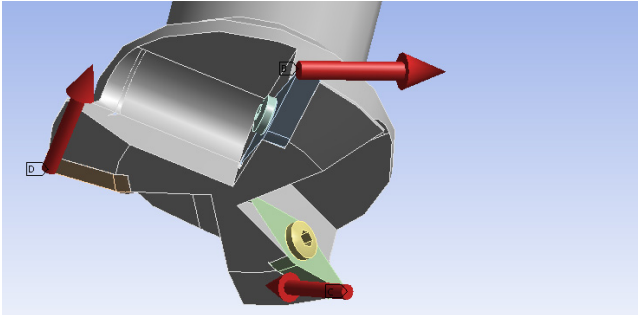


Рис. 13. Схема прикладення навантажень до конструкції непрофільного різального інструменту

Отримані результати величин переміщень вершин різальних пластин під дією прикладених навантажень та значення максимальних еквівалентних напружень, що виникли при моделюванні процесу різання наведені у табл. 4. Отримані картини розподілу напружень та переміщень представлені на рис. 14.

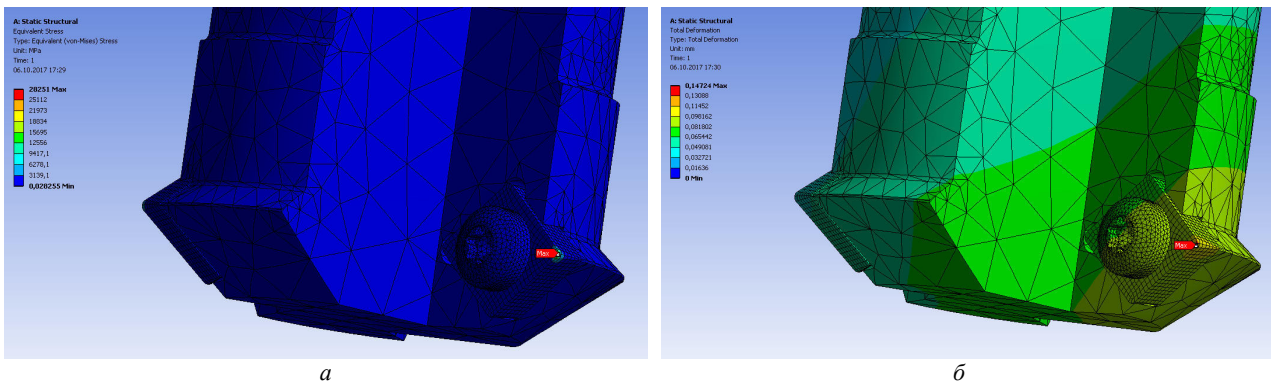


Рис. 14. Ілюстрації напружень (а) та переміщень (б) вершин різального інструменту при обробці круглої різі

Таблиця 4

Напруження та переміщення вершин різального інструменту при обробці круглої різі

Напруження у конструкції інструменту, МПа		Переміщення у конструкції інструменту, мм	
Розрахункове максимальне значення	Допустимі	Розрахункове максимальне значення	Допустимі
282	450	0,147	0,2

Так як визначене значення максимальних напружень складає 282 МПа, що значно менше допустимого значення 450 МПа, а отже переміщення є пружними. При цьому максимальне переміщення вершин інструменту складає 0,147 мм, що менше за половину допуску на діаметр круглої різі – 0,2 мм, а отже точність обробки буде забезпечена. Таким чином теоретично доведено працездатність розробленої конструкції непрофільного інструменту.

3.6. Експериментальні дослідження

Експериментальна перевірка теоретичних положень, на підставі яких здійснюється реалізація способу обробки непрофільним багатолезовим інструментом [29], виконувалася при обробці Корпусів бурових коронок (рис. 15) з круглою внутрішньою різью R32 ISO 10208.

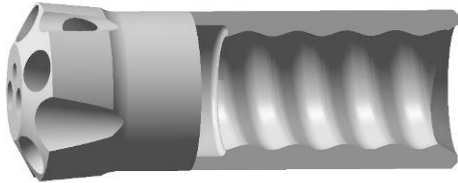


Рис. 15. Корпус бурової коронки



Рис. 16. Непрофільний інструмент для обробки внутрішньої різі R32 ISO 10208

Механічна обробка внутрішньої круглої різі здійснювалась розробленим в роботі непрофільним різальним інструментом, оснащеним трьома твердосплавними різальними пластинами CCMT060204 з кутом при вершині $\epsilon = 80^\circ$ [18]. Діаметр хвостової частини інструменту – 25 мм, різальної частини – 29,86 мм (рис. 16).

Експеримент виконувався на вертикально-фрезерному верстаті із ЧПК моделі 6P13Ф3 (рис. 17). Заготовка закріплювалася в трьохкулачковому патроні, а різальний інструмент в оправці типу Weldon, з діаметром посадкового отвору 25 мм, що відповідає діаметру хвостової частини інструменту.

Матеріал деталі «Корпус бурової коронки» - сталь 5ХНМ ГОСТ 4543-71.

Режими обробки: частота обертання шпинделя $n = 2000$ об/хв; подача $S_0 = 0,2$ мм/об; глибина різання $t = 1,5$ мм; кількість проходів $i = 1$; довжина оброблюваної різьової частини деталі $L = 65$ мм.



Рис. 17. Налаштування верстата на обробку круглої внутрішньої різі R32 непрофільним інструментом

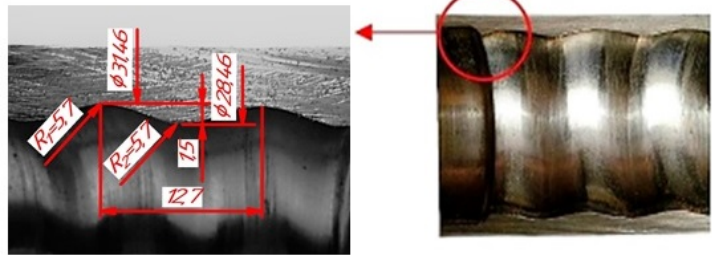


Рис. 18. Параметри профілю круглої внутрішньої різі R32 ISO 10208 в осьовому перерізі після обробки

Таблиця 4
Параметри профілю обробленої круглої різі R32 ISO 10208

Параметр	D , мм	D_I , мм	H_I , мм	p , мм	R_I , мм	R_2 , мм
Згідно ISO 10208	$31,36^{+0,2}$	$28,36^{+0,2}$	1,5	12,7	$5,5^{+0,4}$	$6_{-0,4}$
Отриманий	31,46	28,46	1,5	12,7	5,7	5,7

В результаті обробки була отримана кругла внутрішня різь R32, параметри якості якої були досліджені шляхом вимірювання розмірів профілю (рис. 18, табл. 4) на електронному мікроскопі моделі PEM 100Y і шорсткості профілю на профілометрі моделі 283. З існуючих способів контролю шорсткості різьових поверхонь обраний спосіб контролю за допомогою профілометра, так як довжина контрольованої ділянки поверхні круглої різі більша за базову довжину контролю шорсткості ГОСТ 2789-73.

3.7. Аналіз отриманих результатів досліджень

У процесі експериментальних досліджень при обробці деталей з виробничої партії та їх почергового контролю встановлено, що нові пластини без підналагодження здатні обробити 30 деталей. Подальша

механічна обробка здійснювалась після двоетапного почергового корегування діаметра спіральної тракторії на 0,4 мм (0,2 мм на сторону), що дозволило підвищити кількість оброблених деталей до 50 шт.

В результаті вимірювань було встановлено, що фаска зносу по задній поверхні складала 0,15 мм, що відповідає критичній величині зносу. Після цього пластини замінені на нові і величина діаметра спіральної тракторії в керуючій програмі змінена на початкове значення. Зіставлення розмірів круглої внутрішньої різі R32 з гранично допустимими значеннями згідно ISO 10208, а також процеси підналагодження представлені на рис. 19. Таким чином ресурс пластин підвищений на 40% (виготовлено 50 деталей замість 30) шляхом підналагодження.

На основі ймовірно-статистичного аналізу результатів контролю шорсткості обробленої поверхні методом великої вибірки було встановлено, що розподіл випадкової величини (шорсткості) відповідає нормальному закону розподілу (рис. 20).

Статистичний аналіз розсіювання шорсткості дозволив встановити, що процес підпорядковується нормальному закону розподілу Гауса. і шорсткість різі більшості деталей (30 шт. з партії) знаходяться в межах Ra 3,0 ÷ 3,2 мкм, що відповідає вимогам креслення, 17 деталей мають шорсткість Ra 2,6 ÷ 2,99 мкм і тільки 2 деталі мають шорсткість вище допустимої межі. Перевищення допустимого рівня пояснюються збільшеними силами різання при досягненні критичного значення розмірного зносу.

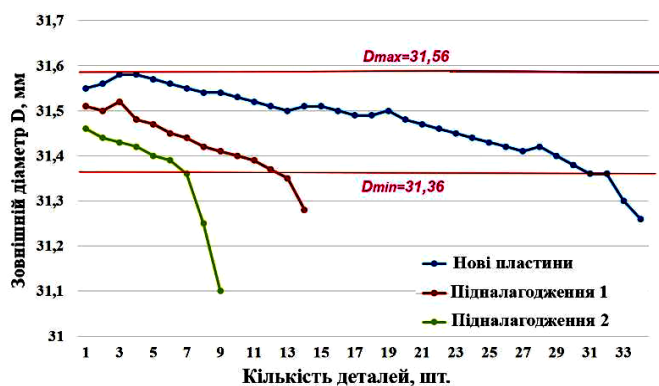


Рис. 19. Ілюстрація процесу компенсації розмірного зносу

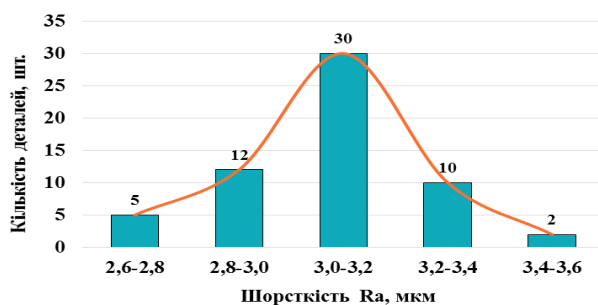


Рис. 20. Статистичний розподіл шорсткості круглої внутрішньої різі R32

Економічне обґрунтування ефективності запропонованого способу здійснювалося за техніко-економічними показниками на прикладі обробки круглої внутрішньої різі, були проведені розрахунки на прикладі обробки R32 ISO 10208 із зовнішнім діаметром 31,36 мм, кроком 12,7 мм і висотою профілю 1,5 мм для всіх розглянутих способів і запропонованого способу (табл. 5). Довжина оброблюваної різьової поверхні 100 мм.

Таблиця 5

Порівняння способів обробки круглої внутрішньої різі R32 ISO 10208 із зовнішнім діаметром 31,36 мм, кроком 12,7 мм і висотою профілю 1,5 мм довжиною 100 мм за критерієм основного часу

Спосіб	Глибина різання за прохід, мм	Кількість проходів	Подача, мм/об	Частота обертання, об/хв	Основний час, хв
1. Багатопрохідне точіння фасонним різцем	0,05	30	12,7	500	4,6
2. Комбінований спосіб іглокарної обробки	0,1	15	12,7	500	2,2
3. Обробка на токарних верстатах із ЧПК	0,05	30	12,7	500	4,6
4. Спосіб нарізання різі с круглим профілем [22]	0,1	15	12,7	500	2,1
5. Спосіб нарізання різі [13]	1,5	1,5	0,07	2000	1,1
6. Спосіб обробки непрофільним інструментом на фрезерному верстаті з ЧПК [29]	1,5	1,5	0,2	2000	0,5

Таким чином, згідно з результатами розрахунку, основний час обробки за способом [29] зменшився в 2,2 рази в порівнянні зі способом [13] і в 5÷10 разів у порівнянні з іншими, що представлено на діаграмі (рис. 21).

4. Висновки

4.1. Підсумки даного дослідження

1. Таким чином в результаті проведених досліджень встановлено, що внутрішні різі з круглим профілем по ISO 10208 і DIN 20317 можуть бути оброблені високопродуктивним способом, який заснований на методі огинання профілю різі з використанням непрофільного багатолезового інструменту зі стандартними різальними пластинами для точіння.

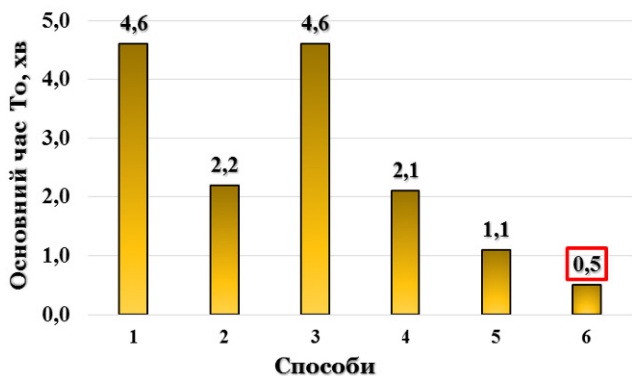


Рис. 21. Діаграма основного часу обробки круглої внутрішньої різі R32 SO 10208 розглянутими способами обробки

2. Можливість компенсації розмірного зносу різальних пластин шляхом корекції траєкторії руху інструменту дозволила підвищити ресурс пластин на 40%.

3. В результаті застосування способу обробки непрофільним багатолезовим інструментом на фрезерному верстаті із ЧПК з частотою обертання шпинделя $n = 2000$ об/хв; подачею $S_0 = 0,2$ мм/об та глибиною різання $t = 1,5$ мм основний час скоротився більш ніж в 2 рази в порівнянні з найбільш продуктивним способом обробки, який відомий на сьогоднішній день. При цьому допустима швидкість різання не обмежується

швидкістю і синхронністю переміщень робочих органів верстата, так як обробка відбувається за методом огинання.

4.2. Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення амплітуд динамічних складових сил різання внутрішніх круглих різей непрофільним інструментом та амплітуд коливань інструменту, а також на розробку автоматизованого розрахунку траєкторії та геометрії непрофільного інструменту для обробки внутрішньої конічної різі з круглим профілем.

Обеспечение параметров качества круглой внутренней резьбы при обработке высокопроизводительным способом

А.А. Нешта

Анотация. Выполнен анализ различных способов механической обработки круглой внутренней резьбы ISO 10208, DIN 20317 и сформулированы критерии высокопроизводительной обработки. Разработан концепт способа, предполагающий проектирование конструкции непрофильного инструмента и расчет параметров траектории его движения для возможности обеспечения обработки за один проход на фрезерном станке с ЧПУ. Разработана методика компенсации размерного износа режущих пластин. Экспериментальным путем при обработке производственной партии деталей определены оптимальные режимы обработки для обеспечения максимальной производительности при достижении необходимой шероховатости и размерной точности профиля круглой резьбы. Выполненный статистический анализ обработанных деталей позволил установить, что рассеивания фактических значений шероховатости профилей резьб обработанных деталей подчиняется закону Гаусса. Экспериментально доказано, что применение предложенного способа повысило производительность обработки круглой внутренней резьбы в 2,5 раза. На основе сравнений технико-экономических показателей установлены эффективные области применения высокопроизводительного способа обработки круглых резьб.

Ключевые слова: технологический процесс, профиль резьбы, компенсация износа, непрофильный инструмент, траектория, подача, шероховатость, корпус буровой коронки.

Assurance of perfection factors for rope internal threads when machining in a efficient method

A. Neshta

Abstract. The analysis of various methods of machining of rope internal thread ISO 10208, DIN 20317 has been carried out and the criteria of high-efficiency machining have been formulated. The concept of the method has been developed, which supposes the designing of the construction of non-core tool and the calculation of the parameters of mechanical trajectory with the purpose of ensuring the machining per one pass on the CNC milling machine. The compensation procedure of dimensional wear of insert has

been developed. While the machining of the production batch of the parts in an experimental way, the optimum cutting conditions has been determined which allow ensuring the maximum efficiency on reaching the required roughness and the dimensional accuracy of the profile of rope thread. The performed statistical analysis of the machined parts allowed to establish that dispersions of the actual values of profiles' roughness follow Gauss' Law. In an experimental way has been proved that the application of the proposed method increased the efficiency of machining of the internal rope thread by 2,5 times. On the basis of comparison of engineering-and-economical performance, the efficient fields of application of high-efficient method of machining of the rope threads have been determined.

Keywords: machining, thread profile, compensation of wear, non-core tool, trajectory, feed, roughness, drill bit.

References

1. Sandvik top hammer rock drilling tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.docuarchive.com/view/e64ea8b8450102afc49c4df48ae80672/SAnDvik-TOP-HAMMER-ROCK-DRILLING-TOOLS.pdf>.
2. Jimeno E. L. Drilling and blasting of rocks / Jimeno. – Rotterdam: Brookfield, 1995. – 392 с.
3. ISO 10208 Rock drilling equipment; left-hand rope threads (1991).
4. DIN 20317 Rock drilling - Round thread connections for percussive drilling equipment - Dimensions, design (2014).
5. Мазур Н. П. Основы теории резания материалов: учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.: под общ. ред.: Мазура Н. П., Грабченко А. И. — 2-е изд., перераб. и доп. — Х.: НТУ "ХПИ", 2013. — 534 с.
6. Sandvik tool for turning threads [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/threading/thread_turning/pages/default.aspx.
7. Patent WO 2000019056 (2000), Thread coupling for a drill string for percussive rock drilling. Sandström R.
8. Professional Threading Solutions [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.vargusuk.co.uk/download/files/Oil%20and%20Gas%20EE_140914_web.pdf.
9. Okuma threads machining [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.okuma.com/vertical-machining-centers>
10. Patent US 2008/0232916 A1 (2008) USA, Process and device for producing threads, especially for boring rods or the like. Schiemann H.
11. Patent US 2008149698A (2010) USA, The female part of the drilling equipment and its manufacturing method.
12. Patent US 6293360 B1 (2001) USA, Thread joint percussive drilling equipment. Liljebrand Per-Olof, Olsson U.
13. Patent WO 2007133145 A1 (2007), A female part for top hammer-drilling and method for manufacturing a female part. Nava P., Sörensen P.
14. Patent US 5064004 A (1991) USA, Drill rod for percussion drilling. Lars-Gunnar. L.
15. Patent US5044842 A (1991) USA, Round screw thread machining method. Miyata M., Matsumura T., Kawasumi M.
16. Patent SU 1016096 Method of thread cutting (1983).
17. Patent 8245798 (2012) Female part and a method for manufacturing female parts. Nava P., Sörensen P.
18. Seco tools for turning threads [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://seco-tool.ru/doc/2015-narezanie-rezby-seco-tools-katalog.html>
19. Patent 2334590 (2008) Combined method of needle-turning threads machining.
20. Древаль А. Е. Точность обработки внутренних резьб комбинированным инструментом / А.Е. Древаль, О.В. Мальков, А.В. Литвиненко. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. - №12. – С. 45-52.
21. Нешта А. А. Анализ производительности обработки винтовых поверхностей / А. А. Нешта, Д. В. Криворучко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – №2. – С. 46–49.
22. Mal'kov V. A. Precision of the external-thread profile in thread cutting / V. A. Mal'kov // Russian Engineering Research. – 2013. – №33. – С. 172–175.
23. Мальцев А. М. Обработка шнеков на токарных станках с ЧПУ / А. М. Мальцев, А. А. Аввакумов. // ИТО. – 2011. – №10. – С. 40–41.
24. Пат. UA 103734 (2012), Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби/ Некрасов С.С., Криворучко Д. В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - № а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. № 21.