

УДК 621.919

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТЯГУВАННЯ
ЗА РАХУНОК КОСОКУТНОГО РІЗАННЯ В ЗОНІ ДЕФОРМУВАННЯ**©Скоркін А. О.¹, Кондратюк О. Л.¹, Шелковий О. М.², Пермяков О. А.²*Українська інженерно-педагогічна академія¹**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»²***Інформація про авторів:**

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-8341; mot@uira.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; mot@uira.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Шелковий Олександр Миколайович: ORCID: 0000-0002-7414-4854; alnikshelk@gmail.com; доктор технічних наук; завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

Пермяков Олександр Анатолійович: ORCID: 0000-0002-9589-0194; perm_a@i.ua; доктор технічних наук; завідувач кафедри технологій машинобудування та металорізальних верстатів; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

Метод обробки є складним системно-структурним утвором, що включають п'ять елементів: спосіб впливу на оброблюваний матеріал, кінематичні, статичні й динамічні характеристики обробного інструменту. Застосування відомого методу у виробництві або розробка нового методу здійснюється шляхом установлення значень характеристик, удосконалювання кожної з них і оптимізації їх комбінацій на основі вивчення закономірностей формування параметрів якості продукції.

Для обробки циліндричних отворів у машинобудуванні застосовується метод обробки без зняття стружки – деформуюче протягування. При цьому методі якісні параметри оброблюваного отвору формуються за рахунок пластичного деформування поверхні.

Методи остаточної чистової розмірної обробки поверхні пластичним деформуванням засновані на проштовхуванні деформуючих елементів через оброблюваний отвір. Деформуюче протягування (прошивання) може мати один або кілька деформуючих елементів.

У машинобудуванні використовуються деформуючі елементи з різною макро- і мікрогеометрією: зі збільшеною фаскою посадкового отвору, зі зміненою геометрією заднього конуса, конусне сполучення деформуючого елемента й оправлення, зі шліцевою робочою поверхнею деформуючого елемента.

Ключові слова: протягування; деформуючий елемент; отвір; чистова розмірна обробка.

Скоркін А. О., Кондратюк О. Л. Шелковой А. Н. Пермяков А. А. «Повышение эффективности протягивания за счет косоугольного резания в зоне деформации».

Метод обработки является сложным системно-структурным образованием, включающим пять элементов: способ воздействия на обрабатываемый материал, кинематические, статические и динамические характеристики, обрабатывающий инструмент. Применение известного метода в производстве или разработка нового метода осуществляется путем установления значений характеристик, совершенствования каждой из них и оптимизации их сочетаний на основе изучения закономерностей формирования параметров качества продукции.

Верстати та інструменти

Для обработки цилиндрических отверстий в машиностроении применяется метод обработки без снятия стружки – деформирующее протягивание. При этом методе качественные параметры обрабатываемого отверстия формируются за счет пластического деформирования поверхности.

Методы окончательной чистовой размерной обработки поверхности пластическим деформированием основаны на проталкивании деформирующих элементов через обрабатываемое отверстие. Деформирующая протяжка (прошивка) может иметь один или несколько деформирующих элементов.

В машиностроении используются деформирующие элементы с различной макро- и микрогеометрией: с увеличенной фаской посадочного отверстия, с измененной геометрией заднего конуса, конусное сопряжение деформирующего элемента и оправки, с шлицевой рабочей поверхностью деформирующего элемента.

Ключевые слова: протягивание; деформирующий элемент; отверстие; чистовая размерная обработка.

Skorkin A., Kondratyuk O., Shelkovi A., Permyakov A. “Increasing the efficiency of pulling due to oblique cutting in the deformation zone”.

The processing method is a complex system-structural formation, which includes five elements: a method of influencing the material being processed, kinematic, static and dynamic characteristics, and a processing tool. The application of a known method in production or the development of a new method is carried out by establishing the values of characteristics, improving each of them and optimizing their combinations on the basis of studying the regularities in the formation of product quality parameters.

For machining cylindrical holes in engineering, the method of machining without chip removal is applied-deforming broaching. In this method, the qualitative parameters of the machined aperture are formed due to plastic deformation of the surface.

The methods of final finishing surface treatment by plastic deformation are based on pushing deforming elements through the hole being processed. Deforming broaching (piercing) can have one or more deforming elements.

In the engineering industry, deforming elements with various macro and microgeometry are used: with an enlarged chamfering facet, with a modified geometry of the rear cone, a conical mating of the deforming element and the mandrel, with the spline working surface of the deforming element.

Key words: drawing, deforming element, hole, finishing dimensional processing.

1. Вступ

Одним з найважливіших напрямків у машинобудуванні є створення високоефективних ресурсозберігаючих методів обробки металів і впровадження у виробництво прогресивних технологічних процесів.

До таких методів відносяться методи деформуюче-ріжучого протягування (ДРП), які дозволяють за рахунок сполучення ріжучого й деформуючого способів впливу підвищити ефективність процесів протягання, значно скоротити довжину інструмента в порівнянні з ріжучим протягуванням, знизити силові витрати на різання й на процес ДРП у цілому, підвищити якість обробки. Але дані методи обробки мають такі недоліки, як висока вартість інструмента, оснащеного нетехнологічними деформуючими й ріжучими елементами досить складної конструкції, виготовленими зі швидкорізальної сталі або твердого сплаву, що значно знижує можливість використання цих методів. Крім того, не вивчені співвідношення між припусками на різання й деформування, які впливають на сили процесу протягування, довжину інструмента й, як наслідок, продуктивність обробки.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Протяжки є самими високопродуктивними інструментами, в 3...12 разів продуктивніше в порівнянні з обробкою іншим різальним інструментом. Протягування забезпечує точність обробки по 7... 6-му квалітетам і шорсткість $Ra = 0,16...2,5$ мкм [1]. Протяжка – металомісткий, складний у виготовленні й тому дорогий інструмент. Економічна доцільність їх застосування виправдовується при забезпеченні оптимальних елементів конструкцій і режимів різання, якісному виготовленні інструменту і правильної експлуатації [1].

У загальному випадку стійкість протяжки визначається наступними факторами: підйомом на зуб S_z , фізико-механічними властивостями оброблюваного й інструментального матеріалів, елементами режиму різання, геометричними параметрами зубів протяжки, застосовуваними змащувально-охолоджуючими рідинами й ін.

Дослідженнями доведено, що підйом на зуб S_z є найважливішим параметром, що визначають продуктивність обробки й стійкість протяжки. Д. К. Маргулісом [3] доведено, що при збільшенні підйому на зуб стійкість протяжки зменшується. Н. Ф. Пронкин [6] показав, що підвищене зношування ріжучих зубів спостерігається при зменшенні підйому на зуб до величини, порівнянної з радіусом скруглення ріжучої крайки зуба. При обробці грузлих сталей підйом на зуб обмежується появою наростів на передній поверхні зуба. Важливу роль при обмеженні підйому на зуб мають відколи, що утворюються на торці деталі при виході ріжучих зубів з оброблюваної деталі. Зменшення підйому на зуб протяжки веде до збільшення кількості зубів, а, отже, і загальної довжини протяжки, тобто до зменшення продуктивності обробки [3, 4].

3. Постановка проблеми

Найважливішим параметром деформуючого протягування є натяг пластичного деформування, необхідна величина якої забезпечується сумарним натягом, що розподіляються на кожний деформуючий елемент. Обмеженням величини натягу є механічна міцність матеріалу деформуючого елемента.

У машинобудуванні використовуються деформуючі елементи з різною макро- і мікрогеометрією: зі збільшеною фаскою посадкового отвору, зі зміненою геометрією заднього конуса, конусне сполучення деформуючого елемента й оправлення, зі шліцевою робочою поверхнею деформуючого елемента, з похилим розташування робочої поверхні; з регулярною мікрогеометрією на робочих поверхнях деформуючого елемента [5].

Встановлено [4–6], що при використанні деформуючого елемента, що не має зворотного конуса, збільшується нерівномірність деформацій з концентрацією їх у поверхневому шарі оброблюваного матеріалу, що забезпечує умови значного полегшення зрізання наступними ріжучими зубами. При цьому деформація матеріалу заготовки на всьому протязі контакту є активною, що забезпечує ефективне використання всієї контактної поверхні робочого профілю деформуючого кільця. Збереження циліндричної стрічки, як елемента робочого профілю, служить для забезпечення необхідної розмірної стійкості кільця. Найбільш інтенсивному зміцненню піддається тонкий поверхневий шар меншої глибини, про що свідчить збільшення його мікротвердості на 10,9 % стосовно результату, отриманого при обробці деформуючим кільцем зі звичайною геометрією (рис. 0).

Визначено, що при продавлюванні пазів і роздавлюванні виступів деформації й мікротвердість поверхневого шару розподіляються нерівномірно. Встановлено, що повторне пластичне деформування поверхні, що створює мінливі за знаком і величині деформації, сприяє руйнуванню поверхневого шару. Руйнування поверхні супроводжується збільшенням мікротвердості глибше розташованих шарів металу.

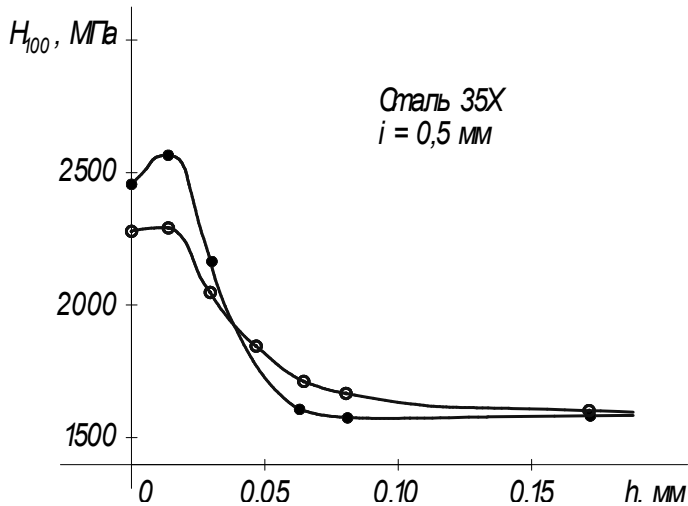
Верстати та інструменти

Рис. 1 – Мікротвердість поверхневого слоя оброблюємого матеріала при протягуванні:

- – кільцем без зворотнього конуса;
- – кільцем з $\alpha_1=\alpha_2=5^\circ$, $l=0,8\dots 1 \text{ мм}$

загального припуску $2A$ і співвідношення між припуском на деформування $2A_\delta$ й різання $2a$:

$$2A = 2A_\delta + 2a,$$

$$2A_\delta = d - d',$$

де d, d' – діаметри отворів відповідно після і до циклів деформування.

Для усунення однакового по розмірах і формі припуску деформуючих зубів потрібно менше, чим ріжучих (рис. 2), а питомі осьові сили на деформування [4] менше, ніж на різання [3] (рис. 3). На підставі цього при деформуюче-ріжучому протягуванні з випереджальним пластичним деформуванням, запропоновано максимальну величину припуску деформувати, а зрізати припуск, що включає висоту нерівностей профілю (шорсткість) і відхилення профілю поздовжнього перетину, що утворюються після попереднього деформування. Тому необхідно поглиблене вивчення впливу деформуючого протягування на зміну вихідної форми отвору в поздовжньому перетині, на зміну параметра вихідної шорсткості.

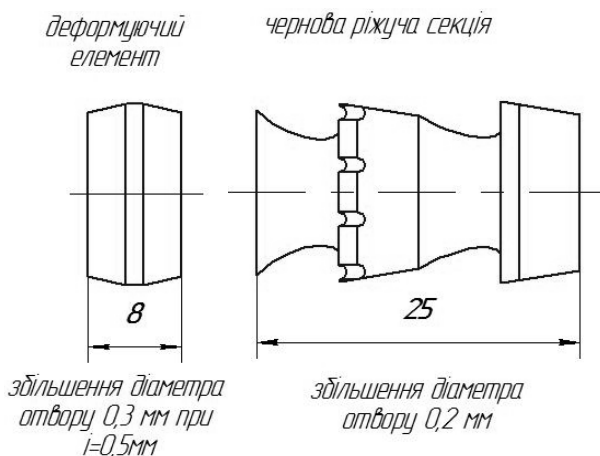


Рис. 2 – Порівняння довжин деформуючого та ріжучого елементів

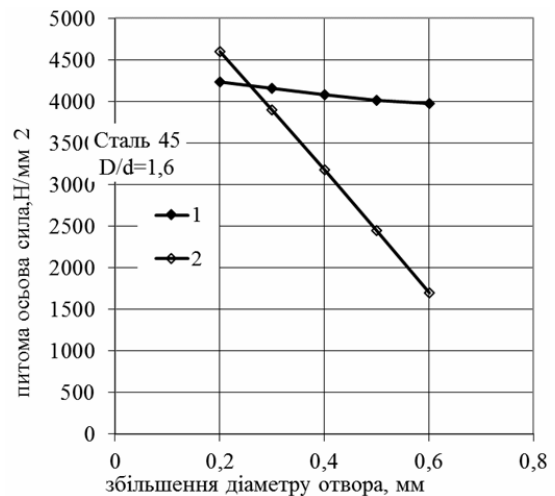


Рис. 3 – Залежність питомої осьової сили від збільшення діаметру отвору:
1 – ріжуче протягування; 2 – деформуюче протягування, $\alpha=4^\circ$

Відомо, що пружнопластичне навантаження зони різання знижує сили різання при протягуванні, підвищує стійкість інструменту. До такого ж ефекту призводить розташування ріжучих зубів під кутом до осі протягання, тобто здійснення процесу косокутного різання.

Аналіз-синтез перерахованих характеристик способу впливу дозволив запропонувати новий напрямок вдосконалення способу впливу, а так само схему обробки та інструмент, який реалізує його: косокутність різання в зоні деформування, здійснюване одним деформуюче-ріжучим елементом (рис. 4).

Протяжка, що містить цільні деформуюче-ріжучі елементи 1, змонтовані на оправці 2, зображена на рис. 5.

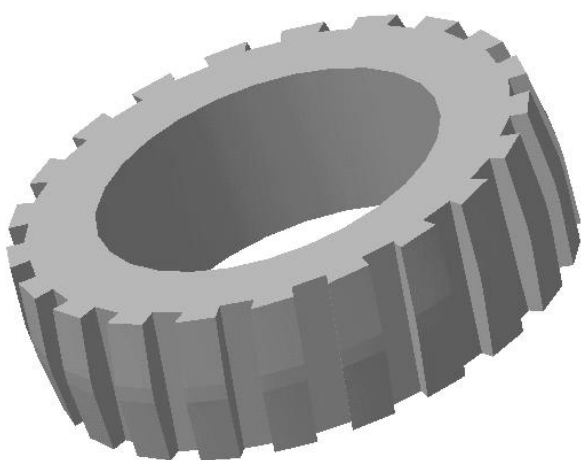


Рис. 4 – Деформуюче-ріжучий елемент

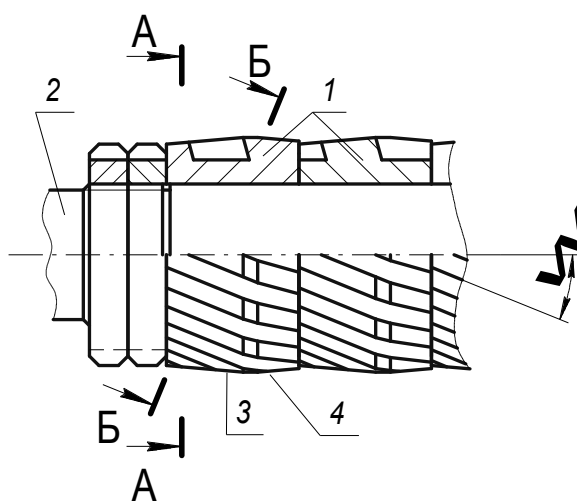


Рис. 5 – Деформуюче-ріжуча протяжка

На робочій поверхні деформуюче-ріжучих елементів виконані канавки 3, ширина b яких (рис. 5, рис. 6) дорівнює ширині утворених виступів 4. Канавки виконані під кутом γ_1 (рис. 6) до осі протягування в площині поперечного перерізу деформуюче - ріжучого елемента, причому кут γ_1 виконаний позитивним з лівого боку переднього торця кожного елемента при правому розташуванні канавок і, навпаки, позитивним з правого боку переднього торця елемента при лівому розташуванні канавок. Крім того, канавки виконані під кутом ω (рис. 5, рис. 7) до осі протягування так, щоб точка A , що визначає початок утворення виступів на оброблюваній поверхні розташовувалася від початку циліндричної стрічки на відстані l по осі протягування, величина якого визначається за формулою (1):

$$l = \frac{b \cdot \cos(\arctg(\sin \omega \cdot \operatorname{tg} \alpha))}{\sin \omega \cdot \cos \gamma} \quad (1)$$

де кут γ (рис. 6) визначається в перетині, нормальному до бічної поверхні канавки, а величина його дорівнює статичному переднього кутку ріжучої кромки, яка утворюється при перетині забірною конуса, виконаного під кутом α до осі елемента, циліндричної стрічки і зворотного конуса з лівої бокової поверхні канавки при правому їх розташуванні. Таким чином, точка A визначає початок ріжучої кромки на забірному конусі, а відстань від точки A до початка циліндричної стрічки - довжину робочої ділянки ріжучої кромки на забірному

Верстати та інструменти

конусі. Задній торець деформуюче-ріжучого елемента виконують на відстані не менше, ніж l (рис. 7) по осі протягування від точки E , що визначає початок циліндричної стрічки. Кожен попередній деформуюче-ріжучий елемент розташовується на оправці таким чином, щоб точка B , розташована на перетині правої бічної поверхні (від переднього торця елемента), забірною конуса і площини поперечного перерізу, що проходить через точку A , що визначає початок утворення виступів, тобто початок робочої ділянки ріжучої кромки на забірному конусі, в осьовому напрямку збігалася з точкою A_1 подальшого деформуючого елемента. Причому на протяжці встановлюється парна кількість елементів.

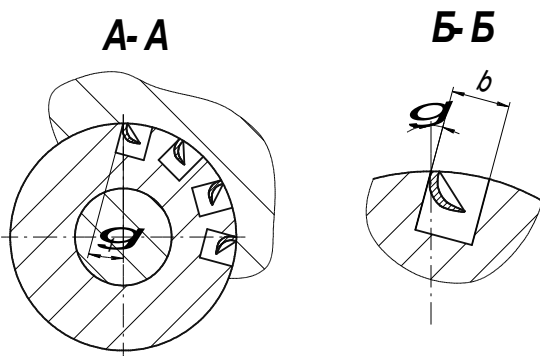


Рис. 6 – Перетин на рис. 5

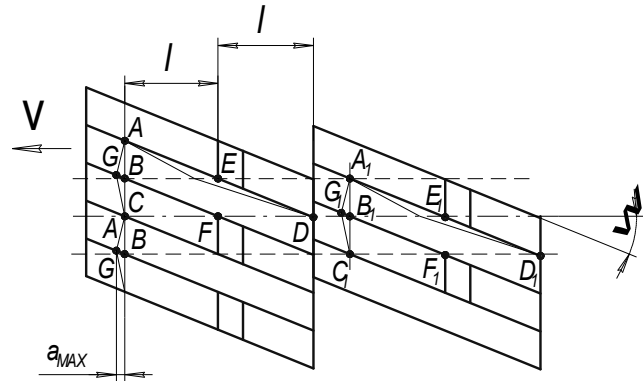


Рис. 7 – Розгорнення робочої поверхні деформуюче-ріжучого елемента

Протяжка працює наступним чином. Під час робочого ходу перший елемент входить в отвір забірною частиною в точці A (рис. 7) і починає пластично збільшувати діаметр отвору в зоні виступів деформуюче-ріжучого елемента і в меншій мірі в зоні канавок, за рахунок чого на поверхні отвору утворюються виступи, які відчувають окружні напруження розтягу. Але оскільки ліва бокова поверхня канавки при правому їх розташуванні на елементі встає на шляху руху утворюючогося на поверхні отвору виступу останній починає зрізати. При цьому різання здійснюється в зоні розтягування, що сприяє зниженню сил різання, так як попереднє розтягнення сприяє накопиченню ступеня руйнування в зрізали шарі, а також збільшує показник напруженого стану в зоні різання [8].

Процес зрізання стружки починається в точці A , тобто в зоні утворення виступу на оброблюваній поверхні, і в міру просування деформуюче-ріжучого елемента ширина стружки збільшується. При входженні точки B в зону обробки ширина стружки дорівнює довжині відрізка головної різальної кромки AE , яка визначається за формулою (2):

$$AE = \frac{l}{\cos \alpha \cdot \cos \omega}, \quad (2)$$

де α – кут заборного конуса деформуюче-ріжучого елемента. При цьому враховується і товщина зрізаємого шару a , максимальна величина a_{MAX} яка дорівнює максимальній висоті H_{MAX} утворюючих виступів.

При подальшому русі протягування матеріальна точка C заготовки повинна увійти в зону обробки останньої в точці D ріжучої кромки, пройшовши шлях, який дорівнює $2l$. При цьому матеріальна точка C випробує максимальну ступінь деформації, так як вона пройде максимальний відрізок CF по забірному конусу елемента, тобто в цих точках висота

утвореного виступу буде дорівнювати нулю. Таким чином, в точці D ріжучої кромки процес різання відбуватися не буде, тому ширина стружки, продовжуючи збільшуватися, досягне величини AD , а товщина стружки буде зменшуватися до нуля. Тобто при переміщенні деформуюче-ріжучого елемента на величину $2l$ процес стабілізується, ширина стружки буде дорівнювати $2l$ до виходу елемента з отвору. При виході з отвору ширина стружки буде змінюватися в зворотньому порядку, зменшуючись до нуля. Відповідно, сила різання і деформування при вході елемента в зону різання і виході з неї буде змінюватися не стрибкоподібно, а поступово, що значно знижує вібрації і, як наслідок, хвилястість обробленої поверхні. Виконання канавок під кутом ω до вектору головного руху значно знижує сили різання, так як збільшується кінематичний передній кут γ_K , що визначається за формулою (3), а процес різання стає косокутним. Максимальна товщина $BG = A_{max}$ знаходиться в середній частині шару, що зрізається.

$$\gamma_K = \arctg \frac{tg\gamma}{\sin \omega} \quad (0)$$

При кутовому зміщенні попереднього елемента щодо наступного за рахунок поєднання по осі точки B попереднього елемента з точкою $A1$ наступного, досягається рівномірне видалення припуску по колу отвору. Максимальна товщина зрізаного наступним елементом шару $B1G1$ збігається з точками A і C , в яких матеріал не зрізається попереднім елементом. Крім того, рівномірне зрізання шарів металу по колу забезпечується тільки при парній кількості деформуюче-ріжучих елементів.

Висновки

Таким чином, протяжка ефективно збільшує отвір за рахунок пластичної деформації отвору ділянками забірної конуса, а також забезпечує зрізання механічно зміцненого поверхневого шару, що призводить до зменшення довжини протягування і підвищенню якості обробленої поверхні.

Список використаних джерел:

1. Амбросимов С. К. Совершенствование конструкций протяжного инструмента для обработки гладких цилиндрических отверстий / С. К. Амбросимов // *Сверхтвердые материалы*. – 1994. – № 1. – С. 34.
2. Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
3. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
4. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
5. Проскуряков Ю. Г. Объемное дорнование отверстий / Ю. Г. Проскуряков, В. Н. Романов, А. Н. Исаев. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
6. Пронкин Н. Ф. Протягивание протяжками из твердых сплавов / Н. Ф. Пронкин. – М.: Машиностроение, 1966. – 108 с.

References

1. Ambrosimov, S 1994, 'Sovershenstvovaniye konstruktсий protyazhnogo instrumenta dlya obrabotki gladkikh tsilindricheskikh otverstiy', *Sverkhtverdyye materialy*, no. 1, pp. 34.
2. Vulf, A 1973, *Rezaniye metallov*, Mashinostroyeniye, Leningrad.
3. Margulis, D, Tverskoy, M & Ashikhmin, V 1986, *Prot'yazhki dlya obrabotki otverstiy*, Mashinostroyeniye, Moskva.
4. Odintsov, L 1987, *Uprochneniye i otdelka detaley poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniyem*, Mashinostroyeniye, Moskva.
5. Proskuryakov, Yu, Romanov, V & Isaev, A 1984, *Obyemnoye dornovaniye otverstiy*, Mashinostroyeniye, Moskva.
6. Pronkin, N 1966, *Prot'yagivaniye prot'yazhkami iz tverdyykh splavov*, Mashinostroyeniye, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 24 листопада 2017 р.