

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОГО РІЗАННЯ

Визначено основні проблемні питання, що виникають під час чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь деталей. Запропоновано шляхи удосконалення конструкції торцевих фрез для зазначених умов. Розроблено прогресивну конструкцію торцевої фрези зі східчастим розташуванням ножів на корпусі, з удосконаленою конструкцією хвостовика.

Ключові слова: чистове фрезерування, торцеве фрезерування.

N.O. BALYTSKA, L.YE. GLEMBOTSKA

Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine

WAYS OF IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF FACE MILLS FOR FINISH CUTTING

In this article the basic problem questions that arise up in the process of the finishing face milling, identified design flaws standard face milling cutters and proposed the ways of their elimination. The construction of face milling cutter is worked out with the without top shape blade knives convex front and a flat back of the blade, toroidal tool body, improved construction shank with a small belt of increased susceptibility. In the process of treatment a face milling cutter the step chart of cutting away of assumption will be realized in the conditions of the oblique-angled cutting. The use of the improved construction of the shank allows reducing the degree of precision of the value of the cone of 7 to 8, and achieving results that correspond to the connection accuracy AT4, AT6. Experimentally, the new design of face milling cutters provides Ra 1,2 micron and 25 micron deviation from flatness. This provides improved performance processing of flat surfaces of 2.9 times compared to the double grinding.

Keywords: finish milling, face milling.

Постановка проблеми. Підвищення вимог до якості плоских поверхонь обумовлює необхідність подальшого дослідження процесу чистового торцевого фрезерування. Цей процес характеризується складними умовами: несприятливими дійсними геометричними параметрами різальних кромки фрез, високими питомими силами різання та їх значними коливаннями, чутливістю до биття різальних кромки інструмента та їх ударними навантаженнями, високою швидкістю та температурою в зоні різання, недостатньою стійкістю фрез та ін. Окремою проблемою сучасного вітчизняного машинобудування є не завжди задовільний технічний стан металорізального обладнання та оснащення ряду підприємств, а саме складність забезпечення високої точності встановлення і позиціонування інструмента та заготовки на верстаті. У зв'язку із зазначеним виникає необхідність проектування торцевих фрез (ТФ) менш чутливих, ніж стандартні, до зазначених умов чистового різання та похибок обладнання. Особливо це важливо при обробці плоских точних протяжних поверхонь, які є переважно спряженими і характеризуються високими вимогами до їх якості ($R_a \leq 1,6$ мкм).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чистове торцеве фрезерування характеризується глибиною різання t в межах 0,75...2 мм, значенням шорсткості R_a 10...1,25 мкм та відхиленням від площинності обробленої поверхні – 0,04...0,08 [1].

Питанням обробки металів з малими товщинами зрізу присвячені роботи таких авторів: Зорев Н.Н., Горещька З.Д., Маргуліс Д.К., Синопальников В.А., Stempel H., Engelhard W., Deguer W., Victor H., Blanck D. та ін. Цими роботами встановлено, що зі збільшенням товщини зрізу від 0,001 до 1 мм (в 1000 разів), питомий тиск в зоні різання зменшується від 2,15 до 0,02 ГПа відповідно, тобто майже в 100 разів. Це пояснюється тим, що при малій товщині зрізу перетворення окремого шару припуску у стружку проходить не по передній поверхні, а по перехідній (по дузі радіуса заокруглення). В результаті цього дійсний передній кут суттєво зменшується і може досягати значень $-10...-70^\circ$. Як наслідок, зменшується величина кута зсуву та збільшується площа поверхні зсуву, а отже, зростають питомі сили різання. Таким чином, для ефективного руйнування припуску необхідно зрізати зменшені за шириною і збільшені за товщиною шари зрізу (рис. 1), що можливо реалізувати за рахунок східчастих схем різання.

На сьогоднішній день відомими вченими пропонуються конструкції торцевих фрез з розташуванням ножів по логарифмічним спіралям, спіралям Архімеда [2–5] та Ферма [6], що призводить до більш рівномірного навантаження на ножі ТФ, збільшення кількості ножів, що беруть участь в різанні. Загальною рисою робіт [3–5] є використання різальних ножів з плоскою передньою і циліндричною задньою поверхнями та встановлення різного вильоту ножів відносно поверхні корпусу ТФ, а також виконання конічної загальної поверхні різання. Проте через велику різницю в швидкостях різання окремими ножами (на найменшому та найбільшому діаметрах) має місце їх нерівномірне зношування. Крім того, велика різниця в діаметрах, на яких розташовані перший та останній ножі, обумовлює зменшення ширини оброблюваної деталі або збільшення габаритів фрези. Тому для подолання вказаних недоліків автором в попередніх дослідженнях було запропоновано загальній поверхні різання надати торової форми за рахунок використання тороїдального корпусу ТФ [6], що дає можливість виконання установки ножів з однаковим вильотом.

Відомі східчасті «човникові» схеми різання ТФ [7, 8] дозволяють ділити припуск за шириною зрізу, завдяки чому навіть при невеликій глибині різання кожним ножом досягається значна загальна глибина різання. Але більш важливою перевагою цих ТФ перед стандартними є менша чутливість до биття різальних кромки ножів, внаслідок переважного різання кожним ножом по власному сліду. При реалізації на ТФ «човникових» східчастих схем різання ножі розташовуються на спіралях різного напрямку або на двох півколах (коло зі зміщенням відносно осі обертання центром). Таке різне розташування ножів може розглядатись як конструктивна подача [9–11] з різним знаком. Взаємодія конструктивної з робочою кінематичною подачею створює різні за величиною товщини зрізу на кожен ніж.

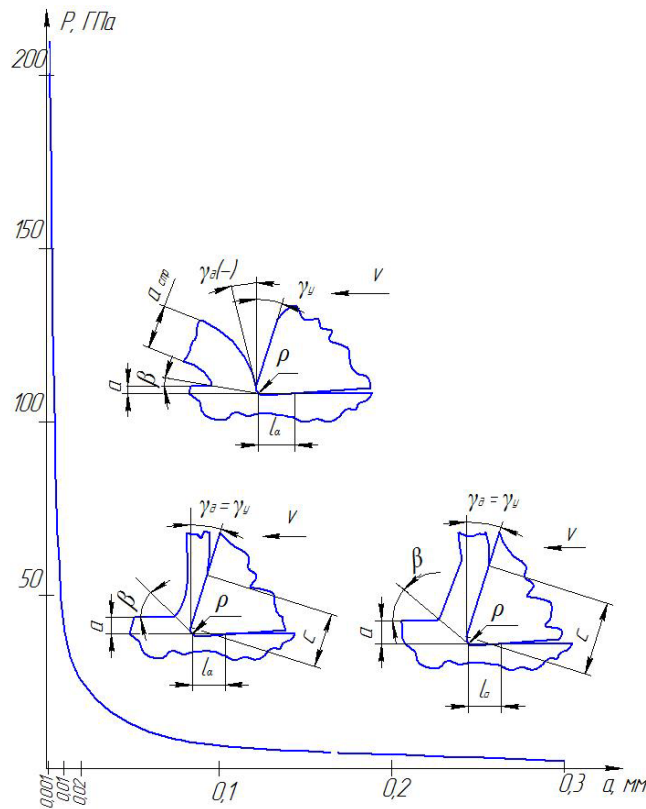


Рис. 1. Вплив товщини зрізу на питому силу різання

Особливістю роботи торцевих фрез зі східчастими схемами різання є забезпечення значного загального припуску на обробку із одночасно малими глибинами різання на кожен ніж. При цьому ножі фрези працюють в умовах тонкого або чистового різання.

Враховуючи аналіз переваг та недоліків вказаних відомих прогресивних схем різання ТФ можна зробити висновок про недоцільність їх використання в умовах чистового різання.

Крім того, задача підвищення точності установки ТФ на верстатах на сьогоднішній день вирішується за рахунок підвищення вимог до точності верстата та технічного оснащення. Проте питання удосконалення конструкції хвостової частини ТФ є малодослідженими і потребують вирішення. В роботі автора [24] запропонована удосконалена конструкція порожнистого хвостовика з серединною проточкою з двома посадковими поясками за рахунок чого загальна величина заглиблень фрези в оброблену поверхню буде досягати 0,02...0,03 мм – це особливо важливо для чистового фрезерування.

На основі вищезазначеного виникає необхідність розробити конструкцію ТФ для чистового фрезерування менш чутливу до биття різальних кромки інструмента, та яка забезпечить більш точне та жорстке з'єднання із шпинделем верстата, ніж стандартні фрези.

Метою статті є визначення шляхів удосконалення конструкції торцевих фрез та розробка прогресивної конструкції торцевої фрези для чистового різання.

Викладення основного матеріалу. Аналіз роботи торцевих фрез стандартних конструкцій вказує на наступні їх недоліки (рис. 2): биття різальних кромки; вершинна форма лез ножів; мала кількість як загальних, так і активних різальних ножів. В результаті биття деякі з ножів можуть взагалі не брати участі у різанні. Частина ножів тільки дотикаються до поверхні різання, викликаючи тертя, внаслідок чого нагріваються самі, створюють умови для нагрівання наступного ножа, а також проводять тепло далі у корпус фрези. Такі ножі більш інтенсивно зношуються, наклепують поверхневий шар, збільшуючи міцність і напруження в поверхні різання.

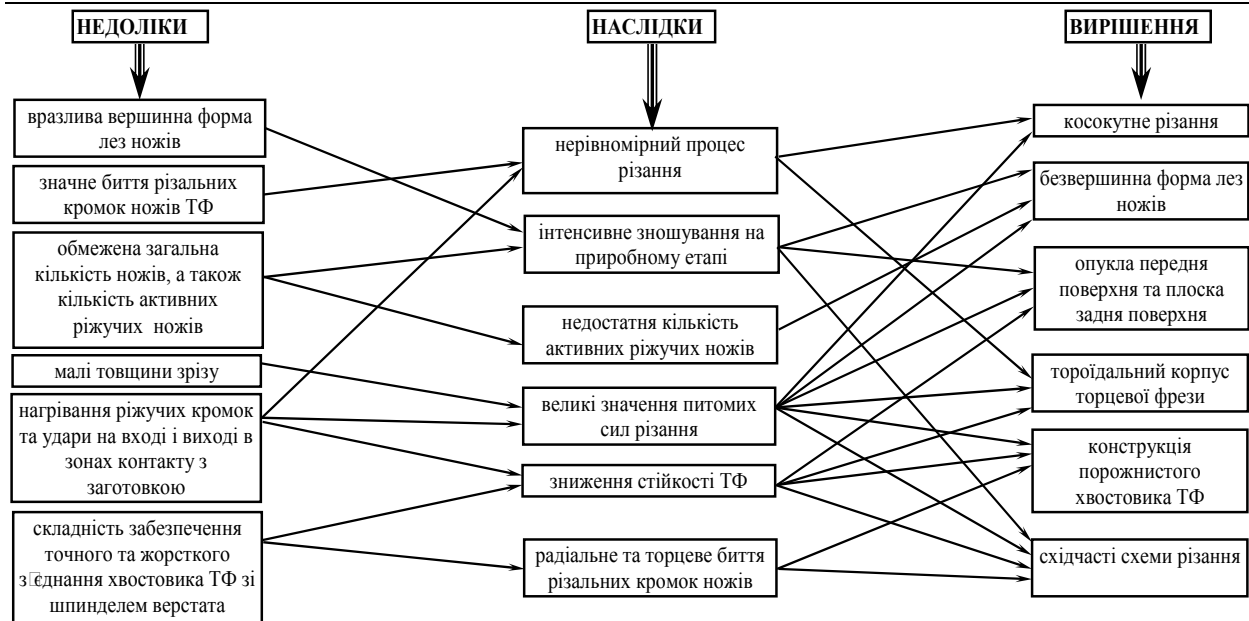


Рис. 2. Недоліки конструкцій стандартних торцевих фрез для чистового різання та шляхи їх вирішення

Знизити вплив вищеназваних негативних явищ на характеристики оброблюваної поверхні можна конструктивним шляхом – як удосконаленням конструкції фрези за рахунок використання раціональної форми різальної частини ножів та типу різання, конструкції фрези та хвостовика, реалізації східчастої схеми різання, так і за рахунок підвищення жорсткості та точності з'єднання зі шпинделем верстата.

«Відкрита» форма загальної поверхні [13] забезпечує найменшу чутливість до зміни величини припуску та дозволяє отримати найменшу шорсткість отриманої поверхні.

Серед можливих форм корпусів ТФ у вигляді тіл обертання найкращою буде тороїдальна, тому, що робота ножа, який обробляє зовнішню поверхню заготовки, характеризується кутом в плані близьким до прямого, що визначає мінімальне копіювання поверхні заготовки на поверхні деталі. Ніж, який обробляє поверхню деталі, має нульовий кут в плані, а напівчистовий ніж – незначний кут в плані. Завдяки розташуванню цих ножів на колі тора чистовим ножем зрізається мала товщина зрізу, що визначає високу якість поверхневого шару. Конструктивною перевагою тороїдального корпусу є також можливість легкого встановлення ножів з однаковим вильотом відносно корпусу, чим забезпечується однакове навантаження кожного з ножів. В роботі [13] автора запропоновано використання ТФ з тороїдальним корпусом для умов чистового різання з розташуванням ножів по спіралі Ферма.

Як відомо, визначальний вплив на зношування ножів торцевих фрез здійснюють нагрівання різальних кромки та удари на вході і виході в зонах контакту із заготовкою [14, 15, 16, 17]. Таке зношування варто розглядати як термомеханічне руйнування матеріалу різальної частини ножів. Для зниження динамічного навантаження при вході і виході ножів із зони контакту з заготовкою в роботі [13] автор рекомендує використовувати негативні передні кути та збільшені кути нахилу різальної кромки ножів торцевих фрез, тобто косокутне різання.

Оскільки найбільш інтенсивно зношуються саме вершини різальних кромки ножів торцевих фрез, то варто використовувати їх безвершинну форму.

Процес руйнування будь-якого матеріалу тиском, різанням тощо, в тому числі при знятті припуску, можна регулювати шляхом керування його напруженим станом [18]. Тобто шар припуску, що зрізається стандартними інструментами має звичайний всебічно стиснутий стан, тому необхідно сформувати такий напружений стан, який характеризувався б меншим гідростатичним тиском [19]. Конструктивно це можна вирішити шляхом виконання передньої поверхні різальної частини ножа опуклою, а задньої – плоскою [20].

Найбільша інтенсивність зношування різальної частини ножів спостерігається на приробному етапі, що суттєво обмежує загальну стійкість ТФ [21]. В свою чергу, різальні кромки ножів в початковому стані мають найбільшу різальну здатність. Явище інтенсивного приробного зношування може бути пояснене невисокою динамічною сталістю процесу фрезерування та високою вразливістю гострих різальних кромки. Вирішення вказаної проблеми полягає в створенні «пом'якшеної» динаміки процесу фрезерування, тобто у зменшенні похідних зміни сил та миттєвих швидкостей при ударних процесах. Для зниження ударів варто зменшувати маси за рахунок зменшення об'ємів ТФ та/чи використання матеріалів корпусу ТФ з малою питомою вагою, та підвищувати жорсткість зв'язку ТФ зі шпинделем верстата.

Останнім часом провідними європейськими виробниками розроблені конструкції порожнистих конічних хвостовиків, які отримують більш широке застосування [22, 23]. Перевагами таких хвостовиків над звичайними конічними хвостовиками є: менша довжина та маса; приблизно в два рази більша сила затискання; допустимі частоти обертання перевищують 8000 хв^{-1} ; висока статична та динамічна жорсткість; є можливість стискного деформування для відповідності профілю поверхні отвору шпинделя; можуть

передаватися високі крутні моменти; максимальна точність заміни елементів інструментальної системи; точність повторення при встановленні; короткий час на заміну; мінімальне радіальне биття. Автором пропонується удосконалення хвостовика [24], за рахунок порожнистої конструкції та зменшення стискної жорсткості, що забезпечує зміну величин жорсткості від мінімальної (40 кН/мм) при малих навантаженнях, до максимальної (2 МН/мм) – при найбільших навантаженнях.

Причиною ударних процесів може бути як одночасність входу і виходу всіх точок різальних кромок в припуск заготовки, що має місце при ортогональному різанні, так і биття різальних кромок [21], що призводить до нерівномірного фрезерування. Відомо [12], що допуски на радіальне биття двох суміжних і протилежних різальних кромок ножів ТФ складають 0,02...0,15 мм, а на торцеве биття – 0,02...0,1 мм. З одного боку, ці величини через співставність з товщиною зрізу є значними для досягнення рівномірного різання, а з іншого – такі величини биття різальних кромок при експлуатації ТФ є майже недосяжними. Першим способом подолання вказаних недоліків може бути зменшення навантаження на кожен ніж фрези. Другим – підвищення участі роботи ножів в різанні за рахунок використання східчастих схем різання, які характеризуються переважно поділом ширини (в напрямку глибини різання) зрізу, тоді як схеми різання стандартних ТФ – поділом товщини (в напрямку подачі) зрізу.

При косокутному різанні ножами з безвершинною формою нахиленої різальної частини цей недолік частково знімається. Але більш повне зняття впливу биття буде мати місце завдяки використанню східчастої схеми різання [13]. Крім того, східчасті схеми різання характеризуються участю практично всіх ножів в різанні, що також свідчить про підвищення продуктивності обробки.

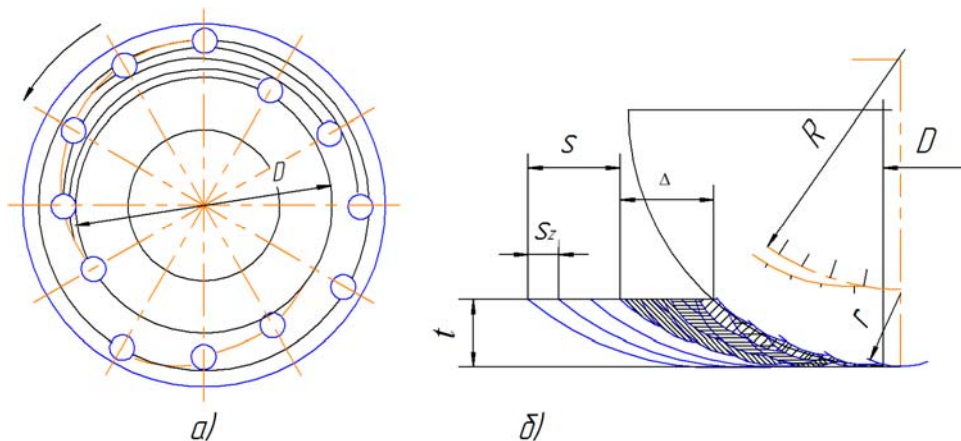


Рис. 3. Розташування ножів на корпусі торцевої фрези (а) та схема різання (б)

На основі вищезазначеного було удосконалено конструкцію торцевої фрези для чистового різання. Під час експерименту була обрана попутна схема фрезерування, яка характеризується меншим виділенням тепла, більшою стійкістю ТФ, меншою шорсткістю поверхні та меншими навантаженнями на шпиндель верстата.

Обробка заготовки розмірами $82 \times 250 \times 62$ мм зі сталі 35ХГСА загартованої до твердості $47...52 HRC_e$ проводилася удосконаленою торцевою фрезою з циліндричними ножами з надтвердого матеріалу (гексаніт-Р) на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6Р12 (доведеному до відповідної норми точності (Н)). Режими різання: $v = 135 - 151$ м/хв, $s = 33 - 35$ мм/хв та загальний припуск на обробку $t = 0,8 - 1,1$ мм.

В результаті проведених досліджень забезпечено: шорсткість $R_a = 1,2$ мкм та відхилення від площинності $\Delta = 25$ мкм. При цьому глибина різання на кожен ніж знаходиться в межах від 0,04 мм до 0,43 мм, а товщина зрізу до 0,01 мм. Впровадження запропонованої торцевої фрези [24] удосконаленої конструкції призводить до підвищення якості механічної обробки та продуктивності (в 2,9 разу) порівняно із двократним шліфуванням.

Висновки. В роботі виділено основні проблемні питання, що виникають в процесі чистового торцевого фрезерування, визначено конструктивні недоліки стандартних торцевих фрез та запропоновано шляхи їх усунення. Серед них: застосування косокутного різання, безвершинної форми лез ножів, опуклої передньої та плоскої задньої поверхні ножів, тороїдального корпуса торцевої фрези, східчастих схем різання. Розроблено торцеву фрезу для чистового різання з удосконаленою конструкцією хвостовика з малим пояском підвищеної податливості, що дозволяє знизити ступінь точності виконання величини конуса з 7 до 8 та досягти результатів, які відповідають з'єднанню за ступенем точності АТ4–АТ6. Експериментально встановлено, що нова конструкція торцевої фрези забезпечує шорсткість R_a 1,2 мкм та відхилення від площинності $\Delta = 25$ мкм. При цьому забезпечується підвищення продуктивності обробки плоских поверхонь деталей в 2,9 рази порівняно із двократним шліфуванням. В подальшому передбачається провести дослідження процесу торцевого фрезерування в більш широкому діапазоні режимів різання.

Література

1. Чучман Ю.І. Технологія машинобудування для електромеханіків / Ю.І. Чучман. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2001. – 348 с.
2. Сенькин Е.Н. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / Е.Н. Сенькин, Г.В. Филиппов, А.В. Колядин. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – С. 34–37.
3. Виговський Г.М. Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) / Г.М. Виговський, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 1998. – № 7. – С. 73–81.
4. Виговський Г.М. Використання кінематичних схем різання при чистовому торцевому фрезеруванні / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 2000. – № 13. – С. 18–25.
5. Виговський Г.М. Розрахунок сил різання при обробці деталей ступінчастими торцевими фрезами / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 1999. – № 11. – С. 58–66.
6. А. с. 20040705233, МПК В 23 С5/06. Торцева ступінчаста фреза / Л.Є. Глембоцька. – № 17274/1 ; заявл. 01.07.2004 ; опубл. 19.06.06.
7. Лищинский Н.Я. Новые конструкции торцовых ступенчатых фрез с резами из сверхтвердых материалов Н.Я. Лищинский // Сверхтвердые материалы. – 1980. – № 3. – С. 28–30.
8. Андреев В.Н. Конструкция и эксплуатация ступенчатых фрез с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок / Андреев В.Н., Тамбовцев С.С. – М. : ВНИИ, 1968. – С. 69–74. – (Фрезы: Сборник докладов всесоюзного совещания по фрезам).
9. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов : [учебник] / Петро Родіонович Родін. – К. : Выща шк., 1990. – С. 218–222.
10. Лашнев С.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / Лашнев С.И., Юликов М.И. – М. : Машиностроение, 1980. – С. 19–24.
11. Лашнев С.И. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами : монография / Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. – Курск : Курск. гос. техн. ун-т, 1997. – С. 37–38.
12. Справочник инструментальщика / [под общ. ред. И.А. Ординарцева]. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1987. – С. 342–346, 349.
13. Глембоцька Л.Є. Схеми різання при обробці торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів / Л.Є. Глембоцька, П.П. Мельничук // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир, 2006. – № 3(38). – С. 3–10.
14. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов / Андреев Г.С. – М. : Вестник машиностроения. – 1971. – № 3. – С. 65–68.
15. Андреев Г.С. Влияние тепловых и адгезионных явлений на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании / Г.С. Андреев. – М. : Вестник машиностроения, 1974. – № 10. – С. 71–74.
16. Хае Г.Л. Режущие свойства торцовых твердосплавных фрез / Хае Г.Л., Ильченко И.Я. – М. : Вестник машиностроения. – 1971. – № 2. – С. 73–75.
17. Field Michael. Review of surface integrity of machined components / Field Michael, Kahles John F. – CIRP, 1971, 20, № 2, pp. 153–162.
18. Зорев Н.Н. Напряженное состояние в зоне стружкообразования / Зорев Н.Н., Дель Г.Д., Гольдшмидт М.Г., Дель В.Д. // Вестник машиностроения. – М., 1969. – № 7. – С. 71–73.
19. Армареги И. Дж. А. Обработка металлов резанием / Армареги И. Дж. А., Браун Р.Х. – М. : Машиностроение, 1977. – 325 с.
20. Глембоцька Л.Є. Моделювання силових залежностей при торцевому фрезеруванні / Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П. // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2008. – Том 13, № 3. – С. 79–87.
21. Вег А. Износ инструмента в первые секунды резания / Вег А., Kaldos S. – CIRP Ann. – 1982. – 31. – № 1, pp. 13–17.
22. HSK or CAT which tool holding solution is best? Mod. Appl. News. 2001, 35, № 2. pp. 20–23.
23. HSK–Schnitt–und Trennstelle // Masch.–Anlag.+Verfahr. 1995, № 3. pp. 46.
24. Пат. на винахід № 78120, МПК(2007) В23С5/02, В23С5/16. Різальний інструмент / Л.Є. Глембоцька. – № а 200504170, заявл. 29.04.2005 ; надр. 15.02.2007, Бюл. № 2.

Рецензія/Peer review : 10.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Полонський Л.Г.