

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

«Дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення
деталі вал».

«Study of high-speed turning with the development of a technology for
manufacturing a shaft part».

Виконавець: здобувач вищої освіти 2
року магістратури, групи ПМ-22М-3
напряму 131 «Прикладна механіка»

Сергій ОГНАРЬОВ

Керівник: доц., к.т.н.

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: доц., к.т.н.

Олександр КУЗИК

Завідувач кафедри: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« 30 » _____ 08 _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Сергія ОГНАРЬОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення деталі вал
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ
3. Строк подання роботи до захисту « 02 » _____ 01 _____ 2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:
Метою роботи є: дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення деталі вал.
Завдання:
 - виконати аналіз швидкісного точіння;
 - дослідити: матеріали різальних пластин для швидкісного точіння; конструкції та особливості різального інструменту для швидкісного точіння; отримувану якість поверхонь оброблених швидкісним точінням;
 - проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення деталі, виявити його переваги та недоліки, розробити прогресивний технологічний процес, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
 - спроектувати та розрахувати затискний пристрій та різальний інструмент;
 - виконати необхідні економічні розрахунки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 2	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 3	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 4	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		
ДОДАТКИ	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	Жовтень 2023	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Жовтень 2023	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Жовтень-листопад 2023	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Листопад 2023	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2023	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад-грудень 2023	вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2023	вик.
8	ДОДАТКИ	Грудень 2023	вик.
9	Графічна частина та оформлення	Грудень 2023	вик.

Дата видачі завдання « 30 » 08 2023 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « 30 » 08 2023 р.

Здобувач _____ Сергій ОГНАРЬОВ
(підпис)

Анотація

Огнар'ов С.С. Дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення деталі вал: кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: спец. 131 «Прикладна механіка» / наук. кер. О. І. Скібінський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 116 с. Матеріали презентації 7 креслень.

Метою роботи є дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення деталі вал.

В роботі виконано аналіз швидкісного точіння, як прогресивного способу металообробки, виконано аналіз матеріалів різальних пластин, конструкцій та особливостей різального інструменту для швидкісного точіння. Проведено аналіз відомих досліджень параметрів обробки та отримуваної якості поверхонь оброблених швидкісним точінням. Виконано дослідження впливу параметрів різання при швидкісному точінні на шорсткість обробленої поверхні експериментальним шляхом. Проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі вал, виявлено його переваги та недоліки, розроблено прогресивний технологічний процес, вибрані металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розраховані припуски, режими різання та норми часу; спроектовано та розраховано затискний пристрій та різальний інструмент; виконані необхідні економічні розрахунки.

Актуальність: досліджено якість оброблених поверхонь деталей при швидкісному точінні: вплив геометрії різальних пластин на якість обробки, виконано аналіз інструментальних матеріалів, розроблено рекомендації по вибору інструментальних матеріалів в залежності від міцнісних характеристик оброблюваного матеріалу, досліджено вплив покриття різальної пластини на стійкість інструменту.

Практичне значення: розроблені рекомендації для швидкісного точіння циліндричних поверхонь валу; розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення валу, розроблено конструкцію затискного пристрою та різального інструменту.

Ключові слова: швидкісне точіння, кераміка, кермет, полікристалічний кубічний нітрид бору, вайпер, шорсткість.

Annotation

Serhii OHNAROV. Study of high-speed turning with the development of a technology for manufacturing a shaft part. Master's Thesis: CNTU, 2024. - 116 p. Presentation materials 7 il.

The purpose of this work is the research of high-speed turning with the development of the manufacturing technology of shaft parts.

The thesis analyzes high-speed turning as a progressive method of metalworking, analyzes the materials of cutting plates, structures and features of the cutting tool for high-speed turning. An analysis of known studies of processing parameters and the obtained quality of surfaces processed by high-speed turning has been carried out. The influence of cutting parameters during high-speed turning on the roughness of the machined surface was studied experimentally. The basic manufacturing process of the shaft part was analyzed, its advantages and disadvantages were identified, a progressive technological process was developed, metal cutting machines, clamping, auxiliary and control devices were selected, allowances, cutting modes and time standards were calculated; a clamping device and a cutting tool are designed and calculated; the necessary economic calculations have been performed.

Relevance: the quality of machined surfaces of parts during high-speed turning was investigated: the influence of the geometry of the cutting plates on the quality of processing, the analysis of tool materials was performed, recommendations were developed for the selection of tool materials depending on the strength characteristics of the material being processed, the effect of the coating of the cutting plate on the stability of the tool was studied.

Practical significance: developed recommendations for high-speed turning of cylindrical shaft surfaces; an improved technological process of manufacturing the shaft was developed, the design of the clamping device and the cutting tool was developed.

Key words: high-speed turning, ceramics, cermet, poly crystalline cubic boron nitride, wiper, roughness.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ШВИДКІСНОГО ТОЧІННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1. Поняття швидкісного точіння.....	8
1.2. Постановка задач дослідження.....	12
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО ТОЧІННЯ.....	13
2.1. Особливості та характеристики швидкісного точіння.....	13
2.2. Прогресивні різальні матеріали для швидкісного точіння.....	24
2.3. Стійкість різального інструменту.....	34
2.4. Знос різального інструменту.....	37
2.5. Шорсткість при швидкісному точінні.....	39
2.6. ЗОР при швидкісному точінні.....	45
2.7. Методика проведення експериментальних досліджень.....	47
2.8. Висновки.....	50
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛУ.....	51
3.1. Службове призначення валу та його характеристика.....	51
3.2. Розробка технології виготовлення валу.....	54
3.3. Висновки.....	78
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ.....	79
4.1. Розробка та розрахунок пристрою затискного.....	79
4.2. Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту.....	89
4.3. Висновки.....	91
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	92
5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження.....	92
5.2. Розрахунок календарно-планових нормативів.....	94
5.3. Визначення чисельності основних робітників цеху.....	97
5.4. Аналіз варіантів технологічного процесу.....	98
5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі.....	108
5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників.....	111
5.7. Висновки.....	112
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114

ВСТУП

Машинобудівна галузь пропонує велике різноманіття методів механічної обробки поверхонь деталей. Розвиток науки та технологій сприяє та забезпечує вдосконалення відомих методів, а також відкриття новітніх.

Прогресивні технології та методи обробки забезпечують покращення якості випускаємої продукції, зменшення часу на виготовлення тощо. В умовах ринкової економіки, якість продукції повинна бути високою, а технології – продуктивними.

В роботі необхідно проаналізувати швидкісне точіння, як один із прогресивних способів металообробки, виконати пошук та аналіз різальних матеріалів, конструкцій та особливостей різального інструменту для швидкісного точіння. Провести аналіз відомих досліджень параметрів обробки та отримуваної якості поверхонь оброблених швидкісним точінням. Розробити рекомендації по обробці швидкісним точінням циліндричних поверхонь деталі вал. Виконати детальний аналіз базового технологічного процесу обробки валу та розробити раціоналізований технологічний процес, який забезпечить скорочення кількості та номенклатури металорізальних верстатів, скорочення часу на виготовлення деталі, зменшення кількості виробничих робітників та ін. При цьому, раціоналізований технологічний процес забезпечить якість та точність виготовленої за ним деталі, а також забезпечить зниження собівартості деталі.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ШВИДКІСНОГО ТОЧІННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Поняття швидкісного точіння

Сучасний стан розвитку машинобудування досяг високого рівня, але наука та технології не стоять на місці. Із розвитком галузі, розширюється і коло питань, які потрібно досліджувати та вирішувати. Для підвищення продуктивності праці та збільшення обсягів виробництва, актуальності набуває дослідження та застосування прогресивних методів обробки металів різанням.

Токарна обробка, як вид механічної обробки металу відома у всьому світі та успішно застосовується уже не одне століття. Але із розвитком науки і техніки в технології машинобудування, свого часу, постало питання у створенні прогресивних методів в токарній обробці. Одним із таких методів, з найбільш принциповими досягненнями протягом уже тривалого періоду часу є обробка металів при досить високих швидкостях різання. Застосування швидкісної обробки стало можливим завдяки удосконаленню твердих сплавів та конструкцій різального інструменту, а також завдяки покращенню певних характеристик металорізальних верстатів.

Швидкісна механічна обробка (англ. HSM – high speed machining) – є одним із перспективних напрямів розвитку сучасної технології машинобудування. Одним із різновидів швидкісної обробки є швидкісне точіння.

Швидкісне точіння (high-speed turning) – це вид механічної обробки, який по своїй суті не відрізняється від звичайного точіння. Тобто, відбувається знаття шару металу із заготовки різцем. Але, суттєвою відмінністю швидкісного точіння є те, що обробка здійснюється при швидкості, яка в декілька разів, іноді навіть в 5-10 разів більша за швидкість звичайного точіння. Також важливими аспектами швидкісного точіння є: формування сили різання, механізм утворення стружки, утворення та поширення тепла в зоні різання.



Рис. 1.1. Швидкісне точіння:

1 – оброблювана деталь; 2 – різець; 3 – затискний пристрій верстату

Перші згадки про швидкісну обробку з'явилися в 1920-х роках, а вже в 1930-х Карл Соломон дав визначення швидкісній обробці. Він зазначив, що швидкісна обробка (ШО) - це обробка із певною швидкістю, яка в 5-10 разів вища, ніж при звичайній обробці, за якої температура видаляємої стружки на різальній кромці почне знижуватися [16]. Це твердження добре ілюструється так званою «кривою Соломона» (рис. 1.2). Тобто, існує діапазон швидкостей, в якому температура та сила різання будуть нижчими, ніж при звичайних, стандартних, швидкостях обробки.

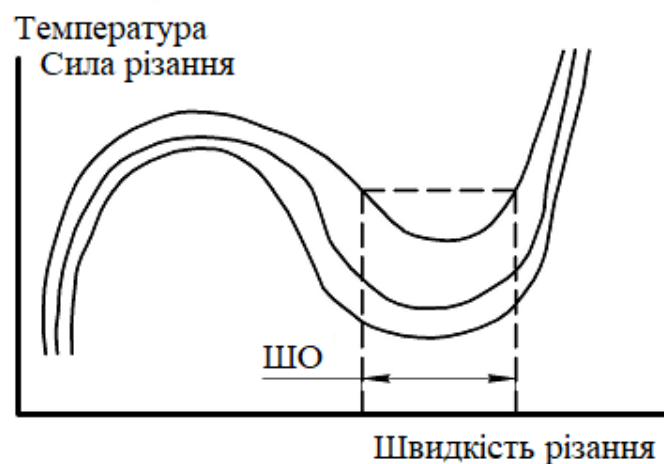


Рис. 1.2. Криві Соломона

В 1950-х роках почалися більш фундаментальні дослідження швидкісної обробки, а в 1980-х роках дана обробка була впроваджена на підприємстві Lockheed. З того часу швидкісна обробка почала набувати популярності на металообробних підприємствах світу.

ШО до теперішнього часу одержала теоретичне обґрунтування й широко застосовується на металорізальних верстатах. Це досягнуто об'єднаними зусиллями вчених, інженерів і токарів-новаторів.

Однак, розглядати швидкісне точіння, як операцію механічної обробки лише зі збільшеною швидкістю, буде не зовсім правильно. Оскільки, даний вид точіння також включає високу частоту обертання шпинделя, збільшену хвилинну подачу, збільшену продуктивність знімання шару металу, що обумовлено зрізанням тонших частинок металу та ін.

Характерною рисою швидкісної обробки металів різанням є зниження сил різання в деякому діапазоні швидкостей. Однак найбільш важливим фактором є перерозподіл тепла в зоні різання. При невеликих перерізах зрізу, у даному діапазоні швидкостей основна маса тепла концентрується в стружці, не встигаючи переходити в заготовку. Саме це дозволяє вести обробку загартованих сталей не побоюючись відпуску поверхневого шару. Звідси основний принцип ШО – малий переріз зрізу, що знімається з високою швидкістю різання, при відповідно високих значеннях обертів шпинделя й високій хвилинній подачі.

Головний ефект швидкісного точіння полягає не в зменшенні машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, а в підвищенні якості обробки і можливості ефективного використання сучасних верстатів з ЧПУ. Умовою успіху при швидкісній обробці може бути правильний вибір усіх складових факторів, що беруть участь в цьому процесі – верстат, система ЧПУ, ріжучий інструмент, допоміжний інструмент із системою закріплення інструменту, система програмування, кваліфікація технолога-програміста і оператора верстата з ЧПУ. Нехтування хоча б однією із цих складових може звести до нуля всі попередні зусилля.

Дослідження японських фахівців показали, що під час виконання швидкісного точіння, 75% виділеного тепла відводиться із стружкою, 20% – через інструмент, і 5% – через оброблювану деталь. Деталь в процесі різання нагрівається незначно, що позитивно впливає на точність обробки. На підставі досліджень обробки матеріалів з високими значеннями міцності і твердості отримані рівняння, за допомогою яких можливо розрахувати температуру поверхні різання деталі залежно від режимів різання.

При розгляді швидкості різання, як одного з факторів швидкісного точіння, обов'язково необхідно звертати увагу на оброблюваний матеріал. Адже, швидкість різання для різних матеріалів може суттєво відрізнятися. В залежності від матеріалу оброблюваної деталі, швидкість, як звичайної обробки, так і швидкісної буде мати різні діапазони значень (рис. 1.3).

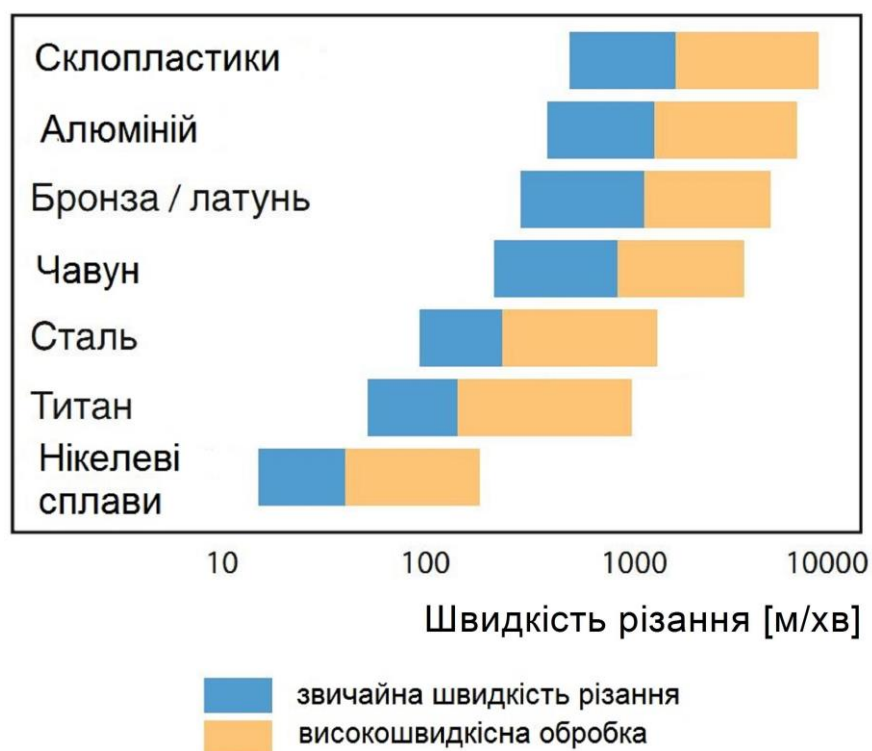


Рис. 1.3. Діапазон швидкостей різання швидкісної обробки в залежності від оброблюваного матеріалу

Збільшення швидкості різання дає наступні переваги:

- значне скорочення основного машинного часу;

- можливість підвищення питомої об'ємної продуктивності різання приблизно на 30 %;
- збільшення швидкості подачі до 5-10 разів;
- можливість зменшення сили різання більш ніж на 30 %;
- можливість чистової обробки різанням (якість поверхні майже відповідає якості шліфування, безперервна обробка за рахунок відводу технологічного тепла переважно через стружку);
- покращення шорсткості поверхні.

1.2. Постановка задач дослідження

В роботі необхідно виконати аналіз швидкісного точіння, як прогресивного способу металообробки. Виконати пошук та аналіз різальних матеріалів, конструкцій та особливостей різального інструменту для швидкісного точіння. Провести аналіз відомих досліджень параметрів обробки та отримуваної якості поверхонь оброблених швидкісним точінням. Виконати дослідження впливу параметрів різання при швидкісному точінні на шорсткість обробленої поверхні експериментальним шляхом.

Проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення валу, виявити його переваги та недоліки, розробити прогресивний технологічний процес із застосуванням швидкісного точіння, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти, розрахувати припуски, режими різання та норми часу.

Спроектувати та розрахувати затискний пристрій та різальний інструмент. Виконати економічні розрахунки.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО ТОЧІННЯ

2.1. Особливості та характеристики швидкісного точіння

Верстати для швидкісного точіння

Верстати для швидкісного точіння відрізняються від звичайних верстатів більш високими вимогами, які пред'являються до них.

Швидкісні верстати призначені для обробки на більших швидкостях різання та з високими числами обертів шпинделя (3000-6000 об/хв.). Швидкісний верстат оснащений більш потужними двигунами.

Для надійної роботи верстата його окремі частини повинні мати достатню жорсткість та вібростійкість. Особливе значення має збільшення жорсткості шпинделя, супорта й задньої бабки. Недостатня жорсткість верстата поряд зі збільшенням зазорів у підшипниках шпинделя та у рухливих з'єднаннях супорта, неврахування окремих швидкообертових частин верстата-патрона або оброблюваної деталі може стати причиною виникнення вібрацій.

При роботі різцями з негативними передніми кутами збільшується сила різання, особливо радіальна (відштовхувальна) сила. У результаті окремі частини верстата навантажуються значно більше, ніж при звичайному точінні.

У верстатах для швидкісного точіння шпиндель повинен обертатися без биття й вібрацій, на рис. 2.1 показано діаграму залежності зносу інструмента від биття шпинделя.

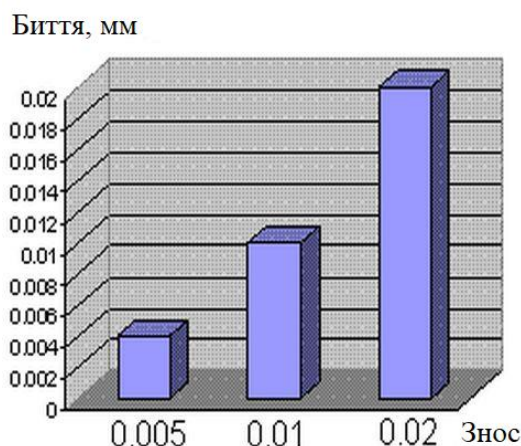


Рис. 2.1. Діаграма залежності зносу інструмента від величини биття шпинделя

При швидкісному точінні виникають менші сили різання (рис. 1.1), ніж при звичайному точінні. Це, в свою чергу, обумовлює менші сили, що діють на підшипники шпинделя, кульково-гвинтові передачі та напрямні. Все це призводить до більш високої стабільності різання, збільшення терміну служби верстату та зниження вібрацій.

За рахунок зменшення допоміжного часу, який може бути в 2 рази більшим за основний (машинний) час, можна підвищити ефективність використання верстата.

На даний час є багато верстатобудівних підприємств, які виготовляють верстати для швидкісного точіння. Серед світових виробників можна виділити японську компанію Mazak та китайську компанію Goodway. Верстати даних виробників відрізняються високою якістю, надійністю роботи на високих швидкостях та частотах обертання, забезпечують точність розмірів та необхідні показники шорсткості оброблених поверхонь.

Для більш детального аналізу характеристик верстату, розглянемо високошвидкісний токарний обробний центр з ЧПУ моделі QUICK TURN NEXUS 100-II M (рис. 2.2) японської фірми Mazak.



Рис. 2.2. Верстат QUICK TURN NEXUS 100-II M

Основні характеристики верстату:

- максимальний діаметр обробки – 550 мм;
- максимальна довжина обробки – 334 мм;
- частота обертання шпинделя – 35-6000 об/хв;
- інструментальний барабан – 12 інструментів.

Модельний ряд високошвидкісних токарних обробних центрів з ЧПУ китайської фірми Goodway налічує велику кількість верстатів, які здатні обробляти деталі великого діапазону розмірів та з різними швидкісними та частотними характеристиками. Розглянемо основні характеристики верстату моделі GLS-200 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Верстат GLS-200

Основні характеристики верстату:

- максимальний діаметр обробки – 500 мм;
- максимальна довжина обробки – 500 мм;
- частота обертання шпинделя – 45-4500 об/хв;
- інструментальний барабан – 12 інструментів.

Розглянуті моделі швидкісних обробних центрів оснащені контршпинделем, що дає змогу оброблювати деталь з обох сторін з

переустановкою на одній операції механічної обробки. Після обробки деталі, закріпленої в патроні шпинделя, для її обробки з протилежної сторони, контршпиндель переміщується до деталі та затискає її в патроні. В цей час патрон шпинделя розтискає деталь.

Також, дані високошвидкісні обробні центри оснащені інструментальними барабанами на 12 інструментів. За рахунок можливості переміщення різального інструменту вздовж всіх трьох осей координат, на даних верстатах, на ряду з токарною обробкою, можна виконувати обробку і осьовим різальним інструментом, таким, як: свердла, зенкери, розвертки, борштанги та ін.

Отже, використання швидкісних обробних центрів для швидкісного точіння має ряд переваг:

- скорочення основного часу за рахунок застосування прогресивних режимів різання;
- збільшення продуктивності обробки;
- зменшення кількості верстатів за рахунок можливості обробки деталі з обох сторін при застосуванні контршпинделя;
- зменшення кількості операцій механічної обробки деталі за рахунок можливості виконання свердлильних, фрезерних, різьбонарізних та інших операцій на одному обробному центрі.

Різальний інструмент для швидкісного точіння.

Існує велика кількість токарних різців, які відрізняються за призначенням: прохідні, відрізні, канавкові та ін.

До різців, які виконують обробку на високих швидкостях висуваються певні вимоги:

- матеріал різальної пластини достатньої твердості, міцності та стійкості;
- гостра різальна кромка;
- мінімальна маса інструменту;
- мінімальний виліт інструменту;
- використовувати збірні різці із мінімальною кількістю деталей.



Рис. 2.4. Токарні різці:
а – прохідний; б – відрізний канавковий

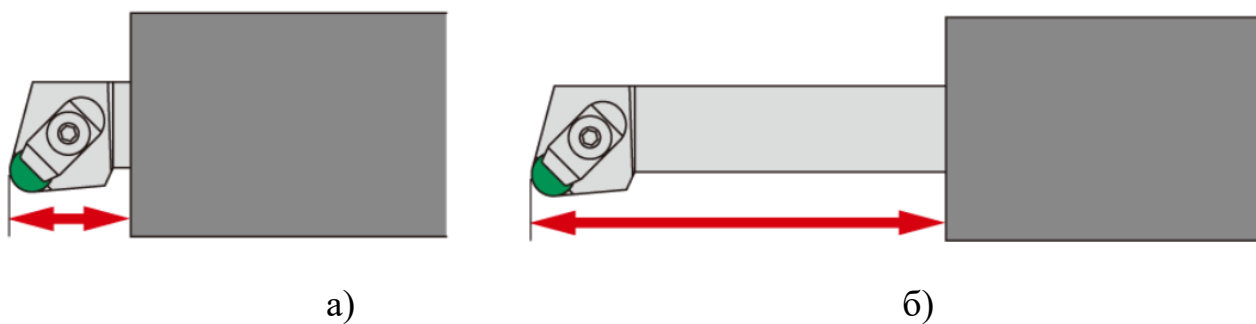
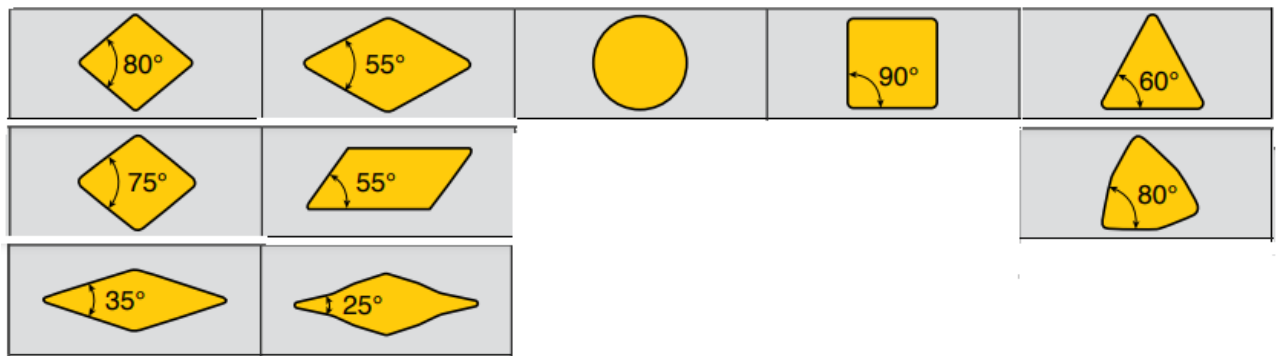


Рис. 2.5. Довжина вильоту різця при швидкісному точінні:
а – рекомендована; б – нерекomenдована

За рахунок зменшення вильоту різця забезпечується вібростійкість інструменту під час обробки.

Серед світових виробників, які пропонують різці та різальні пластини до них для швидкісного точіння, можна виділити: корейську компанію TaeguTec, ізраїльську компанію Iscar, американську компанію Kennametal, шведські компанії Sandvik, Seco тощо.

В залежності від оброблюваного профілю деталі, світові виробники різального інструменту пропонують велику кількість форм та розмірів різальних пласти та державок до них. За формою токарні різальної пластини бувають: квадратні, ромбічні, трикутні, круглі (рис. 2.6).



а)

б)

в)

г)

Рис. 2.6. Форма токарних різальних пластин:

а – ромбічна; б – кругла; в – квадратна; г – трикутна

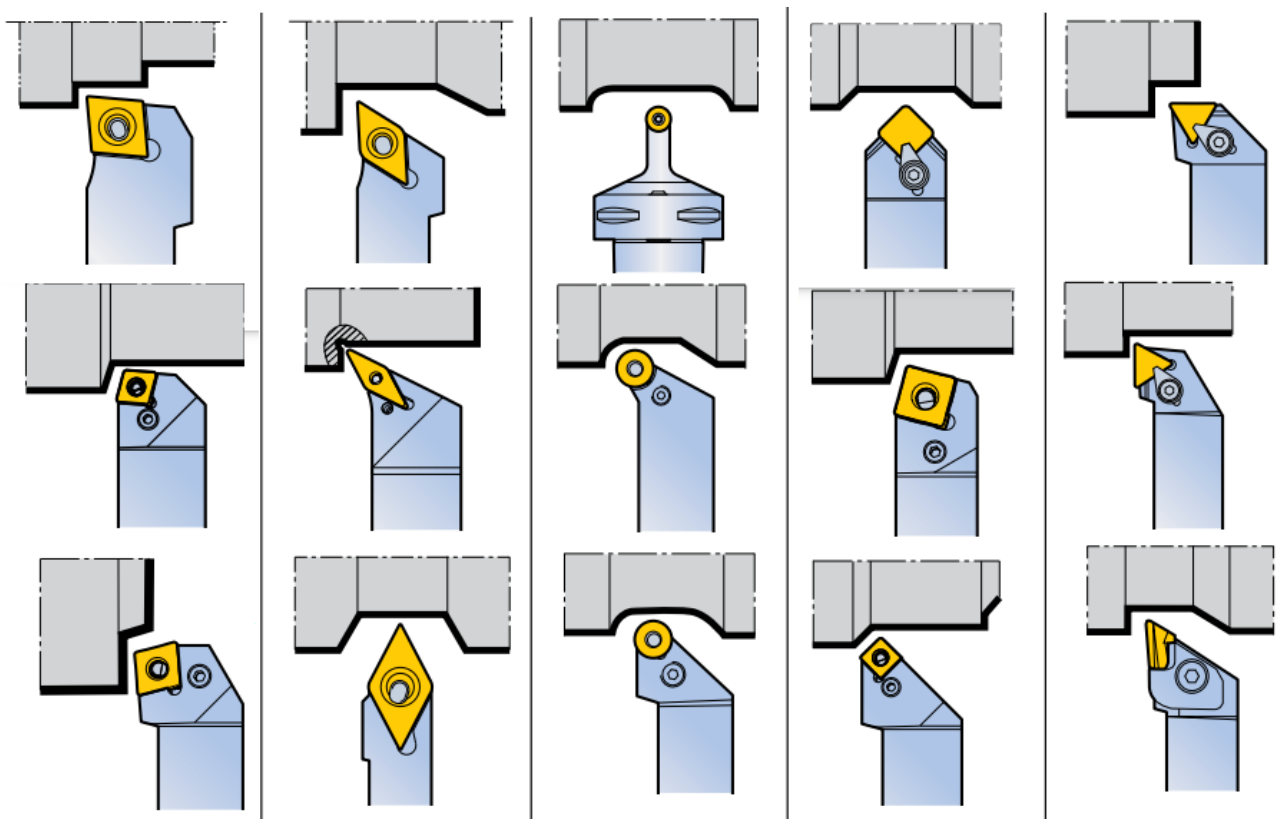


Рис. 2.7. Схеми точіння та різці

При обробці твердих або загартованих сталей, різальні пластини схильні до викришування. В роботі [1] розглянуто застосування негативного переднього кута різця, як спосіб підвищення міцності та стійкості інструмента.

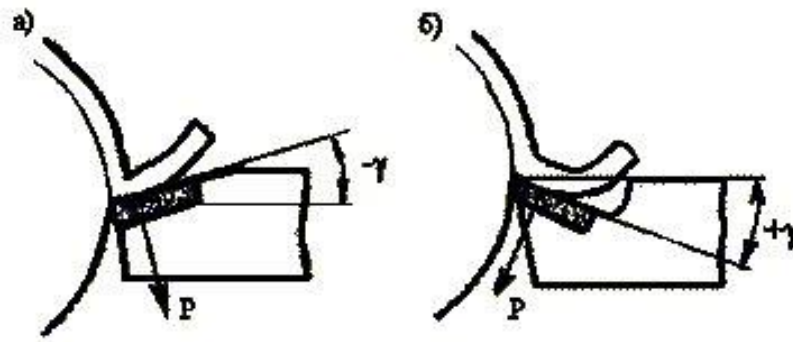


Рис. 2.8. Тиск стружки на різець при передньому куті:
а - негативному; б - позитивному

Негативний передній кут сприяє відсутності викришування пластини за рахунок обумовлення стиску діючою силою P .

Встановлено [3], що тангенціальне зусилля при різанні на високих швидкостях різцями із додатнім переднім кутом зростає при збільшенні швидкості, і зменшується при використанні від'ємних кутів. Дослідження проводились для обробки сталі 50 з передніми кутами різця $\gamma = +20^\circ; +10^\circ; 0^\circ; -10^\circ; -20^\circ$, при подачі 0,2мм. По мірі збільшення швидкості різання в діапазоні 50-400м/хв., зусилля різання при від'ємних передніх кутах буде меншим, ніж при додатних [3].

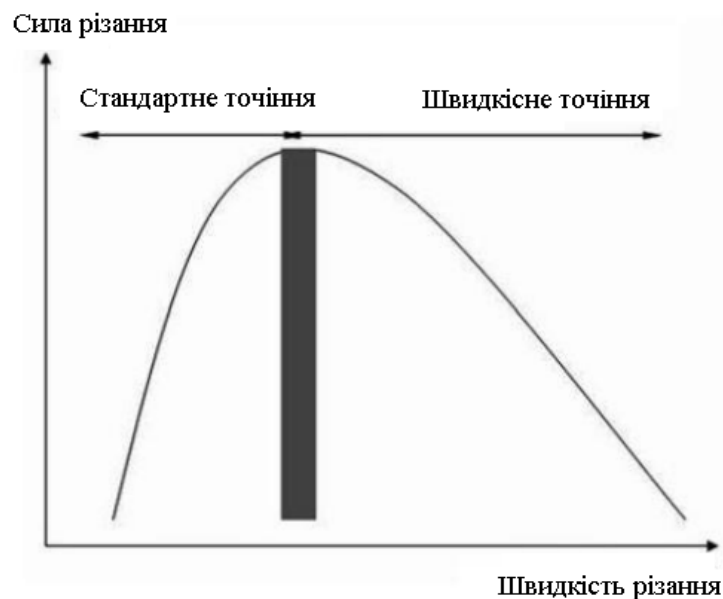


Рис. 2.9. Графік залежності сили різання від швидкості

Отже, при швидкісному точінні в деякому діапазоні швидкостей відбувається зниження сил різання. Межі діапазону залежать від різних факторів: оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструменту, геометричних параметрів інструменту, режимів різання та ін.

Через більш високу швидкість різання та невелику глибину різання, час контакту різальної кромки із заготовкою дуже короткий. Тому, має сенс аналіз розподілу тепла в зоні різання.

При точінні на стандартних швидкостях, збільшення швидкості різання та зменшення товщини стружки обумовлює підвищення температури оброблюваної заготовки, стружки та інструменту. Якщо ж підвищити швидкість подачі, то температура інструмента підвищиться незначною мірою, через те, що швидкість подачі перевищує швидкість теплопровідності оброблюваного матеріалу. Інструмент «випереджає» поширення тепла. Тому, утворене в зоні контакту тепло незначно передається в заготовку та різальний інструмент, а основна його доля відводиться зі стружкою.

При збільшенні швидкості різання час контакту зрізаємої частинки стружки із передньою поверхнею різця буде меншим, ніж при менших швидкостях. Це обумовлює надходження меншої кількості тепла в різець з кожної частинки стружки. Через відведення в заготовку незначної кількості тепла в зоні різання, швидкісне точіння можна застосовувати для обробки загартованих сталей уникаючи відпуску поверхневого шару.

Проаналізовано [7] нагрівання поверхневого шару металу та зрізаємої стружки в процесі швидкісного точіння (рис. 2.10).

Визначено максимальну температуру різання [7]:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{\tilde{n} \cdot \rho} \cdot z = \frac{2 \cdot \sigma}{\tilde{n} \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{\tilde{n} \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)},$$

де: σ - умовне напруження різання (енергоємність обробки), Н/м²;

$\tilde{n}$ - питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг*К);

ρ - густина оброблюваного матеріалу, кг/м³;

z - коефіцієнт, $0 \dots 1$;

λ - коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/м*К;

S - поздовжня подача, м/об;

V - швидкість різання, м/с;

β - умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу;

φ - головний кут різця в плані.

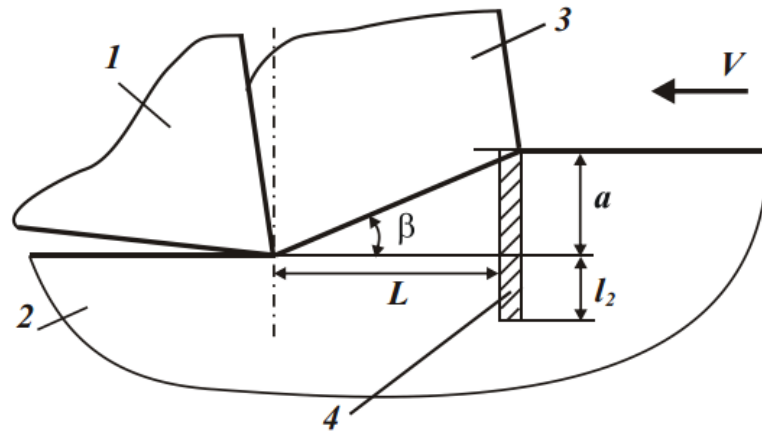


Рис. 2.10. Схема процесу точіння:

1 – різець; 2 – заготовка; 3 – стружка; 4 – адіабатичний стержень.

Коефіцієнт z буде прямувати до 1 при збільшенні швидкості V та подачі S (рис. 2.11), що означає, що більша частина тепла, яке утворюється в зоні різання, відходить в стружку.

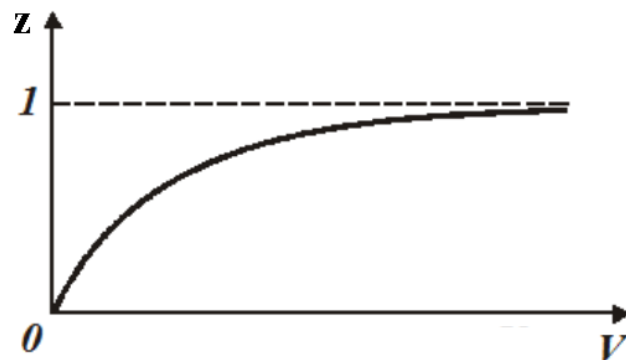


Рис. 2.11. Залежність коефіцієнту z від швидкості різання

Поверхні тертя обумовлюють напрямки теплових потоків, які виникають в зоні різання (рис. 2.12). За допомогою величин передніх та задніх кутів можна

регулювати напрями теплових потоків (рис. 2.13).

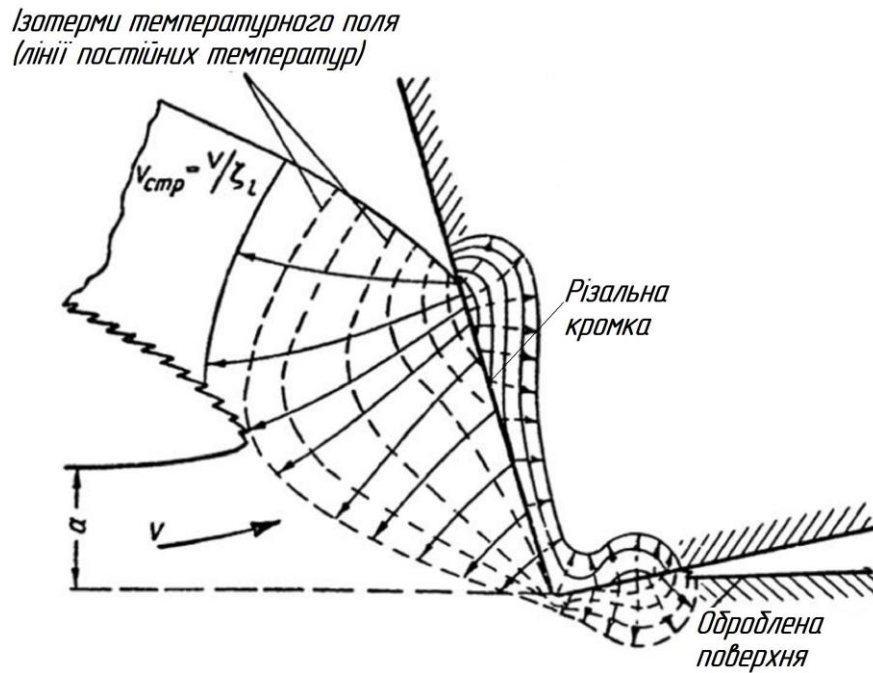


Рис. 2.12. Вид температурного поля в головній січній площині при різанні металів

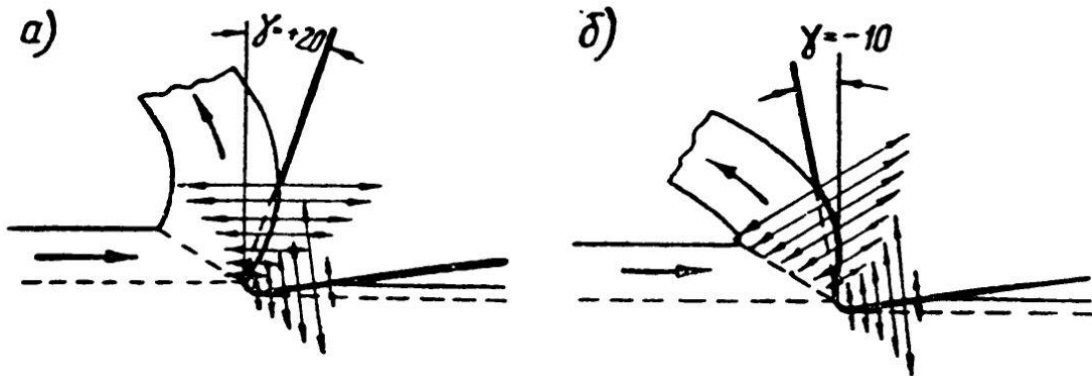


Рис. 2.13. Зміна напрямку потоку тепла при різанні різцями з переднім кутом:
а – додатними; б - від'ємними.

Отже, більш сприятливий розподіл теплоти забезпечується в умовах високошвидкісного точіння, ніж при помірних швидкостях, оскільки, більша кількість теплоти залишається у стружці, що утворюється при швидкісному точінні, ніж при точінні при стандартних швидкостях. Оскільки, із зони різання в деталь виділяється лише невелика кількість тепла, з'являється можливість

підвищення якості оброблюваної поверхні за рахунок зниження вірогідності утворення мікротріщин, припалів та інших температурних дефектів на оброблюваній поверхні.

Підвищення швидкості різання призводить до зменшення ступеня деформації металу під час стружкоутворення, зменшується усадка стружки.

Досліджено [3] форму стружки та ступінь усадки стружки при точінні на звичайних та високих швидкостях різцями із додатними та від'ємними передніми кутами. Встановлено, що усадка стружки зменшується при точінні на швидкостях більше 40 м/хв. при обробці різцями із від'ємним переднім кутом. Зі збільшенням швидкості зберігається тенденція зменшення усадки стружки. Також встановлено, що зі збільшенням швидкості точіння змінюється форма стружки. При швидкості різання 20 м/хв стружка має форму закрученої спіралі, а зі збільшенням швидкості, діаметр спіраль збільшується і форма стружки прямує до прямої стрічки (рис. 2.14).

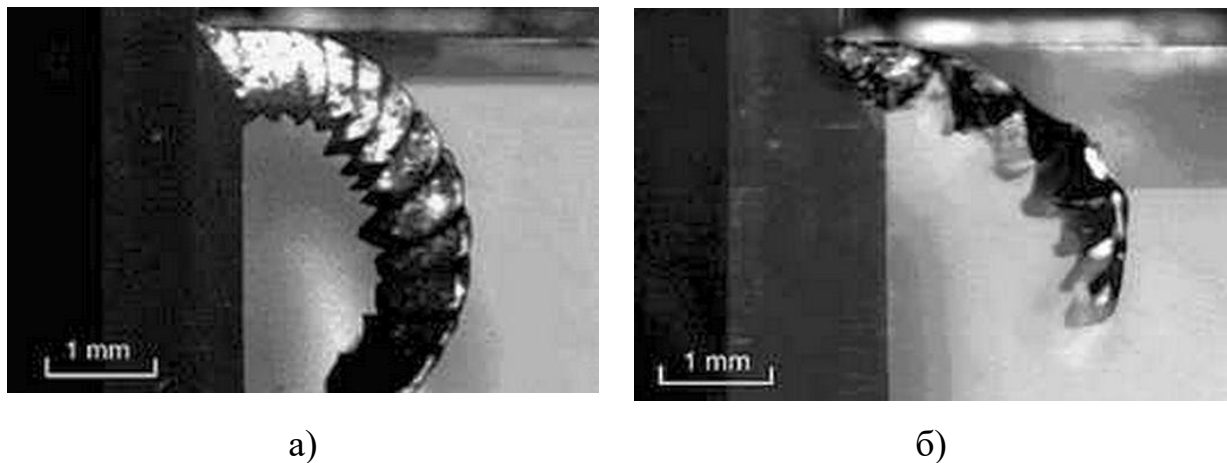


Рис. 2.14. Формування стружки при швидкості різання:

а – 15 м/с; б – 45 м/с.

Високошвидкісне точіння забезпечує нижчу температуру заготовки та інструмента в порівнянні зі звичайним точінням. В свою чергу, скорочення часу розповсюдження тепла призводить до збільшення стійкості та терміну служби різального інструменту.

2.2. Прогресивні різальні матеріали для швидкісного точіння

Швидкісна обробка різанням є новою та прогресивною технологією, яка інтенсивно розвивається та впроваджується в практику.

На даному етапі розвитку машинобудування діапазон швидкостей різання для обробки сталей та чавунів складає 100-250 м/хв. Швидкість обробки загартованих сталей 10-30 м/хв.

Традиційні матеріали різального інструменту – твердий сплав та швидкорізальна сталь не здатні забезпечити точіння на швидкостях притаманних швидкісному точінню. Для такої обробки різанням потрібні матеріали, які мають підвищену міцність та зносостійкість. Тож, для виконання швидкісного точіння необхідне застосування якісно нових інструментальних матеріалів таких, як: керамічні матеріали на основі Al_2O_3 та Si_3N_4 ; кермети; синтетичні надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору.

До складу керамічних матеріалів входять тверді компоненти такі, як оксиди, карбіди, нітриди. Через відсутність метал-зв'язки у складі керамічних сплавів, вони мають високу теплостійкість (до 1400°C) та твердість до 96 HRA та забезпечують різання на швидкостях 100-400 м/хв. Керамічні сплави характеризуються високою твердістю та міцністю, стійкістю до утворення тріщин, хорошим опором до окислення. Отже, застосування керамічних різальних пластин є хорошим рішенням для швидкісного точіння сталей.

Керамічні матеріали поділяються на кераміку на основі нітриду кремнію (Si_3N_4) та кераміку на основі оксиду алюмінію (Al_2O_3). Для швидкісного чорнового точіння жароміцних сталей, наприклад сталі 38ХМЮА рекомендовано застосовувати кераміку на основі нітриду кремнію. Даний сплав характеризується високою стійкістю до утворення тріщин та викришування, помірною температурною стабільністю. Твердість нітриду кремнію HV 1600-1900.

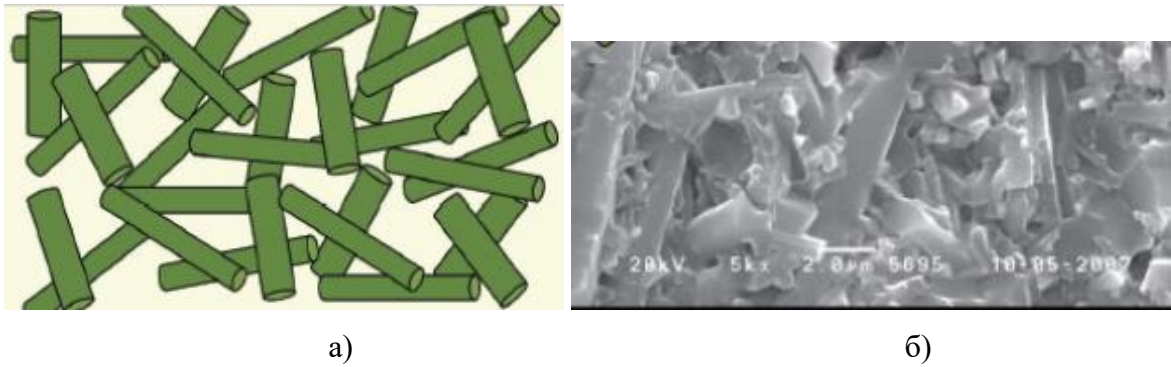


Рис. 2.15. Нітрид кремнію (Si_3N_4):

а – схематична діаграма; б - мікроструктура

Кераміку на основі оксиду алюмінію доцільно застосовувати для швидкісної обробки загартованих сталей. Така кераміка є твердішою (HV 1800-2100) і забезпечує опір окисленню та температурну стабільність обробки. В'язкість нітриду кремнію більша ніж оксиду алюмінію. За рахунок дрібнозернистої структури (рис. 2.16) оксид алюмінію більш жорсткий матеріал.

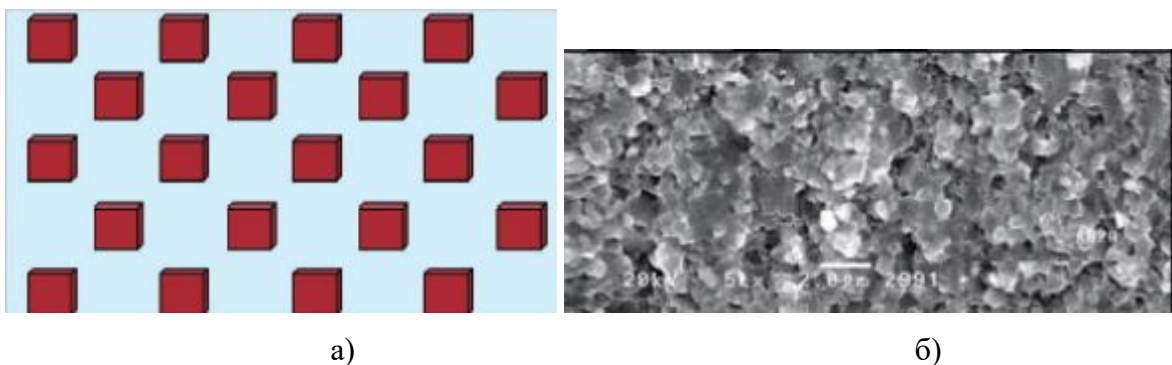


Рис. 2.16. Оксид алюмінію (Al_2O_3):

а – схематична діаграма; б – мікроструктура

Корейський виробник різального інструменту TaeguTec пропонує наступні марки керамічних сплавів для обробки сталі:

- на основі нітриду кремнію для обробки жароміцної сталі – AS20, TC430;
- на основі оксиду алюмінію для обробки загартованих сталей – AB20 AB30, AB2010.

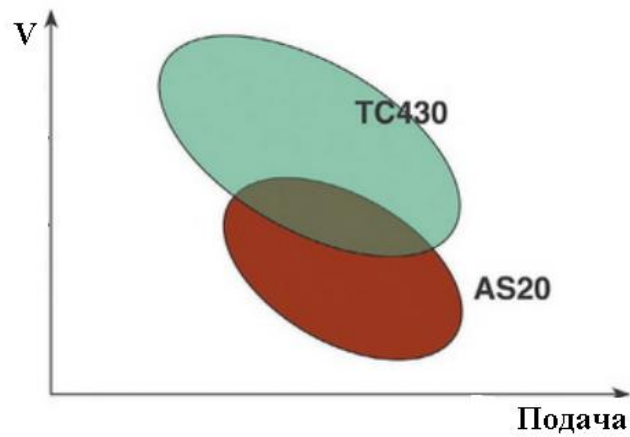
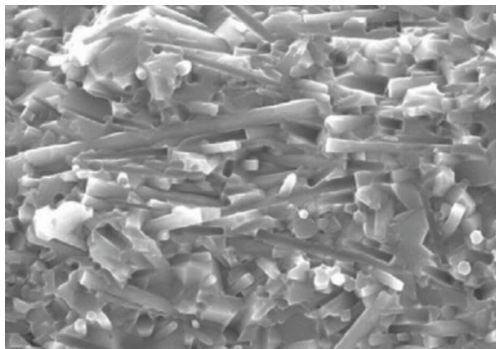
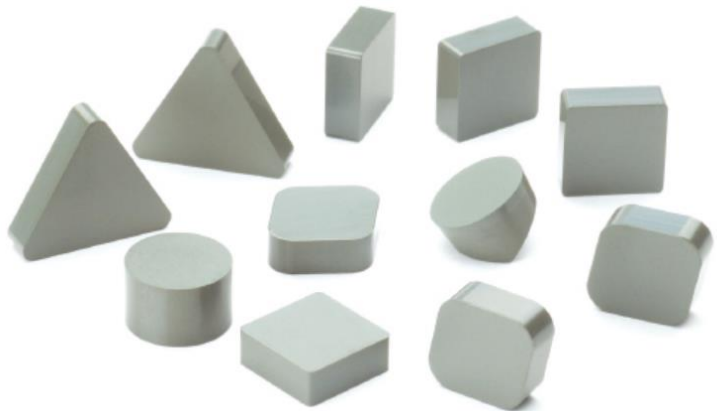


Рис. 2.17. Область застосування кераміки на основі нітриду кремнію

В складі сплаву TC430 містяться ниткоподібні кристали карбіду кремнію (SiC), що покращує його стійкість до стирання та збільшує діапазон робочих швидкостей різання.



а)



б)

Рис. 2.18. Сплав TC430:

а – мікроструктура; б – керамічні пластини зі сплаву

Для швидкісного точіння високолегованих матеріалів та сталей високої твердості застосовують керамічний сплав AB20, а для вуглецевих та низьколегованих сталей – AB30.

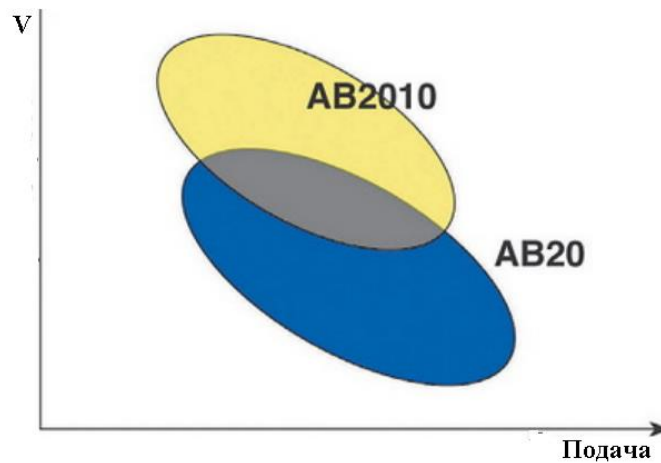


Рис. 2.19. Область застосування кераміки на основі оксиду алюмінію

З метою підвищення міцності та стійкості різальної кромки, збільшення швидкості точіння, зменшення наростоутворення та викришування існують покриття, які наносяться PVD методом. PVD (Physical Vapor Deposition) – метод нанесення тонкого шару покриття у вакуумі за температури, що приблизно рівна 500°C . При цьому випаровується твердий матеріал (метал, металевий сплав), в результаті чого утворюється металева пара, що осідає на поверхні кераміки, утворюючи покриття.

Основу сплаву AB2010 складає кераміка із оксиду алюмінію AB20, а покриттям є нітрид титану TiN (рис. 2.20), нанесений PVD методом. Керамічний сплав застосовують для обробки загартованої сталі та твердих матеріалів твердістю від HRC40.

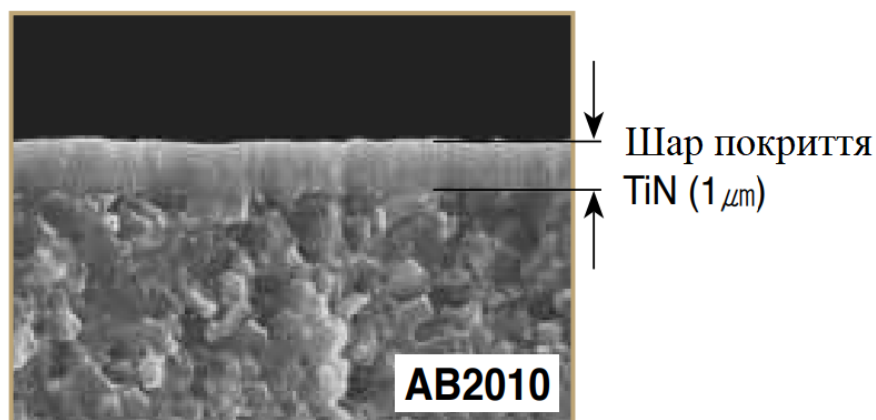


Рис. 2.20. Мікроструктура сплаву AB2010

Таблиця 2.1

Рекомендовані режими різання для пластин із кераміки

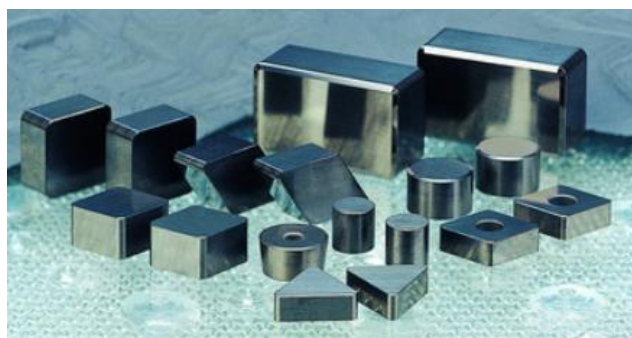
Марка кераміки	Оброблюваний матеріал	Твердість HRC	Рекомендовані режими різання	
			Подача, мм/об	Швидк., м/хв
ТС430	Жароміцна сталь	-	0,1-0,3	150-400
AS20	Жароміцна сталь	-	0,1-0,3	100-300
AB20	Загартована сталь	40-50	0,1-0,2	100-400
		50-65	0,05-0,2	50-250
AB30	Загартована сталь	40-50	0,1-0,2	100-300
AB2010	Загартована сталь	40-50	0,02-0,2	100-400
		50-65	0,05-0,2	50-250

Для покращення робочих характеристик різальної пластини наносять такі покриття PVD методом: нітрид титану (TiN), карбонітрид титану (TiCN), нітрид титану та алюмінію (TiAlN). Характеристики вищезазначених покриттів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики покриттів

Назва	Твердість (HV)	Коефіцієнт теплопровідності (кВт/мК)
TiN	2200	0,07
TiCN	3000	0,1
TiAlN	3300	0,05



а)



б)

Рис. 2.21. Керамічні пластини зі сплаву:

а – AB20; б – AB2010

Кермет – (КЕРаміка-МЕТал) це сплав з часточок кераміки та металічної зв'язки. Кермети характеризуються: високою твердістю при підвищеній температурі, високою стійкістю до зносу по задній та передній поверхнях, стійкістю до утворення наростів та до зносу.

Кермети застосовуються для чистового швидкісного точіння оскільки, їх висока стійкість та низькі показники зносу забезпечують високу точність розмірів та хороші показники чистоти обробленої поверхні. Обробку пластинами із кермету виконують з низькими величинами подач, при різних глибинах різання.

Кермет складається із дрібнозернистих карбідів з розміром зерна близько 0,2-0,4 мкм. При цьому доля зв'язуючого нікелю у відсотковому відношенні точно відповідає вимогам для виготовлення змінних багатогранних пластин. Це дозволяє виконувати чистову обробку.

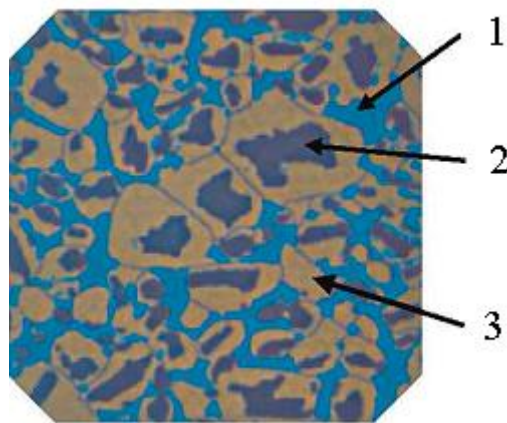


Рис. 2.22. Мікроструктура кермету:

- 1 – нікель-кобальтова зв'язка; 2 – немодифікований матеріал на основі титану;
3 – фаза нітроцементациї

ТаегуТес пропонує такі марки керметів для швидкісного точіння сталі: СТ3000, РV3010. Кермет марки РV3010 має PVD покриття із нітриду титану, що сприяє підвищенню твердості поверхні різальної пластини.

Таблиця 2.3

Рекомендовані режими різання для пластин із кермету

Марка кермету	Оброблюваний матеріал	Термообробка оброблюваного матеріалу	Рекомендовані режими різання	
			Подача, мм/об	Швидк., м/хв
СТ3000	Сталь	відпал	0,03-0,5	100-450
		Загартування та відпуск		90-350
PV3010	Сталь	відпал	0,03-0,5	120-425
		Загартування та відпуск		90-350

Отже, як видно з таблиці 2.3 чистове швидкісне точіння керметними пластинами СТ3000 для обробки сталі в залежності від її складу та термічної обробки можна виконувати при швидкостях різання в діапазоні 90-450 м/хв., а пластинами PV3010 – в діапазоні 90-425 м/хв.

Полікристалічний кубічний нітрид бору (ПКНБ, PCBN) – це матеріал, який виготовляється шляхом спікання під високим тиском та за високої температури мікропорошків кубічного нітриду бору (CBN) з різними керамічними зв'язками. Полікристалічний кубічний нітрид бору є надзвичайно твердим (HV 4500-4900) та стійким до термічних навантажень, за властивостями близький до алмазу. Існує великий спектр сплавів на основі ПКНБ для обробки загартованих сталей (40-75 HRC), жароміцних сплавів та чавунів.

Для ПКНБ характерна висока теплопровідність та хімічна стійкість при високих температурах. Зносостійкість ПКНБ забезпечує розмірну точність та хороші показники чистоти оброблюваної поверхні, тому він застосовується для чистової обробки при швидкісному точінні.

Точіння пластинами із ПКНБ може конкурувати зі шліфуванням, оскільки шорсткість обробленої поверхні при такому точінні майже не поступається шорсткості шліфованої поверхні (рис. 2.23).

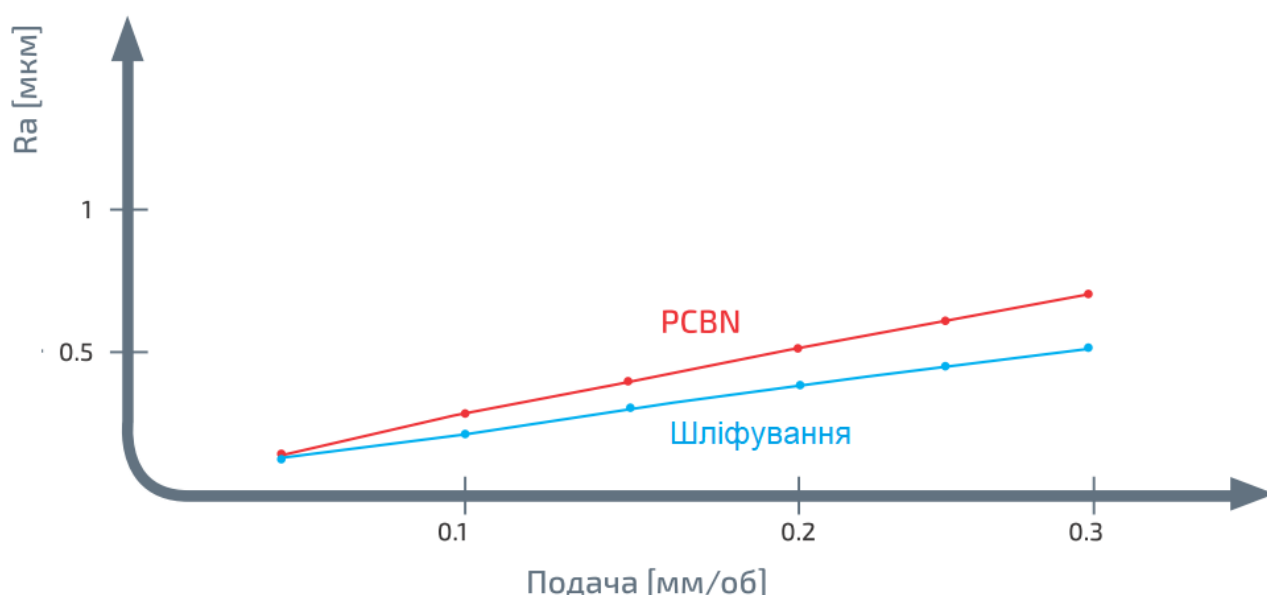


Рис. 2.23. Порівняння шорсткості при різних видах обробки

ПКНБ може мати різний відсотковий вміст кубічного нітриду бору. Саме від складу залежать властивості ПКНБ та область його застосування при швидкісному точінні. При чорновій обробці виникають великі механічні навантаження на різальну кромку тому, необхідно застосовувати пластини із більшим відсотковим вмістом КНБ для забезпечення більшої в'язкості інструменту (рис. 2.24).

Для чистової обробки загартованої сталі прийнято застосовувати сплав ПКНБ із низьким вмістом кубічного нітриду бору. Такий склад підвищить зносостійкість різальної пластини.

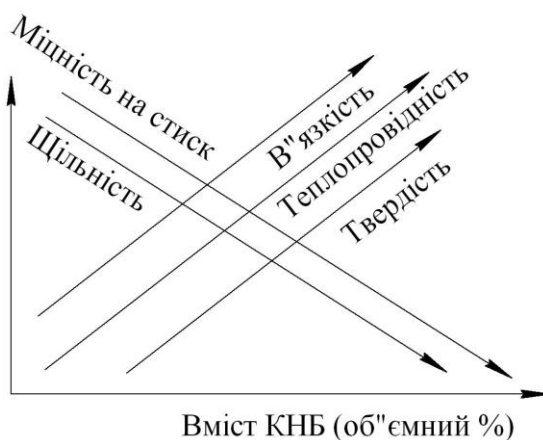


Рис. 2.24. Властивості інструментальних матеріалів на основі КНБ

Для чистового швидкісного точіння загартованих сталей виробник металорізального інструменту Iscar випускає наступні марки ПКНБ (рис. 2.25).

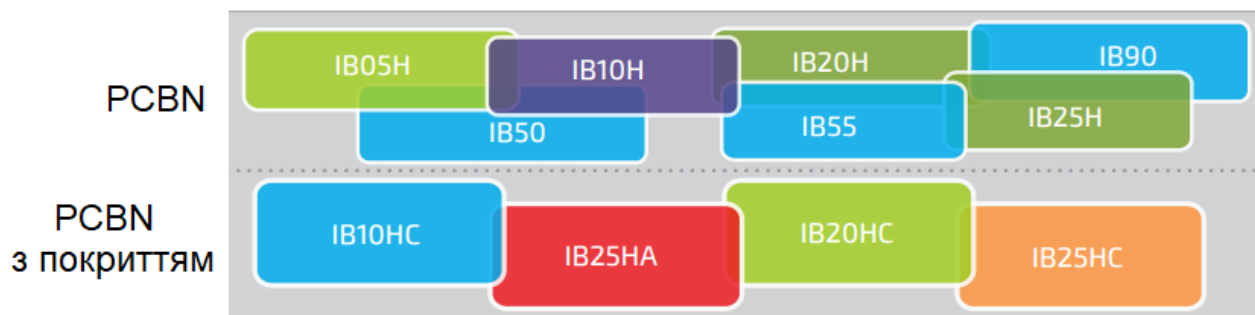


Рис. 2.25. ПКНБ для точіння загартованих сталей

Сплави IB05H, IB10H та IB50 із вмістом кубічного нітриду боку 45%, 53,3% та 50% відповідно, призначені для швидкісної обробки точінням та характеризуються високою зносостійкістю та хорошою чистотою обробленої поверхні.

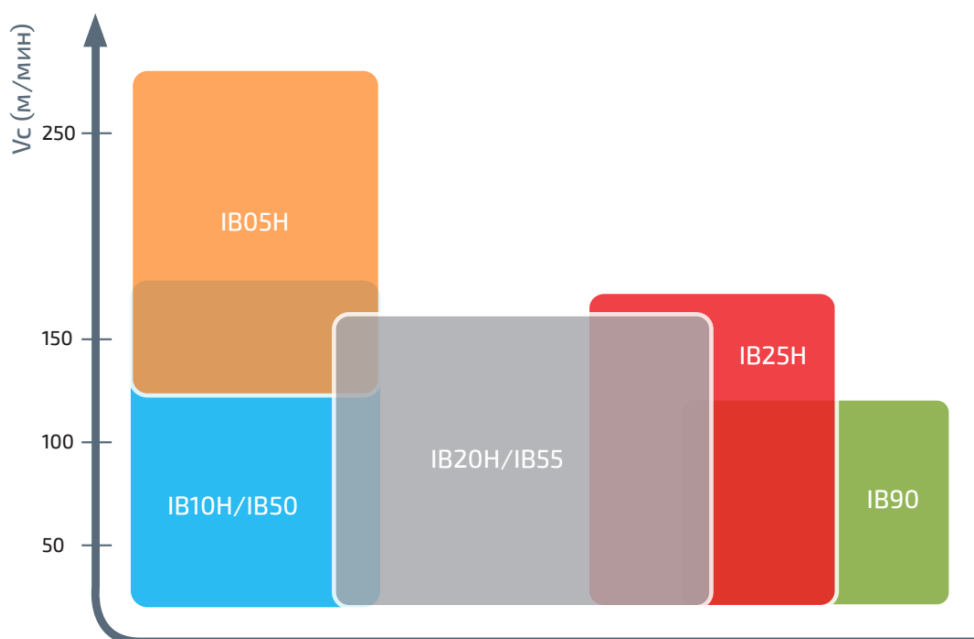


Рис. 2.26. Швидкість різання для ПКНБ пластин Iscar

Аналоги даних ПКНБ для точіння загартованих сталей:

- виробник TaeguTec – TB610, TB650, TB670;
- виробник Seco – CBN10, CBN160C, CBN150, CBN170, CBN060K.

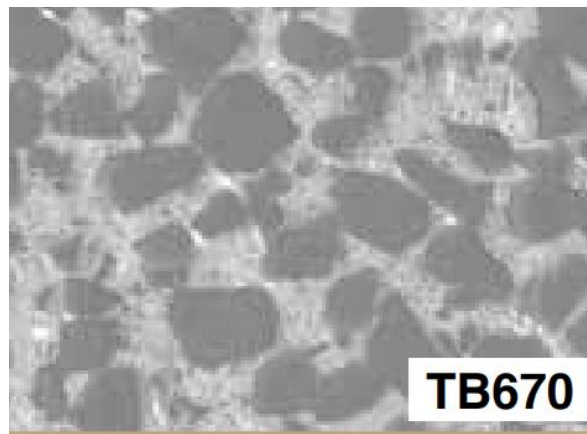


Рис. 2.27. Мікроструктура сплаву TB670

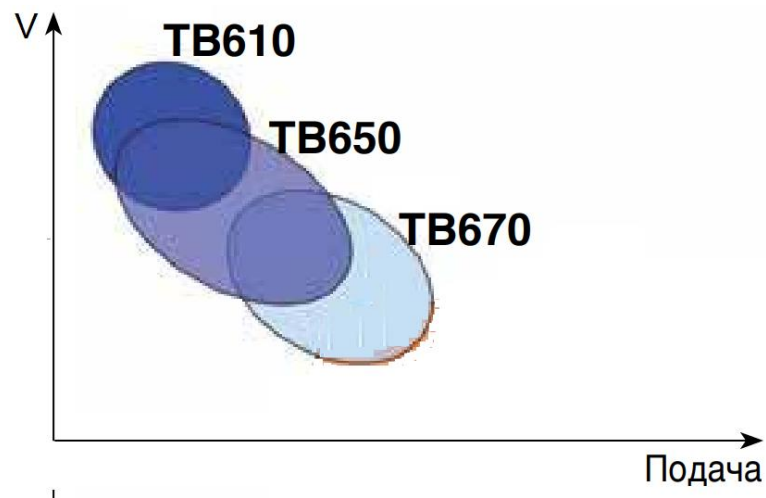


Рис. 2.28. Область застосування ПКНБ пластин TaeguTec

Таблиця 2.4

Рекомендовані режими різання обробки загартованої сталі для пластин із ПКНБ

Марка ПКНБ	Твердість HRC	Рекомендовані режими різання		
		Подача, мм/об	Глибина різання, мм	Швидк., м/хв
IB05H	50-65	0,03-0,18	0,05-0,3	100-300
IB10H	50-65	0,03-0,18	0,05-0,3	80-200
TB610	40	0,05-0,2	0,03-0,5	150-350
	55			90-280
	60			80-250
CBN10	40-60	0,01-0,25	0,05-0,5	80-230
IB20H	50-65	0,03-0,25	0,05-0,5	80-200
TB650	40	0,05-0,2	0,03-0,5	100-300
	55			80-230
	60			70-200

CBN100	40-60	0,01-0,2	0,05-0,5	80-220
TB670	40	0,1-0,3	0,03-0,5	100-300
	55			70-180
	60			60-150
CBN150	40-60	0,02-0,2	0,05-0,5	70-180

Пластини із ПКНБ також виготовляють із нанесенням покриттів. Так, наприклад, сплави IB20НС, IB25НС, IB25НА мають у своєму складі 75% кубічного нітриду бору, що надає їм більшої стійкості до викришування та кратерного зносу. Такі сплави на основі ПКНБ застосовуються в якості матеріалу різальної частини різця для переривчастого точіння загартованих сталей (HRC 50-65) на швидкостях в діапазоні 100-250 м/хв при подачах 0,05-0,25 мм/об та глибині різання 0,05-0,5 мм.

Для швидкісного точіння жароміцних сталей виробник металорізального інструменту Iscar випускає наступні марки ПКНБ: IB055, IB90.

Сплав IB055, який в своєму складі містить 95% КНБ, призначений для безперервного точіння на швидкостях 100-400 м/хв при подачі 0,05-0,2 мм/об, глибина різання 0,1-0,5 мм.

Сплав IB90 містить 90% КНБ, призначений для безперервного та переривчастого точіння при подачі 0,05-0,2 мм/об та глибині різання 0,1-0,5 мм. Рекомендована швидкість при безперервному точінні – 100-300 м/хв, при переривчастому – 80-200 м/хв.

2.3. Стійкість різального інструменту

Під час механічної обробки в процесі тертя різальної кромки об заготовку відбувається процес нагрівання. Хоча, через стружку відводиться більша частина утвореного в зоні різання тепла, інструмент теж піддається нагріванню. Збільшення температури різальної кромки призводить до зниження твердості різальної пластини. Тож, необхідно порівняти зміну твердості різальних матеріалів під впливом зростання температури обробки (рис. 2.29).

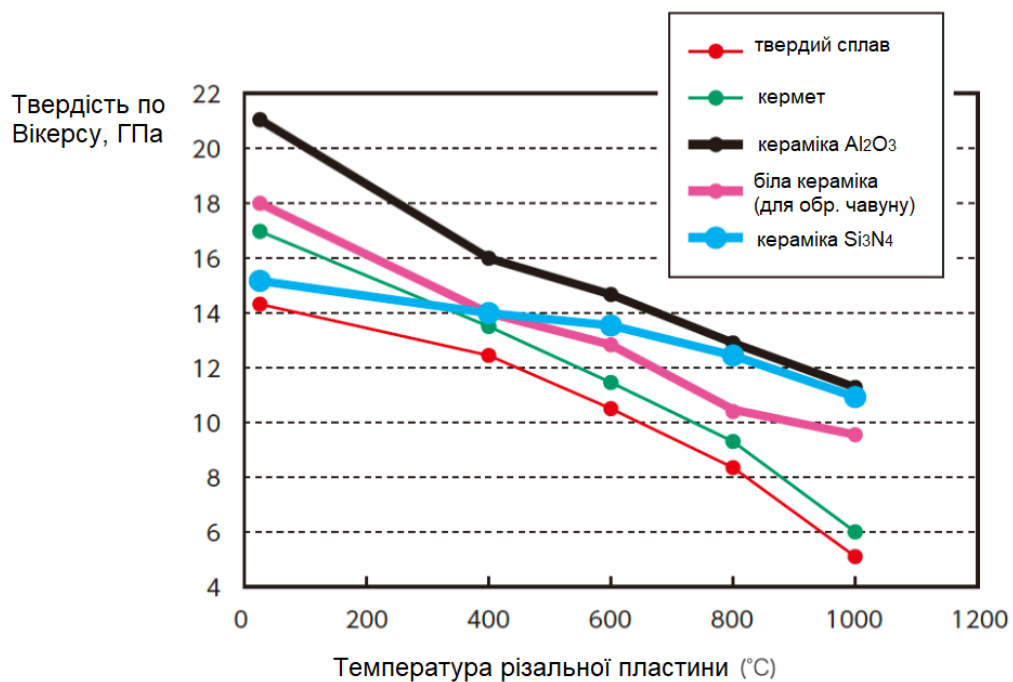


Рис. 2.29. Твердість матеріалів за високих температур різання

Твердий сплав, як і кермет втрачають багато твердості при нагріванні. Твердість твердого сплаву при нагріванні до 1000°C зменшується у 2,8 разів і становить приблизно 35% від його твердості за кімнатної температури. У керметів цей показник відрізняється не суттєво і становить 40%.

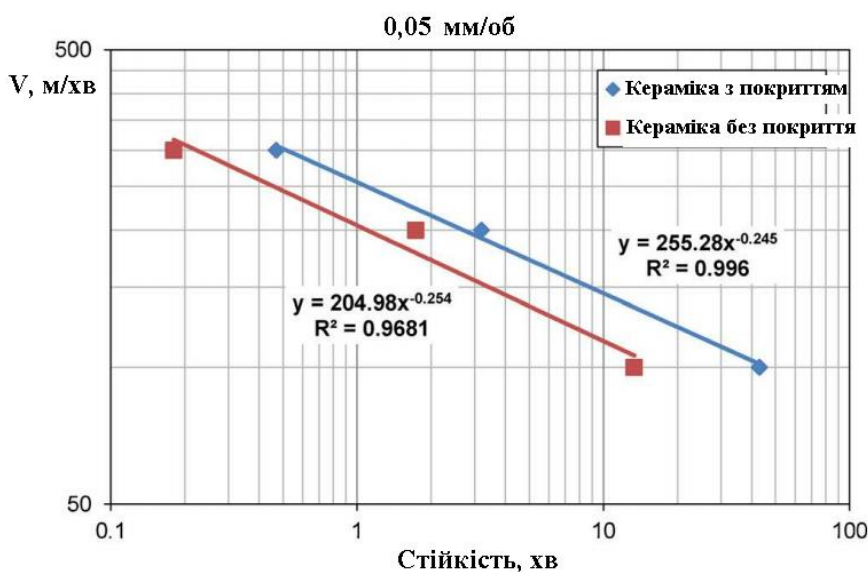
Набагато кращі показники твердості при нагріванні до 1000°C демонструє кераміка. Її сплав на основі оксиду алюмінію забезпечує 55% від твердості за кімнатної температури. А кераміка на основі нітриду кремнію зберігає 73% своєї твердості.

Такі показники твердості керамічних пластин підтверджують їх здатність до застосування в умовах швидкісного точіння із забезпеченням точності та якості оброблених поверхонь.

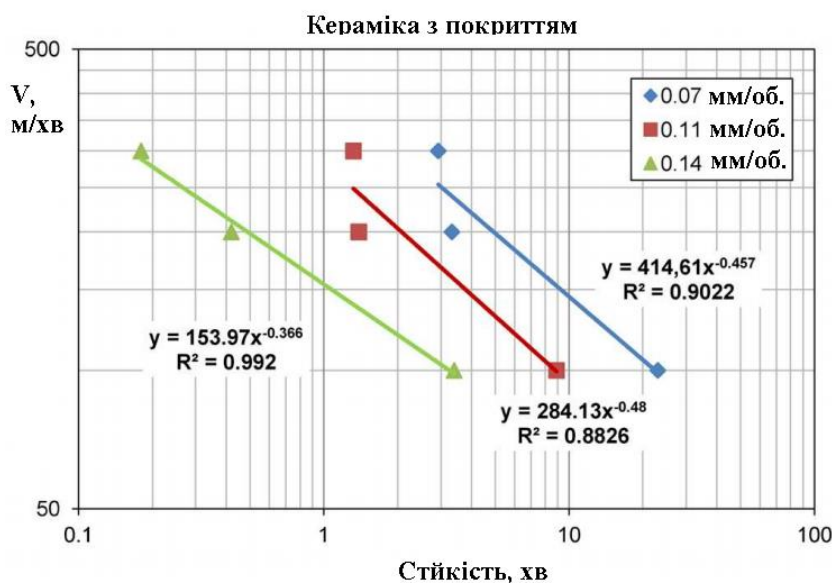
Для визначення стійкості інструменту із кераміки з покриттям та без були проведені дослідження [11]. Матеріал заготовки - AISI 52100 аналогом якого є конструкційна сталь ШХ15 загартована до твердості HRC 63. Точіння виконували різцями із керамічними пластинами з двох матеріалів: оксиду алюмінію та карбонітриду титану (Al₂O₃-TiCN) з покриттям із нітриду титану TiN; оксиду алюмінію та карбонітриду титану (Al₂O₃-TiCN) без покриття.

Точіння зовнішньої циліндричної поверхні проводилось за таких режимів різання: подача 0,07-0,14 мм/об, швидкість 100-300 м/хв., глибина різання 0,5 мм.

Результат досліджень стійкості наведено на рисунку 2.30, а, з якого можна зробити висновок, що стійкість керамічних пластин з покриттям в декілька разів більша за стійкість пластин без покриття. Також досліджено, що зі зменшенням подачі стійкість керамічних пластин з покриттям збільшується (рис. 2.30, б).



а)



б)

Рис. 2.30. Порівняння стійкості інструменту при точінні

2.4. Знос різального інструменту

Стійкість інструменту обумовлена його зносом. При впливі на поверхні різця іншого твердого тіла (заготовки та її стружки) відбувається процес зношування поверхонь різця. Ступінь зносу інструменту залежить від часу обробки ним. Період роботи інструменту та його зносу можна поділити на три зони (рис. 2.31): припрацювання, яке характеризується видаленням мікронерівностей (зона 1); нормальний знос при якому знос поступово збільшується (зона 2); збільшена ерозія – це збільшення зносу, яке обумовлене підвищенням температури та збільшенням сил тертя в зоні різання (зона 3).

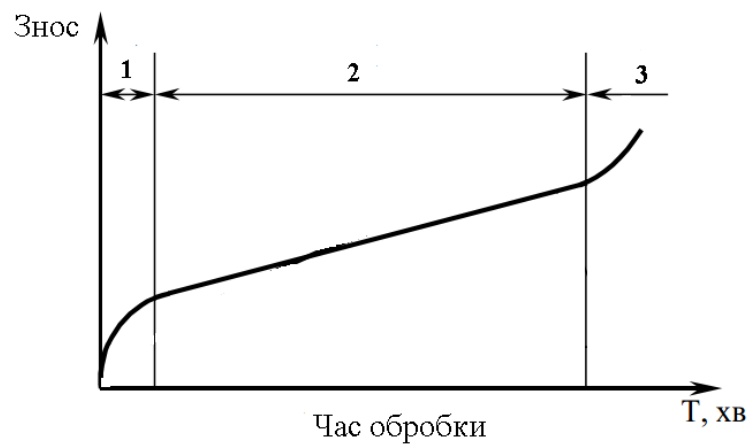


Рис. 2.31. Крива зносу різців

До зношування інструменту призводять такі процеси в зоні обробки, як: тертя між передньою поверхнею різця та стружкою, тертя між головною задньою поверхнею різця та поверхнею різання, високі температури, контактні тиски. В результаті зношення відбувається стирання мікрочастинок з поверхонь різця та викришування мікрочастинок із різальних кромки.

Знос різця може відбуватись по передній поверхні з шириною лунки B та глибиною h_d (рис. 2.32, а), по задній поверхні з висотою h_z (рис. 2.32, б), або по передній та задній поверхнях одночасно (рис. 2.32, в). Також, знос можливий на головній різальній кромці.

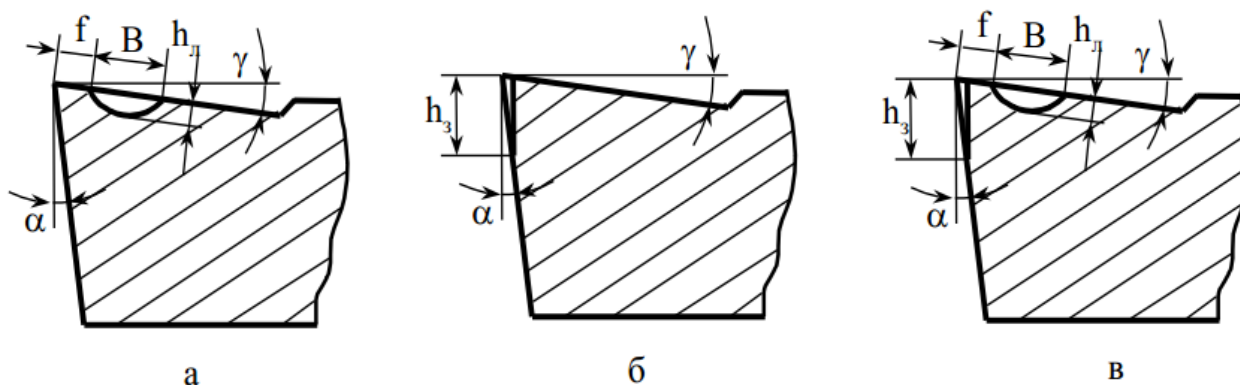
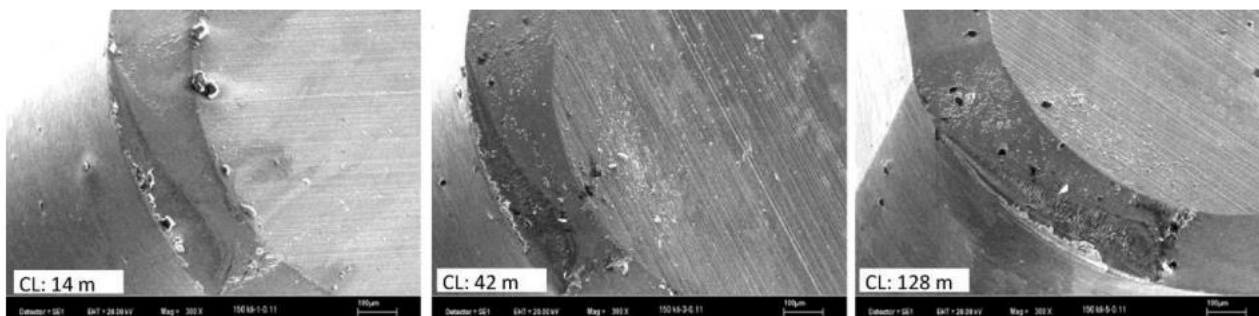


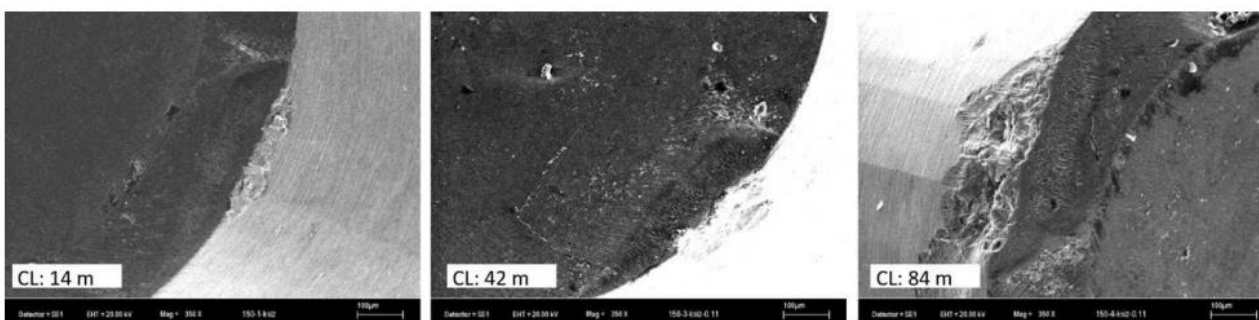
Рис. 2.32. Знос різця:

а – по передній поверхні; б – по задній поверхні; в – по вередій та задній поверхням.

В дослідженні [11] було встановлено наявність викришування кромки різальної пласти із кераміки без покриття. Точіння виконували на швидкості 150м/хв. при подачі 0,11 мм/об. Викришування збільшувалось зі збільшенням обробленої довжини. Приблизно однаковий ступінь викришування можна помітити після обробки точінням 128 м заготовки керамічною пластиною із TiN покриттям, та 14 м керамічною пластиною без покриття.



а)



б)

Рис. 2.33. Знос керамічної пластини:

а – з покриттям; б – без покриття; CL – оброблена довжина

Знос інструменту негативно впливає на процес різання. Знос спричинює збільшення тертя по задній поверхні, що призводить до збільшення температури, погіршення параметрів шорсткості, зниження точності обробки.

2.5. Шорсткість при швидкісному точінні

Як відомо, шорсткість поверхні отриманої швидкісним точінням різцем з керамічною пластиною становить в межах R_a 0,1-1 мкм. Що свідчить про можливість заміни шліфувальних операцій на швидкісне точіння. Це є позитивною ознакою даного виду токарної обробки, оскільки дозволяє замінити шліфувальні верстати та інструменти на токарні високошвидкісні обробні центри, які є більш універсальними. Обробні центри дозволяють виконувати більшу кількість операцій механічної обробки таких, як точіння, свердління та ін.

Проведено дослідження [11] шорсткості обробленої поверхні при швидкісному точінні конструкційної сталі різцями із керамічними пластинами. Порівняно шорсткість після обробки керамічною пластиною з покриттям та без покриття. Встановлено залежність шорсткості поверхні від часу обробки різцем. При обробці різцем із кераміки з покриттям, шорсткість зберігалася в межах R_a 0,3-0,45 мкм протягом 8 хв. обробки. І, як видно з графіка (рис. 2.34), шорсткість поступово почала погіршуватись. Але, при цьому, залишаючись в межах показників шорсткості, які відповідають шліфуванню. Шорсткість обробленої поверхні при точінні керамікою без покриття почала зростати вже після двох хвилин обробки і досягла значення R_a 0,8 мкм. Отже, обидва керамічних покриття різальної пластини забезпечують шорсткість притаманну фінішній обробці, але через більш швидкий знос кераміки без покриття, кераміка з покриттям забезпечує кращу шорсткість протягом тривалішого періоду часу.

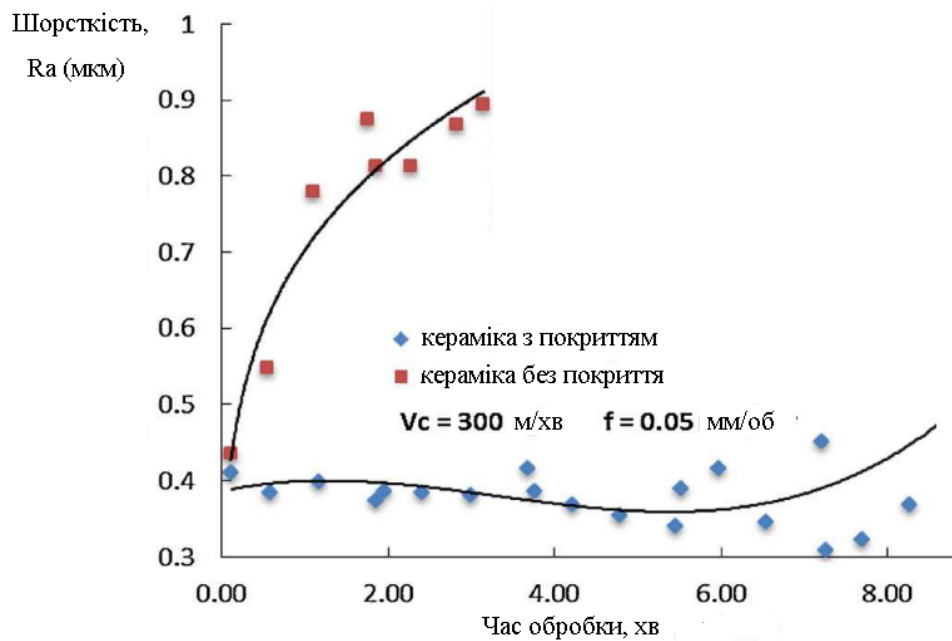


Рис. 2.34. Графік залежності шорсткості поверхні від часу обробки

В останні роки світові виробники різального інструменту пропонують нову конструкцію різальної пластини - вайпер (Wiper). Така конструкція пластини пов'язана із певними конструктивними особливостями радіусу при вершині різця. Саме від радіусу при вершині різця залежить чистота поверхні, із його збільшенням знижується шорсткість обробленої поверхні.

Вайпер (Wiper) – це геометрія різальної пластини, яка має зачисну кромку, для покращення шорсткості обробки. Вайпер застосовується для обробки зі збільшеною подачею або зі звичайною подачею. Навіть при збільшеній подачі, шорсткість обробки залишається низькою за рахунок зачисної кромки.

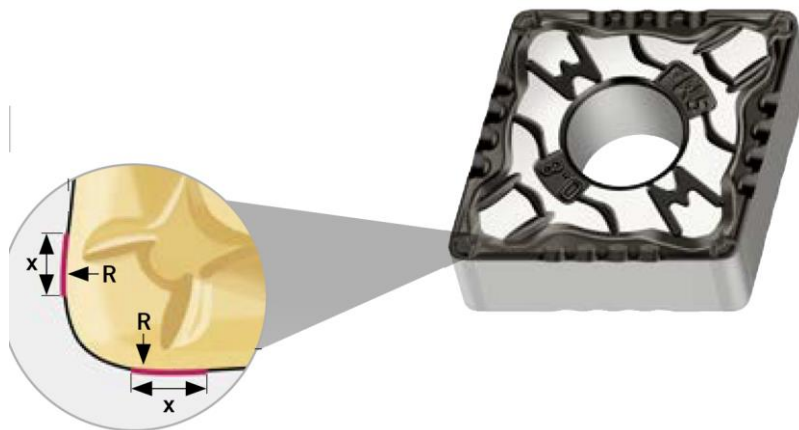


Рис. 2.35. Вайпер геометрія:

R – радіус зачисної кромки; x – довжина зачисної кромки

Геометрія вайпер забезпечує однакову шорсткість обробки при точінні стандартною пластиною із радіусом при вершині різця, та при обробці пластиною із вайпер геометрією при подвоєному значенні подачі (рис. 2.36). якщо ж токарну обробку виконувати обома пластинами з однаковою подачею, то вайпер геометрія забезпечує вдвічі нижчі показники шорсткості.

Вайпер геометрія призначена для виконання чорнової та чистової обробки. Пластини даної геометрії підвищують продуктивність обробки за рахунок зменшення машинного часу. За рахунок збільшення подачі досягається підвищення стійкості інструмента, оскільки, зменшується час контакту різальної пластины із заготовкою.

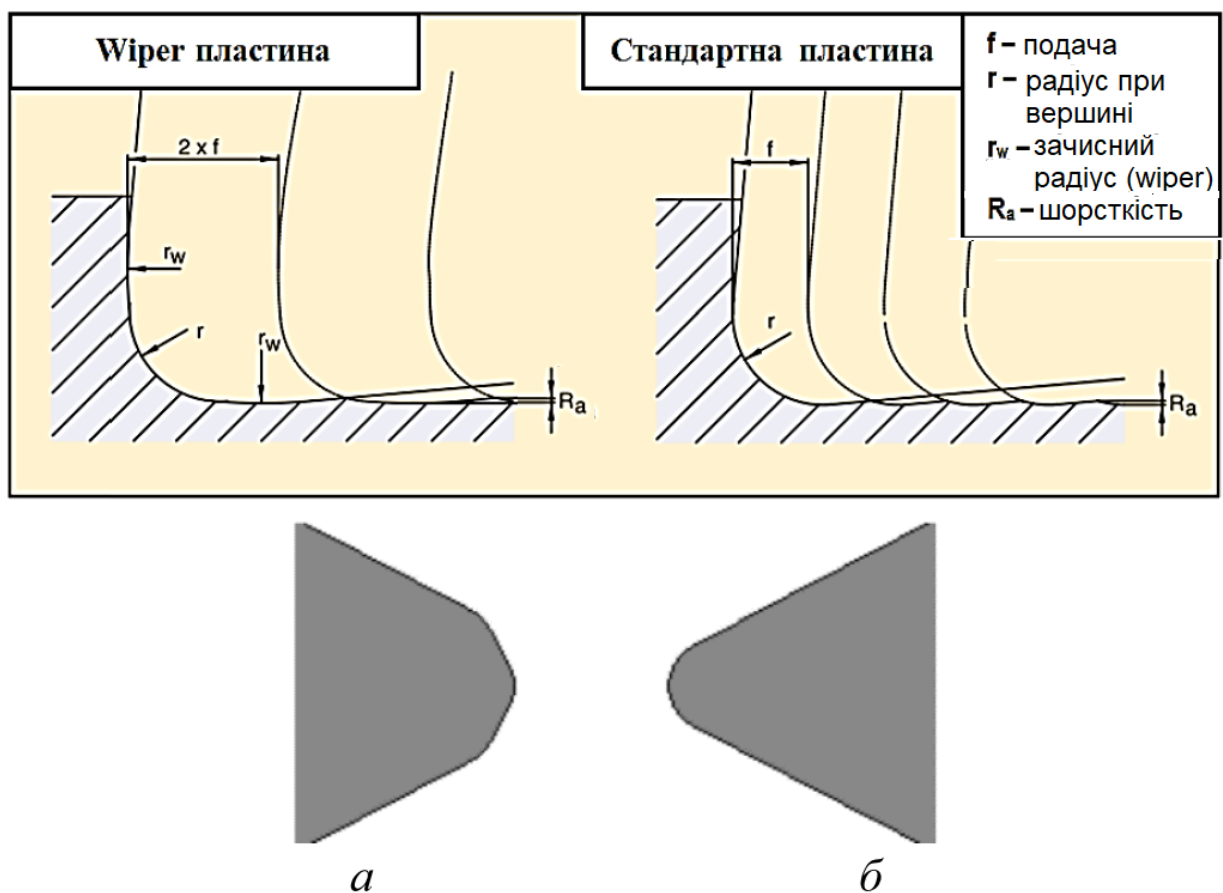


Рис. 2.36. Різальні пластины:

а – вайпер геометрія; б - стандартна

Довжина активної частини різальної кромки:

- стандартної пластины – r ;
- вайпер пластины – $r + 2r_w$.

Збільшення довжини активної частини різальної кромки покращує якість обробленої поверхні.

Світові виробники різального інструменту виготовляють токарні вайпер пластини з різним маркуванням (табл. 2.5)

Таблиця 2.5

Таблиця маркування вайпер пластин

Вид обробки	Виробники				
	TaeguTec	Sandvik	Kennametal	Seco	Walter
Чорнова та напівчистова	WT	WMX, WM	RW, MW	W-M3, W-M6, W-MF5	NM
Чистова	WS, WA	WF	FW	W-MF2	NF

Виробник Kennametal для вайпер пластин з від'ємним переднім кутом для обробки сталі пропонує параметри обробки рис. 2.37, а, а для пластин з додатнім переднім кутом – рис. 2.37, б.

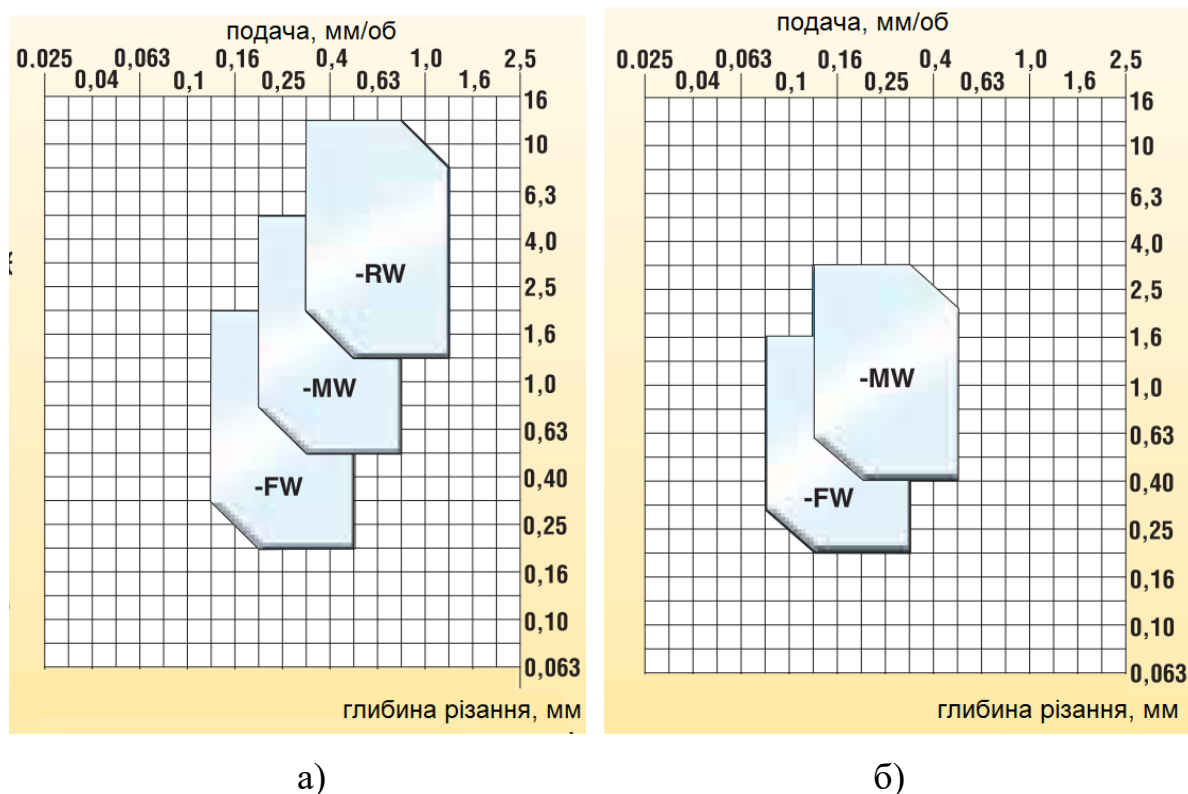


Рис. 2.37. Параметри обробки вайпер пластинами з переднім кутом:

а – від'ємним; б – додатнім

Пластини із вайпер забезпечують більшу чистоту обробленої поверхні (рис. 2.38). Різальні пластини із різних матеріалів та сплавів, а також з покриттям та без нього можуть бути забезпечені вайпер геометрією.

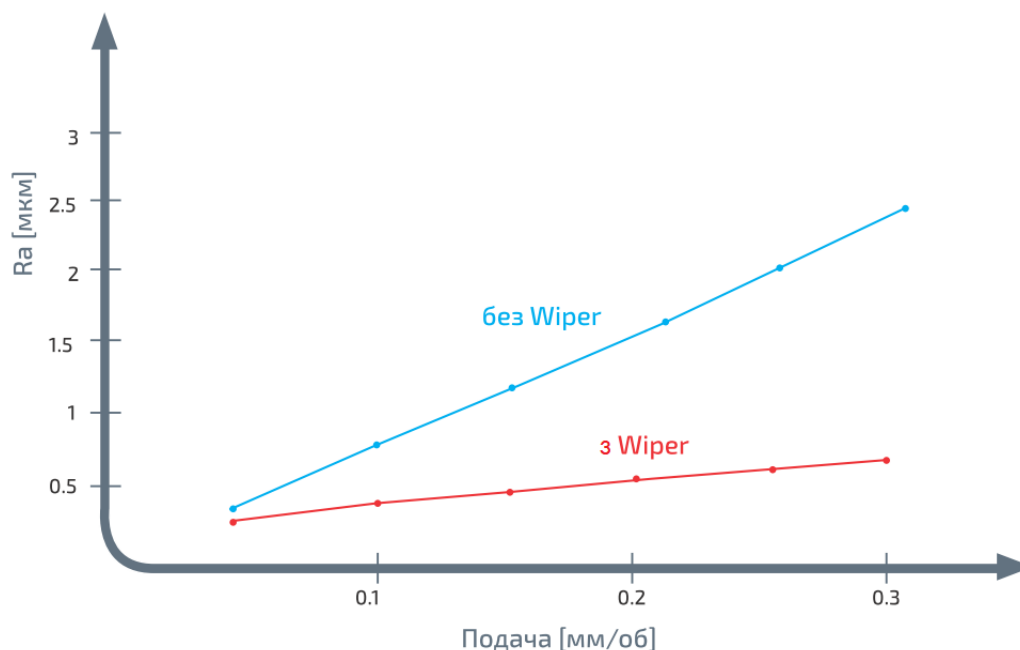


Рис. 2.38. Порівняння шорсткості обробки

Порівняно [14] шорсткість обробки деталі при точінні керамічною пластиною з TiN покриттям з вайпер геометрією та стандартною, з радіусом при вершині різця 0,8 мм. Виконували токарну обробку загартованої сталі ШХ15. Швидкість та припуск були постійними величинами. Значення подачі варіювали в межах 0,05-0,5 мм/об.

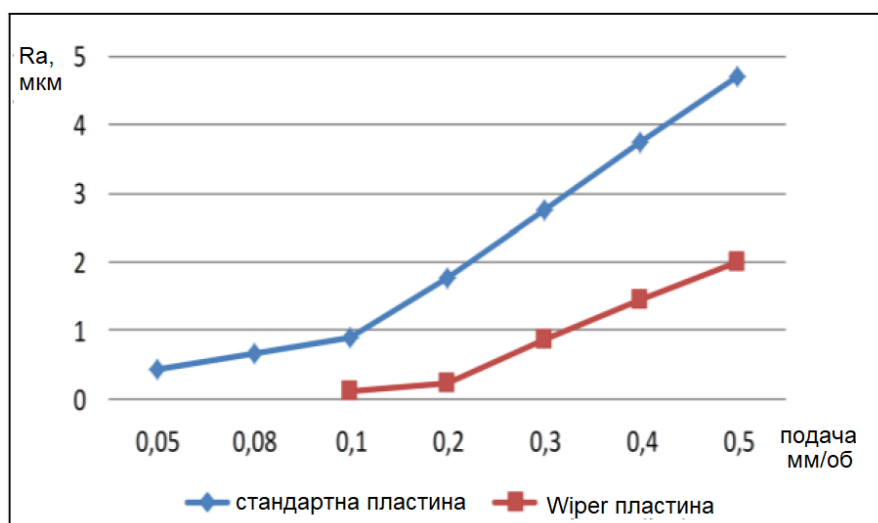


Рис. 2.39. Графік шорсткості поверхонь

З графіка можна зробити висновок, що шорсткість поверхні залежить від подачі та від геометрії радіуса при вершині різця. При однаковій подачі вайпер пластина забезпечує більш ніж в два рази кращу шорсткість.

Подібне дослідження [12] проводили при обробці легованої вуглецевої сталі 40Х. Радіус при вершині різця 0,25 мм.

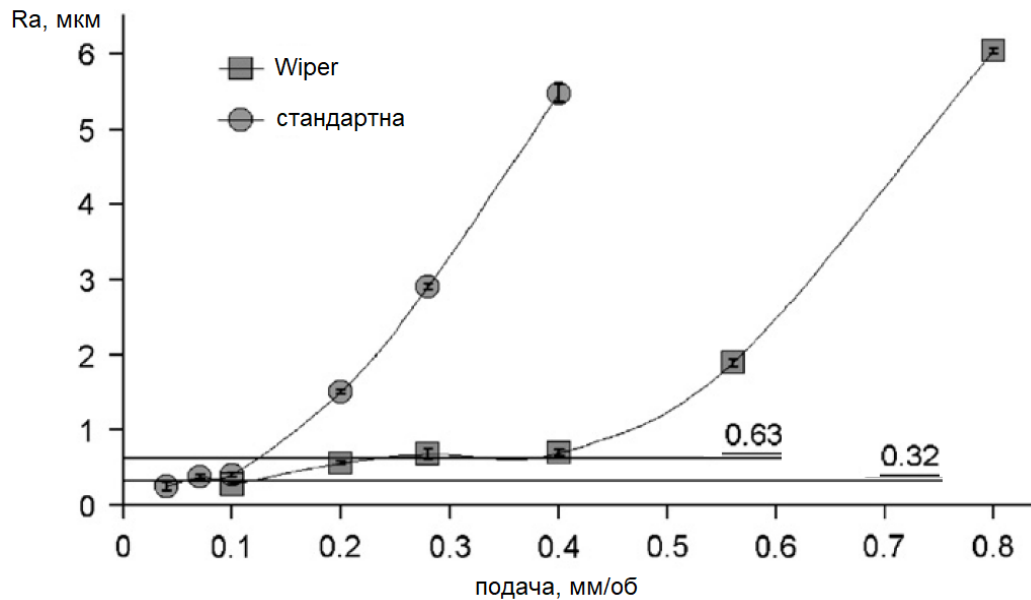


Рис. 2.40. Графік шорсткості поверхонь

Встановлено, що вайпер пластина забезпечила шорсткість на рівні Ra 0,63 мкм в діапазоні подач 0,1-0,4 мм/об включно. При цьому, пластина зі стандартною геометрією забезпечила таку саму шорсткість лише при подачі до 0,12 мм/об. При значенні подачі 0,4 мм/об., шорсткість поверхні обробленої стандартною пластиною була приблизно Ra 5,4 мкм.

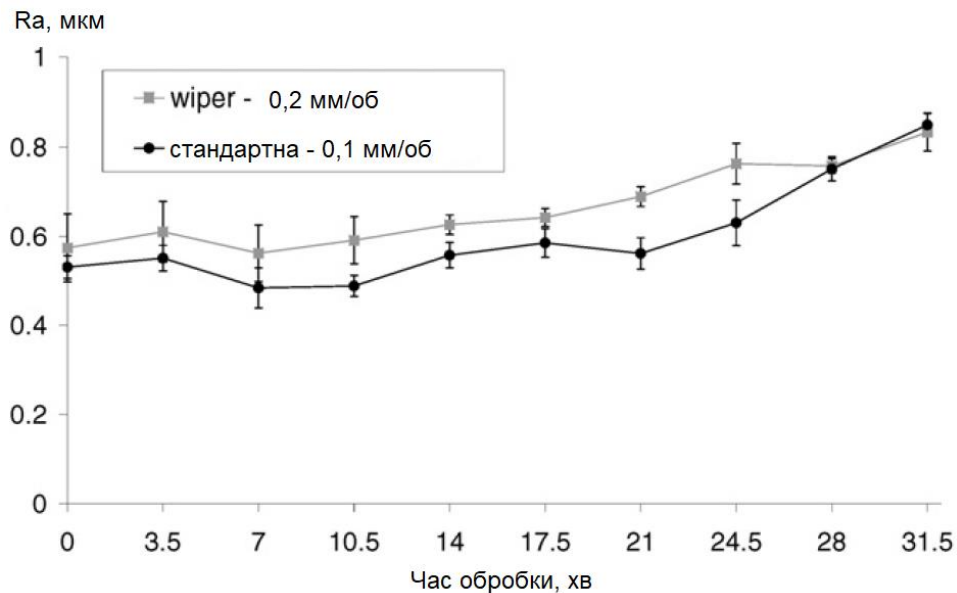


Рис. 2.41. Залежність шорсткості від часу різання

На рисунку 2.41 представлено порівняння шорсткості обробленої поверхні в залежності від часу різання. Вайпер пластини здатні забезпечувати однакову шорсткість при подвійній подачі. З графіка видно, що при різних подачах для двох різних пластин шорсткість відрізняється незначно і знаходиться в межах 0,5-0,7 мкм для перших 29 хвилин точіння. Зі зростанням зношення інструменту, значення шорсткості прямує до 0,8 мкм.

2.6. ЗОР при швидкісному точінні

Як відомо, при швидкісному точінні виникають високі температури в зоні різання. Найбільша кількість теплоти відводиться в стружку. Отже, для зниження температури потрібно створити умови швидкого видалення стружки із зони різання. Існують різні види охолодження: застосування змащувально-охолоджувальних рідин, обдування, парою та ін.

Застосування змащувально-охолоджувальних рідин при швидкісній обробці не дає бажаного результату через те, що деталь обертається занадто швидко і рідина просто не встигає дістатися зони різання через дію відцентрової сили. При такому охолодженні спостерігаються великі витрати

ЗОР та низькоефективне охолодження.

Конструкція багатьох сучасних різців передбачає наявність внутрішніх каналів для подачі ЗОР (рис. 2.42). При застосуванні такої схеми, охолодження відбувається більш ефективно за рахунок подачі ЗОР безпосередньо в зону різання адже, канали виведені дуже близько до різальної пластини.

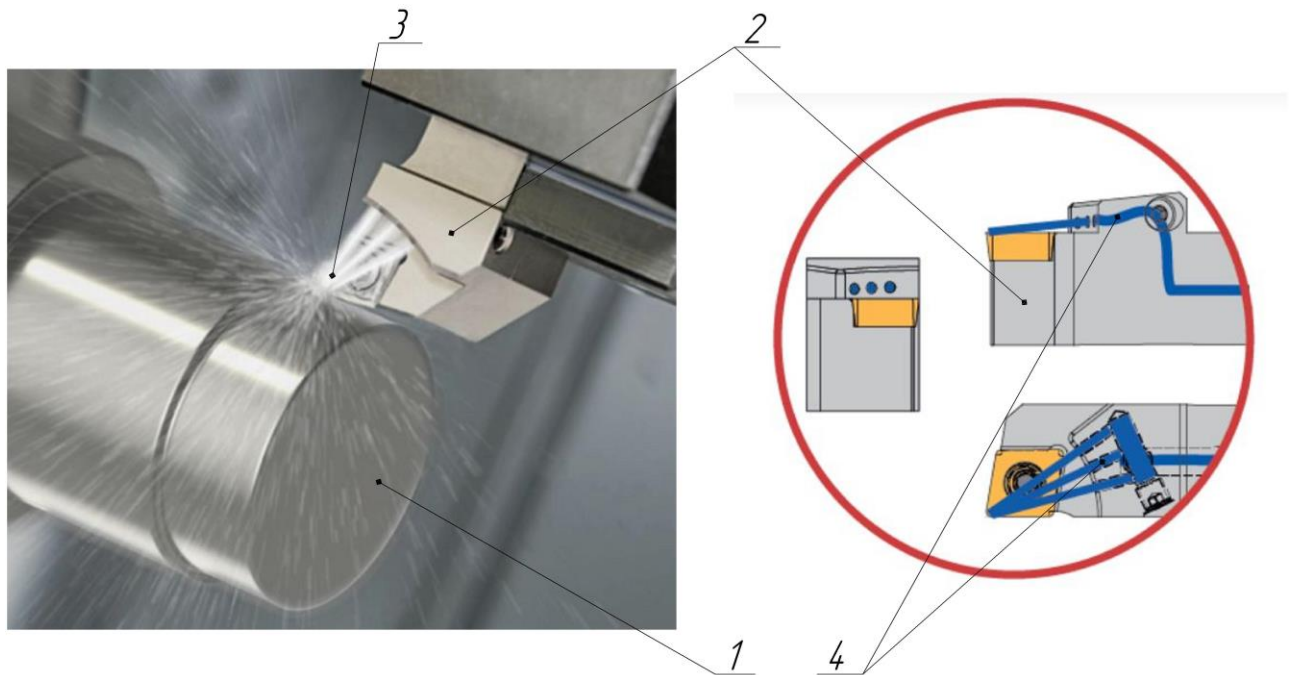


Рис. 2.42. Процес точіння із подачею ЗОР в зону різання:

1 – оброблювана деталь; 2 – токарний різець; 3 – ЗОР; 4 – канали для подачі ЗОР

Керамічними різальними пластина виконується швидкісна обробка без застосування ЗОР, так звана суха обробка. Вона полягає у подачі потужного потоку повітря за рахунок нагнітання високого тиску системою верстату. Потік повітря подається через внутрішні канали в різальному інструменті (рис. 2.42). Даний метод є більш екологічним та економнішим у порівнянні із застосуванням змащувально-охолоджувальних рідин.

2.7. Методика проведення експериментальних досліджень

Задачами експериментальних досліджень є визначення впливу параметрів різання при швидкісному точінні різальною пластиною з вайпер геометрією на шорсткість обробленої поверхні.

Для цього необхідно виконати планування експерименту: потрібно встановити основні незалежні змінні фактори, які матимуть вплив на критерії оптимізації; визначити межі їх варіювання; створити план експерименту.

В якості заготовки обрано пруток із сталі 38ХС, загартованої до твердості HRC 30. Діаметр прутка 35 мм, довжина 200 мм. Різальним інструментом є різець із різальною пластиною з кераміки із оксиду алюмінію з покриттям – нітрид титану TiN. Різальна пластина має вайпер геометрію.

Експериментальні дослідження проводились на токарному верстаті з ЧПУ мод. SP 180 чеської компанії Kovosvit Mas. Максимальна частота обертання даного верстату – 6000 об/хв.

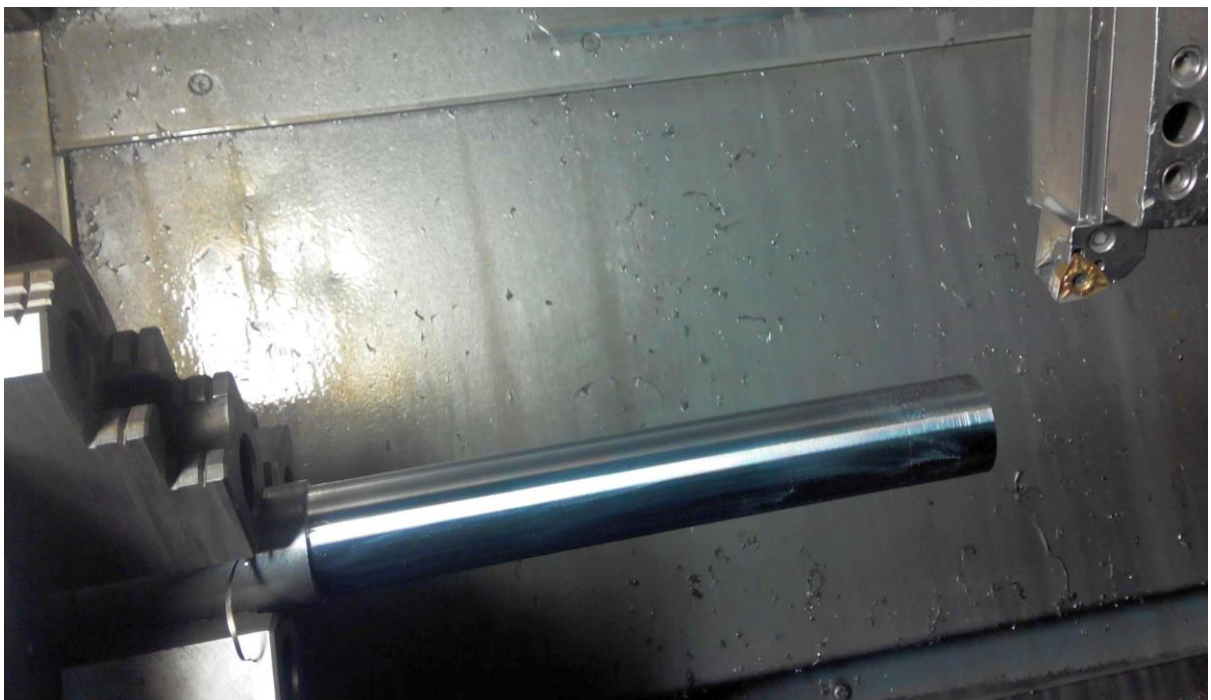


Рис. 2.43. Обробка швидкісним точінням заготовки

При проведенні експериментів варіювались такі параметри:

- подача $s = 0,05-0,35$ мм/об.;

- швидкість $V=140-220$ м/хв.;
- глибина різання $t=0,1-0,3$ мм.

Шорсткість обробленої поверхні вимірювалась на профілографі-профілометрі. Аналіз вимірних значень показав, що в результаті обробки шорсткість поверхні становить $Ra = 0,24-0,62$ мкм.

Результати експериментів, а саме залежність впливу подачі, швидкості та глибини різання на показники шорсткості представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Матриця плану 3^2 з результатами експериментів

№ п/п	Replicate	X1 (s, мм/об)	X2 (V, м/хв.)	X3 (t, мм)	Y (Ra, мкм)
1	1	0,05	140	0,1	0,32
2	1	0,35	140	0,1	0,53
3	1	0,05	220	0,3	0,24
4	1	0,35	220	0,3	0,59
5	1	0,05	180	0,2	0,39
6	1	0,3	180	0,2	0,62
7	1	0,2	140	0,1	0,43
8	1	0,2	220	0,2	0,45
9	1	0,2	180	0,1	0,53
10	1	0,2	180	0,3	0,54

Для отримання математичної моделі та поверхні відгуку, подальший аналіз виконуємо в програмному продукті Statgraphics.

Отримана математична модель функції, мкм:

$$Ra = 0,684839 + 0,187726 \cdot X1 + 0,0124996 \cdot X2 - 1,25 \cdot X1^2 + 0,00583333 \cdot X1 \cdot X2 - 0,0000378899 \cdot X2^2$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм, значущим фактором є величина подачі – s, тобто на шорсткість обробленої поверхні основний вплив має подача. Швидкість (V) та глибина різання (t) мають незначний вплив.

Побудуємо поверхню відгуку впливу подачі та швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні.

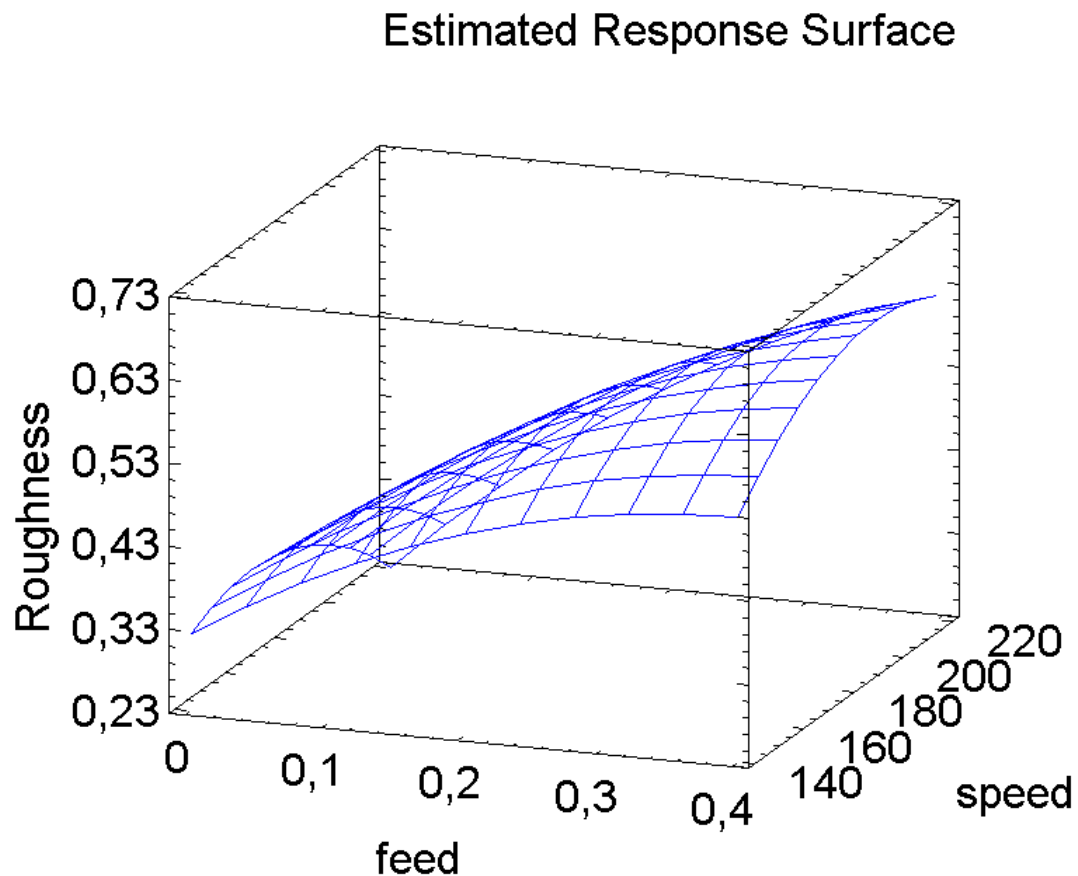


Рис. 2.44. Поверхня відгуку впливу подачі та швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні

На основі проведених експериментів, можна зробити наступні висновки:

- подача має значний вплив на показник шорсткості обробленої поверхні;
- швидкість різання має незначний вплив на шорсткість;
- різальна пластина із вайпер геометрією забезпечує кращі показники шорсткості у порівнянні із пластиною зі стандартним радіусом при вершині різця при обробці з однаковою подачею;
- керамічні різальні пластини із вайпер геометрією дозволяють виконувати точіння загартованих сталей на швидкісних режимах, забезпечуючи при цьому високу чистоту поверхонь.

2.8. Висновки

Виконано аналіз швидкісного точіння, як прогресивного способу металообробки. Виконано аналіз різальних матеріалів, конструкцій та особливостей різального інструменту для швидкісного точіння. Проведено аналіз відомих досліджень параметрів обробки та отримуваної якості поверхонь оброблених швидкісним точінням. Виконано дослідження впливу параметрів різання при швидкісному точінні на шорсткість обробленої поверхні експериментальним шляхом.

На основі виконаного аналізу та проведених експериментів можна визначити такі рекомендації для обробки під підшипники зовнішніх циліндричних поверхонь валу:

- в якості чорнової обробки застосовуємо швидкісне точіння різцем із пластиною з кераміки для обробки жароміцних сталей. Пластина може бути оснащена вайпер геометрією. Параметри швидкісної обробки призначаємо з огляду на рекомендації виробника різального інструменту;

- в якості чистової обробки застосовуємо швидкісне точіння різцем із пластиною з кераміки для обробки загартованих сталей. Пластина може бути оснащена вайпер геометрією. Параметри швидкісної обробки призначаємо з огляду на рекомендації виробника різального інструменту;

- для видалення стружки із зони різання застосовуємо метод обдування;

- обробку виконуємо на високошвидкісному токарному обробному центрі з ЧПУ моделі QUICK TURN NEXUS 100-II M, який здійснює обробку на високих швидкостях та при великих значеннях частот обертання шпинделя. Даний верстат оснащений контршпинделем, що забезпечує обробку деталі з обох сторін на одній операції без перевстановлення робітником.

Деталь вал (рис. 3.2, поз. 21) за допомогою підшипників 39 встановлюється в отворах стійок 1 та 3 і служить для встановлення та закріплення на підшипниках опорно-привідних коліс транспортного пристрою.

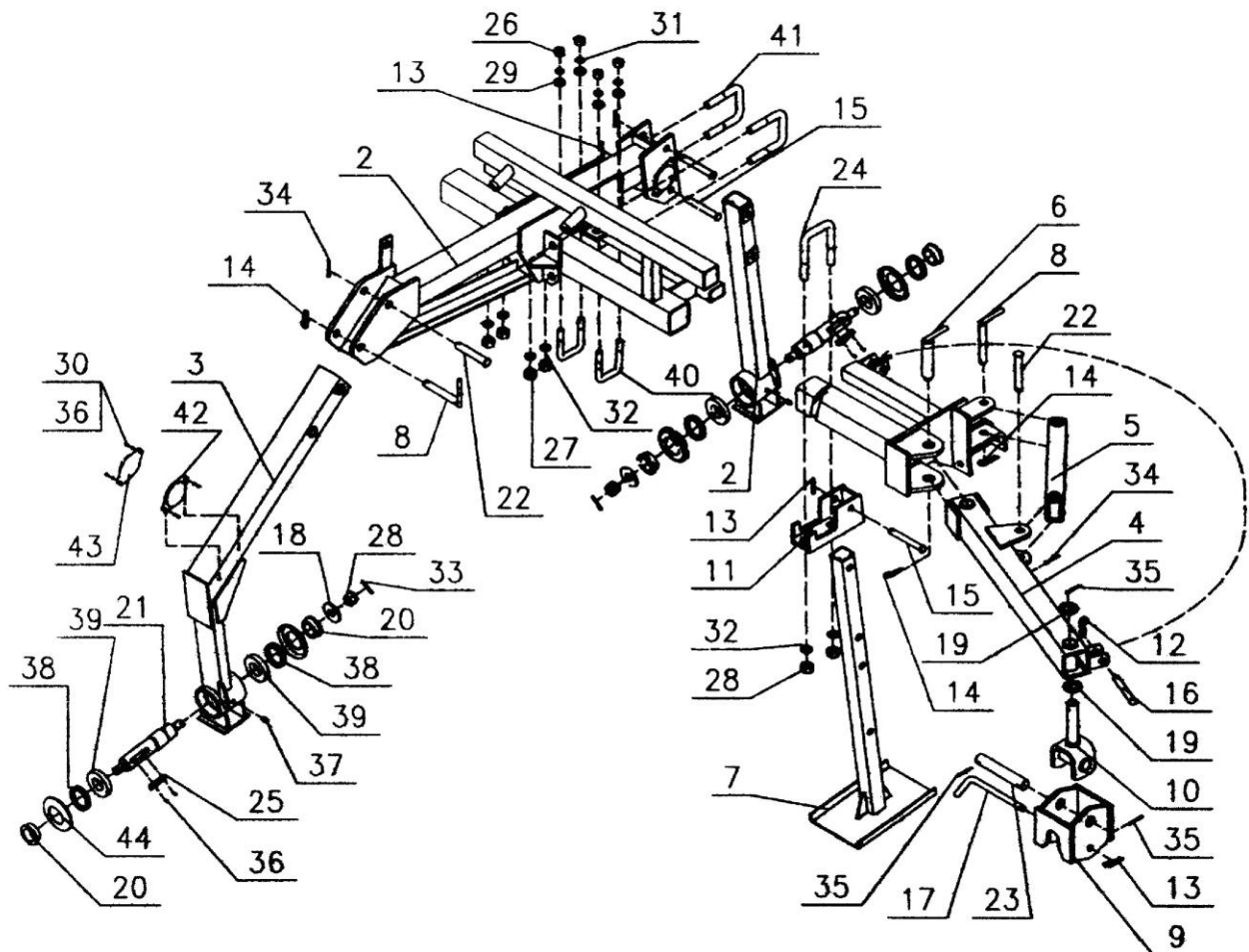


Рис. 3.2. Транспортний пристрій:

- 1 - стійка; 2 - брус; 3 - стійка; 4 - кронштейн; 5 - тяга; 6 - штир; 7 - опора;
 8 - штир; 9 - короб; 10 - серьга; 11 - кронштейн; 12 - шплінт; 13 - шплінт;
 14 - шплінт; 15 - штир; 16 - штир; 17 - штир; 18 - шайба; 19 - шайба; 20 - втулка;
 21 - вал; 22 - штир; 23 - вісь; 24 - скоба; 25 - шпонка; 26 - гайка; 27 - гайка;
 28 - гайка; 29 - шайба; 30 - шайба; 31 - шайба; 32 - шайба; 33 - шплінт;
 34 - шплінт; 35 - шплінт; 36 - гвинт; 37 - маслянка; 38 - манжета;
 39 - підшипник; 40 - скоби; 41 - скоби; 42 - світлоповертач; 43 - світлоповертач;
 44 - ковпачок.

Призначенням сівалки 8-ми рядної, до складу якої входить вал, є точний посів насіння таких сільськогосподарських культур, як: соняшник, кукурудза, соя, кормові боти, квасоля, сорго. Особливістю даної сівалки є можливість під час посіву одночасного внесення роздільно від насіння дози сипучих, гранульованих мінеральних добрив і їх сумішей на полях з традиційною технологією обробки ґрунту. Сівалка представляє напівприцепу машину (рис. 3.3).

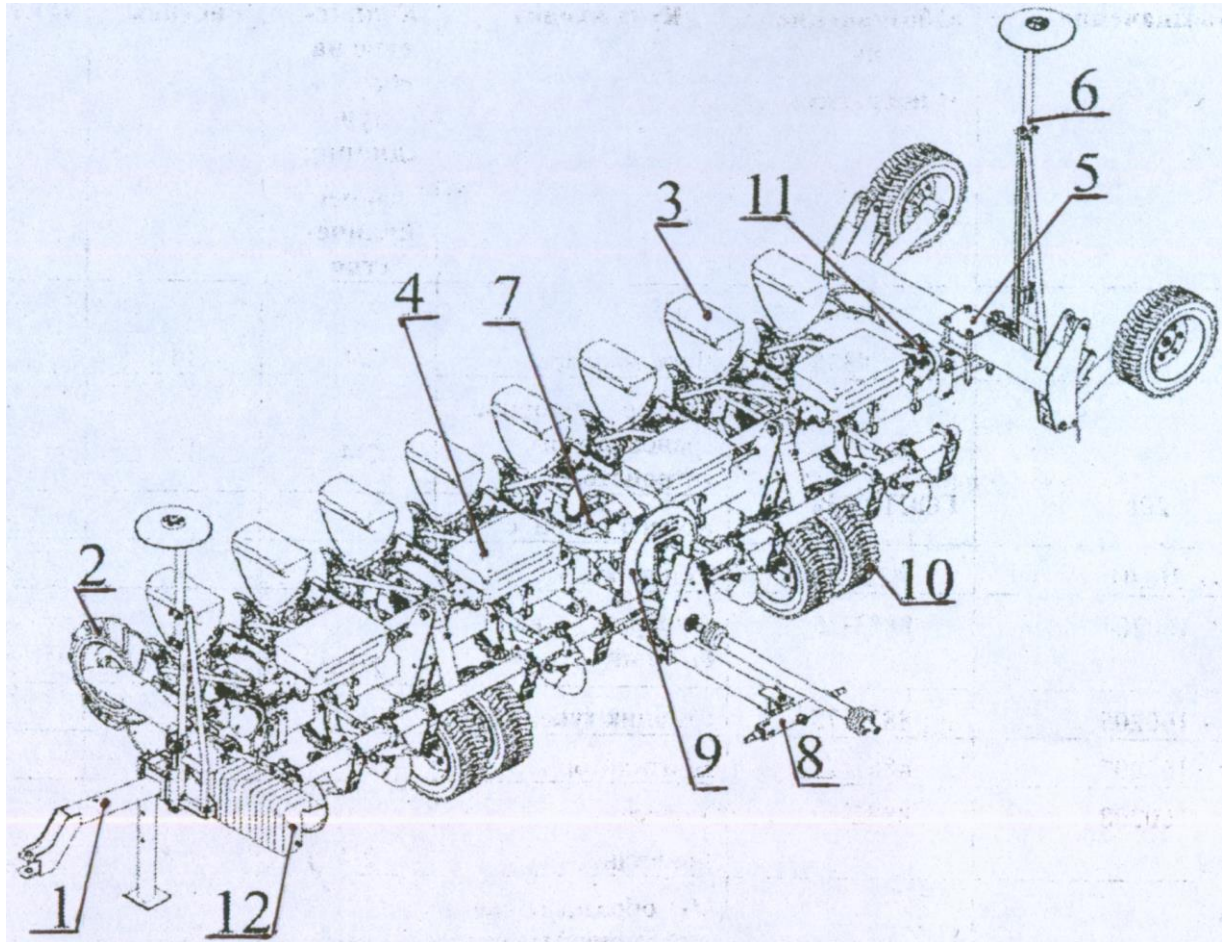


Рис. 3.3. Загальний вигляд сівалки:

1 - сниця транспортного пристрою; 2 – приводне колесо; 3 – посівна секція; 4 - туковисіваюча система; 5 - пристрій транспортний; 6 – маркер; 7 – рама; 8 – сниця; 9 – вентилятор; 10 - колесо опорне; 11 - кронштейн привідного колеса; 12 - противага.

Принцип роботи сівалки: насінний сошник утворює борозну в ґрунті в яку викидається насіння. Транспортування насіння із забірної камери до борозни в

грунті відбувається за рахунок присмоктування насіння до диска. Присмоктування обумовлене розрідженням, яке створює вентилятор.

Заслінкою регулюється кількість насіння, що потрапляє з бункера в висівачу камеру. Точне однозернове висівання забезпечується завдяки наявності гребінчастих скидачів зайвого насіння. Наявність оглядового вікна дозволяє здійснювати під час налаштування візуальний контроль за якістю роботи висівного апарата.

Розвантажувальний люк призначений для швидкого видалення насіння з камери висівного апарата. На висівному диску встановлено ворушилку, яка перешкоджає ущільненню і зависанню насіння в камері висівного апарату. Туковисівача система забезпечує одночасне внесення гранульованих мінеральних добрив роздільно від насіння. Диск маркера, опущений в незасіяну частину поля, залишає слід, який служить орієнтиром трактористу для забезпечення стикування міжрядь при наступному проході.

3.2. Розробка технології виготовлення валу

Тип виробництва

Тип виробництва є одним із основних факторів, що має вплив на побудову технологічного процесу виготовлення деталі.

Тип виробництва для деталі вал визначений за допомогою спеціалізованої програми ТИП.

Вал

Вихідні дані			
Програма випуску 3000			
Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час	
5	3764	4.3400	
10	3764	9.1000	
15	3884	1.5000	
20	3884	1.2200	
25	3884	0.7900	
30	3884	0.9500	

35		3764	2.5200
40		3764	1.0400

Результати розрахунку			

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті

5	0.0721	1	11.10
10	0.1511	1	5.29
15	0.0241	1	33.14
20	0.0196	1	40.75
25	0.0127	1	62.93
30	0.0153	1	52.33
35	0.0418	1	19.12
40	0.0173	1	46.33

Коефіцієнт закріплення операцій 33.87457

Тип виробництва - дрібносерійний

З розрахунків можна зробити висновок, що тип виробництва виготовлення деталі вал – дрібносерійний.

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, виготовляємих періодично повторюваними партіями.

Серійне виробництво є основним типом сучасного машинобудівного виробництва. По всіх технологічних і виробничих характеристиках серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом.

При серійному типі виробництва обсяг випуску становить в межах від десятків і сотень до тисяч регулярно повторюваних виробів. Широко застосовуються верстати з ЧПУ, оброблювальні центри, гнучкі автоматизовані системи, які пов'язані транспортуючими пристроями. Використовується, як універсальне, так і спеціалізоване устаткування, яке розставляється за технологічними групами. Технологічне оснащення в основному універсальне, однак, у багатьох випадках застосовується високопродуктивне спеціальне оснащення; при цьому доцільність його створення і застосування повинна бути попередньо обґрунтована техніко-економічним розрахунком. Значно підвищується коефіцієнт оснащеності серійного виробництва завдяки універсальному, переналагоджуваному технологічному оснащенню. Необхідна

точність досягається як методами автоматичного одержання розмірів, так і методами пробних ходів і промірів із частковим застосуванням розмітки.

Середня кваліфікація робітників вище, ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, що працюють на складних універсальних верстатах, використовуються і робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

В залежності від розмірів партій випускаємих виробів, серійне виробництво поділяється на: дрібносерійне, середньосерійне та крупносерійне. Правильне визначення характеру проектного технологічного процесу й ступеня його технічної оснащеності, яке буде найбільш раціональним для даних умов конкретного серійного виробництва, є дуже складним завданням, що вимагає від технолога розуміння реальної виробничої обстановки, найближчих перспектив розвитку підприємства й уміння проводити серйозні техніко-економічні розрахунки й аналізи.

При дрібносерійному виробництві можлива часткова спеціалізація обладнання і використання верстатів, які мають можливість швидкого переналагодження. Разом з цим широко застосовуються верстати з ЧПУ. При дрібносерійному виробництві доцільно використовувати предметну форму організації.

Аналіз точності та технологічності

Точність деталі є одним із найважливіших її показників, адже, вона визначає ступінь наближення розмірів і геометричних параметрів реальної деталі заданим на кресленні. Аналіз точності деталей необхідний для виявлення технологічних можливостей забезпечення всіх вимог робочого креслення деталей, технічних вимог на їх виготовлення. Аналіз виконується за такими параметрами: вимоги по точності розмірів, відносних поворотів та форми, а також величина шорсткості поверхонь. Дані аналізу точності наведено в таблиці 3.1.

Аналіз точності деталі вал показує, що всі розміри поверхонь задані в достатній кількості для їх обробки. Метод постановки розмірів – комбінований. Величини розмірів відповідають нормальному ряду чисел, але не всі відхилення відповідають діючим квалітетам.

Найбільш точними поверхнями валу є зовнішня циліндрична поверхня 21 (рис. 3.1) $\varnothing 40h6_{(-0,016)}$, Ra 0,63. Такі вимоги пояснюються тим, що вказана поверхня спряжується з відповідною поверхнею манжети. Зовнішні циліндричні поверхні 7, 11, які спряжуються з відповідними поверхнями підшипників мають наступні вимоги по точності та якості - $\varnothing 40h9_{(-0,062)}$, Ra 2,5. Вимоги по точності шпонкового пазу 12: $12P9_{(-0,061)}^{(-0,018)}$, Ra 3,2. Крім того, вимоги по точності маємо до різбових поверхонь 3, 16 - M20-6g, Ra 5. Інші поверхні деталі мають невисокі квалітети точності: H14, h14 та шорсткість Ra 6,3...12,5.

Різальний та вимірювальний інструмент має вільний доступ до оброблюваних та контрольованих поверхонь. Деталь можна обробити за допомогою відомих методів обробки із застосуванням стандартних затискних пристроїв, стандартних різальних інструментів та вимірювальних інструментів.

До нетехнологічних слід віднести отвори 19, 20, при обробці яких маємо складний вхід інструменту по циліндричній поверхні.

В цілому деталь вал є технологічною, значних складностей при забезпеченні заданої точності та якості, а також технічних вимог – не виникає.

Аналіз креслення деталі показав, що всі необхідні розміри задані в достатній кількості, вимоги точності, шорсткості, відповідають службовому призначенню та умовам експлуатації. Проте квалітети точності деяких поверхонь деталі надані не за нормалізованими рядами.

Аналіз технічних вимог валу: твердість деталі 30...35HRC; невказані граничні відхилення розмірів по ОСТ23.4.209-82; граничні відхилення від правильної геометричної форми посадочних поверхонь під підшипники по ОСТ23.4.108-87; покриття Ц9хр крім поверхонь 11, 21.

Таблиця 3.1

Параметри точності деталі

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні
1	2	3	4	5	6	7
1,18	Торцева	310 ₋₁	-	-	-	12,5
2,17	Фаска	2,5x45 ⁰	h14	-	-	12,5
3,16	Різьбова	M20	6g	-	-	10
4,15	Канавка	6 ^{+0,3} Ø16,5 _{-0,43}	H14 h14	- -	- -	12,5 12,5
5,14	Торцева	38 ^{+0,5}	-	-	-	12,5
7,11	Зовнішня циліндрична	Ø40 _{-0,062}	h9	-	-	2,5
8,10	Торцева	80 _{-0,2}	-	-	-	12,5
12	Паз	12 _{-0,018} 5 ^{+0,2}	P9 -	- -	- -	3,2 6,3
6,13	Фаска	1,6x30 ⁰	-	-	-	6,3
19, 20	Внутрішня циліндрична	Ø4 ^{+0,3}	H14	-	-	6,3
21	Зовнішня циліндрична	Ø40 _{-0,016}	h6	-	-	0,63
1,18	Торцева	310 ₋₁	-	-	-	12,5
2,17	Фаска	2,5x45 ⁰	h14	-	-	12,5

Деталь вал підлягає термічній обробці, яка складається із: загартовування при 850⁰С з охолодженням водою та відпускання при 600⁰С з охолодженням повітрям.

Технічні вимоги на виготовлення валу назначені правильно, доцільно, однозначно і коректно, визначені умовами експлуатації. Деталь має хороші базові поверхні. Всі поверхні легко доступні для обробки. Технологія обробки деталі вал дозволяє застосування високопродуктивних режимів обробки.

Аналіз базового технологічного процесу

Технологічний процес обробки деталі вал складається із 8-ми операцій механічної обробки. Обрана послідовність операцій дозволяє забезпечити необхідну точність та якість обробки. В базовому технологічному процесі

обробки валу застосовуються, як універсальне та спеціальне обладнання, так і верстати з ЧПУ. З метою підвищення гнучкості технологічного процесу та зменшення собівартості обробки деталі в розробленому технологічному процесі плануються такі зміни:

- операції 010 токарну з ЧПУ, що здійснюється на верстаті мод. 16K20Ф3С32 де виконується підрізання та центрування торців і 015 операцію токарну з ЧПУ, що здійснюється на верстаті мод. 16K20Ф3С32, де виконується лезова обробка поверхонь валу з переустановкою замінити на одну 010 операцію, що здійснюються на високошвидкісному токарному обробному центрі з ЧПУ з контршпинделем японської фірми Mazak і де виконується підрізання та, центрування торцю, обробка поверхонь валу з короткої та довгої сторін відповідно за два установи деталі із її закріпленням в шпинделі (установ А) та контршпинделі (установ Б). На даній операції на режимах швидкісного точіння планується обробка зовнішніх циліндричних поверхонь валу;

- обробку шпонкового пазу та двох отворів $\varnothing 4$ виконати на 015 операції на вертикально-фрезерному верстаті мод. XD-30 замість роздільної їх обробки на шпонково-фрезерному верстаті мод. 692Р (020 операція) та вертикально-свердлильному верстаті мод. 2Н125 (025 операція);

- чистове швидкісне обточування поверхонь $\varnothing 40$ та калібрування різьби після термічної обробки планується виконати на одному токарному верстаті з ЧПУ на 050 операції замість роздільної обробки на двох токарних верстатах з ЧПУ на 060 та 065 операціях механічної обробки.

Запропоновані зміни дадуть можливість: підвищити гнучкість виробництва, що важливо в умовах сучасного ринку; застосувати швидкісне точіння, як прогресивний спосіб металообробки; зменшити кількість верстатів необхідних для обробки валу.

Вибір заготовки

При виборі оптимального методу отримання заготовки важливу роль відіграють наступні фактори: матеріал деталі, конструкція деталі, технічні вимоги, економічність.

На строк служби деталі та її якість впливає матеріал заготовки. Конструкція деталі визначає необхідність використання певних матеріалів та оброблювальних операцій. Технічні вимоги теж мають вплив на вибір методу отримання заготовки.

Крім того, економічність також має важливе значення при виборі методу отримання заготовки. Необхідно розглядати вартість матеріалу, обробки та транспортування, а також можливість використання існуючого обладнання.

Вибір методу отримання заготовки повинен здійснюватися комплексно, з урахуванням всіх вищезазначених факторів.

Для виготовлення деталі вал використовуємо прокат. Прокатка дозволяє з найменшими питомими витратами виготовляти вироби, які або повністю повторюють передбачений конструктором поперечний переріз деталі, або максимально наближені до нього. Прокатка має високі техніко-економічні показники в порівнянні з іншими способами обробки металів: високу продуктивність, низьку собівартість та високий коефіцієнт використання металу. Круглий калібрований прокат (з постійним поперечним перерізом) застосовують для гладких і ступінчатих валів з невеликим перепадом ступеней діаметром 45 мм.

Для виготовлення валу використовується сталь 38ХМЮА – жароміцну сталь, що характеризується застосуванням в умовах високих температур протягом певного часу. Жароміцна сталь застосовується в умовах складнонапруженого стану.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі наведено в таблицях 3.2 та 3.3 відповідно.

Таблиця 3.2

Хімічний склад матеріалу деталі

Марка матеріалу	Вміст елементів, %									
	C	S	Fe	Si	Mn	Ni	P	Cu	Cr	Al
Сталь 38ХМЮА	0,35-0,42	до 0,025	97	0,2-0,45	0,3-0,6	до 0,3	до 0,025	до 0,3	1,35-1,65	0,7-1,1

Таблиця 3.3

Механічні властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	σ_B	σ_T	δ	ψ	Твердість, НВ
	МПа		%		
Сталь 38ХМЮА	880	835	10	45	229

Розробка маршруту виготовлення валу

Маршрути обробки валу будують з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленнях деталей. Їх зміст приводимо, як послідовність назв технологічних операцій, використовуваних верстатів та короткий зміст технологічних переходів.

Розроблений маршрут обробки деталі наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Таблиця технологічних маршрутів обробки валу

Маршрутний технологічний процес	
базовий	проектуючий
1	2
005 Транспортна Електрокар Транспортувати заготовки на дільницю механічної обробки	005 Транспортна Електрокар Транспортувати заготовки на дільницю механічної обробки
010 Токарна з ЧПУ 16K20Ф3 Токарний з ЧПУ Точити торці, свердлили отвори з переустановкою	010 Токарна з ЧПУ QUICK TURN NEXUS 100-II MY Токарний з ЧПУ Установ А Точити торець, контур, канавку,

015 Токарна з ЧПУ 16K20Ф3 Токарний з ЧПУ Точити поверхні, канавки, фаски з переустановкою	свердлити отвір. Установ Б Точити торець, контур, канавку, свердлити отвір.
020 Шпонково-фрезерна 692Р Шпонково-фрезерний Фрезерувати паз	015 Вертикально-фрезерна з ЧПУ XD-30 Вертикально-фрезерний з ЧПУ Фрезерувати паз, площадки, свердлити отвори, зенкувати фаски
025 Вертикально-свердлильна 2Н125 Вертикально-свердлильний Свердлити отвори з переустановкою	
030 Слюсарна Зняти заусенці	020 Слюсарна Зняти заусенці
035 Вертикально-свердлильна 2Н125 Вертикально-свердлильний Розсвердлити фаски	025 Вертикально-свердлильна 2Н125 Вертикально-свердлильний Розсвердлити фаски
040 Різбонакатна UPW 25/100 Накатати різьбу з переустановкою	030 Різбонакатна UPW 25/100 Накатати різьбу з переустановкою
045 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри	035 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри
050 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю термообробки	040 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю термообробки
053 Термообробна Термообробити деталь	045 Термообробна Термообробити деталь
055 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю механічної обробки	050 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю механічної обробки
060 Токарна з ЧПУ SL-30TNE Токарний з ЧПУ Точити поверхні з переустановкою	055 Токарна з ЧПУ QUICK TURN NEXUS 100-II MY Токарний з ЧПУ Точити поверхні, калібрувати різьбу з переустановкою
065 Токарна з ЧПУ 16K20Ф3 Токарний з ЧПУ Калібрувати різьбу з переустановкою	
070 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри	060 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри
075 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю складання	065 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю складання

Вибір технологічних баз

Вибір раціональної схеми базування деталі під час її механічної обробки забезпечує технічні вимоги, які висуваються до деталі.

Схема базування заготовки на верстатах повинна забезпечити надійність закріплення, достатню жорсткість встановлення заготовки, а також задану точність орієнтації її в пристрої.

Вибір технологічних баз починають з чорнової бази - бази на першій операції технологічного процесу. Призначення чорнової бази - забезпечити отримання чистових технологічних баз для наступних операцій. При виборі чорнової технологічної бази необхідно виходити із забезпечення більш рівномірного зняття припуску з найбільш точних і важливих для деталі поверхонь.

При виборі технологічних баз необхідно керуватися принципами суміщення та постійності баз. При вимушеній зміні баз, доцільно переходити від менш точної базової поверхні до більш точної.

При обробці деталі вал в якості чорнової бази на 010 операції (установ А) використовується зовнішню циліндричну поверхню 9 (рис. 3.1) та торцева поверхня 18. На даній операції підготовлюються чистові бази – центровий отвір та торець 18, які застосовуємо в якості технологічних баз на 055 операції механічної обробки деталі. На 010 (установ Б) операції в якості баз використовуються зовнішня циліндрична поверхня 11 та торцева поверхня 10. На даній операції підготовлюються чистові бази – центровий отвір та торець 1, які застосовуються в якості технологічних баз на 055 операції механічної обробки деталі. На 015 операції деталь базується по зовнішніх циліндричних поверхнях 21, 11 та торцевій поверхні 10. На 025 операції деталь базується по зовнішніх циліндричних поверхнях 21, 11 та торцевій поверхні 5. На 030 операції деталь базується по різьбовим поверхням 3, 16 та торцям 1, 18 на відповідних установах.

Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

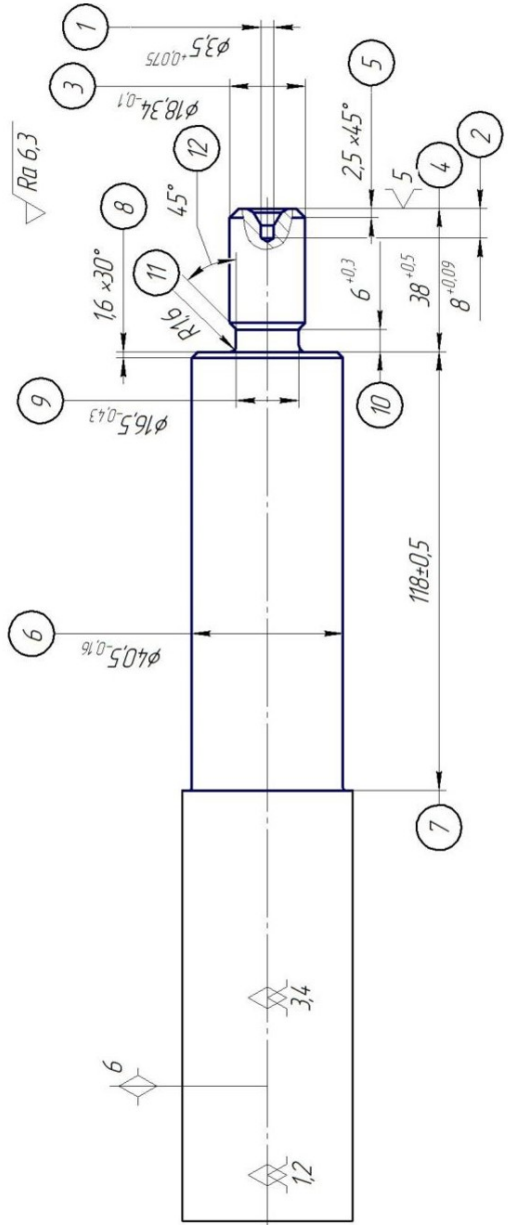
Для виробництва деталі вал застосовуються різноманітні верстати та обладнання, такі верстати з ЧПУ, як: швидкісні токарні обробні центри та вертикально-фрезерні, а також верстати вертикально-свердлильні та різьбонакатні, які забезпечують високу точність та продуктивність обробки.

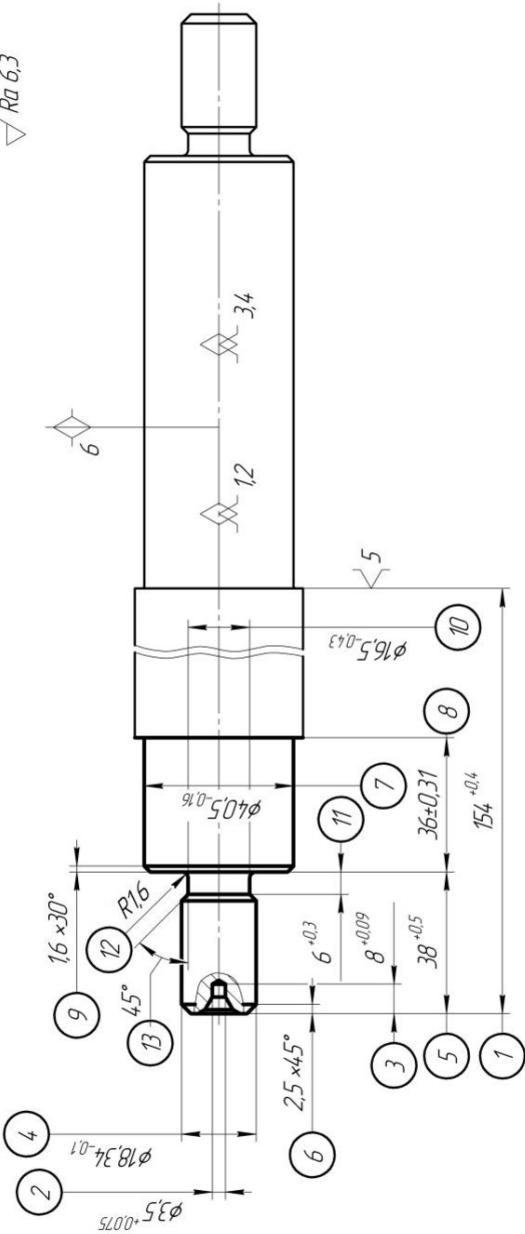
При розробці структури технологічних операцій необхідно дотримуватися взаємозв'язку між операціями та оптимізувати кількість переходів, щоб зменшити час на обробку та витрати пов'язані з виробництвом.

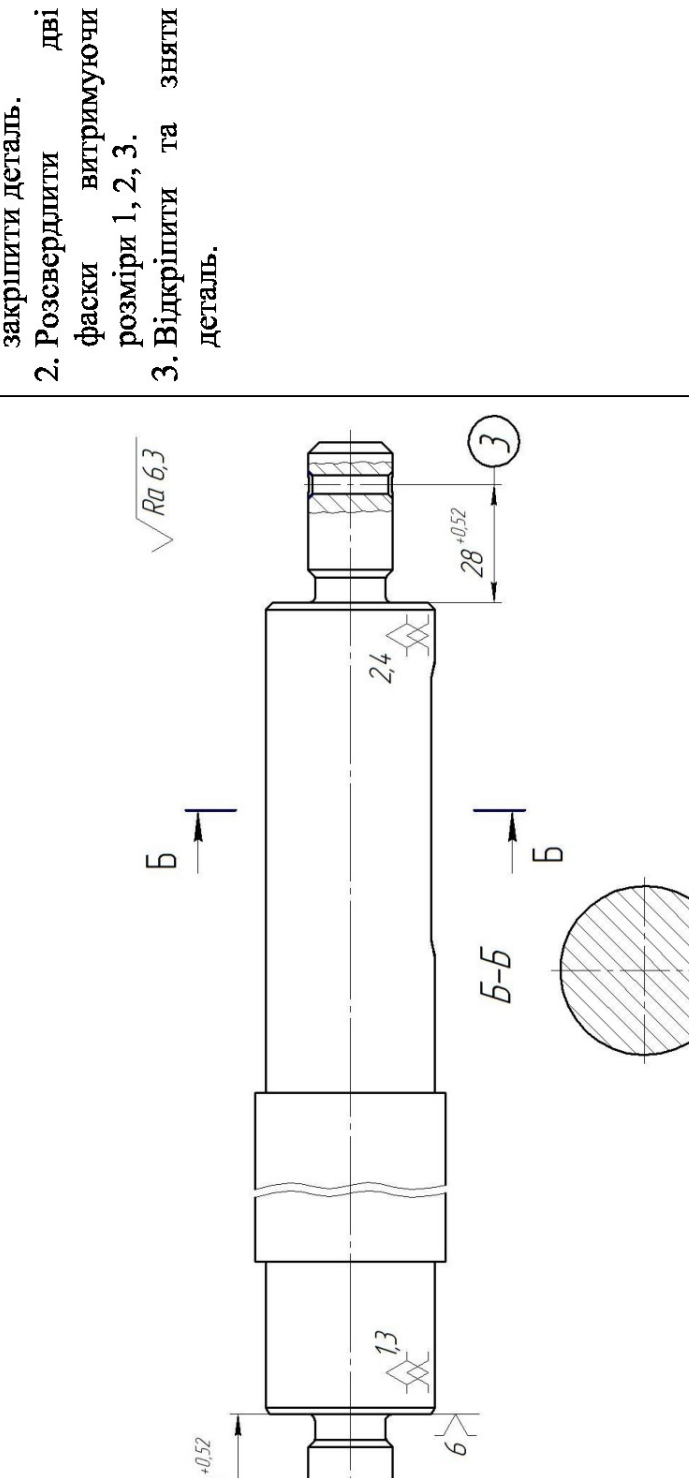
Після визначення структури операцій та необхідного обладнання, важливо здійснити планування робочого місця, встановлення різального інструменту та його налагодження, а також підготовку робочої зони для забезпечення безпечної та ефективної роботи верстатів. Структура та зміст операцій механічної обробки валу наведено в таблиці 3.5, а характеристики металорізальних верстатів представлено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.5

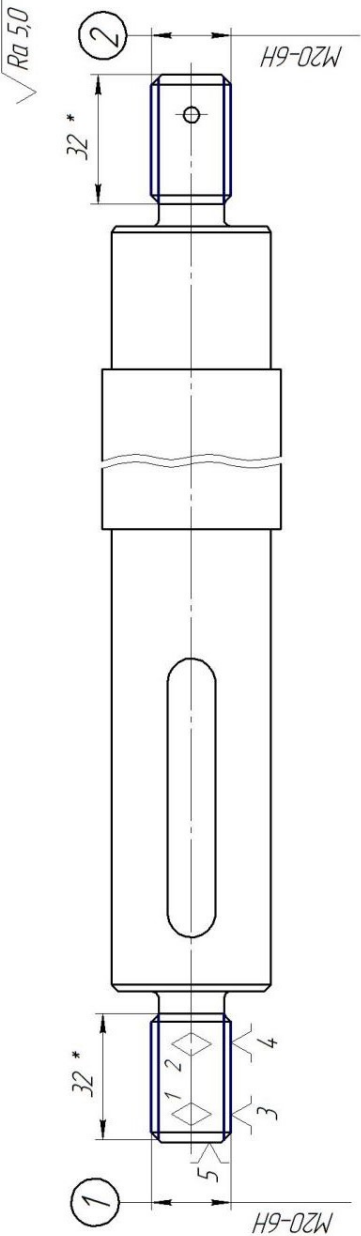
Структура та зміст технологічних операцій обробки валу

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПУ	QUICK TURN NEXUS 100-II MY Токарний з ЧПУ	Установ А 	1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Точити торець. 3. Свердлиги центровий отвір, витримуючи розміри 1,2. 4. Точити контур, витримуючи розміри 3,4,5,6,7,8. 5. Точити канавку, витримуючи розміри 9, 10, 11, 12. Перезатиск деталі контршпінделем.

1	2	3	4
		Установ Б 	6. Точити торець, витримуючи розмір 1. 7. Свердлити центровий отвір, витримуючи розміри 2, 3. 8. Точити контур, витримуючи розміри 4, 5, 6, 7, 8, 9. 9. Точити канавку, витримуючи розміри 10, 11, 12, 13. 10. Відкріпити та зняти деталь.

1	025 Вертикально-свердильна
2	2Н125 Вертикально-свердильний
3	
4	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Розсвердлити дві фаски витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
030 Різбонакатна	UPW 25/100 Різбонакатний		1. Встановити деталь. 2. Накатати різьбу витримуючи розмір 1 з однієї сторони. 3. Переустановити деталь. 4. Накатати різьбу витримуючи розмір 2 з другої сторони. 5. Зняти деталь.

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
055 Токарна з ЧПУ	QUICK TURN NEXUS 100-II MY Токарний з ЧПУ	Переходи 2, 3. Переходи 5, 6. *Розмір для довідок.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 2. 3. Калібрувати різьбу після термічної обробки, витримуючи розмір 3. 4. Переустановити деталь. 5. Точити зовнішні циліндричні поверхні, витримуючи розміри 4, 5, 6, 7. 6. Калібрувати різьбу після термічної обробки, витримуючи розмір 8. 7. Відкріпити та зняти деталь.

Таблиця 3.6

Характеристики металорізальних верстатів для обробки деталі вал

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри обочого столу чи макс діаметр обробки (мм)	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
010, 055	QUICK TURN NEXUS 100-II М Токарний з ЧПУ	Ø550	6000	0,02-1000	11	2140 x1630
015	XD-30 Вертикально-фрезерний з ЧПУ	320x700	6000	1-10000	5,5	2450x1590
025	2H125 Вертикально-свердильний	400x450	45-2000	0,1-2	2,2	915x785
030	UPW 25/100 Різьбонакатний	3-45	25-224	2,5 мах	4,75	1240x925

Вибір пристроїв для затиску деталі

Тип та конструктивні особливості затискних пристроїв для виконання кожної технологічної операції визначають з урахуванням обраної теоретичної схеми базування деталей та типу виробництва.

Дані про затискні пристрої для операцій механічної обробки валу представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Затискні верстатні пристрої

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	3	4
010	Трьохкулачковий патрон: - установ А - установ Б	Nexus 100	Гідравлічний Гідравлічний
015	Пристосування спеціальне	7256-4004	Пневматичний
025	Пристосування спеціальне	7256-4005	Пневматичний

030	Опора	7256-4006	Механічний
055	Центр обертаючий Центр Поводок	8742-62 А-1-5-м-КМ№5 7032-0035 Морзе 5 13214-79 130986	Електромеханічний

Вибір різальних інструментів

Враховуючи метод та стадію обробки, тип виробництва, фізико-хімічні характеристики матеріалу вихідної заготовки та інструменту, його міцність та стійкість, а також характер обробки обираємо для кожного переходу різучий інструмент.

В базовому технологічному процесі застосовується як стандартний різальний інструмент, так і різальний інструмент корейської фірми TaeguTec. Для покращення режимів різання та параметрів обробки, замінюємо стандартний різальний інструмент на інструмент ф. TaeguTec.

На 010 та 055 операціях виконується швидкісне точіння. На переходах 4 та 8 010 операції виконується швидкісне точіння зовнішніх циліндричних поверхонь. На основі огляду та аналізу матеріалів різальних пластин для швидкісного точіння жароміцної сталі 38ХМЮА та з огляду на те, що: ПКНБ застосовується для обробки твердих матеріалів (40-75 HRC), тип виробництва даної деталі дрібносерійний, різальних пластин із ПКНБ мають високу вартість, застосування різальних пластин із даного матеріалу є недоцільним в проектуємому технологічному процесі. Оскільки, кермети при нагріванні до 1000⁰С втрачають близько 2/3 своєї твердості, вони мають нижчу стійкість до зносу, ніж кераміка.

Тож, на 4 та 8 переходах 010 операції застосовуємо різці із пластинами з кераміки марки ТС430, яка призначена для швидкісного точіння жароміцної сталі. Різальна кромка оснащена вайпер геометрією WT для чорнового та напівчистового точіння.

На 2 та 5 переходах 055 операції виконується високошвидкісна чистова обробка циліндричних поверхонь. Дана операція виконується після термообробки – загартовування та відпуску. Твердість деталі після

термообробки досягає 30...35HRC. Матеріалом різальної пластини приймаємо кераміку на основі оксиду алюмінію марки АВ2010 з покриттям із нітриду титану TiN. Кераміка АВ2010 призначена для обробки загартованих сталей. Різальна кромка оснащена вайпер геометрією WS для чистового точіння.

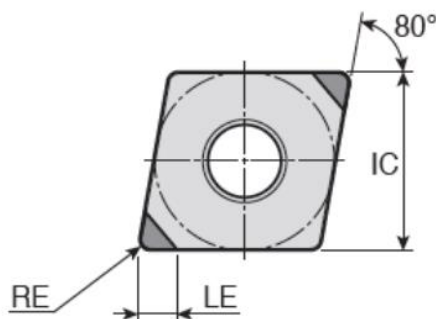


Рис. 3.4. Параметри вайпер геометрії пластини CNGA:

RE – 0,4-1,6 мм, LE – 2,1-2,5 мм

Дані по різальному інструменту представлено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Дані по різальному інструменту

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина
Операції	Переходу			Матеріал
1	2	3	4	5
010	2	Різець підрізний	MCLNL2525R09 CNMG1204MW	KC 9125
	3	Свердло центрувальне Ø3,5	ДСТУ 14952 2317-0006	P6M5
	4	Різець контурний	TCLNR2525M09 CNGA120404WT	TC430
	5	Різець канавочний	A20QNNTOL2 NGM300RK	KC 9125
	6	Різець підрізний	MCLNL2525R09 CNMG1204MW	KC 9125
	7	Свердло центрувальне Ø3,5	ДСТУ 14952 2317-0006	P6M5
	8	Різець контурний	TCLNR2525M09 CNGA120404WT	TC430
	9	Різець канавочний	A20QNNTOL2 NGM300RK	KC 9125
015	2	Фреза шпонкова Ø12	-	T15K6
	3	Фреза Ø4	СТП509-2.638-71 2223-0001	T15K6
	4	Свердло Ø4	ДСТУ 10902:2008 2300-6551	P6M5
	5	Зенківка Ø10	СТП509-2.416-74 2353-0001-01	P6M5
025	2	Свердло Ø10	ДСТУ 10902:2008 2300-2455	P6M5
030	2, 4	Ролик накатний	СТП509-2.412-74 1417-2185	P6M5
055	2, 5	Різець контурний	TCLNR2525M09 CNGA120404WS	AB2010
	3, 6	Плашка M20	СТП509-2.404-74 2650-2127	P6M5

Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

З урахуванням точності вимірювання, розміру та якості вимірювальної поверхні обираємо засоби технічного контролю технічних операцій. Вибрані засоби технічного контролю деталі вал наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для валу

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Переходу			
1	2	3	4	5
015	2	12 _{-0,018}	Калібр пазовий	СТП509-8.215-71 8154-0224
030	2, 4	M20-6g	Кільце різьбове ПР Кільце різьбове НЕ	СТП509-8.422-85 8211-0080 СТП509-8.422-85 8211-1080
055	2, 5	Ø40 _{1-0,062}	Калібр-скоба	СТП509-8.551-75 8113-0133
	5	Ø40 _{-0,016}	Калібр-скоба	СТП509-8.551-75 8113-0132
055	3, 6	M20-6g	Кільце різьбове ПР Кільце різьбове НЕ	СТП509-8.422-85 8211-0080 СТП509-8.422-85 8211-1080

Визначення режимів різання

Режими різання визначаємо розрахунковим методом для 025 операції механічної обробки валу, яка здійснюється на вертикально-свердлильному верстаті мод. 2Н125.

На вказаній операції виконується розсвердлювання двох фасок в отворах.

Зміст операції:

030 Вертикально-свердлильна

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Розсвердлити дві фаски витримуючи розміри 1, 2, 3.
3. Відкріпити та зняти деталь.

Розрахунок виконуємо для переходу 2 – розсвердлювання двох фасок 1x45°.

- Глибина різання:

$$t = 1 \text{ мм}$$

- Подача:

Приймаємо по паспорту верстата $S = 0,04$ мм/об

- Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v$$

$$T = 20 \text{ хв. [6]}$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv},$$

де: K_{lv} - коефіцієнт, який враховує довжину фаски. $K_{lv} = 1$ [6]

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$V = \frac{36,3 \cdot 0,01^{0,25}}{20^{0,125} \cdot 0,04^{0,55}} \cdot 1 = 46,3 \text{ м/хв.}$$

- Крутний момент:

$$M_{kp} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,09 \cdot 5^2 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,1^{0,8} \cdot 1 = 3,6 \text{ Н·м}$$

- Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

$$P_o = 10 \cdot 9,8 \cdot 1^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1 = 20 \text{ Н}$$

- Частота:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 46,3}{3,14 \cdot 10} = 1475 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата $n_o = 1500$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 1500}{1000} = 47,1 \text{ м/хв.}$$

- Потужність різання:

$$N_p = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} = \frac{3,6 \cdot 1500}{9750} = 0,55 \text{ кВт}$$

- Основний час:

$$l_{p.x.} = 1 + 1 = 2 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{2}{1500 \cdot 0,1} \cdot 2 = 0,03 \text{ хв.}$$

Результати вибору та розрахунку режимів різання на інші операції представлено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Режими різання

Номер		t, мм	S, мм/об S, мм/зуб	V, м/хв	n, об/хв	t _о , хв
операції	переходу					
1	2	3	4	5	6	7
010	2	1	0,2	212	1500	5,19
	3	1,75	0,1	38	1500	
	4	1,5	0,3	318	2500	
	5	0,92	0,1	86	1500	
	6	1	0,2	212	1500	
	7	1,75	0,1	38	1500	
	8	1,5	0,3	318	2500	
	9	0,92	0,1	86	1500	
015	2	5	0,05	75,4	2000	0,93
	3	0,5	0,05	9	1500	
	4	2	0,04	13	1000	
	5	1	0,1	19	1000	
025	2	1	0,1	47,1	1500	0,03
030	2, 4	1,25	0,03	39	125	0,42
055	2, 5	0,2	0,05	315	2500	1,97
		0,05	0,03	377	3000	
	3, 6	-	1,25	5	75	

Технічне нормування операцій

При серійному типі виробництва час, який витрачається на виконання операцій механічної обробки, визначається розрахунковим методом.

Розрахунок виконуємо для 025 операції, яка виконується на вертикально-свердлильному верстаті мод. 2Н125.

Оброблюваний матеріал - Сталь 38ХМЮА;

- затискний пристрій спеціальний;
- інструмент – свердло Ø10 мм.

Основний час обробки: $t_0 = 0,03$ год.

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$t_{\text{шт.к}} = t_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n};$$

де: $t_{\text{шт}}$ - штучний час;

$T_{\text{пз}}$ - підготовчо-заключний час;

n - кількість деталей в партії; $n = 250 \text{ шт.}$

$$t_{\text{шт}} = t_0 + t_{\text{в}} + t_{\text{техн.обсл}} + t_{\text{орг.обсл}} + t_{\text{пер}},$$

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в1}} + t_{\text{в2}} + t_{\text{в3}} + t_{\text{в4}} + t_{\text{в5}},$$

де: $t_{\text{в1}}$ - час на зняття та встановлення деталі:

$$t_{\text{в1}} = 0,3 \text{ хв.}$$

$t_{\text{в2}}$ - час на підведення та відведення різального інструмента;

$$t_{\text{в2}} = 0,13 \text{ хв.}$$

$t_{\text{в3}}$ - час на управління верстатом;

$$t_{\text{в3}} = 0,1 \text{ хв.}$$

$t_{\text{в4}}$ - час на виконання контрольних вимірів;

$$t_{\text{в4}} = 0,05 \text{ хв.}$$

$t_{\text{в5}}$ - час на підведення та зміну різального інструменту;

$$t_{\text{в5}} = 0,04 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$t_{\text{в}} = 0,3 + 0,13 + 0,1 + 0,05 + 0,04 = 0,62 \text{ хв.}$$

$t_{\text{техн.обсл}}$ - норма часу на технічне обслуговування:

$$t_{\text{техн.обсл}} = \alpha \cdot t_{\text{шт}} = 0,04 \cdot 0,62 = 0,025 \text{ хв.}$$

$t_{\text{орг.обсл}}$ - час на організаційне обслуговування:

$$t_{\text{орг.обсл}} = \beta \% \cdot t_{\text{шт}} = 0,06 \cdot 0,62 = 0,037 \text{ хв.}$$

$t_{\text{пер}}$ - час на перерву та особисті потреби:

$$t_{\text{пер}} = 8 \% \cdot t_{\text{шт}} = 0,05 \cdot 0,62 = 0,031 \text{ хв.}$$

Норма підготовчо-заключного часу:

$$t_{i\zeta} = 8\delta\hat{a};$$

Штучний час:

$$t_{\partial\delta} = 3,2 + 1,15 + 0,15 + 0,23 + 0,15 = 0,79\delta\hat{a};$$

Штучно калькуляційний час:

$$t_{\partial\delta .\hat{e}} = 0,79 + \frac{8}{250} = 0,82\delta\hat{a}.$$

На інші операції механічної обробки деталі складові часу визначаємо згідно нормативів і заносимо до табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Норми часу

Номер операції	t_o , хв.	t_{∂} , хв.	$t_{обсл}$, хв.		$t_{пер}$, хв.	$t_{ум}$, хв.	$T_{нз}$, хв.	$t_{ум-к}$, хв.
			$t_{м.о.}$	$t_{о.о.}$				
010	5,19	1,6	0,02	0,01	0,011	6,831	12	6,835
015	0,93	0,671	0,02	0,04	0,009	1,67	10	1,71
025	0,03	0,62	0,021	0,05	0,1	0,79	8	0,82
030	0,42	0,32	0,1	0,04	0,07	0,95	10	0,99
055	1,97	0,86	0,01	0,03	0,06	2,93	14	2,99

3.3. Висновки

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі вал забезпечує необхідні параметри точності та якості поверхонь, забезпечує застосування прогресивних методів металообробки таких, як швидкісне точіння. Розроблений технологічний процес складається з меншої кількості операцій механічної обробки, а отже, і застосовуваних металорізальних верстатів налічує меншу кількість. Прогресивні різальні інструменти та підібрані параметри обробки забезпечують менший час на виготовлення деталі.

Вибрано металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти, які забезпечують логічну послідовність обробки та виготовлення деталі вал. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1. Розробка та розрахунок пристрою затискного

Пристрій затискний призначений для закріплення деталі вал на операції 015, яка виконується на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПУ мод. XD-30. На даній операції виконується фрезерування шпонкового пазу, фрезерування двох площадок, свердління двох отворів та zenкування фасок у отворах.

Пристрій затискний (рис. 4.1) складається з плити 1, на якій за допомогою штифтів 42, 43 та гвинтів 19, 20 встановлено та закріплено призми 2, 3. Також на плиті 1 встановлено пневмоциліндр і закріплено за допомогою болтів 17.

Шпилька 4 закріплюється на плиті 1, за допомогою різьбового з'єднання та гайки 25. На іншому кінці шпильки 4 встановлено прижим 5 за допомогою сферичних шайб 39, 40 та гайки 25. Прижим 4 підпружинений за допомогою пружини 32. Один кінець прижиму 5 притискає деталь, а на іншому кінці виконано конічний отвір, який спряжується із конічною поверхнею гвинта 15 закріпленого у штоці 12. На плиті 1 закріплено упор 16 за допомогою болтів 18.

Пристрій працює наступним чином: при подачі стиснутого повітря в штокову порожнину шток 12 разом з гвинтом 15 переміщуються вниз при цьому сферична поверхня гвинта виходить з конічного отвору прижиму 5, який завдяки пружині 32 знаходиться постійно в верхньому положенні; прижим 5 повертається вручну на 90^0 навколо вісі шпильки 4. Деталь встановлюється своїми зовнішніми циліндричними поверхнями на поверхні призм 2, 3 і в осьовому положенні орієнтується за допомогою гвинта 21, який зафіксований в упорі 16 за допомогою гайки 23.

Після чого прижим 5 повертається в початкове положення, стиснуте повітря подається в безштокову порожнину, шток 12 разом з гайкою 15 переміщується вгору, тиснучи на прижим 5. Прижим притискає деталь до призм завдяки сферичним шайбам 39, 40 та гайці 25.

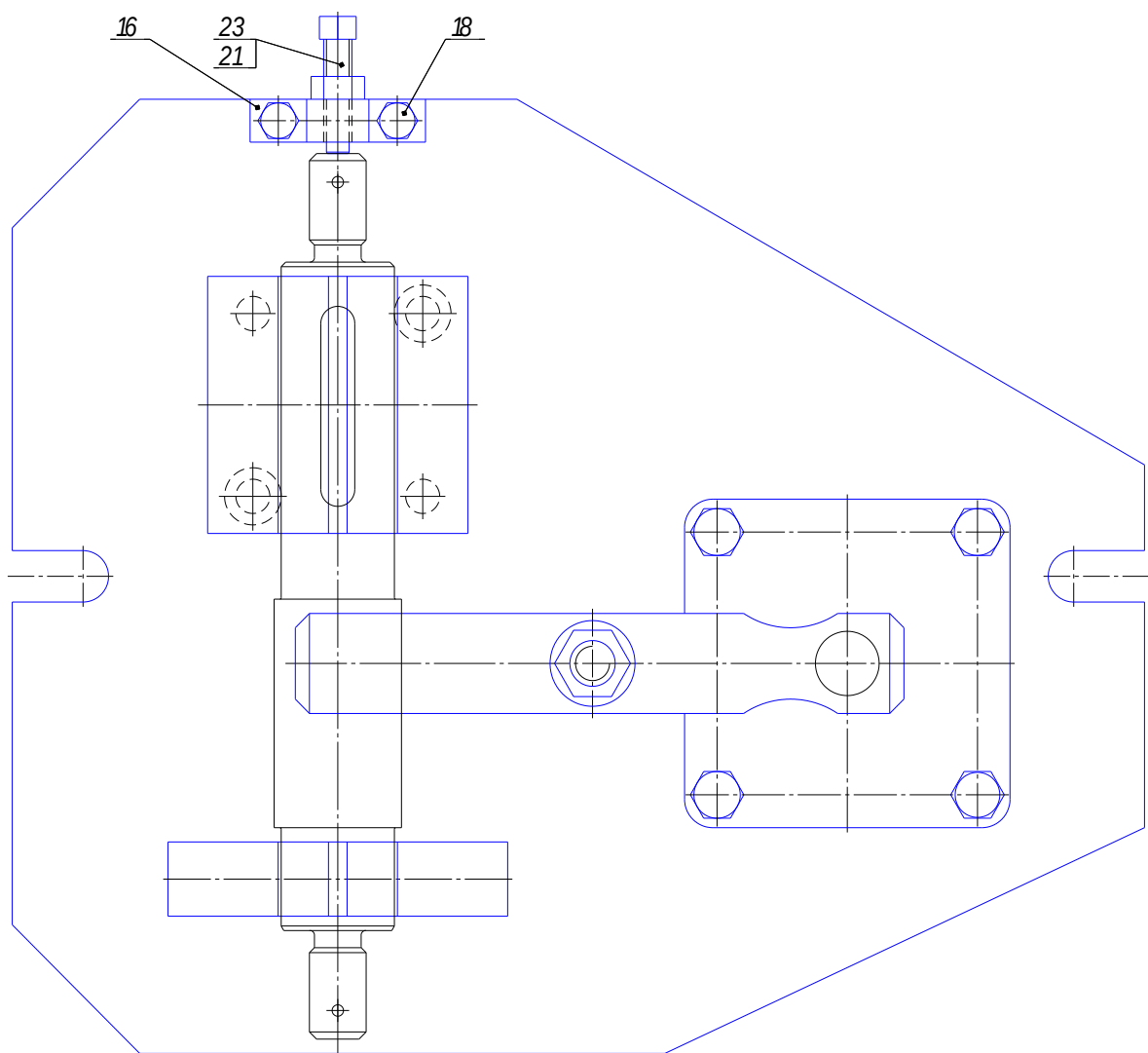
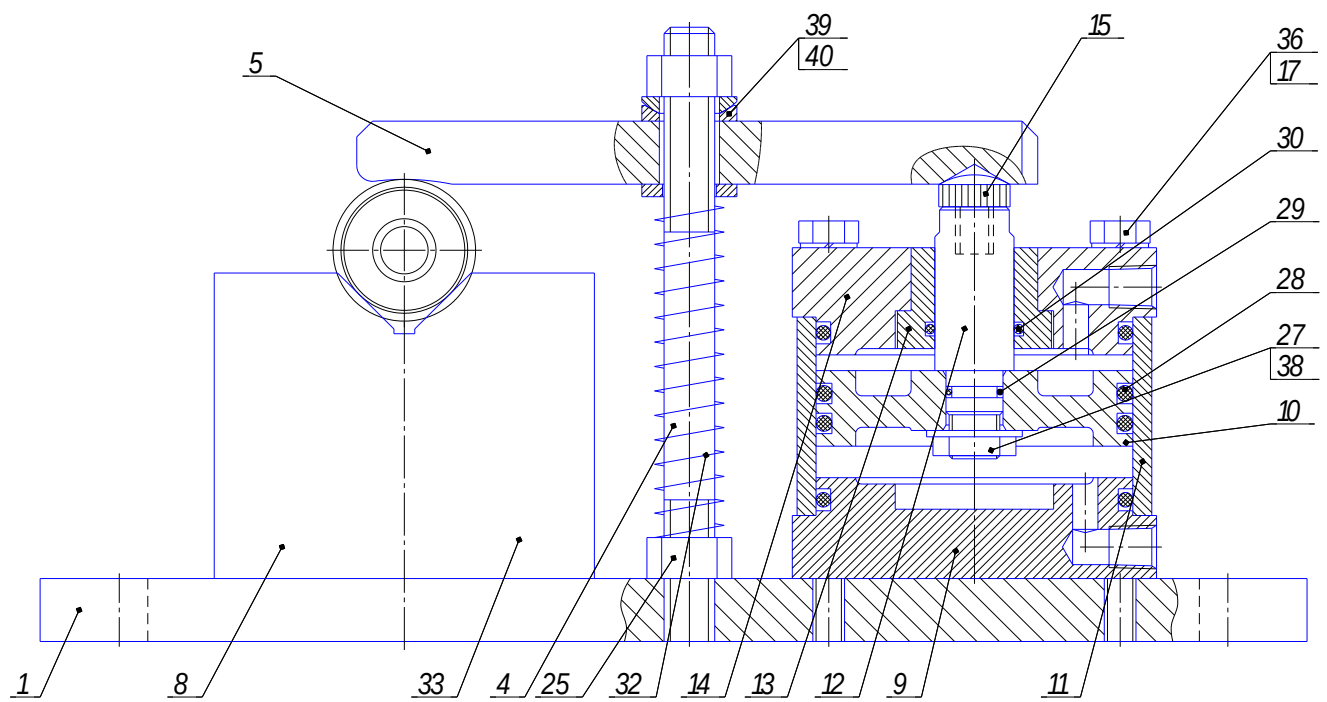


Рис. 4.1. Конструкція затискного пристрою

Пневмоциліндр складається із гільзи 11, кришок 9 та 14, поршня 10 закріпленого на штоці 12 за допомогою гайки 27. Втулка 13 відіграє роль направляючої штоку 12 і встановлюється в розточках кришки задньої 14. У кришках передбачені отвори для подачі та відведення стиснутого повітря. Гумові кільця 28, 29, 30 призначені для забезпечення герметичності, між поверхнями: гільзи 11, поршня 10, кришки 9; поршня 10 та штоку 12; втулки 13 та штоку 12 відповідно.

Схему базування деталі, тобто схему її орієнтації за допомогою опорних точок в координатній системі верстата, розробляємо в залежності від кількості і характеру вимог до операції з урахуванням принципу суміщення вимірювальних та технологічних баз. Схема базування деталі показана на рис. 4.2.

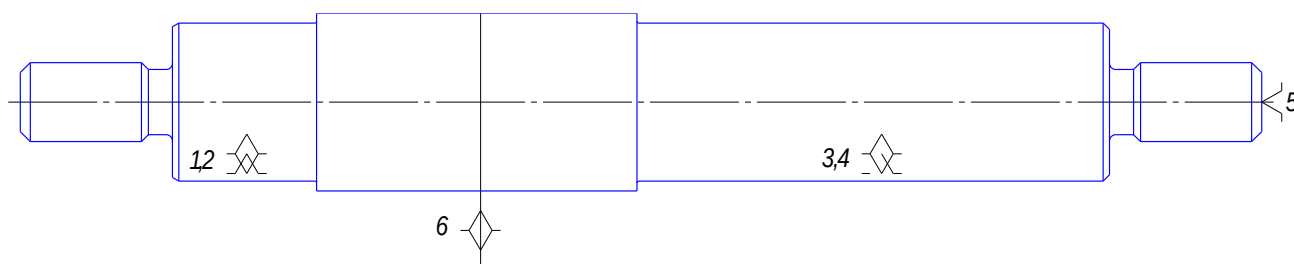


Рис. 4.2. Схема базування деталі

Матеріалізація схеми базування за допомогою установчих елементів представлена на рис. 4.3.

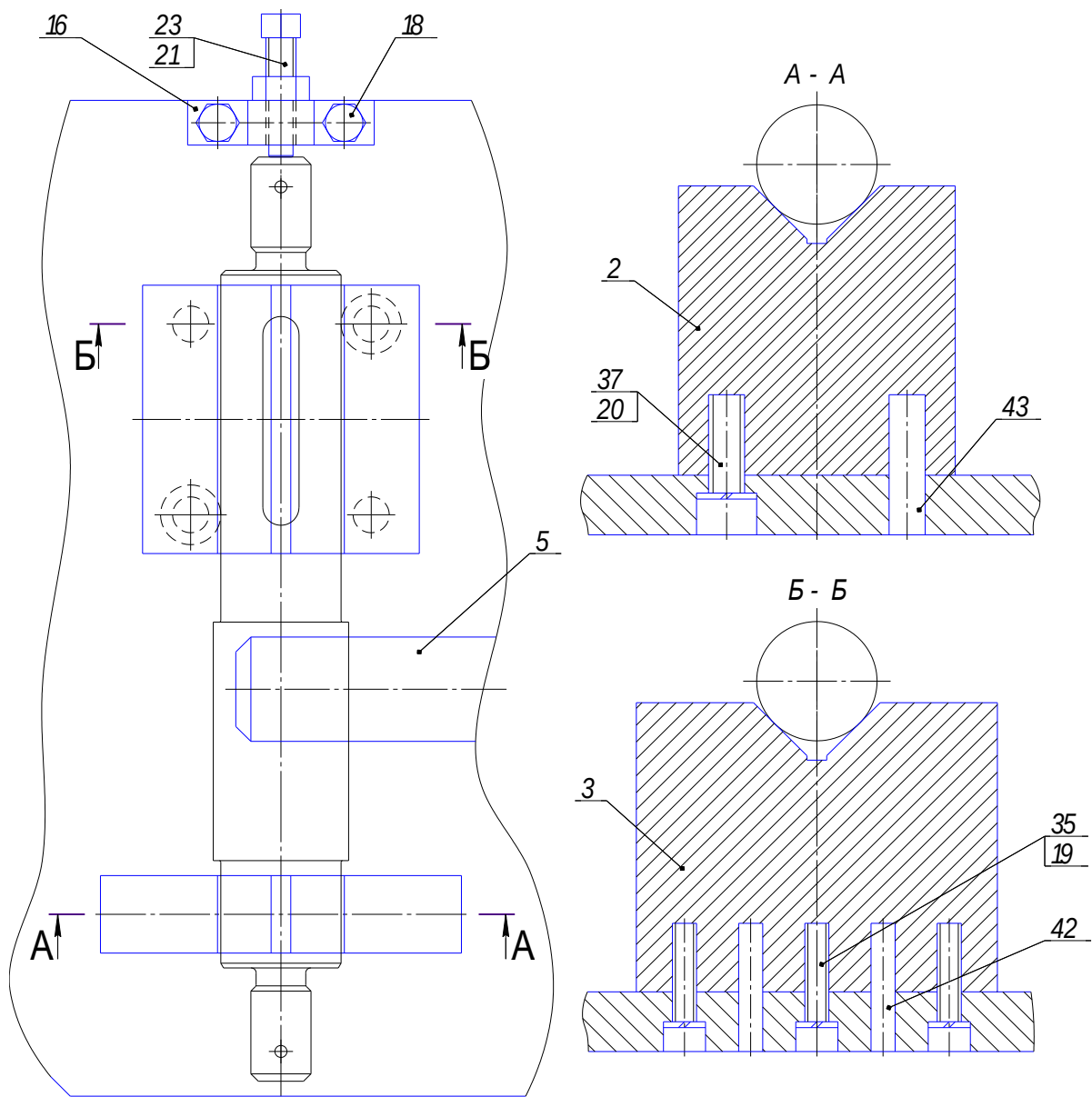


Рис. 4.3. Матеріалізація схеми базування:

2 - призма; 3 - призма; 5 - прижим; 16 - упор; 21 - гвинт

Розрахунок сили затиску деталі

При конструюванні затискного пристрою необхідно знайти силу затиску, яка визначається із умови рівноваги заготовки під дією сил різання, сил тяжіння, інерції, тертя, реакції в опорах та сили затиску.

На 015 вертикально-фрезерній операції з ЧПУ виконується фрезерування шпонкового пазу шпонковою фрезою діаметром 12 мм, фрезерування двох площадок під свердління двох отворів фрезою діаметром 4 мм, свердління двох отворів діаметром 4 мм та зенкування двох фасок в отворах. Виходячи із

зазначеного, зрозуміло, що найбільші сили різання виникають при фрезеруванні шпонкового пазу (найбільший діаметр фрези, глибина різання 5 мм). Тому розрахунок сил різання і моментів виконуємо для переходу фрезерування шпонкового пазу.

Схема затиску деталі, із вказанням точки прикладання сили затиску та її напрямком, та вказанням моментів різання, сил тертя, реакцій в опорах показана на рис. 4.4.

Визначену силу затиску необхідно збільшити на коефіцієнт запасу сили.

Виконуємо розрахунок сил різання та крутного моменту.

- Глибина різання: $t = 5$ мм (глибина шпонкового пазу 5 мм)
- Подача при фрезеруванні шпонкового пазу $s_z = 0,05$ мм/зуб [6]
- Матеріал різальної частини інструменту – твердий сплав Т15К6.
- Швидкість різання:

При фрезеруванні швидкість різання визначаємо за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v$$

Значення коефіцієнту C_v , величину стійкості T^m та показники степені вибираємо з табл. 39, 40 [6].

$$C_v = 46,7; q = 0,55; x = 0,5; y = 0,5; u = 0,1; p = 0,1; m = 0,33; T = 80 \text{ хв.}$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, розраховується за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}$$

де: K_{mv} – коефіцієнт, який враховує оброблюваний матеріал:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = 1,0 \left(\frac{750}{610} \right)^{1,0} = 1,2$$

K_r – коефіцієнт, який враховує групу сталі заготовки по оброблюваності – 1,0;

K_{pv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки – 1,0;

K_{iv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту – 1,0;

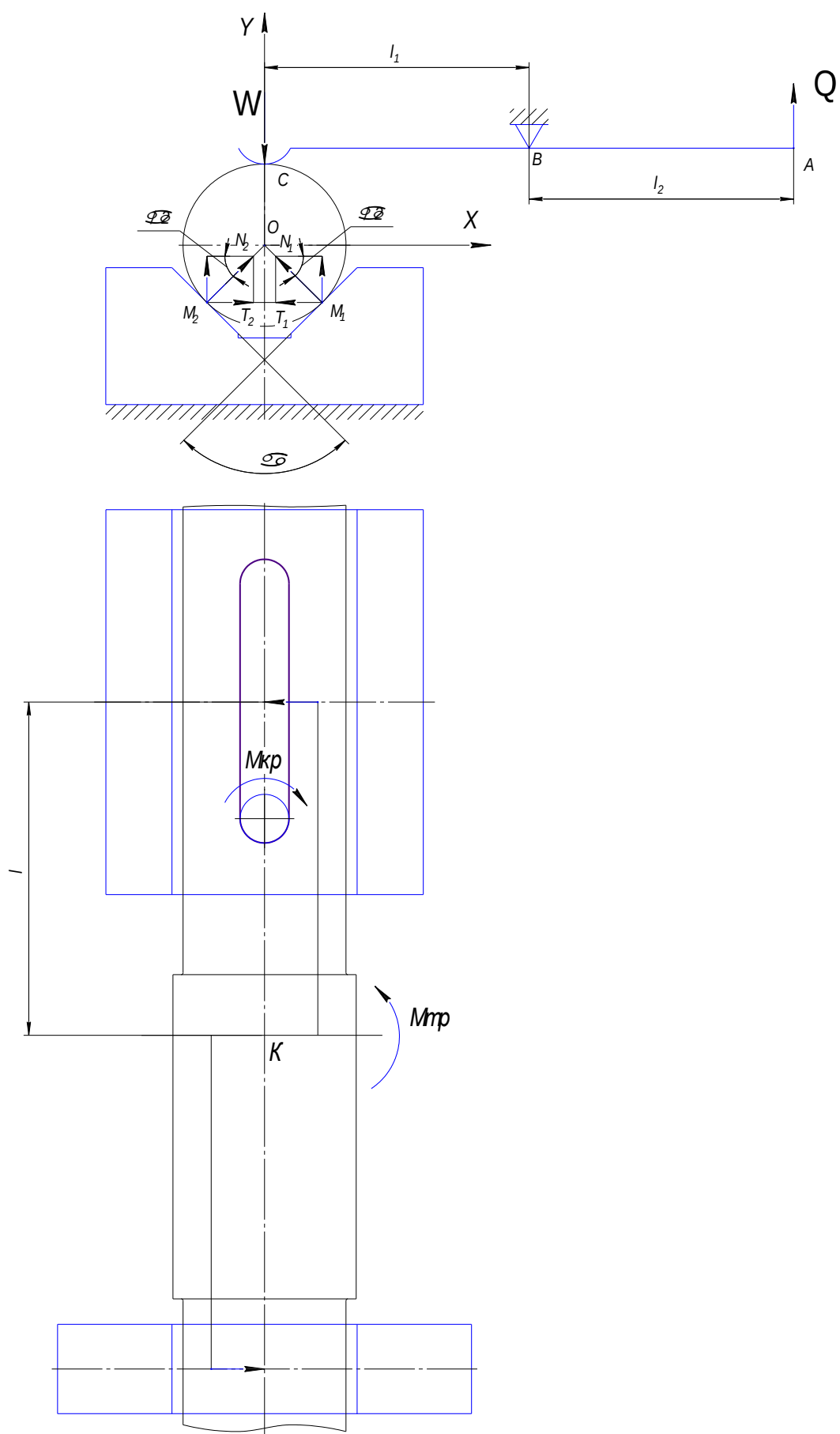


Рис. 4.4. Схема для розрахунку сили затиску

$$K_v = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,2.$$

Тоді:

$$v = \frac{46,7 \cdot 12^{0,55}}{80^{0,33} \cdot 5^{0,5} \cdot 0,05^{0,5} \cdot 12^{0,1} \cdot 2^{0,1}} \cdot 1,2 = 75,3 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

Тоді:

$$n = \frac{1000 \cdot 75,3}{3,14 \cdot 12} = 1998 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо:

$$n_{np.} = 2000 \text{ об/хв.}$$

- Дійсна швидкість різання:

$$v_{\dot{a}} = \frac{\pi D n_{\dot{a}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 2000}{1000} = 75,4 \text{ м/хв.}$$

- Силу різання визначаємо за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}$$

Значення коефіцієнту C_p та показники степені вибираємо з [6].

$$C_p = 12,5; x = 0,85; y = 0,75; u = 1,0; q = 0,73; w = -0,13.$$

Поправковий коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_e}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,3} = 0,94$$

Тоді:

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 5^{0,85} \cdot 0,05^{0,75} \cdot 12^1 \cdot 2}{12^{0,73} \cdot 2000^{-0,13}} \cdot 0,94 = 514 \text{ Н.}$$

Сила P_x притискає заготовку до поверхонь призми, а сила P_y менша від сили P_z .

- Крутний момент та потужність різання:

Крутний момент:

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{514 \cdot 12}{2 \cdot 100} = 31 \text{ Н·м}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{514 \cdot 75,3}{1020 \cdot 60} = 0,63 \text{ кВт};$$

Перевірка по потужності:

$$N_p \leq 1,2 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta$$

$$0,63 \leq 1,2 \cdot 5,5 \cdot 0,8$$

$$0,63 \leq 5,3$$

Умова виконується.

Визначаємо коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$\eta_N = \frac{N_p}{N_{\text{дв}} \cdot \eta}$$

$$\eta_N = \frac{0,63}{5,5 \cdot 0,8} = 0,14.$$

Запишемо рівняння рівноваги деталі:

$$M_{кр} = M_{тр}$$

де, $M_{кр}$ - крутний момент при фрезеруванні пазу;

$M_{тр}$ - момент сил тертя, який виникає між установчими поверхнями пристосування та деталі.

Силу тертя визначаємо за формулою:

$$F_{тр} = Nf$$

Нормальну реакцію визначаємо за формулою:

$$N = 0,5 W \sin(\alpha / 2)$$

Тоді момент тертя:

$$M_{тр} = F_{тр} l = 0,5 W \sin(\alpha / 2) l$$

Умова рівноваги:

$$M_{тр} \geq M_{кр}$$

$$0,5 W \sin(\alpha / 2) l = M_{кр}$$

Звідки:

$$W = \frac{M_{mp}}{0,5 \sin(\alpha / 2) l}$$

Залежність між силою затиску та силою на штоці має наступний вигляд:

$$W = Q \frac{l_1}{l_2} \eta$$

де $\eta = 0,95$ – ККД, який враховує втрати на тертя в опорі важеля.

При $l_1 = l_2$, $W = Q\eta$

Виражаючи із зазначеної формули потрібну на штоці силу Q та підставляючи вираз для сили затиску W , маємо:

$$Q = \frac{W}{\eta} = \frac{M_{kp}}{0,5 \sin(\alpha / 2) l \eta}$$

Враховуючи коефіцієнт запасу $K=2,5$, маємо:

$$Q = \frac{2,5 M_{kp}}{0,5 \sin(\alpha / 2) l \eta} = \frac{2,5 \cdot 31}{0,5 \cdot \sin(90^\circ / 2) 0,0905 \cdot 0,95} = 2549 \text{ Н}$$

Розробка або вибір затискного пристрою та його приводу

В якості силового приводу маємо пневматичний поршневий привід двохсторонньої дії. Поршневі пневматичні двигуни мають більшу швидкодію у порівнянні із гідродвигунами і мають більш просту конструкцію.

Визначаємо діаметр циліндра силового приводу. Для приводу двохсторонньої дії, коли затискання заготовки відбувається при видвіганні штоку, діаметр циліндра визначаємо по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_g \cdot \eta}};$$

де: P_g - тиск стиснутого повітря: $P_g = 2 \dots 5 \text{ кгс} / \text{см}^2$;

η - ККД приводу; $\eta = 0,8$:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2549}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,8}} = 100 \text{ мм.}$$

Визначаємо внутрішній діаметр трубопроводу для подачі стиснутого повітря в циліндр по формулі:

$$d_T = \frac{0,009 \cdot D \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot SQ_1}}{t};$$

де:

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f)$$

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f) = \frac{2549}{3,14 \cdot 50^2 \cdot 0,9 \cdot 0,15} = 2,4;$$

t – час спрацьовування приводу - $t \leq 0,5$ с;

F – площа поршня, см²; f – коефіцієнт тертя між поршнем і циліндром, який дорівнює 0,9; SQ₁- пневмоциліндру.

Тоді:

$$d_T = \frac{0,009 \cdot 100 \cdot \sqrt{2,4 \cdot 7}}{0,5} = 7,3_{мм};$$

Приймаємо $d_T = 7$ мм.

Розрахунок пристрою на міцність

Виконаємо перевірочний розрахунок на міцність різьбової ділянки гайки поз. 25 (рис. 4.1) M16×2,5, яка навантажена поздовжньою (вздовж осі різьби) силою від дії пневмоприводу.

Матеріал гайки – сталь 40 ДСТУ 1050-88.

Основний вид руйнування різьби – зріз витків. Необхідно перевірити умову:

$$\tau \leq [\tau]$$

Допустиме напруження зрізу:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T = 0,2 \cdot 490 = 98 \text{ МПа}$$

Напруження зрізу розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m}$$

де: W – сила затиску, Н;

d – внутрішній діаметр різьби, мм;

H – довжина різьби гайки, мм;

K – коефіцієнт, який враховує тип різьби;

K_m – коефіцієнт.

Тоді:

$$\tau = \frac{2541}{3,14 \cdot 16 \cdot 14 \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 7 \text{ МПа.}$$

Умову міцності дотримано.

4.2. Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту

Опис конструкції різального інструменту

Спроектуємо шпонкову фрезу, яка використовується для фрезерування шпонкового пазу деталі вал на 015 вертикально-фрезерній операції з ЧПУ. Операція виконується на вертикально-фрезерному верстаті моделі XD-30.

Фрезерування є одним з поширеніших способів обробки. Характерною рисою процесу фрезерування є швидке обертання інструменту навколо його осі і повільний рух подачі.

Фреза є початковим тілом обертання, яке в процесі обробки торкається поверхні деталі, і на поверхні якого утворені різальні зубці. Форма початкового тіла обертання залежить від форми обробленої поверхні і розташування осі фрези відносно деталі.

Шпонкові фрези застосовуються для фрезерування закритих шпонкових пазів.

Вибір матеріалу фрези

Виходячи з твердості оброблюваного матеріалу – 30...35HRC та методу фрезерування пазу (врізання на всю глибину шпонкового пазу і обробка на всю довжину), приймаємо рішення про застосування цільної твердосплавної фрези з твердого сплаву T15K6. Фреза при цьому повинна мати вкорочену різальну частину для підвищення її жорсткості, спеціальну геометрію тому не може відповідати діючим стандартам.

Розрахунок фрези

Зовнішній діаметр фрези відповідає ширині пазу. На різальних кромках і поверхнях фрези, не повинно бути сколів, тріщин, заусенців. Шорсткість передньої і задньої поверхонь $Rz1,6$, циліндричної поверхні хвостовика $Ra0,63$, поверхні спинки торцевого зуба і фаски $Rz3,2$, інших поверхонь $Rz20$.

Допускається зменшення діаметра фрези по напрямку до хвостовика (зворотна конусність) не більше $0,03$ мм на довжині різальної частини. На робочій частині фрези пряма конусність не допускається.

Радіальне биття різальної кромки зубців відносно вісі не більше $0,02$ мм. Торцеве биття різальної кромки відносно вісі фрези не більше $0,03$ мм.

Кути різальної частини, вибираємо в залежності від типу фрези, властивостей оброблюваного матеріалу і технологічних умов обробки:

- передній кут $\gamma = +20^\circ$;
- задній кут на вершині зубця $\alpha_{ao} = 15^\circ$;
- головний кут в плані $\varphi = 90^\circ$;
- допоміжний кут в плані $\varphi_0 = 45^\circ$, $\varphi_1 = 1...2^\circ$;
- $f_0 = 1$ мм.

На рис. 4.5 зображено конструкцію фрези.

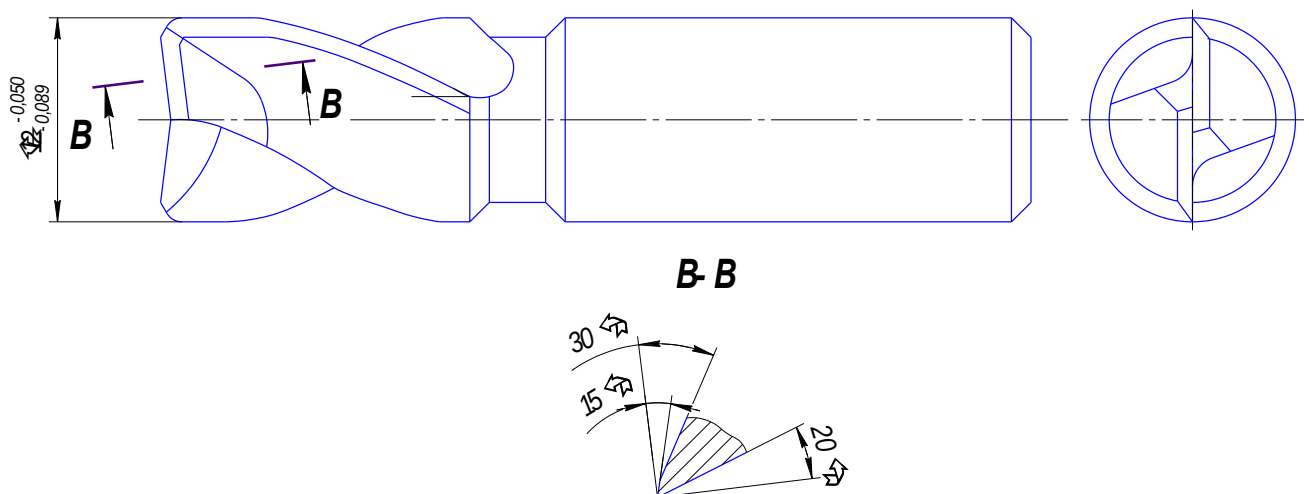


Рис. 4.5. Конструкція шпонкової фрези

4.3. Висновки

Розроблена конструкція пристрою затискного дає можливість швидкого та надійного закріплення валу під час його виготовлення, що має вплив на точність та якість виготовлення деталі.

Розроблена конструкція шпонкової фрези дає можливість виготовлення шпонкового пазу із необхідною точністю та якістю.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Потребу в обладнанні на операціях технологічного процесу механічної обробки деталі «вал» визначимо згідно [2, с. 4] за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_3 \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_8},$$

де N_3 – річна програма запуску деталі (за попередніми розрахунками $N_3=3000$ шт.);

$t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{дрм}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин:

$$F_{дрм} = F_n \cdot S \cdot (1 - 0,01 \cdot f),$$

де F_n - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, год. (визначається за календарем з урахуванням кількості святкових та вихідних днів у поточному році, а також 8-годинній тривалості зміни);

S - режим (кількість змін) роботи цеху;

f - регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина f може складати 8-10% [2, с. 4].

$$F_{дрм} = (365 - 104 - 11) \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 3680 \text{ год.}$$

k_8 - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно з [2, с. 4]).

На операції 010 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{3000 \cdot 6,831}{3758 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,092$$

Розрахунки виконані аналогічно за іншими операціями технологічного процесу зведено до табл. 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}}$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць.

На операції 010 техпроцесу:

$$\eta_{z(1)} = \frac{0,092}{1} = 0,092.$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведено до табл. 5.1.

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,177}{5} = 0,035$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
010	Токарна з ЧПУ	6,831	0,092	1	0,092	0,035
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	1,67	0,022	1	0,022	
035	Вертикально-свердлильна	0,79	0,011	1	0,011	
040	Різьбонакатна	0,95	0,013	1	0,013	
055	Токарна з ЧПУ	2,93	0,039	1	0,039	
	Всього	13,171	0,177	5	0,177	

Середній коефіцієнт завантаження обладнання 0,035 відповідає дрібносерійному типу виробництва (ДС).

5.2. Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать: розмір партії деталей; кількість запусків партії деталей; періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей; тривалість операційних та технологічного циклів обробки деталі; розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням виробничих умов.

Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося другим методом [2, с. 5], який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заключний час не перевищує 30 хв.). Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5F_{зм.д}}{t_{ум}^{min}},$$

де $F_{зм.д}$ - дійсний фонд часу зміни (440 хв.);

$t_{ум}^{min}$ - штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,79} = 278 \text{ шт.}$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової *кількості партій* протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{3000}{278} = 11,$$

визначимо фактичну кількість партій (A_ϕ) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду:

$$1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250,$$

після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_ϕ , розмір партії деталей:

$$n_{np} = \frac{N_3}{A_\phi} = \frac{3000}{12} = 250 \text{ шт.}$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_3 = \frac{T_p}{A_\phi} = \frac{250}{12} = 20,8 \text{ роб. днів,}$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}},$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ - калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_\phi \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-3(i)}}{n_{np}},$$

де k_ϕ - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{m(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для операції 005:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{6,831}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{12}{250} = 6,811 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{250 \cdot 6,811}{2 \cdot 440} = 1,94 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	$t_{п-з}$, хв.	$t_{к-д}$, хв.	T_o , днів	$t_{мо}$, днів
010	Токарна з ЧПУ	6,831	12	6,811	1,94	0,2
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	1,67	10	1,693	0,48	0,2
035	Вертикально-свердлильна	0,79	8	0,814	0,23	0,2
040	Різьбонакатна	0,95	10	0,981	0,28	0,2
055	Токарна з ЧПУ	2,93	14	2,957	0,84	0,2
	Всього	13,171	-	13,257	3,77	1,0

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні.

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{мо} = 3,77 + 1,0 = 4,77 \text{ днів},$$

де $t_{мо}$ - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{мо} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,25 \cdot 3,77}{5} = 0,2 \text{ дні},$$

Графік послідовного руху партії деталей представлено на рис. 5.1.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_y = \frac{n_{np} \cdot T_n}{R_3} = \frac{250 \cdot 4,77}{20,8} = 58 \text{ шт.}$$

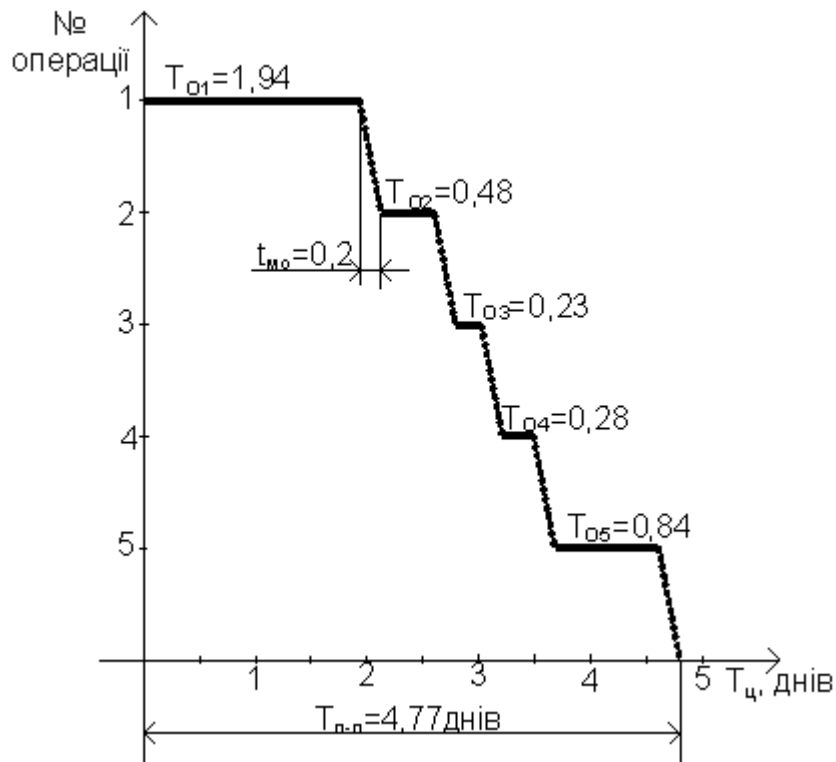


Рис. 5.1. Графік послідовного руху партії деталей «вал» $n_{np}=250$ шт.

5.3. Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у серійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{\partial p}},$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{\partial ов} \cdot (1 + 0,01 \cdot d),$$

де $K_{\partial ов}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного (η_{zn}) для даного типу виробництва [2, дод. Д1]:

$$K_{\partial ов} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,95}{0,035} = 27,14$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15\ldots 20\%$;

F_{dp} - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{dp} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.},$$

$$T_p = 3000 \cdot \frac{13,171}{60} \cdot 27,14 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 21448 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{21448}{1840} = 12 \text{ осіб.}$$

5.4. Аналіз варіантів технологічного процесу

Для того, щоб довести доцільність впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу, необхідно зробити його економічний аналіз. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{mex} = V \cdot N_z + P,$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

Порівнюючи варіанти технологічного процесу, проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого. Так само, порівнювати доцільно лише операції, які відрізняються (табл. 5.3, 5.4).

Таблиця 5.3

Характеристика змін при обробці деталі «вал»

№ оп.	Базовий варіант		Розряд	№ оп.	Проектний варіант		Розряд
	Найменування операції (обладнання)	$t_{\text{ит}}$, хв.			Найменування операції	$t_{\text{ит}}$, хв.	
010	Токарна з ЧПУ (16K20Ф3)	4,34	3	010	Токарна з ЧПУ (QUICK TURN NEXUS 100-II MY)	6,831	3
015	Токарна з ЧПУ (16K20Ф3)	9,10	3				
020	Шпонково-фрезерна (692P)	1,50	3	015	Вертикально-фрезерна (XD-30)	1,67	3
025	Верт.-свердлильна (2H125)	1,22	3				
060	Токарна з ЧПУ (SL-30THE)	3,10	3	055	Токарна з ЧПУ (QUICK TURN NEXUS 100-II MY)	2,93	3
065	Токарна з ЧПУ (16K20Ф3)	0,9	3				
	Всього	20,16			Всього	11,431	

5.4.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{\text{одв}} + E_c + B_p + B_{\text{мд}} + B_{\text{ін.ун}} + B_{\text{пр.ун}} + B_{\text{ам.у}} + B_{\text{ен}},$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не змінюються у порівнюваних варіантах), грн.;

$Z_{\text{одв}}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{\text{мд}}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{\text{ін.ун}}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн. (однакові у порівнюваних варіантах);

$B_{\text{ам.у}}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

B_{en} – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{um(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c),$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{um(i)}$ - штучний час i -тої операції, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

$$Z_{одв.баз} = \frac{70,18 \cdot 20,16}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 31,6450 \text{ грн.};$$

$$Z_{одв.баз} = \frac{70,18 \cdot 11,431}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 17,9432 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [2, дод. Д2 та 2, с. 91] складемо таблицю щодо характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного технологічних процесів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Оптова ціна, тис. грн.
1	2	3	4	5	6
Базовий варіант					
Токарний з ЧПУ 16K20Ф3	3,36×1,71	11,0	15/14	5,75	615,00
Шпонково-фрезерний 692Р	2,08×1,64	3,42	16/8	3,41	390,50
Вертикально-свердлильний 2Н125	1,1×0,8	2,2	7/5	0,88	55,0

1	2	3	4	5	6
Токарний з ЧПУ SL-30THE	3,53×1,85	22,4	35/23	6,53	1880,00
Проектний варіант					
Токарний з ЧПУ QUICK TURN NEXUS 100-II MY	2,14×1,63	17,8	29/20	3,49	1509,0
Вертикально-фрезерний з ЧПУ XD-30	2,57×1,92	18,0	30/22	4,93	1220,00

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\delta}}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60} \cdot C_{\text{ел}},$$

де N_{ϵ} – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o=0,65...0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,5...0,6 – для токарних і свердлильних, 0,6...0,7 – для фрезерних верстатів);

K_{δ} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_{\delta}=0,3...0,5$;

η_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\epsilon}=0,92...0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86...0,9$;

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

Наприклад, для операцій 010, 015, 065 базового техпроцесу:

$$E_{\text{с.баз}(010,015,065)} = \frac{11,0 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{14,34}{60} \cdot 7,5 = 5,6605 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Розрахунок витрат на електроенергію

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	N_{θ} , кВт	K_N	$t_{ум}$, хв.	$E_{с.баз}$, грн.	№ опер.	N_{θ} , кВт	K_N	$t_{ум}$, хв.	$E_{с.пр}$, грн.
010, 015, 065	11,0	0,6	14,34	5,6605	010, 055	17,8	0,6	9,761	6,2349
020	3,42	0,7	1,50	0,2148	015	18,0	0,7	1,67	1,2585
025	2,2	0,6	1,22	0,0963					
060	22,4	0,6	3,10	2,4919					
Всього	-	-	20,16	8,4635	Всього	-	-	11,431	7,4934

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{орм}} \cdot \frac{t_{ум}}{60},$$

де W_m , W_e – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності, відповідно механічної та електричної частини обладнання, грн.;

R_m , R_e – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО.

$$B_{р.баз(010,015,065)} = \frac{880 \cdot 15 + 720 \cdot 14}{3680} \cdot \frac{14,34}{60} = 1,5119 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Розрахунок витрат на ремонт

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	R_m , УРО	R_e , УРО	$t_{ум}$, хв.	B_p , грн.	№ опер.	R_m , УРО	R_e , УРО	$t_{ум}$, хв.	B_p , грн.
010, 015, 065	15	14	14,34	1,5119	010, 055	29	20	9,761	1,7648
020	16	18	1,50	0,1837	015	30	22	1,67	0,3195
025	7	5	1,22	0,0539					
060	35	23	3,10	0,6649					
Всього	-	-	20,16	2,4145	Всього	-	-	11,431	2,0842

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мд}} = \frac{M_{\text{св}} \cdot R_{\text{м}} \cdot t_{\text{ум}}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\text{с}},$$

де $M_{\text{св}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

$K_{\text{с}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для ДС $K_{\text{с}} = 0,85$).

$$B_{\text{мд.баз(010,015,065)}} = \frac{79,5 \cdot 15 \cdot 14,34}{100 \cdot 60} \cdot 0,85 = 2,4226 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Базовий варіант				Проектний варіант			
№ опер.	$R_{\text{м}},$ УРО	$t_{\text{ум}},$ хв.	$B_{\text{мд.баз}},$ грн.	№ опер.	$R_{\text{м}},$ УРО	$t_{\text{ум}},$ хв.	$B_{\text{мд.пр}},$ грн.
010, 015, 065	15	14,34	2,4226	010, 055	29	9,761	3,1881
020	16	1,50	0,2703	015	30	1,67	0,5643
025	7	1,22	0,0962				
060	35	3,10	1,2220				
Всього	-	20,16	4,0110	Всього	-	11,431	3,7523

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{\text{ам}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{ум}}}{F_{\text{орм}} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{\text{зн}}},$$

де $\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{\text{бал}} = C_{\text{онт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}),$$

де $C_{\text{онт}}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{\text{тр}}, K_{\text{м}}, K_{\text{ф}}$ – коефіцієнти, які враховують відповідно витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08).

Наприклад, балансова вартість верстата 16К20Ф3:

$$\Phi_{\text{бал(16К20Ф3)}} = 615000 \cdot (1 + 0,07 + 0,05 + 0,04) = 713400 \text{ грн.}$$

$H_{\text{а}}$ – норма амортизації на реновацію, %;

η_{zn} – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для цехів даного типу виробництва (для ДС $\eta_{zn} = 0,95$).

$$B_{ам.баз(010,015,065)} = \frac{713400 \cdot 15 \cdot 14,34}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,95} = 7,3156 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$C_{опт}$, тис.грн.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$B_{ам.баз}$, грн.	№ опер.	$C_{опт}$, тис.грн.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$B_{ам.пр}$, грн.
010, 015, 065	615,0	713,4	14,34	7,3156	010, 055	1509,0	1750,44	9,761	12,2183
020	390,50	452,98	1,50	0,4859	015	1220,0	1415,2	1,67	1,6901
025	55,0	63,8	1,22	0,0557					
060	1880,0	2180,8	3,10	4,8344					
Всього	-		20,16	12,6916	Всього	-		11,431	13,9083

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{zn}} \cdot \frac{t_{ум}}{60},$$

де $S_{од}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м²;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [2, табл. 4].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1 м² виробничого приміщення, грн.

$$B_{en.баз(010,015,065)} = \frac{5,75 \cdot 3,0 \cdot 780}{3860 \cdot 0,95} \cdot \frac{14,34}{60} = 0,9198 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Розрахунок витрат на утримання приміщення

Базовий варіант						Проектний варіант					
№ опер.	$S_{од}, м^2$	k_f	$S_{од} \times k_f, м^2$	$t_{ит}, хв.$	$B_{еп.баз}, грн.$	№ опер.	$S_{од}, м^2$	k_f	$S_{од} \times k_f, м^2$	$t_{ит}, хв.$	$B_{еп.пр}, грн.$
010, 015, 065	5,75	3,0	17,25	14,34	0,9198	010, 055	3,49	3,5	12,22	9,761	0,4434
020	3,41	3,5	11,94	1,50	0,0666	015	4,93	3,0	14,79	1,67	0,0918
025	0,88	4,0	3,52	1,22	0,0160						
060	6,53	2,5	16,33	3,10	0,1882						
Всього	-	-		20,16	1,1906	Всього	-	-		11,431	0,5352

5.4.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр},$$

де $B_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у базовому варіанті відсутні);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у базовому варіанті відсутні), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ (у базовому та проектному варіантах ці витрати близькі за величиною, тому ними можна знехтувати), грн.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{гн} \cdot \frac{t_{n-3}}{60} \cdot (1 + K_o) \cdot (1 + K_c) \cdot A,$$

де $C_{гн}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

t_{n-3} – підготовчо-заключний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{нал.баз} = \frac{88,375 \cdot 8 + 103,972 \cdot (24 \cdot 3 + 10 + 12)}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 2812,93 \text{ грн.};$$

$$B_{нал.пр} = 103,972 \cdot \frac{12+10+14}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 12 = 1004,62 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

$$B_{пр} = T_{пр} \cdot Z_{год} \cdot K_{ос},$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість підготовки програмного забезпечення, яка враховує трудомісткість розробки операційної карти техпроцесу, керуючої програми, карт налагодження інструменту, карти кодування інформації, год.;

$Z_{год}$ – середньогодинна заробітна плата інженерів з підготовки програмного забезпечення, грн./год.;

$K_{ос}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату та єдиний соціальний внесок.

$$B_{пр.баз(010,015,065)} = 138,0 \cdot 116,51 \cdot 1,342 = 21577,19 \text{ грн.}$$

Вартість програмного забезпечення для інших операцій базового та проектного варіантів входить у вартість відповідних верстатів.

5.4.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Розрахунок технологічної собівартості

№з /п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		базовий варіант	проект
1	2	3	4
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	31,6450	17,9432
1.2	Електроенергія силова	8,4635	7,4934
1.3	Ремонт обладнання	2,4145	2,0842
1.4	Матеріали допоміжні	4,0110	3,7523

Продовження табл. 5.10

1	2	3	4
1.5	Амортизація універсального обладнання	12,6916	13,9083
1.6	Експлуатація приміщень	1,1906	0,5352
	Всього змінних витрат	60,416	45,717
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	2812,93	1004,62
2.2	Програмне забезпечення	21577,19	-
	Всього постійних витрат	24390,12	1004,62
	Технологічна собівартість річного випуску деталей C_{tex}	205639	138154

Технологічна собівартість:

$$C_{tex.баз} = 60,416 \cdot 3000 + 24390,12 = 205639 \text{ грн.};$$

$$C_{tex.пр} = 45,717 \cdot 3000 + 1004,62 = 138154 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «вал» $N_3=3000$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання порівнюваних варіантів технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{tex.баз}=C_{tex.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{1004,62 - 24390,12}{60,416 - 45,717} = -1591 \text{ шт.}$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «вал» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

5.4.4. Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{\text{тех.баз}} + E_n \cdot K_{\text{баз}}) - (C_{\text{тех.пр}} + E_n \cdot K_{\text{пр}}),$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{\text{баз}}$, $K_{\text{пр}}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{\text{бал}}$ (табл. 6.6), оснащення $B_{\text{осн}}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{\text{буд}}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих детале-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{\text{бал}} + B_{\text{осн}} + K_{\text{буд}}) \cdot \eta_{z_i},$$

Капітальні вкладення в обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (713,4 \cdot 3 + 452,98 + 63,8 + 2108,8) \cdot 1000 = 4837780 \text{ грн.};$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = (1750,44 \cdot 2 + 1415) \cdot 1000 = 491608 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{\text{буд}} = S_{\text{од}} \cdot K_f \cdot q_{\text{пр}} \cdot h \cdot \Pi_{\text{буд}},$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$\Pi_{\text{буд}}$ – ціна 1м² виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{\text{буд.баз}} = (17,25 \cdot 3 + 11,94 + 3,52 + 16,33) \cdot 8 \cdot 6200 = 4143088 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = (12,22 \cdot 2 + 14,79) \cdot 8 \cdot 6200 = 1945312 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (4837780 + 4143088) \cdot 0,044 = 395158 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (4916080 + 1945312) \cdot 0,051 = 349931 \text{ грн.}$$

$$E_p = (205639 + 0,16 \cdot 395158) - (138154 + 0,16 \cdot 349931) = 74720 \text{ грн.}$$

5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{od} + B_c + B_{in} + B_o + B_{\text{ц}},$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

Z_{od} - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

B_{in} - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{\text{ц}}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot \Pi_m \cdot K_{mp} - a_g \cdot \Pi_g,$$

де a_p - норма витрат матеріалу (сталь 38ХМЮА), кг;

Π_m - ціна матеріалу, грн./кг;

K_{mp} - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати при зберіганні матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

a_g - маса відходів, кг;

Π_g - ціна відходів, грн./кг;

$$M_o = 3,888 \cdot 45,0 \cdot 1,05 - (3,888 - 2,657) \cdot 6,9 = 175,214 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_g (1 + K_o),$$

де P_g - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_g = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{zod_i}^g \cdot t_{um-k_i}}{60},$$

де $e_{zod_i}^g$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

t_{um-k_i} - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу:

На першій операції техпроцесу:

$$P_{оп_1} = 70,180 \cdot \frac{6,879}{60} = 8,0461 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{ум-к}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
010	Токарна з ЧПУ	6,879	3	70,180	8,0461
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	1,71	3	70,180	2,0001
035	Вертикально-свердлильна	0,822	3	70,180	0,9615
040	Різьбонакатна	0,99	3	70,180	1,1580
055	Токарна з ЧПУ	2,986	3	70,180	3,4926
	Всього	13,387	-	-	15,6583

$$З_{оо} = 15,6583 \cdot (1 + 0,1) = 17,2241 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 17,2241 \cdot \frac{22}{100} = 3,7893 \text{ грн.,}$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 22 \cdot \frac{13,171}{60} = 4,8294 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = 15,6583 \cdot \frac{320}{100} = 50,1066 \text{ грн.,}$$

де $\Pi_{во}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

$З_o$ - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = 15,6583 \cdot \frac{280}{100} = 43,8432 \text{ грн.,}$$

де $\Pi_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 5.12.

Таблиця 5.12

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	175,214
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	15,658
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,566
4.	Відрахування у соціальні фонди	3,789
5.	Експлуатація спеціального оснащення	4,829
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	50,107
7.	Цехові витрати	43,843
8.	Всього цехова собівартість C_u	295,006

5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах дипломної роботи, слід додатково визначити такі:

- *зниження трудомісткості* виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках):

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{20,16}{11,431} \cdot 100 - 100 = 76,4\%,$$

- *виріток продукції на одного робітника*:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{21448}{12} = 1787,3 \text{ нормо-год./ос.},$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми дільниці, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- *зарплатомісткість продукції*:

$$З_{зн} = \frac{З_{од}}{C_u} \cdot 100 = \frac{17,224}{295,006} \cdot 100 = 5,8\%,$$

де $З_{од}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

C_u - цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$З_{mn} = \frac{M_o}{C_{\text{ц}}} \cdot 100 = \frac{175,214}{295,006} \cdot 100 = 59,4\%,$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{\text{ц}} \cdot N_z \cdot K_{\text{дов}} = 295,006 \cdot 3000 \cdot 27,14 = 24019389 \text{ грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 5.13.

Таблиця 5.13

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z)	шт./рік	3000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	21448
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	295,006
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	грн./рік	24019389
5.	Чисельність основних робітників	осіб	12
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год./ос.	1787
7.	Матеріаломісткість продукції	%	59,4
8.	Зарплатомісткість продукції	%	5,8
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	76,4

5.7. Висновки

З проведених розрахунків видно, що проектний варіант технологічного процесу виготовлення деталі вал є більш економічно ефективним, зокрема, за змінами таких параметрів: зменшенням штучного часу на обробку деталі, зменшенням змінних витрат (заробітної плати тощо), зменшенням номенклатури верстатів.

Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту технологічного процесу становить 76,4%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Дослідження швидкісного точіння з розробкою технології виготовлення деталі вал» виконано дослідження швидкісного точіння зовнішніх циліндричних поверхонь валу та розроблено рекомендації для обробки поверхонь валу даним методом. Виконано дослідження впливу параметрів різання при швидкісному точінні на шорсткість обробленої поверхні експериментальним шляхом.

Виконано аналіз діючого на базовому підприємстві технологічного процесу, на основі чого запропоновані зміни, які дають можливість знизити собівартість випускаємої продукції та підвищити гнучкість технологічного процесу. Обрано заготовку для виготовлення деталі, верстати, затискні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

Розроблено та розраховано затискний пристрій та різальний інструмент для фрезерування шпонкового пазу валу.

Спроектований технологічний процес ефективніший у порівнянні з базовим. Зниження трудомісткості та собівартості виготовлення деталі досягається за рахунок впровадження високопродуктивних верстатів з ЧПУ на переважній більшості операцій, що дає можливість використовувати разом з прогресивними методами обробки багатOVERстатне обслуговування; впровадження швидкодіючих затискних пристроїв з пневматичним та гідравлічним затиском, що суттєво скорочує допоміжний час; застосування швидкісного точіння дає можливість скоротити час обробки.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анохіна А.Ю. Дослідження якості оброблюваної поверхні при швидкісному точінні / А.Ю. Анохіна // Реферат. – Донецьк: ДНТУ, 2011. – 10 с.
2. Журило І.В. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки / І.В. Журило, Л.М. Романюк // Метод. вказ. до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 25 с.
3. Кирик С. Дослідження умов високошвидкісного точіння ріжучим інструментом з мінералокерамікою / С. Кирик // Матеріали IV Всеукр. студ. наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (19-20 квітня 2011 р.). – Тернопіль: 2011. – С. 194.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технології машинобудування» для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та заочної форм навчання/ Укл.: проф., д.т.н. Павленко І.І., доц., к.т.н. Артюхов А.М.; доц., к.т.н. Підгаєцький М.М.; доц., к.т.н. Мажара В.А.; викл. Сторожук М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2016 – 52 с.
6. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи : освітньо-професійна програма «Прикладна механіка», рівень вищої освіти другий (магістерський) : спец. 131 Прикладна механіка, галузь знань 13 Механічна інженерія / [уклад. : І. І. Павленко, В. А. Мажара, К. К. Щербина, О. І. Скібінський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т., каф. машинобуд., механотроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. - 42 с.

7. Новиков Ф.В. Условия уменьшения температуры резания при точении / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский, А.А. Андилахай // Вісник приазовського державного технічного університету. Серія «Технічні науки». – Маріуполь: 2016. – Вип. 33. – С. 87-92.

8. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учеб. пособие / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач; Подобр. ред. В. М. Плескача. – К.: Выщапк., 1991. – 247 с., ил.

9. Технологічне оснащення: метод. вказ. до викон. курсового проекту / [уклад.: І. І. Павленко, В. А. Мажара] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 36 с.

10. Технологія машинобудування : метод. вказ. до викон. курсового проекту : для студ. спец. «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» / [уклад. : І. І. Павленко, А. М. Артюхов, М. М. Підгаєцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 68 с.

11. Aslantas K. Tool Life And Wear Mechanism Of Coated And Uncoated Al₂O₃/TiCN Mixed Ceramic tools In Turning Hardened alloy steel / K.Aslantas, I.Ucun, A. Cicek // WEAR - AnInternational journal of science and technology of friction, lubrication and wear. – Elsevier, 2012. – Vol. 274-275. - P. 442-451.

12. Grzesik W. Surface finish generated in hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts / W. Grzesik, T. Wanat // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – UK: 2006. – Vol. 46. – P. 1989-1995.

13. Jaleel A.K. Coated carbide cutting tools performance in high speed machining processes / A.K. Jaleel, K.A. Hadi // The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, 2012. - Vol. 12. - No.1. – P. 829-838.

14. Samardžiova M. Development of surface roughness in hard turning of 100CR6 using mixed ceramic cutting tool with wiper geometry and conventional geometry / M. Samardžiova, M. Neslušan // Research papers Faculty of materials

science and technology in trnava. – Bratislava: SUTUB, 2013. – Vol. 21. – P. 193-198.

15. Sanchit K.K. Effect of High Speed Machining on Surface Roughness Characteristics R_a , R_q , R_z / K.K. Sanchit, G. Piyush, P.S. Jaiinder, G.S. Phull // 15th International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2023). - EDP Sciences, 2023. – Vol. 430. – P. 14.

16. What is High Speed Machining? Retrieved from <https://www.peakedm.com/WhatIsHighSpeedMachining.html>. (2023, December, 22).