

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ РОТАЦІЙНОГО РІЗАННЯ

Розглядається задача розроблення спеціальної конструкції ротаційного різця, яка передбачає можливість варіювання одних з основних факторів, що впливають на шорсткість обробленої поверхні, а саме кутів установки φ та ω , подачі S , швидкості різання v , а також вплив цих факторів на складові сили різання.

It is considered the problem of special design rotary cutter development, which provides the possibility of main factors variation, which affect on roughness of finished surfaces, namely of installation angles φ and ω , feed S , cutting velocity v , as well as effect of these factors on forming power of cutting.

Постановка проблеми. На даний час радикальним засобом подальшої істотної зміни швидкостей різання є створення принципово нових інструментальних матеріалів. Проте існуючі інструментальні матеріали не дозволяють відчутно підвищити продуктивність праці, особливо при різанні цілої гамми нових важкооброблюваних матеріалів. У зв'язку із цим, разом з удосконаленням існуючих конструкцій різального інструменту найважливішою проблемою сучасної теорії та практики обробки різанням є пошук резервів підвищення її продуктивності, закладених у прогресивних схемах різання, до якого належать і схеми ротаційного різання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведені за останні 20 років дослідження були присвячені найважливішим питанням теорії і практики ротаційного різання [1–7]. Серед них відзначаються роботи з вивчення особливостей геометрії процесу, закономірностей кінематики, механіки процесу, теплових явищ, якості обробленої поверхні, спрацювання і стійкості інструменту, особливостей його конструювання.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Сфера застосування ротаційного інструменту безперервно розширюється. Літературні дані свідчать про наявність наукових праць, у яких розглянуті питання вивчення механіки процесу різання, але недостатньо досліджені процеси впливу параметрів режиму різання, частоти обертання різця та виду змащування на складові сили різання.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розроблення спеціальної конструкції ротаційного різця, яка передбачає можливість варіювання одних з основних факторів, що впливають на шорсткість обробленої поверхні, а саме кутів установки φ та ω .

У наведеному випадку об'єктом дослідження є фактори процесу ротаційного різання, які впливають на формування шорсткості оброблюваної поверхні. З попереднього аналізу літературних джерел встановлено, що на формування параметра шорсткості R_z найбільший вплив мають фактори: S –

подача, мм/об, кути встановлення різця у вертикальній і горизонтальній площинах (ω та φ відповідно), радіус різальної чашки різця. Інші фактори також мають вплив, але його значення не є суттєвим.

Зважаючи на дані обставини, а також проаналізувавши типові конструкції ротаційних інструментів, розробимо інструмент необхідної конструкції.

Виклад основного матеріалу. У якості опор вибрано опори кочення, оскільки вони забезпечують необхідні вимоги жорсткості, мають значний період роботи без втрати точнісних характеристик та є відносно дешевими. У конструкції використано два підшипники:

1) радіальний кулькопідшипник №60202 ГОСТ 7242-81. Він розташований у верхній частині корпусу для сприйняття радіальних навантажень;

2) для сприйняття осевих навантажень, які в процесі ротаційного різання мають значні величини, застосовано роликовий радіально-упорний підшипник №7202 ТУ 37.006.162-89.

Конструкція підшипникового вузла наведена на рисунку 1.

У якості різального елемента для дослідів використано твердосплавні чашки Т14К8 діаметром 31,2 мм за ГОСТ 25403-82 тип 12 (рисунок 2).

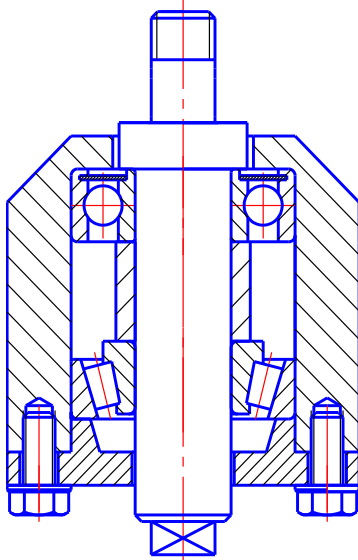


Рисунок 1 – Підшипниковий вузол ротаційного різця

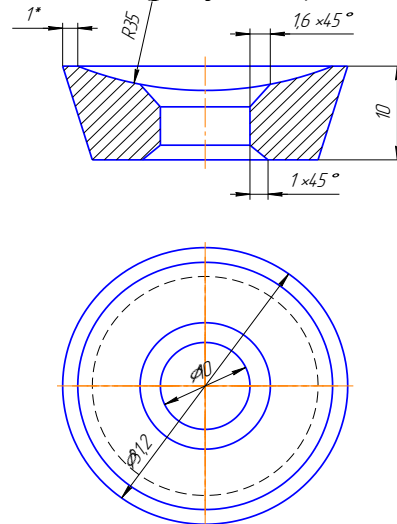


Рисунок 2 – Різуча чашка Т14К8 по ГОСТ 25403-82

Для варіювання значень кута встановлення різця у вертикальній площині ω було передбачено болтове з'єднання корпусу різця з державкою.

Для варіювання значень кута встановлення різця у горизонтальній площині φ в його конструкції передбачено повертання державки в отворі оправки на необхідний кут із наступною фіксацією болтами.

Варто відмітити, що повертання оправки в державці може здійснюватися на кут 360° , що дає змогу різцю працювати як за прямою, так і за зворотною геометричною схемою ротаційного різання.

У системі координат динамометра складові P_x , P_y , P_z характеризують навантаження, що існують при роботі ротаційного різця, вони зручні для розрахунків різцевих вузлів на міцність і жорсткість, а також несучої здатності встановлених у них підшипників.

Конструкція наведена на рисунку 3.

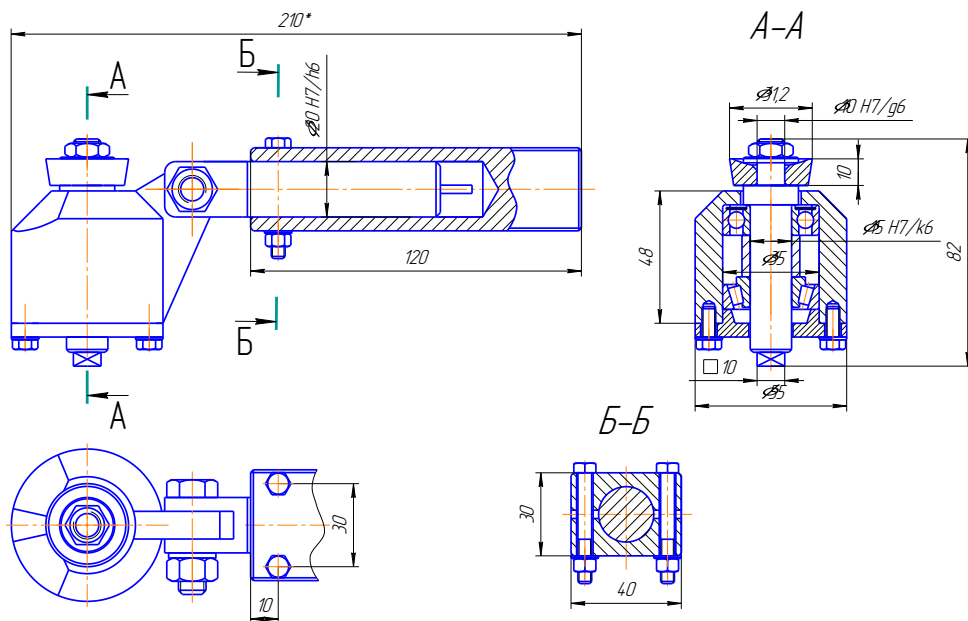


Рисунок 3 – Загальний вигляд ротаційного різця

Для визначення діючих на деталь складових сили різання здійснено перехід від системи координат динамометра до системи координат деталі з початком у точці контакту ротаційного різця з деталлю. Головна складова P_z сили різання направлена по дотичній до оброблюваної поверхні, віджимаюча P_y діє в радіальному напрямі і бічна складова P_x проходить паралельно осі оброблюваної деталі. Перехід здійснено за допомогою системи рівнянь, що враховує поворот осі ротаційного різця разом із динамометром у горизонтальній площині на кут φ і опускання точки контакту різця з деталлю нижче за лінію центрів верстата (одноповоротна схема ротаційного різання) [8],

$$\begin{cases} P'_x = P_x \cos \varphi + P_y \sin \varphi & ; \\ P'_y = P_y \cos \varphi \cos \omega - P_x \sin \varphi \cos \omega + P_z \sin \omega & ; \\ P'_z = P_x \sin \varphi \sin \omega - P_y \cos \varphi \sin \omega + P_z \cos \omega & , \end{cases} \quad (1)$$

де P_x, P_y, P_z – складові сили різання в системі координат трикомпонентного динамометра з початком у точці контакту деталі з ротаційним різцем, Н;

P'_x, P'_y, P'_z – складові сили різання в системі координат оброблюваної деталі з початком у точці контакту з ротаційним різцем, Н;

φ – кут повороту осі різця в горизонтальній площині, град;

ω – кут установки осі різця у вертикальній площині, град.

З метою визначення особливостей динаміки ротаційного точіння були проведені дослідження складових сили різання при обробці деталей із сталі 40Х. Оброблення здійснювалося на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 ротаційним різцем із чашкою з твердого сплаву Т14К8. Складові сили різання P_x, P_y, P_z вимірювалися динамометром, установленим на супорті верстата.

Порівняльні випробування ротаційних різців при роботі без подачі та з подачею пластичного мастила показали, що наявність мастила в зоні різання помітно впливає на цей процес. Дані випробувань наведені в таблицях 1 та 2.

На рисунках 4 і 5 приведені залежності складових сили різання від величини подачі. Дослід проводився при подачах 0,2, 0,5 та 0,8 мм/об. Глибина

різання стала 0,2 мм.

Таблиця 1 – Значення складових сили різання при точінні без мастила

Подача S, мм/об	0,2	0,5	0,8
$P_z, Н$	207	271	276
$P_x, Н$	70	134	150
$P_y, Н$	96	125	98
Результуюча P, Н	238,67	327,14	329,06

Таблиця 2 – Значення складових сили різання при точінні з мастилом

Подача S, мм/об	0,2	0,5	0,8
$P_z, Н$	175	231	241
$P_x, Н$	61	122	136
$P_y, Н$	94	125	79
Результуюча P, Н	207,8	289,6	287,78

Зменшення сили різання при застосуванні мастила пояснюється зниженням сил тертя між задньою поверхнею різальної чашки й оброблюваним матеріалом, поліпшенням умов утворення і видалення стружки.

Кінематичний коефіцієнт істотно впливає на складові сили різання. Оброблення зразків із сталі 40Х ротаційним точінням за першою геометричною зворотною схемою різання проводилося ротаційним різцем із регулюванням частоти обертання різальної чашки в процесі різання.

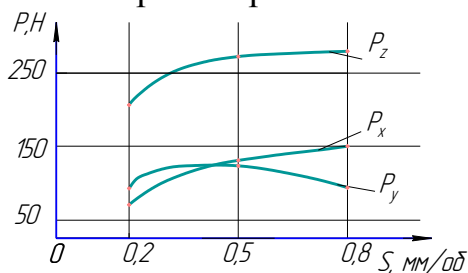


Рисунок 4 – Залежність складових сили різання від подачі S без подачі мастила у зону різання

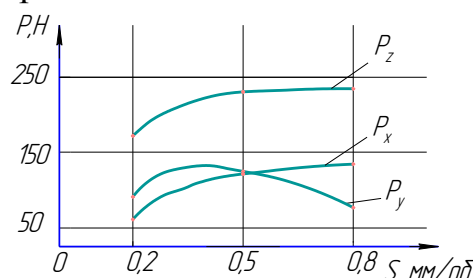


Рисунок 5 – Залежність складових сили різання від подачі S із подачею мастила

Регулювання частоти обертання різальної чашки здійснювалося за рахунок регулювання сили затягування гвинтів кришки ротаційного різця. Із збільшенням сили затягування гвинтів збільшувалося навантаження на радіально-упорний підшипник, унаслідок чого відбувалося пригальмовування самообертання різальної чашки в процесі різання. Даний спосіб дозволяє змінювати частоту її обертання від значення при вільному самообертанні ($K=0,75$) до сповільнення обертання в процесі роботи ($K=0,3$). Дані дослідів наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вплив зміни коефіцієнта K на складові сили різання

Коефіцієнт K	0,75	0,5	0,3
$P_z, Н$	115	200	226
$P_x, Н$	21	155	221
$P_y, Н$	19	108	117
Результуюча P, Н	118,44	272,12	337,05

Установлено, що із зменшенням кінематичного коефіцієнта K , складові сили різання зростають у всьому діапазоні його зміни і найбільшою мірою осьова складова P_x сили різання (рисунок 6).

Значний вплив K на складові сили різання можна пояснити переходом від прямокутного до косокутного різання завдяки збільшенню кута нахилу вектора дійсної швидкості різання щодо перпендикуляра до різальної кромки при зменшенні K . При косокутному різанні порівняно з прямокутним збільшується кінематичний передній кут і зменшується кут різання, тобто погіршуються умови стружкоутворення, зростає сила різання та змінюється її напрям.

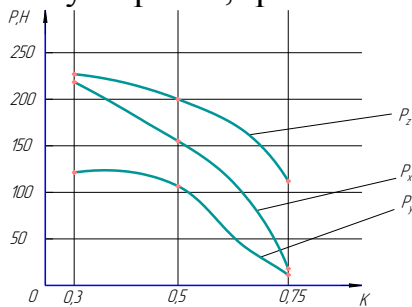


Рисунок 6 – Залежність складових сили різання від кінематичного коефіцієнта K

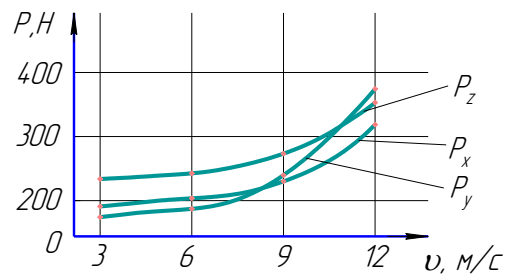


Рисунок 7 – Залежність складових сили різання від швидкості різання (зворотна схема різання)

Для забезпечення кута нахилу ротаційного різця у вертикальній площині ω його вершина була зміщена нижче за лінію центрів верстата на величину 6 мм. Кут установки ротаційного різця φ був одержаний поворотом динамометра в горизонтальній площині.

У зв'язку з вибраною схемою установки ротаційного різця величини складових сили різання реєструвалися в системі його координат. Для переведення величин складових сили різання в систему координат верстата були використані рівняння переводу [8]:

$$P_x = P'_x \cos \varphi - P'_y \sin \varphi ;$$

$$P_y = P'_x \sin \varphi + P'_y \cos \varphi ; \quad (2)$$

$$P_z = P'_z ,$$

де P_x, P_y, P_z – складові сили різання в системі координат ротаційного різця, Н;
 P'_x, P'_y, P'_z – складові сили різання в системі координат верстата, Н.

Аналіз експериментальних даних показує, що зі збільшенням подачі складові сили різання монотонно зростають. При подачі $S \approx 0,5$ мм/об для сталі 40Х спостерігається зближення за абсолютною величиною складових P_y і P_z (рисунки 4, 5).

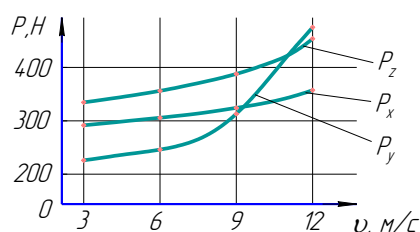


Рисунок 8 – Залежність складових сили різання від швидкості різання (пряма схема різання)

Залежність складових сили різання від величини швидкості різання за першою прямою геометричною схемою досліджувалася при зміні швидкості від 3,0 до 12,0 м/с. При зміні схеми різання зі зворотної на пряму відбувається збільшення P_x приблизно на 50%, P_y і P_z зростають на 25 – 55% (рисунки 7, 8).

При підвищенні швидкості різання з 3,0 до 12,0 м/с P_y збільшується з 225 до 480 Н, P_z – з 336 до 453 Н. Це свідчить про те, що при прямій схемі різання процес стружкоутворення протікає більш напружено, зважаючи на зміну переднього та заднього кінематичних кутів і збільшення кінематичного кута загострення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Узагальнюючи результати проведених досліджень, слід зазначити, що обробленні сталі 40Х протікає при менших в 1,5 – 2 рази складових сили різання P_x , P_y , P_z , при першій зворотній геометричній схемі ротаційного різання порівняно із прямою складові сили різання збільшуються, тому пряма схема не може бути рекомендована для обробки нежорстких деталей і при недостатній жорсткості системи «верстат–пристосування–інструмент–деталь». Доцільне застосування першої зворотної схеми ротаційного різання.

Аналіз одержаних даних дозволяє зробити висновок про те, що при точінні ротаційним інструментом складові сили різання змінюються порівняно з обробкою звичайним призматичним різцем, відбувається їх перерозподіл. При ротаційному різанні переважає осьова складова P_x на відміну від призматичного різця, де найбільшою є головна складова P_z . Тому виникає необхідність збільшення радіальної жорсткості шпиндельного вузла ротаційного різця.

Швидкість головного руху v і подача S впливають тільки на P_z та P_x , які зростають із збільшенням цих параметрів. Складові сили різання практично не залежать від кута повороту осі різальної чашки в горизонтальній площині φ , тому область його зміни можлива в широких діапазонах. Кут установки осі різальної чашки у вертикальній площині ω і задній кут заточування α роблять найбільший вплив на осьову складову P_x сили різання.

Література

1. Акимов А.В. Прогрессивные конструкции резцов. – М.: Машиностроение, 1962. – 346 с.
2. Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. Рабочие углы инструментов с самовращающимися режущими чашками. – М.: Машиностроение, 1968. – 145 с.
3. Гик Л.А. Ротационное резание металлов. – Калининград, 1990. – 230 с.
4. Землянский В.А., Пахучий В.В. Возможности управления качеством поверхности при ротационном резании// Резание и инструмент. – 1972.– № 6. - с. 36 – 41.
5. Исаев А.И., Андреев Г.С. Резцы для чистового и получистового точения с самовращающейся режущей частью из твердого сплава.– ИТЭИН, АН СССР, 1954. – 361 с.
6. Коновалов Е.Г., Гик Л.А. Резание круглыми ротационными резцами.– Минск, “Наука и техника”, 1969. – 123 с.
7. Коновалов Е.Г., Гик Л.А. Область применения ротационных резцов //Вестник машиностроения. – 1969. – №3 – с. 25 – 36.
8. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972. – 269 с.