

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.

В.Ю. Лосєв, к.т.н., проф.

Житомирський державний технологічний університет

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄДНАННЯ ЧОРНОВОЇ ТА ЧИСТОВОЇ ОБРОБОК ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТОРЦЕВИМ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Розглянута проблема забезпечення суттєвого підвищення продуктивності обробки плоских поверхонь деталей за рахунок об'єднання в одну операцію (один прохід) чорнового видалення припуску з чистовим, тобто за можливості їх виконання на одних режимах. Позитивний результат досягнуто застосуванням декількох способів:

- поділом припуску на обробку за товщиною за рахунок різного радіального вильоту формують елементів відносно корпусу торцевого інструмента;
- урівноваженням складової сили різання, перпендикулярної до оброблюваної поверхні;
- мінімальним часом використання в процесі різання великої кількості різальних лез формують елементів.

Спроектований, виготовлений та експериментально перевірений різальний інструмент, у тому числі зі зміненою траєкторією рухів формують елементів. Дослідження проводилося у процесі обробки як деталей колової форми, так і площинних.

Ключові слова: торцеве фрезерування; чорнова та чистова обробки.

Постановка проблеми. Сучасний рівень технології виготовлення заготовок відповідальних деталей машин і механізмів забезпечує їх максимальну наближеність за розмірами і властивостями поверхневого шару до вимог конструкторської документації, але, як правило, механічна обробка окремих поверхонь залишається поки єдиним методом забезпечення точності розмірів і якісних експлуатаційних характеристик цих деталей.

Високі вимоги до поверхонь деталей за технологічними регламентами передбачають чорнову і далі чистові обробки. Чорнова обробка створює необхідний однаковий припуск для проведення чистових операцій. Деякі точні і відповідальні поверхні вимагають проведення декількох чистових операцій, а також створення на них відповідного регулярного мікрорельєфу. Така побудова послідовності обробки вимагає значних витрат часу, енергоресурсів, відповідного обладнання, кваліфікованого персоналу тощо.

Аналіз літературних джерел, пов'язаних із вирішенням проблеми суміщення чорнових і чистових операцій [1, 2, 3], виявив незначну кількість підходів до вирішення цієї актуальної проблеми в машинобудуванні.

Так, у роботі [1] пропонується особливу увагу приділити інструменту, тобто його конструктивному виконанню. У разі, якщо суміщення чорнових і чистових операцій здійснюється за рахунок цілих частин одного різального інструмента, які одна за одною (свердло-зенкер, зенкер-протяжка тощо) беруть участь у різанні, завершуючи процес обробки за один повний цикл, то його названо послідовним. Якщо чорнові та чистові різальні елементи інструмента беруть участь у роботі по чергово, здійснюючи при цьому певний цикл, що обов'язково повторюється весь час до повного завершення операції, то таке суміщення названо паралельним.

На наш погляд, суміщенням чорнкової обробки з чистовою можна вважати виключно їх виконання на незмінних режимах (частота обертання шпинделя, незмінність відносного зміщення інструмента і заготовки за один оберт шпинделя) і обов'язково одночасно. Термін «послідовно» виключає суміщення. У разі послідовного виконання обробки можливо говорити лише про часткове суміщення допоміжних рухів.

В той же час, якщо, наприклад, проводиться свердління отвору і зенкування під головку гвинта, зняття фаски тощо, без зміни частоти обертання шпинделя та подачі на оберт шпинделя або хвилинної, можливо говорити про часткове суміщення звичайних переходів, а не чорнкової та чистової обробки. Більш коротким є визначення, надане Юрієм Михайловичем Єрмаковим у [2]: комбіновані способи обробки за видами робочої частини інструмента.

Як наведено в роботі [1], прикладом паралельного суміщення чорнкової обробки з чистовою є обробка плоских поверхонь деталей торцевими фрезами з зачисним зубом, що розташований на меншій відс

© П.П. Мельничук, В.Ю. Лосєв, 2014

них осьовим вильотом.

Однак основну увагу автори роботи [1] приділили способу паралельного суміщення, побудованому на принципі перерозподілу площі шару, що видаляється, між чорновими і чистовими різальними елементами під час торцевого фрезерування. На жаль, розглядається лише розрахункова величина утвореної шорсткості, без урахування інших впливів.

Згідно з роботою [4]:

$$R_z = R_{zp} + \Delta H_{\hat{a}}, \quad (1)$$

де розрахункова висота нерівностей (детермінована складова); ΔH – відхилення фактичної висоти нерівностей від розрахункової (випадкова складова).

$$\Delta H = \Delta H_{i\delta} + \Delta H_{i\epsilon} + \Delta H_{i\eta} + \Delta H_{i\theta} + \Delta H_{c\epsilon} + \Delta H_{\hat{a}}, \quad (2)$$

де – пружне відновлення матеріалу після зрізу шару металу або його деформування; – складова, що відображає зміну висоти нерівностей у результаті пластичної деформації в зоні стружкоутворення (вспучування); ΔH_c – створення мікронерівностей сходженням стружки; ΔH_{θ} – відхилення, пов'язане з тертям задньої поверхні різця по обробленій поверхні; – відхилення від зміни первинного контуру кромки різця внаслідок її зношування; $\Delta H_{\hat{a}}$ – відхилення, пов'язане з вібраціями різця й оброблюваної заготовки.

Для повноти розгляду питання, згідно з роботою А.Г. Суслова [5], слід додати ще випадкові вириви оброблюваного матеріалу.

За дослідженнями, проведеними в Житомирському державному технологічному університеті, що стосуються чистової обробки лезовим інструментом, яка здійснюється на невеликих подачах ($S_{ob} = 0,01 \div 0,05$ мм/об.), значний вплив на утворення шорсткості та хвилястості обробленої поверхні має нерівномірність руху робочих органів верстатів та обертів шпинделя. Стрибокподібний рух призводить до значного відхилення розрахункової (геометричної) складової шорсткості поверхні від фактичної.

Враховуючи наведене, залежність (2) прийме вигляд:

$$\Delta H = \Delta H_{i\delta} + \Delta H_{i\epsilon} + \Delta H_{i\eta} + \Delta H_{i\theta} + \Delta H_{c\epsilon} + \Delta H_{\hat{a}} + \Delta H_{\hat{a}\delta\delta} + \Delta H_S, \quad (3)$$

де $\Delta H_{\hat{a}\delta\delta}$ – створення мікронерівностей виривами оброблюваного матеріалу; ΔH_S – зміна розрахункової величини шорсткості через нерівномірність подач і обертів шпинделя.

Також звертаємо увагу на те, що під час обробки заготовок із різноманітних матеріалів інструментом, оснащеним різним інструментальним матеріалом, складові залежності (3) можуть мати від'ємне значення, тобто покращувати шорсткість оброблених поверхонь (тощо).

Доктор технічних наук, професор А.О. Маталін, розглядаючи питання поділу обробки деталей на чорнові та чистові операції, визначив основні принципи такого поділу:

1. Видалення основної частини припуску на чорнових операціях супроводжується значним виділенням тепла та нагрівом заготовки. Під час наступної чистової операції, де виділяється значно менше тепла, цей вплив на розміри деталі незначний.

2. У разі видалення значних припусків і литвевих корок відбувається видалення найбільш напружених поверхневих шарів вихідних заготовок, що призводить до перерозподілу внутрішніх напружень та може викликати жолоблення заготовки після її обробки. Чистова операція дозволяє ліквідувати (або мінімізувати) цю похибку та отримати точні деталі.

3. Через значне поле розсіювання розмірів заготовок, коливань їх твердості, податливості технологічної системи, пружні відтискання її елементів під час видалення нерівномірного та значного припуску виникають різні сили різання, які впливають на точність обробки не тільки через їх нестабільність, але й через їх розмір. Під час чистової обробки ці впливи мінімальні.

4. Під час чорнової обробки заготовки створюється відносно невеликий і стабільний припуск на чистову обробку.

5. Виконання чистової обробки на спеціально закріпленому більш точному обладнанні інструментом з надтвердих матеріалів з мінімальними припусками забезпечує виготовлення деталей високої точності та якості оброблених поверхонь [6].

До цього, на нашу думку, можливо було б додати те, що поділ операцій на чорнові та чистові (фінішні) створює умови для покращення культури виробництва, дає змогу продовжити термін служби верстатів на фінішних операціях тощо.

Постановка завдання. Однак сучасний рівень розвитку машинобудування, нагальна необхідність суттєвого зростання продуктивності праці, зниження матеріалоємності виробів спрямовують зусилля фахівців на пошук альтернативних рішень.

Цьому також сприяють сучасні розробки в удосконаленні металообробних верстатів і систем їх управління.

Оброблюючі центри для виготовлення деталей типу тіл обертання та площинних типу корпусів, а також верстатів з паралельними структурами (гексаподи, біподи, триподи, пентаподи, гексаглайди) та інші передбачують максимально можливу концентрацію операцій на одному верстаті з мінімальною кількістю переустановок заготовок. У першу чергу це вирішує проблему підвищення точності виготовлення деталей і мінімізує кількість транспортних операцій, спрощується організація виробництва. Багатосупортні верстати, крім того, забезпечують одночасну багатопрограмну обробку, що значно

скорочує процес виготовлення деталей. Значно підвищена жорсткість верстатів (>40 Н/мм). Прогрес у розробці і дослідженнях інструментальних матеріалів надав можливість застосовувати швидкісне різання матеріалів, у тому числі загартованих до HRC50 і більше.

Враховуючи наведене, проблема суміщення чорнових операцій з чистовими залишається актуальною і своєчасною.

Слід зазначити, що спроби об'єднання чорнових і чистових операцій із застосуванням інструментів із НТМ були здійснені ще у вісімдесяті роки минулого століття розробкою і виготовленням торцевих інструментів зі ступінчастим (з різними вільотами) розташуванням ножів на різних відстанях від осі обертання шпинделя [7], з наведенням різноманітних схем їх розташування залежно від виникаючої періодичної збуджуючої сили різання.

Оптимізація розташування різальних елементів виконана в роботах [8, 9], у тому числі для видалення значних припусків. При цьому всі п'ять застережень А.О. Маталіна, наведених вище, уникаються або мінімізуються, тому що найближчий до осі обертання в корпусі інструмента формоутворюючий елемент (елементи) виконує роль чистового ножа.

У варіанті суміщення операцій, наведеному в роботі [1], де ефект об'єднання досягається за рахунок зміни товщини стружки, так само, як у разі застосування торцевих фрез із різним кутовим (кроковим) розташуванням різальних елементів, практично всіх застережень неможливо уникнути (пружні деформації обробленої поверхні, нерівномірність припуску на чистовий прохід, жолоблення деталі, проблеми теплоутворення тощо).

У роботі [6] наголошується, що відтискання в пружній технологічній системі визначаються відношенням нормальної складової сили різання до жорсткості j системи: $y = \frac{P_y}{j}$, а похибка обробки залежить від коливань відтискання внаслідок зміни сили різання або жорсткості системи. Для досягнення високої точності обробки необхідно забезпечити стабільну величину y , що можливо за умов незмінності сили P_y або співвідношення $\frac{P_y}{j}$.

Це означає, що одномоментне видалення припуску на чорнову та чистову обробки звичайним способом не може забезпечити бажаний результат.

Викладення основного матеріалу. Можна розглядати декілька шляхів вирішення проблеми суміщення:

1. Забезпечити жорсткість технологічної обробної системи до таких значень, коли зміна сил різання викликає б незначні (в межах поля допуску) пружні деформації, що, безумовно, викликає збільшення матеріалоемності та складності конструкції верстатів.

2. Застосовуючи ступінчастий спосіб видалення припуску, поділити його на такі частини, які б не викликали значної зміни складової P_y сили різання.

3. Запровадити адаптивне управління процесом обробки із застосуванням чутливих пристроїв до зміни сил різання та пружної деформації технологічної обробної системи.

4. Здійснюючи суміщення, не допускати збігу в часі чорнового з чистовим різанням.

5. Мінімізувати під час чорнового видалення припуску (бажано і під час чистового) радіальну складову P_y сили різання (спосіб урівноваження).

Перших три напрямки достатньо глибоко досліджені та описані в літературі, хоча пошуки продовжуються, особливо в напрямку удосконалення адаптивного управління процесом різання.

Нові способи обробки плоских поверхонь деталей торцевим багатолезовим інструментом, розроблені в ЖДТУ, створюють умови для забезпечення суміщення чорнкової операції з чистовою та враховуючи усі застереження, наведені в [6].

Спосіб обробки з кінематично перетвореною з колової на прямолінійну перпендикулярну до вектора подачі траєкторією рухів різальних елементів (патент України на винахід № 83071 від 10.06.2008 р.) забезпечує використання в процесі різання кожного ножа окремо, тобто чистовий (останній за один цикл-оберт інструмента) прохід відбувається без впливів інших.

Інструмент забезпечує можливість налагодження ступінчастого способу видалення припуску на обробку (рис. 1).

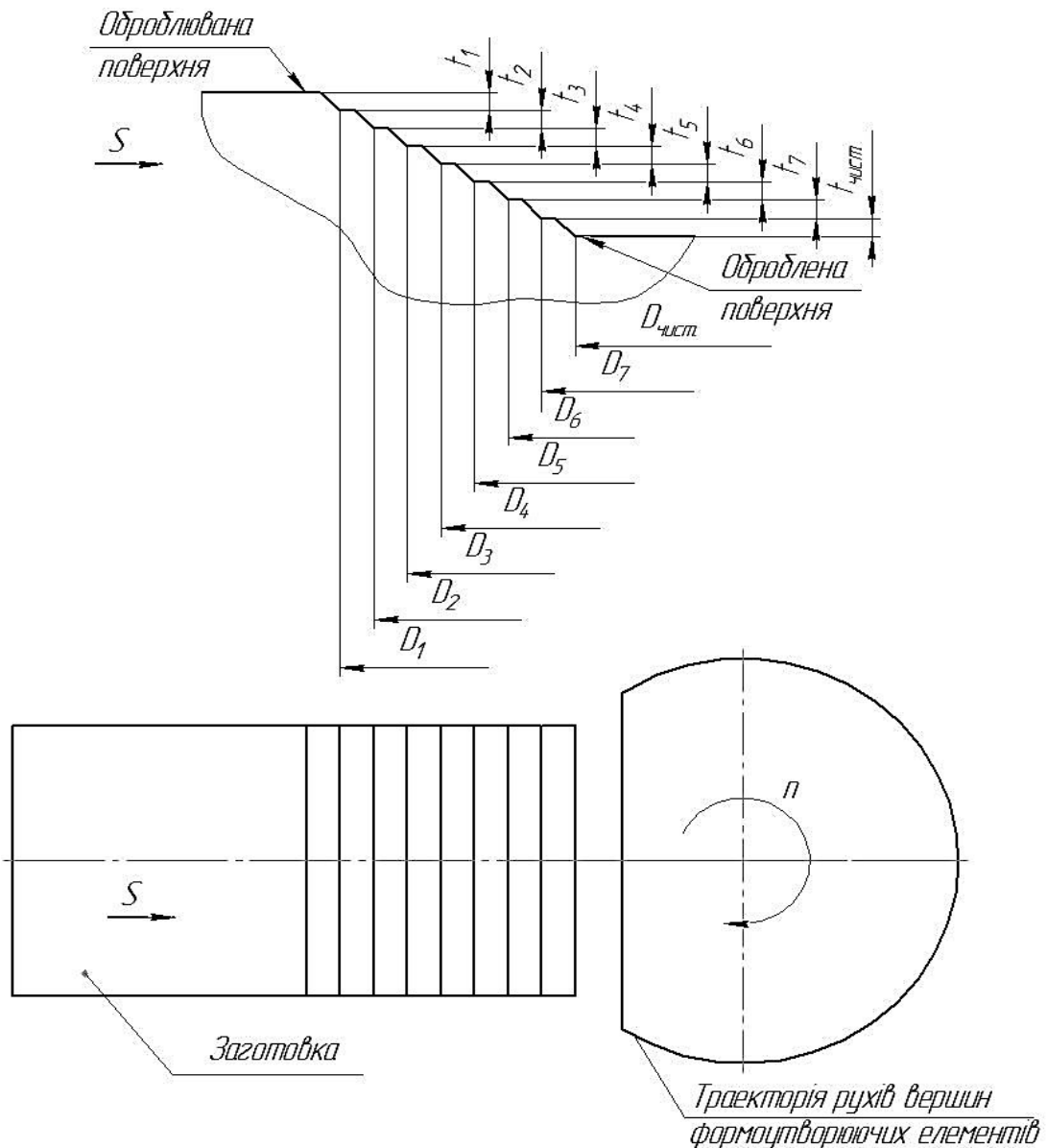


Рис. 1. Схеми видалення припуску за кінематичного перетворення рухів різальних елементів та ступінчастого різання

Конструкцією інструмента (патент України на винахід № 84478 від 27.10.2008 р.) передбачена можливість після чистового проходу проводити поверхневе легування методом металопереносу і вигладжування обробленої поверхні, які також проводяться як окремі проходи за кожен оберт інструмента.

За глибини різання чистовим різальним елементом 0,5 мм максимальна товщина припуску, що видаляється, може становити 3,5...4 мм.

Спосіб урівноваження радіальної складової P_y сили різання виконанням головного кута в плані φ більше 90° як для деталей типу тіл обертання, так і площинних [8] був розроблений, у першу чергу, для обробки нежорстких заготовок (патент України на винахід № 93641 від 25.02.2011 р.).

Головний кут у плані φ визначається з урахуванням кута сходу стружки, який при кутах $\gamma = 0^\circ$ і $\lambda = 0^\circ$ визначається за залежністю [9]:

$$\eta = \arctg \left\{ \frac{0,5 * r * \sin\varphi \left\{ 1 - \cos\left(\frac{S}{2r}\right) \right\}}{t + r * (\cos\varphi + 0,5\sin\varphi - 1) + 0,5 * S * \cos\varphi * \sin\varphi} \right\};$$

де r – радіус при вершині ножа; S – подача на оберт; φ – головний кут в плані; t – глибина різання.

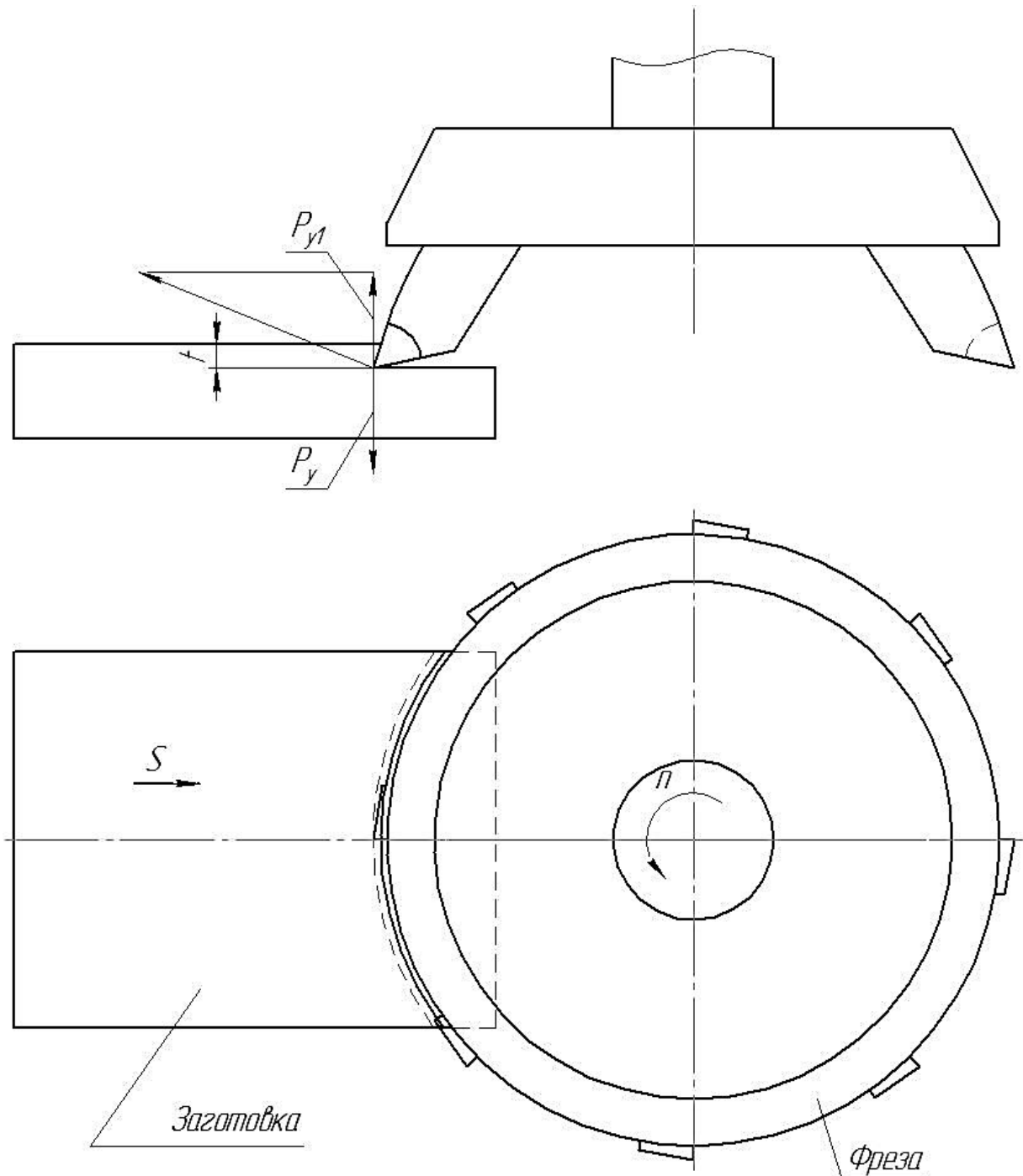


Рис. 3. Схема видалення припуску у процесі торцевого фрезерування з урівноваженням складової P_y сили різання

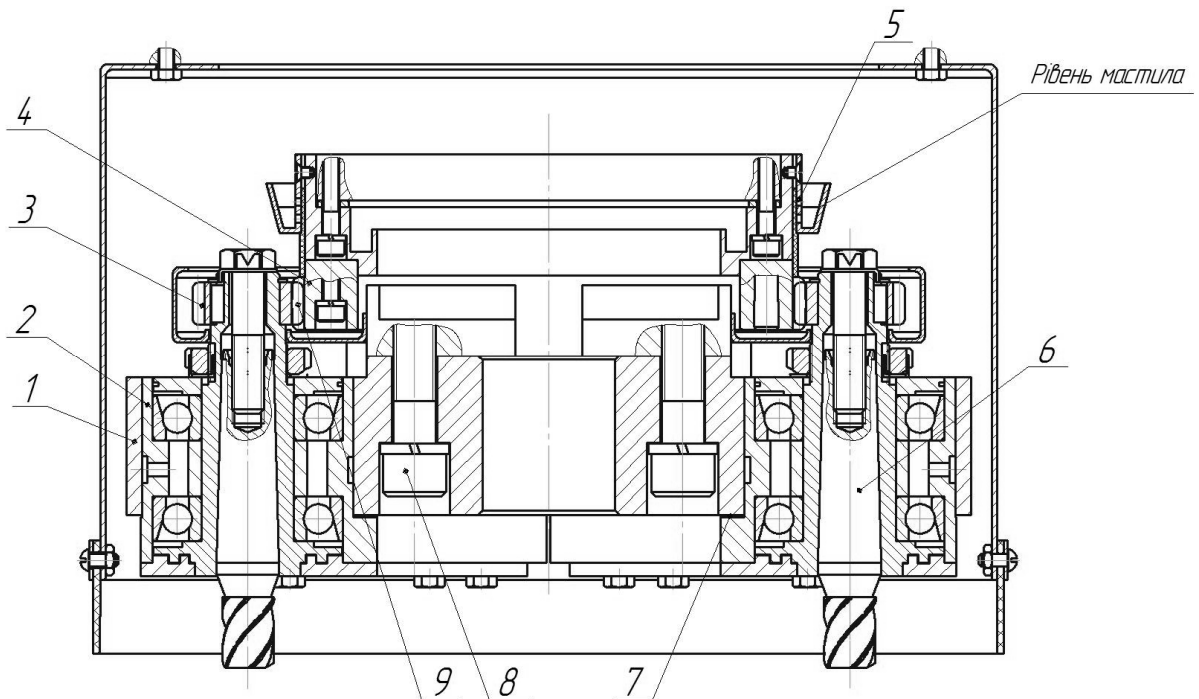
На рисунку 3 зображена схема утворення урівноваження складової P_y сили різання в процесі торцевого фрезерування з кутом $\varphi > 90^\circ$.

Проведеними експериментальними дослідженнями доведена ефективність запропонованого способу обробки нежорстких заготовок. Інтенсивне зношування інструмента і підвищена температура не спостерігались, а вібрації, порівняно з обробкою різцями з кутом $\varphi = 45^\circ$, були вдвічі нижчими. Ці результати дають можливість розширити використання зазначеного способу для будь-яких видів обробки лезовим інструментом, у тому числі для суміщення чорнкової обробки з чистовою.

Перетворення чорнкової і чистової обробок на один процес із видаленням припуску, поділеного на частини, із забезпеченням мінімального можливого часу використання кожного леза багатолезового

торцевого інструмента в процесі різання, особливо виражений у розробленому інструменті з планетарним рухом формують елементів (рис. 4).

Головним впливовим фактором на утворення шорсткості обробленої поверхні є налагодження однакового осевого вильоту кожної з шести фрез.



Фрагмент інструмента для обробки поверхонь зі спеціальною торцевою фрезою

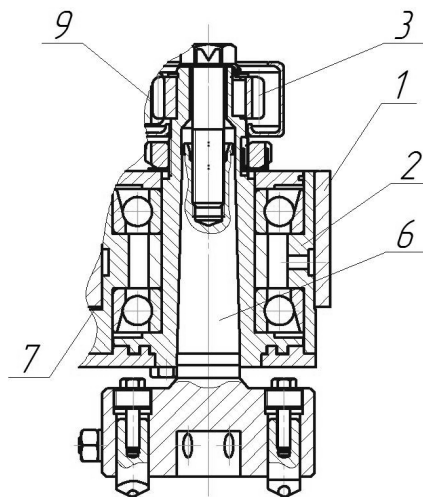


Рис. 4. Торцевий багатолезовий інструмент із планетарним рухом формують елементів

Розроблений торцевий інструмент з планетарною траєкторією рухів формують елементів, що дає можливість зменшити максимальне зусилля під час переривчастого різання зі змінною товщиною зрізу та мінімальним шляхом від точки вривання в метал до точки утворення максимальної товщини зрізу, рекомендував у своїй роботі [10] М.І. Ташлицький.

За умов планетарного руху формують елементів та швидкості обертання шпинделя 1000 об./хв. і подачі $S = 0,25$ мм/об. час використання кожного леза формують елементів у процесі різання не перевищує 0,001 с за один цикл, якщо кожна з шести фрез налічує п'ять лез. Короткочасність впливу високої температури на оброблену поверхню не дозволяє їй проникнути на значну глибину і, відповідно, змінити фазово-структурну побудову поверхневого шару деталі. Так само не відбувається

нагрівання передньої та задньої поверхонь різальної пластинки з НТМ. Короткий час нагріву і тривале охолодження сприяють збільшенню стійкості інструмента.

Висновок. Детальний аналіз процесів обробки плоских поверхонь деталей, а також розроблених нових способів обробки дозволяє визначити напрямки впровадження суміщення чорнової (попередньої) та чистової операцій:

- поділ припуску за товщиною його видалення таким чином, щоб забезпечити, не змінюючи режимів різання, чистову обробку поверхонь;
- урівноваження складової сили різання, перпендикулярної до обробленої поверхні.

Список використаної літератури:

1. Прошин Г.А. Совмещение черновой и чистовой обработок при торцевом фрезеровании / Г.А. Прошин, Ю.П. Симоненко.
2. Ермаков Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием / Ю.М. Ермаков. – М. : Машиностроение, 2003. – 272 с.
3. Сверхтвёрдые материалы. Получение и применение : монография в 6 томах / под общ. ред. Н.В. Новикова. – Т. 5. Обработка металлов лезвийным инструментом / под. ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.
4. Клименко С.А. К вопросу о механизме формирования микрогеометрии поверхности при лезвийной обработке / С.А. Клименко // Сверхтвёрдые материалы. – 1997. – № 5. – С. 43–53.
5. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.
6. Маталин А.Г. Технология машиностроения / А.Г. Маталин. – Л. : Машиностроение ; Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.
7. Сенькин Е.Н. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / Е.Н. Сенькин, П.В. Филипов, А.В. Колядин. – Л. : Машиностроение, 1988. – 63 с.
8. Мельничук П.П. Спосіб обробки різанням нежорстких деталей / П.П. Мельничук, В.Ю. Лосєв, О.М. Кравчук // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. ; редкол. В.О. Федорович (голова) та ін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 4. – С. 74–85.
9. Петрушин С.Н. Введение в теорию несвободного резания материалов : учеб. пособие / С.Н. Петрушин. – Томск : ТПУ, 1999. – 97 с.
10. Ташлицкий Н.И. Явления запаздывания усилий при прерывистом резании с переменной толщиной среза / Н.И. Ташлицкий // Вестник машиностроения. – № 4. – Машиностроение, 1969. – С. 67–68.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри Металорізальних верстатів і систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– комплексні методи обробки плоских поверхонь деталей машин.

– металорізальні верстати і системи.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2014