

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

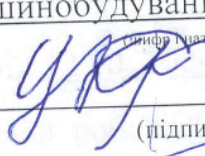
магістра

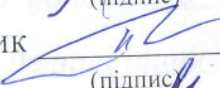
на тему

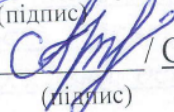
Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з  
підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок забезпечення  
динамічної стабільності ріжучого інструменту

(тема кваліфікаційної роботи)

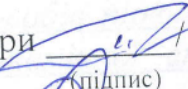
Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг  
спеціальності: 015.34 Професійна освіта  
(Машинобудування)

 / Олег УКРАЇНЕЦЬ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

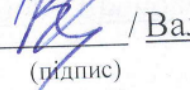
Керівник  / Олег ПОДОЛЯК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Світлана АРТЮХ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Антон СКОРКІН  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання  
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)  
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

О.Л. Подоляк

"12" жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Олегу УКРАЇНЦЮ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10.2024 р.



2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи "6" грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі типу "Кільце зовнішнє". У якості різального інструменту використовується токарський збірний прохідний різець із різно орієнтованої текстурою державки, оснащений змінної ріжучою пластинкою з кераміки марки ВОК 71.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Вихідні дані, технічні характеристики й типові деталі представники. Аналіз існуючих методів і способів підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки. Спосіб динамічної стабільності процесу тонкої лезової обробки за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту. Дослідження різального інструменту з анізотропними властивостями державки. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

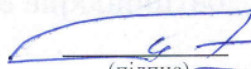
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: Аналітичний огляд; Вихідні дані, технічні характеристики; Аналіз існуючих методів і способів підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки; Теоретичні дослідження виникнення вібрацій при різанні металів; Методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання; Способи підвищення динамічної стабільності в процесі тонкої лезової обробки; Експериментальні дослідження. Висновки.

5. Консультант:


Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Олександр РАДКЕВИЧ			

7. Дата видачі завдання «13» жовтня 2024 р.

Керівник

  
(підпис) Олег ПОДОЛЯК  
(ім'я, прізвище)

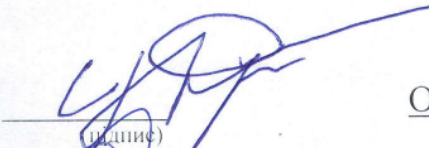
Завдання прийняв до виконання

  
(підпис) Олег УКРАЇНЕЦЬ  
(ім'я, прізвище)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	05.09.24	
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел	06.09.24	
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	12.09.24	
4.	Підготовка аналітичної частини	27.09.24	
5.	Підготовка теоретичної частини	08.10.24	
6.	Розробка дослідницької частини	24.10.24	
7.	Розробка методичного розділу	04.11.24	
8.	Підготовка графічного матеріалу	11.11.24	
9.	Доробка проекту по зауваженням наукового керівника	18.11.24	
10.	Доробка проекту по зауваженням консультантів	26.11.24	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	02.12.24	
12.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.24	

Здобувач вищої освіти

  
(підпис)

Олег УКРАЇНЕЦЬ  
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

  
(підпис)

Антон СКОРПІН  
(ім'я, прізвище)

Олег ПОДОЛЯК

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність заповнень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

### Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту

студента (назва роботи) УКРАЇНЕЦЬ Олег Сергійович  
(прізвище, ім'я та по батькові)  
науковий керівник Подоляк Олег Степанович  
(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 1,43,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,35 ,

Сигнал „Тривога!":  – немає;  – є, кількість разів у тексті \_\_\_\_\_.

**Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):**

не більше 20% – оригінальна робота,

від \_\_\_% до \_\_\_% – задовільно оригінальна робота,

від \_\_\_% до \_\_\_% – умовно оригінальна робота,

більше \_\_\_% – неоригінальна робота.

**Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:**

оригінальна,

задовільно оригінальна,

умовно оригінальна,

неоригінальна.


#### Висновок:

робота може бути допущена до захисту,

необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

#### Примітки Системного Оператора про виявлені заповнення:

Системний Оператор \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

25.11.24

(дата)

## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ДКПП – державний класифікатор продукції та послуг

АСК – автоматизована система керування;

ВПД – (верстат-притосування-інструмент-деталь).

ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво;

год. – години;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

мм – міліметр;

ЗОТС – змащувально-охолоджуюче технологічне середовище;

об – оберти;

од. – одиниці;

п/п – по порядку;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

САПР – автоматизована система проектування;

ТП – технологічний процес;

ТСМОР – технологічна система механічної обробки різанням;

хв. – хвилина;

ЧПК – числове програмне керування;

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається із вступу, п'яти розділів, висновку й переліку використаної літератури, містить 153 сторінок машинописного тексту, 22 таблиці, 34 рисунка. 1 додаток на 25 сторінках (слайдах презентації)

**Метою роботи** є розробка науково-обґрунтованого способу підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності, використовуючи анізотропні властивості ріжучого інструменту.

У даному дипломному проєкті розроблено метод підвищення стійкості процесу різання при чистовому точінні, заснований на використанні анізотропних властивостей пластично деформованої конструкційної сталі і явища дисипації коливальної хвилі при переході розділу між разорентірованими за текстурою пластинами державки інструменту. На підставі вивчених фізичних анізотропних властивостей сталевого прокату створений інструмент, оснащений багат шаровою демпфуючою державкою.

Запропоновано узагальнену математичну модель процесу різання, що дозволяє описати процес з урахуванням пружно-пластичних властивостей в динаміці контактної взаємодії інструменту з заготовлею і реологічних особливостей парціальної системи «інструмент».

Експериментальні дослідження вібропереміщень при обробці заготовки зі сталі 40Х підтвердили правильність теоретичної моделі і довели ефективність застосування різців з анізотропною демпфуючою державкою при чистовому точінні.

**Ключові слова:** ТОКАРСЬКИЙ ВЕРСТАТ, РІЗЕЦЬ, ДЕРЖАВКА, ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА, ПЛАСТИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ, ЗМУШЕНІ КОЛИВАННЯ, ШОРСТКІСТЬ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВІБРОГАСНИК, ДИНАМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

## ABSTRACT

An explanatory note consists of an introduction, five chapters, a conclusion and a list of used literature, contains 153 pages of typed text, 22 tables, 34 figures. 1 application in 25 pages (presentation slides)

The aim of the work is to develop a scientifically sound way to increase the efficiency of finishing work due to dynamic stability, using anisotropic properties of a cutting tool.

In this diploma project, a method is developed to increase the stability of the cutting process at the finishing point, based on the use of anisotropic properties of plastically deformed structural steel and the phenomena of dissipation of the oscillatory wave in the transition of the section between the tool-straightened plates by the text. On the basis of the studied physical anisotropic properties of steel rolling, a tool equipped with a multi-layer damping holder was created.

A generalized mathematical model of the cutting process is proposed, which allows us to describe the process taking into account the elastic-plastic properties in the dynamics of the contact interaction of the tool with the workpiece and the rheological features of the partial system "tool".

Experimental studies of vibro displacements in the treatment of 40X steel billets confirmed the correctness of the theoretical model and proved the effectiveness of the use of incisors with anisotropic damping styrofoam at the finishing point.

Keywords: LATHE, CUTTER, HOLDER, TECHNOLOGICAL SYSTEM, PLASTIC DEFORMATIONS, FORCED OSCILLATIONS, MIRROR, MATHEMATICAL MODELING, VIBRATION DUSTER, DYNAMIC STABILITY OF CUTTING PROCESS

## ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	14
1.1 Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку .....	14
1.2 Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва .....	18
1.3 Висновки до розділу 1 .....	20
2. ВИХІДНІ ДАНІ, ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ТИПОВІ ДЕТАЛІ ПРЕДСТАВНИКИ .....	
3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ...	21
3.1 Методи й способи підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки. (Шорсткість поверхні, наклеп, точність форми й стійкість різального інструменту в плані динамічної нестабільності процесу різання.) .....	28
3.2 Теоретичні дослідження виникнення вібрацій при різанні металів .....	34
3.3 Методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання .....	45
3.3.1 Підсистема «інструмент» .....	47
3.3.2 Підсистема «верстат» .....	62
3.3.3 Підсистема «заготовка» .....	73
3.4 Аналіз способів підвищення динамічної стабільності в процесі тонкої лезової обробки .....	75
3.5 Висновки й постановка завдання роботі .....	78
4. СПОСІБ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ .....	79

4.1.	Спосіб забезпечення динамічної стабільності процесу тонкої лезової обробки за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту .....	79
4.2	Аналіз способу виготовлення державки різального інструменту на основі анізотропних властивостей металу .....	83
4.3	Результати й висновки по розділу 3 .....	86
5.	ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З АНІЗОТРОПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЕРЖАВКИ .....	87
5.1	Анізотропія характеристик міцності за експериментальними даними. Міцність і пластичність металів .....	87
5.2	Спосіб виготовлення й методика випробування механічних властивостей пластин державки .....	92
5.3	Експериментальні дослідження різального інструменту з анізотропними властивостями державки .....	96
5.4	Результати й висновки по розділу 5 .....	106
6.	МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ (МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ».) .....	108
6.1	Постановка оперативних цілей семінару .....	109
6.2	Вибір типу семінару і форми його проведення .....	110
6.3	Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару .....	111
6.4	Проектування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі.....	112
6.5	Аналіз базових умов навчання .....	113
6.6	Проектування основної частини реферативного семінару .....	114

6.7	Висновки до методичної частини .....	121
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	122
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ .....	123
	ДОДАТОК А (ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ) .....	128

## ВСТУП

Відродження й розвиток вітчизняного машинобудівного виробництва неможливо без інтенсифікації виробництва на основі широкого використання досягнень науки й техніки, застосування прогресивних технологій. Підвищення ефективності машинобудівного виробництва може бути здійснене тільки шляхом його автоматизації й механізації, оснащення високопродуктивним устаткуванням, у першу чергу, металорізальними верстатами. Таким чином, відродження й розвиток верстатобудування – найважливіша умова розвитку всієї індустрії країни. Робота автомобільних підприємств в умовах ринку вимагає постійного вдосконалювання технологічних процесів, засобів автоматизації й технологій керування, на всіх рівнях виробництва. Відомо, що традиційний підхід до інтенсифікації виробництва, з можливістю швидкого реагування на потребу ринку полягає у всілякому підвищенні продуктивності ТЕ й ТП. При цьому звичайно зберігається значна частка ручної праці людини, яка в окремих виробничих процесах становить 60% від загальних витрат. Поступово в міру розвитку техніки традиційний шлях інтенсифікації сучасного виробництва привів до різкого дисбалансу форм інтенсифікації праці людини й машини. Тому головна тенденція й особливість сучасного етапу інтенсифікації виробництва, полягає в тому, що цю проблему необхідно вирішувати по новому, за рахунок виключення вичерпного себе інтенсивності фізичної праці людину й розширення застосування більш гнучких форм виробництв.

Початковим етапом у проведенні заходів щодо вдосконалювання технічної й технологічної бази, а також у використанні, нових методів організації виробництва, стає створення високоавтоматизованих виробництв, заснованих на широкому застосуванні сучасного програмно-керованого технологічного устаткування, мікропроцесорних керуючих обчислювальних засобів робототехнічних систем, засобів автоматизації проектно-конструкторських, технологічних і планово-виробничих робіт.

Досвід в автоматизації обробці інформації у відриві від автоматизації технології показав, відсутність бажаних результатів тому, наприкінці 80-х років був узятий курс на інтеграцію автоматизації обробки інформації (АСК) САПР і автоматизації технології виробництва.

Найбільш інтенсивна, така інтеграція здійснювалася в напрямку створення гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ). До появи гнучких систем автоматизації, автоматизація цих виробничих процесів обмежувалася масовим виробництвом, однак зі зменшенням життєдіяльності циклу виробів і з високими вимогами до конкурентної здатності продукції на ринку виробників виникла необхідність у створенні таких виробництв, які забезпечують виготовлення виробів невеликими партіями при збереженні продуктивності, якості й собівартості, властивих великосерійному виробництву. При цьому виникаючу проблему, не можна було вирішувати за рахунок підвищення ефективності використання основного часу роботи технологічного обладнання, тому що воно в будь-якому виробництві становить мінімальну частку. Наприклад, основний машинний час устаткування для більшості виробництв становить 6% від загального часу, а частка допоміжного часу в сукупності із втратами перевищує 50-60%. Тому надалі основний упор був зроблений на автоматизацію всіх операцій. Забезпечення автоматичного функціонування, устаткування у вечірне й нічні зміни, скорочення часу переналагоджень, переоснащення, автоматизація керування матеріальних і інформаційних потоків. Закордонний і вітчизняний досвід в експлуатації гнучких виробництв показав, що можна добитися збільшення коефіцієнта використання встаткування на 30%, зменшення його простою на 40%, зниження вартості одиниці продукції на 10%, зменшення потреби в персоналі на 30%, що дозволяє забезпечити високу конкурентну здатність на ринку виробників продукції.

Обробка металів різанням є складовою частиною процесу виробництва більшості деталей. Як і інші технологічні процеси, вона повинна бути конкурентно-здатної. Незалежно від того, чи йде мова про обробку окремих

складних деталей на невеликому підприємстві або про масове виробництво простих валів, одержання прибутку або збитків залежить від економічної ефективності процесу обробки.

Одним зі шляхів досягнення ефективності процесу обробки є раціональна комбінація капітальних витрат і інших додаткових витрат, оскільки в ряді випадків заготовка й допоміжні матеріали теж досить дорогі. Хоча мінімум собівартості й максимум продуктивності не збігаються, нижче ми покажемо, що головний шлях досягнення ефективності – найбільш повне використання машинного часу, тобто робота з найбільшою продуктивністю, коли випуск деталей в одиницю часу максимальний.

У металообробці можна побачити, що будь-які зміни в технології як істотні, так і незначні, приводять до відчутних змін вартості виготовлення деталей. Новий верстат зі ЧПК багаторазово збільшує випуск продукції, технологічні можливості й швидкість обробки. Але витрати на нього тільки тоді мають сенс, коли приведуть до такого вдосконалювання виробництва, що в наступні роки не тільки окупляться, а почнуть приносити прибуток.

Процес обробки металів різанням може бути суттєво вдосконалений і більш доступним шляхом, ніж покупка нового обладнання – за рахунок раціонального застосування правильного високопродуктивного інструмента.

Розвиток процесу металообробки йде швидкими темпами. Методи, застосовувані при точинні, фрезеруванні й свердлінні десять і навіть п'ять років тому, зараз здебільшого застаріли. Сучасний інструмент настільки відрізняється по своїх можливостях від застосовуваного п'ять років тому, що якщо оснастити два однакові верстати сучасним і старим інструментом, то верстат з новим інструментом за один робочий день обробить незрівнянно більшу кількість деталей.

Правильний вибір інструмента або навіть просто змінних багатогранних пластин забезпечить обробку більшої кількості деталей за те саме час. Не використовувати переваги цього шляху й не вкладати кошти в сучасне інструментальне оснащення існуючого встаткування – значить не

використовувати повною мірою можливість зробити виробництво більш дохідним і конкурентоспроможним. Правильно обраний інструмент дозволяє швидше окупити витрати на нове обладнання, значно підвищити продуктивність старого встаткування й зробити роботу операторів більш продуктивною. Застосування сучасного інструмента ефективно як на новому, так і на старому встаткуванні.

У сучасній металообробці собівартість виробництва деталі складається з декількох частин. Одна з них – вартість різального інструменту. Розрахунки показують, що витрати на інструмент становлюють всього кілька відсотків від загального обсягу витрат. Інструмент коштує практично однаково по усьому світу, тоді як вартість роботи оператора сильно відрізняється в різних країнах. Але навіть якщо вартість праці відносно низька, а встаткування старе й давно себе окупило, не використовувати можливості для підвищення його продуктивності – це однаково, що ігнорувати власний прибуток.

Хоча вартість різального інструменту становить кілька відсотків від повної собівартості виробництва виробу, інструмент суттєво впливає на:

- процес різання
- час налагодження
- кількість необхідних операцій
- час виготовлення деталі
- кількість інструмента на складі

Сучасний рівень розвитку промисловості й впровадження нових прогресивних технологічних процесів вимагають створення потужного й високопродуктивного металообробного встаткування.

Найважливішою вимогою пропонованим до будь-якого верстата, що працює у виробництві, є можливість забезпечення необхідної точності обробки й шорсткості поверхні виробів при високій продуктивності праці. Це обумовлює основну тенденцію в сучасному виробництві – зростання режимних параметрів.

У результаті збільшення швидкостей головного руху й подач при

одночасно високих вимогах до точності й шорсткості поверхні оброблюваних виробів виникла необхідність систематичного дослідження й підвищення твердості й вібростійкості верстатів.

Необхідна вібростійкість досягається зміною конструкції передач і привода, динамічним зрівноважуванням швидко обертових деталей, усуненням надмірних зазорів у з'єднаннях і т.д.

Основний спосіб підвищення вібростійкості верстата – створення більш жорстких конструкцій станини, стійки, столи й інші деталі роблять порівняно тонкостінними, а потім підсилюють їхніми ребрами жорсткості, використовують додаткові затискачі, кріплення у вигляді опор, кронштейнів, підтримок, розтяжок, по можливості зменшують число стиків. Ці способи є й способами вібростійкості. Одним із сучасних методів підвищення вібростійкості верстатів є застосування гасителів коливань.

Впровадження високопродуктивних методів обробки у виробництво неможливо без проведення більших комплексних досліджень [60].

# 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

## 1.1. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку

Дослідження тенденцій розвитку машинобудівних підприємств у контексті сучасних соціально-економічних трансформацій засвідчили її невідповідність пріоритетам розвитку національної економіки. У машинобудівному комплексі спостерігається зменшення обсягів діяльності, низький рівень рентабельності машинобудування та нестача коштів для фінансування техніко-технологічного оновлення, інноваційного та соціального-економічного розвитку. Таким чином, основою подальшого розвитку машинобудівної галузі України є подолання кризових явищ, стабілізація і стійкий розвиток галузі, який можливий шляхом технологічної і структурної перебудови виробництва, сфери послуг та інших галузей для випуску сучасної конкурентоспроможної продукції.

Машинобудування відноситься до провідних галузей промисловості. На машинобудівельних підприємствах створюються засоби праці для підприємств інших галузей економіки, використовуючи досягнення наукових досліджень, передовий вітчизняний досвід та досвід розвинутих країн. Діяльність цих підприємств спрямована на виготовлення машин і обладнання, що забезпечують загальне зростання обсягів виробництва та продуктивності праці, зниження собівартості продукції. Перехід до ринкової економіки найбільш важко і болісно позначився на машинобудівному комплексі, що було зумовлено відсутністю системного підходу до реформування галузі на макrorівні, грубою невідповідністю між цілями реформ, що проводяться, та її ресурсними можливостями. Галузь була об'єктивно підготовлена до необгрунтовано високих темпів реструктуризації, її виробничий потенціал не відповідав структурі попиту, програма конверсії проводилася без урахування реальних можливостей переорієнтації підприємств машинобудування на

новий споживчий ринок, нову систему платіжних відносин та становища України у світовому господарстві. Різко скоротився експорт машинобудівної продукції до країн світу, а загальна лібералізація імпорту викликала різке зниження фінансових надходжень у галузь, ослаблення її науково-технічної бази, скорочення можливостей з модернізації основних фондів підприємств та випуску наукомісткої продукції, втрату висококваліфікованих кадрів та їх відтворення.

На сьогоднішній день скорочення числа робочих кадрів пов'язане з тим, що:

1. За останні кілька років багатьма підприємствами практично повністю було згорнуто навчально-курсіві комбінати внутрішнього професійного навчання та перенавчання працівників.

2. Відбувається зниження частки молодих фахівців у промисловості через низький престиж робітничих професій та збільшення природного відтоку висококваліфікованих робітників старшого покоління через старіння та втрату працездатності;

3. Спостерігається значна різниця співвідношення попиту та пропозиції на кадри робітників професії на ринку праці;

4. Структура, обсяги та якість підготовки кваліфікованих робітників в умовах формування професійних стандартів не відповідають вимогам роботодавців та не відповідають запитам ринку праці.

За прогнозами Міністерства освіти і науки, до 2023 р. Фахівців машинобудівних підприємств, як і раніше, катастрофічно не вистачатиме, особливо в таких галузях як металургія, металообробка, машинобудування.

Стратегія структурного реформування машинобудівної галузі пов'язана з вирішенням численних актуальних питань організаційного та правового характеру. Серед них важливу роль покликане відіграти створення інтегрованих структур, що передбачають, зокрема, оптимальний баланс, сталий розвиток та відтворення науково-конструкторського та виробничого потенціалів та спрямування державних інвестицій на об'єкти структури, що

реформується. Це дозволить проводити на сучасному рівні прикладні наукові високотехнологічні дослідження та розробки за умов існуючих обмежень бюджетних коштів у поєднанні з розвитком фундаментальних наукових досліджень як основи створення інноваційних технологій та новітніх принципів.

В даному контексті варто також зазначити, що Україна належить до восьми країн світу з необхідним науково-технічним потенціалом для створення і виробництва найсучасніших моделей авіаційної техніки, входить до десятки найбільших суднобудівних держав світу. Вітчизняна продукція енергетичного машинобудування займає одне з передових місць у світі.

Інноваційний розвиток машинобудівної галузі на сьогодні знаходиться на низькому рівні. Негативні тенденції зниження інноваційної активності машинобудівних підприємств в поєднанні зі скороченням наукового сектору стримують процеси економічного зростання та ставлять під загрозу подальший прогресивний розвиток країни.

Ефективність роботи підприємств машинобудівельної галузі залежить від сукупності організаційно-економічних та соціальних факторів. Серед них — спеціалізація та кооперування виробництва, їх розміщення на території окремих регіонів, впровадження у виробництво нових типів машин та устаткування, вдосконалення галузевої структури, наявність кваліфікованих кадрів. На роботу підприємств впливають визначені державою умови для економічної самостійності в комерційній діяльності тощо.

В основі стратегії розвитку машинобудівного виробництва закладені механізми вирішення базових проблем галузі: підвищення якості продукції, що випускається, розвиток інноваційної складової, формування високотехнологічного вигляду промисловості. Передбачуваний результат реалізації стратегії - стійкий динамічний розвиток галузі машинобудування, підвищення конкурентоспроможності (в першу чергу, за показниками продуктивності й надійності) продукції машинобудування на світовому ринку. Це дозволить забезпечити експорт продукції машинобудівного виробництва.

Основні проблеми машинобудівного комплексу України пов'язані із необхідністю розвитку економічних зв'язків у постачанні комплектуючих, втратою традиційних ринків збуту продукції, орієнтацією підприємств на випуск продукції військового призначення, а також технічною відсталістю і низькою, порівняно з міжнародними стандартами, якістю виробів.

Протягом останніх років потенціал кваліфікованих фахівців в Україні значно знизився у порівнянні з розвинутими країнами. Це зумовлено падінням престижу робітничих професій, неефективним інформуванням населення щодо попиту на професії, недостатньою участю суб'єктів господарювання у розв'язанні проблем професійної освіти і навчання. Як наслідок, суб'єктів господарювання не задовольняє якість підготовки робітничих кадрів, що пов'язано із застарілою матеріально-технічною базою, недосконалістю кваліфікаційних характеристик на професії та види робіт, державних стандартів професійної освіти, недостатнім рівнем підготовки педагогічних працівників.

Подальший розвиток професійної освіти України неможливий без досягнення європейського рівня освітніх стандартів з урахуванням національних особливостей, що обумовлює необхідність модернізації, розширення функцій професійної освіти, її трансформації в професійну освіту і навчання.

Назріла необхідність якісних змін у взаємодії центральних і місцевих органів виконавчої влади та місцевого самоврядування щодо питань функціонування і розвитку професійної освіти і навчання. Потребує реформування система управління професійною освітою і навчанням.

Нагальним є вирішення проблеми щодо підвищення ефективності діяльності професійних закладів освіти. У результаті значна частина державного бюджету використовується на навчання неконкурентних на ринку праці робітників і не сприяє їх продуктивній зайнятості.

Не сприяють оперативному і гнучкому реагуванню на попит у фахвціях діючі умови і процедура ліцензування освітньої діяльності професійних

закладів освіти, підприємств, організацій і установ, що здійснюють підготовку фахівців на виробництві.

## **1.2. Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва**

Магістерська програма орієнтована на підготовку найбільш затребуваних фахівців у машинобудівному секторі економіки: інженерів-конструкторів, інженерів-технологів, інженерів з автоматизації промислових систем. На етапі технології автоматизації машинобудівних виробництв динамічно розвиваються: виробляється активна цифровізація технологічних процесів, впроваджується устаткування з числовим програмним управлінням, системи автоматизованого проектування та управління виробництвами. В даний час для фахівців в галузі автоматизації виробничих процесів машинобудування з'являється багато викликів і завдань, пов'язаних з підвищенням конкурентоспроможності машинобудівної продукції та здійснення технологічного прориву. У зв'язку з цим виникає потреба у фахівцях, готових поєднувати глибокі знання в технічній галузі з умінням здійснювати гнучке проектування та проводити налагодження виробничих процесів з використанням високопродуктивних автоматизованих систем. Інженер у галузі технології машинобудування та автоматизації виробництв здійснює підготовку комплекту конструкторської та технологічної документації з використанням систем автоматизованого проектування, а також здійснює технологічну підготовку виробництва та проводить налагодження технологічного обладнання з програмним управлінням. Ще вчора фахівці цієї галузі стояли у кульмана з олівцем, а сьогодні інженери моделюють процеси з використанням передових програмних продуктів.

Ключовими дисциплінами за напрямом підготовки є «три кити машинобудівного виробництва», що відповідають на ключові питання: «Як робити?», «Чим робити?», «На чому робити?». Цими дисциплінами є,

відповідно, Технології автоматизованого виробництва, Обладнання інструментального виробництва та Розрахунків, моделювання та конструювання обладнання з програмним керуванням.

Для підготовки фахівців сучасного рівня до освітньої програми включено також дисципліни, пов'язані з автоматизацією процесів проектування та виробництва: Математичне моделювання в машинобудуванні, Комп'ютерні технології в машинобудуванні, САЕ-системи в машинобудуванні, Експертні та інтелектуальні системи.

Ключовим питанням у межах зазначених дисциплін є отримання знань, умінь та навичок у сфері виконання професійних інженерних завдань із використанням систем автоматизованого проектування.

Практична частина основних дисциплін включає виконання цікавих завдань, пов'язаних з моделюванням конструкцій виробів, їх розрахунку на міцність, автоматизоване проектування технологічних процесів виготовлення деталей, у тому числі, за завданням підприємств. Отримані вміння учні розвивають, беручи участь у всеукраїнських та міжнародних студентських конкурсах, олімпіадах (Професіонали, Олімпіада «Основи інженерного проектування», Олімпіада з технології машинобудування).

Студенти з першого курсу мають можливість взяти участь у роботі студентського наукового гуртка, в рамках якого ведеться робота щодо реалізації грантів, підготовка наукових публікацій, виконання професійних завдань та кейсів від підприємств.

Захист випускної кваліфікаційної роботи відбувається за участю провідних фахівців базових підприємств галузі, які безпосередньо з аудиторії запрошують на цікаві вакансії найкращих випускників.

### **1.3 Висновки до розділу 1**

Назріла необхідність автономності професійних закладів освіти, в першу чергу, їх економічної самостійності, ефективного залучення інвестицій у розвиток системи професійної освіти і навчання, введення стимулів як для суб'єктів господарювання, так і для педагогічних працівників.

Недосконалість законодавчих та інших нормативно-правових актів, якими регулюються питання сфери професійної освіти, неврахування ними змін, що відбуваються в економіці і суспільному житті країни, фінансування за залишковим принципом, є стримуючими факторами розв'язання наявних проблем та формування єдиної концептуально узгодженої та науково – обґрунтованої державної політики щодо розвитку системи професійної освіти і навчання впродовж життя.

## 1. ВИХІДНІ ДАНІ, ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ТИПОВІ ДЕТАЛІ ПРЕДСТАВНИКИ

У якості різального інструменту використовується токарний збірний прохідний різець із різно орієнтованої текстурою державки, оснащений змінною ріжучою пластинкою з кераміки марки ВОК 71 (Оксикарбид:  $Al_2O_3$  – 60%,  $TiC$  – 40%). Корпус державки інструмента виготовлено зі сталі 40Х (ДЕРЖСТАНДАРТ 4543-2005), HRC 42-46.

Державка складається із зібраних між собою по площинах пластин, паралельним опорної поверхні державки, які вирізані з листового прокату з поздовжнім і поперечним орієнтуванням їх по площині, щодо напрямку прокату. Пластини встановлюються на корпус державки й за допомогою гвинтів кріпляться на державке. Вони встановлюються в корпусі з кутом різно орієнтованої текстури (рисунок 2.1) [5,17].

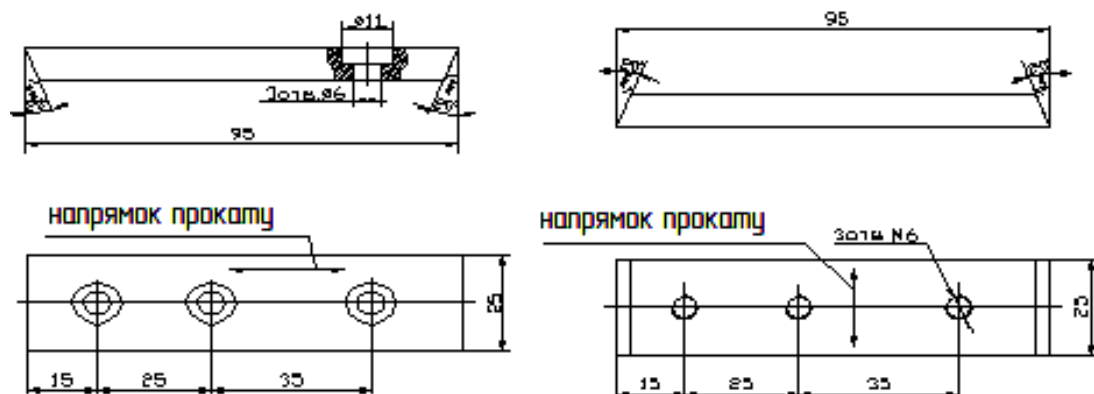


Рисунок 2.1 - Токарний збірний прохідний різець і корпус державки

Опишемо один по одному типові деталі представники, розглянувши застосування, конструкцію, особливості оброблюваних поверхонь, хімічні й механічні властивості матеріалів з яких вони виготовлені.

“Кільце зовнішнє”, креслення МА 18237.02.011 одна з деталей верстата для ізоляції стрижнів. Кільце зовнішнє в зборі з кільцем внутрішнім, при наявності усередині кульок діаметром 10 мм, утворює упорний підшипник. Обертання здійснюється за рахунок шестірні, через зачеплення з кільцем

внутрішнім. Складання даної деталі в робоче положення здійснюється за рахунок внутрішнього діаметра 310H7 ( $^{+0,052}$ ). Установка в робоче положення в зборі за рахунок 4-х отворів діаметром 7 мм під установочні штифти й 6-ти кріпильних отворів М6-7Н. На даний підшипник кріпляться обмотники, які обертаючись на великій швидкості здійснюють напівавтоматичну обмотку стрижнів.

Деталь “Кільце зовнішнє”, по класифікації ставиться до 3-му класу – кільця - диски. Головними поверхнями обробки деталей цього класу є торцеві зовнішні й внутрішні поверхні, оброблювані на різних верстатах токарного типу. Відмінною рисою деталей цього класу є відношення зовнішнього діаметра до довжини деталі.

Заготовкою служать кування за ДСТ 7831-2015, тому конфігурація зовнішнього контуру не викликає значних труднощів при одержанні заготовки. У нашому випадку ми одержимо кування типу кільця. Ми одержимо заготовку максимально наближену по розмірах і формі до кінцевого виду деталі. У процесі обробки більших складностей з обробкою зовнішніх і внутрішніх поверхонь відбутися не повинне. Однак найбільші труднощі викличе обробка посадкового діаметра 310H7 ( $^{+0,052}$ ) із шорсткістю 1,25 мкм і особливо обробці внутрішнього профілю поверхні Б с шорсткістю 0,63 мкм. Ця поверхня є основний, яка впливає на роботу всієї установки. У процесі роботи установки по поверхні Б здійснюється поворот установки за рахунок кульок діаметром 9 мм, імітуючи тим самим шарикопідшипник великого діаметра. Виготовлено зі сталі 5ХНМ. Твердість деталі після термообробки становить 36...42 HRC. Хімічний склад і механічні й технологічні властивості сталі 5ХНМ ДЕРЖСТАНДАРТ 5950-2015 (табл. 2.1).

Призначення: кувальні штампи для гарячого штампування, що мають глибоку й несиметрично розташовану робочу фігуру згинаючі навантаження, що й випробовують підвищені ударні й, вставки, деталі контейнерів і ін.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад і механічні й технологічні властивості сталі  
5ХНМ ДЕРЖСТАНДАРТ 5950-2015

Хімічний склад, %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
			Не більш				
0,5-0,6	0,15-0,35	0,5-0,8	0,030	0,030	0,50-080	1,4-1,8	0,15-0,3
Механічні властивості							
Режим термообробки	Розташування зразка	$\sigma_t$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\tau_{кр}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Ψ, %	НВ	
Отжиг	поздовжнє					197-241	
Загартування	поздовжнє					HRC 35-46	
Технологічні властивості							
Температура кування, С°		Зварюваність	Оброблюваність різанням	Схильність до відпускнуї крихкості	Корозійна стійкість		
початок	кінець	-	Твердий сплав K <sub>V</sub> =0,60 Швидкорізальна сталь K <sub>V</sub> =0,30 НВ 286	Не схильна	Низька		
1150-1180	850-900						

Деталь “Калібр”, креслення МА 19105.02.001 одна з деталей комплекту технологічного оснащення для дорновки сегментів обода ротора. Дане оснащення дозволяє укласти сегменти по діаметру ротора висотою 1000 мм точно по діаметру, сполучаючи при цьому отвору під подальше кріплення шпильками. Калібрування отворів здійснюється за допомогою набору калібрів разом з дорнами. Тиск подається за допомогою гідростанції через гідроциліндри, а повернення здійснюється за рахунок пружин. За один раз відбувається укладання й сполучення пакета висотою 100 мм і калібрування 6-ти отворів. Складання даної деталі в робоче положення здійснюється за рахунок внутрішніх торцевих кріпильних отворів М24-7Н і М16-7Н. Даний комплект замінив на операції укладання сегментів прошивання, які більш трудомісткі у виготовленні, що й досить швидко виходили з ладу. Проблема

виникла в результаті загартування крайок при вирізці сегментів обода ротора на лазері. За рахунок високої твердості, точності й шорсткості поверхні калібрів, вони замінили при калібруванні протягання. При укладанні калібри не зношуються й працюють у кілька раз довше протягань.

Деталь “Калібр”, по класифікації професора А.П. Соколовського [44] ставиться до 1-му класу – вали. В основу розглянутої класифікації деталей покладено три визначальні фактори: розмірність деталі (її габарити й вага), форма деталі й процес її обробки. Головними поверхнями обробки деталей цього класу є циліндричні зовнішні й внутрішні поверхні, оброблювані на різних верстатах токарського типу. Відмінною рисою деталей цього класу є відношення зовнішнього діаметра до довжини деталі.

Заготовкою служать прутки холоднотягнені (калібровані) круглі – ДЕРЖСТАНДАРТ 7417-2005, діаметром 40 мм, тому конфігурація зовнішнього контуру не викликає значних труднощів при одержанні заготовки. У процесі обробки більших складностей з обробкою зовнішніх і внутрішніх поверхонь відбутися не повинне. Однак більша довжина деталі не дозволить свердлити з достатньою точністю внутрішнього діаметра 14 мм. Свердління даного отвору будемо робити з переверотом деталі. Обробка внутрішніх торцевих отворів під різьбу, нарізка різьби й обробка діаметра 25 мм не складе більших складностей. Найбільшу точність і шорсткість оброблюваної поверхні  $R_a = 1,25$  мкм, необхідно одержати по зовнішньому діаметру  $38,2h6 (-0,016)$ . Складність полягає в тому, що чистову обробку даної поверхні потрібно робити після термообробки, одночасно обробляючи 2 фаски по краях  $5 \times 12^\circ$  з даною шорсткістю. Виготовлена зі сталі ХВГ. Твердість деталі після термообробки становить 58...62 HRC. Хімічний склад і механічні й технологічні властивості сталі 5ХНМ ДЕРЖСТАНДАРТ 5950-2015 (табл. 2.2).

Призначення: для виготовлення протяжок, призначених для роботи з малими швидкостями різання, вимірювального інструмента.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад і механічні й технологічні властивості сталі  
5ХНМ ДЕРЖСТАНДАРТ 5950-2015

Хімічний склад, %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W
			Не більш				
0,3-1,05	0,15-0,35	0,80-1,1	0,030	0,030	0,9-1,2	≤ 0,25	1,2-1,6
Механічні властивості							
Режим термообробки	Розташування зразка	$\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\tau_{кр}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	$\sigma_B$ (сж) кгс/мм <sup>2</sup>	НВ
Отжиг	поздовжнє						207-255
Загартування	поздовжнє	160	300-340	177		511,4	HRC 62-65
Технологічні властивості							
Термообробка	Зварюваність	Оброблюваність різанням		Шліфу-Емось	Коррози-Онная стійкість		
1.Отжиг 2.Закалка 840 С ° 3.Загартування з 840 С ° і відпустку 150 С °	-	Твердий сплав K <sub>V</sub> =0,80 Швидкорізальна сталь K <sub>V</sub> =0,50 НВ 241		Задовільна, аналогічна 9ХС	Низька		

“Вкладиш”, креслення МА 19105.02.015, одна з деталей “Розгінної установки для випробування колекторів”. Вкладиш сферичного підшипникового капсуля, установлюється в корпусі машини на високошвидкісному важко навантаженому валу. Служить для компенсації неточності виготовлення (неспіввісність посадкових місць) і розвантаження підшипників при динамічних деформаціях вала під час обертання. Режим роботи підшипників – важкий. Робота установки на межі швидкісної витривалості. З установкою вкладиша на вал, збільшився багаторазово термін служби підшипників. Складання даної деталі в робоче положення здійснюється за рахунок внутрішнього діаметра 90Н7 (<sup>+0,035</sup>), у який запресовується підшипник. Кріплення підшипника в корпусі вкладиша здійснюється за рахунок кришки, яка фіксується болтами в різьбові кріпильних отвори М8. Зовнішній діаметр 165g6 (<sup>-0,014</sup><sub>-0,039</sub>) із шорсткістю Ra = 0,32 мкм є основною при роботі установки. Досить складно добитися заданої точності й шорсткості зовнішньої поверхні сфери.

Деталь “вкладиш”, по класифікації ставиться до 2-му класу – втулки.

Головними поверхнями обробки деталей цього класу є зовнішні й внутрішні поверхні, оброблювані на різних верстатах токарського типу. Ці поверхні мають досить твердий допуск, високу шорсткість оброблюваної поверхні й зав'язані між собою допуском радіального биття 0,05 мм, що визначає необхідність обробки даних поверхонь за одну установку. Відмінною рисою деталей цього класу є відношення зовнішнього діаметра до довжини деталі.

Заготовкою служить сортовий прокат за ДСТ 2590-2005, тому конфігурація зовнішнього контуру не викликає значних труднощів при одержанні заготовки. Внутрішній отвір споконвічний будемо обробляти методом свердління. Виготовлено зі сталі 40Х. Твердість деталі після термообробки становить 45...50 НРС. Хімічний склад і механічні й технологічні властивості Сталі 40Х ДЕРЖСТАНДАРТ 4543-2015 (Табл. 2.3).

Призначення: для пінолей, черв'ячних валів, зубчастих коліс, шпинделів, осей, оправлень, муфт, рейок, кулачків, колінчатих валів, зубчастих вінців, валів-шестірень, кривошипів, півосей, дисків упорних, роторів турбокомпресорів, високоміцних труб нафтової промисловості, сідел клапанів, деталей компресорів і трубопровідної промисловості.

Технологічне встаткування: токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф32 зі ЧПК.

Характеристика виробництва: виробничі ділянки, що входять у виробництво технологічного оснащення, спеціалізуються:

- по видах технологічного оснащення: ділянка виготовлення штампів і прес-форм, ділянка виготовлення пристосувань і ділянка виготовлення різального інструменту.

Виробничі ділянки вхідні у виробництво нестандартизованого встаткування:

- механічна ділянка спеціалізуються на виготовленні нестандартизованого й спеціального технологічного устаткування по кресленнях.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад і механічні й технологічні властивості Сталі 40X ДЕРЖСТАНДАРТ 4543-2015

Хімічний склад, %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
			не більш				
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,035	0,035	0,8-1,1	≤ 0,25	≤ 0,20
Механічні властивості							
Режим термообробки	Розташування зразка	$\sigma_t$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$a_n$ , кгс·м/см <sup>2</sup>	НВ
Відпал	поздовжнє	30	60	80	25	9	≤217
Нормалізація	поздовжнє	35	67	14	35	-	187-229
Загартування	поздовжнє	90	110	8	35	4	HRC≥56
Технологічні властивості							
Температура кування		Зварюваність	Оброблюваність різанням	Схильність до відпускнуої крихкості	Корозійна стійкість		
початок	кінець						
1200	800	Важко зварюється. РДС – необхідний підігрів і наступна термообробка	Твердий сплав $K_v=0,80$ Швидкорізальна сталь $K_v=0,80$ НВ 197-207	Схильна	Низька		

Тип виробництва – дрібносерійне. У дипломному проекті розглянемо 3 виду деталей. Вони обрані з різноманіття всіляких деталей виготовлених у комплексі. Допустимо в 2018 році виготовлена наступна їхня кількість:

Калібр – рис. 2.2 у кількості 840 штук;

Кільце зовнішнє – рис. 2.3 у кількості 24 штуки;

Вкладиш – рис. 2.4 у кількості 12 штук.

		
Рисунок 2.2 – Калібр	Рисунок 2.3 - Кільце	Рисунок 2.4 - Вкладиш

### 3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

#### 3.1 Методи і способи підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки (Шорсткість поверхні, наклеп, точність форми й стійкість різального інструменту в плані динамічної нестабільності процесу різання)

Якість поверхні деталей машин – комплексне поняття, обумовлене сукупністю ознак [20, 21]. Класифікація параметрів якості поверхневого шару деталі наведена на рис. 3.1.

Шорсткість поверхонь деталей машин впливає на їхні експлуатаційні властивості й характер процесів, що відбуваються на поверхнях (наприклад, на тертя й зношування, контактні деформації, концентрацію напруг, втомну й ударну міцності, корозійну стійкість, герметичність і міцність з'єднань, магнітні властивості, міцність і якість покриттів).

За ДСТ 2789-2013 установлені наступні параметри шорсткості поверхні:  $R_a$ - середнє арифметичне відхилення профілю, у мкм;  $R_z$ - висота нерівностей профілю по десяти крапкам, у мкм;  $R_{max}$ - найбільша висота нерівностей профілю, у мкм;  $S_m$ - середній крок нерівностей профілю, у мкм;  $S$  - середній крок нерівностей профілю по вершинах, у мкм;  $t_p$  - відносна опорна довжина профілю, у мкм.

У процесі обробки різанням формування мікропрофілю обробленої поверхні відбувається під впливом наступних основних факторів:

- геометричних (головний кут у плані  $\varphi$ , допоміжний кут у плані  $\varphi_1$ , радіус при вершині  $r$ , шорсткість формотворної поверхонь різального інструменту  $R_{\text{и}}$ , кількість що брав участь в обробці ріжучих крайок  $z$ );

- кінематичних (подача  $S$ , зсув ріжучих крайок  $\delta z$ , неоднаковість кутів у плані на що бере участь у роботі ріжучих крайках  $\delta\varphi$  і  $\delta\varphi_1$ );

- факторів, що впливають на умови пластичного деформування матеріалу в зоні різання (швидкість різання  $v$ , час роботи інструмента  $T_{\text{и}}$ , радіус округлення ріжучої крайки  $\rho$ , зношування інструмента  $h_3$ , глибина

різання  $t$ , передній кут  $\gamma$ , задній кут  $\alpha$ );

- властивостей оброблюваного матеріалу  $M$ ;
- властивостей інструментального матеріалу  $I$ ;
- динамічного стану  $D$  технологічної системи;
- властивостей і способів підведення ЗОТС і вторинних властивостей у зоні різання – температури  $T$  и коефіцієнта тертя  $f$ .

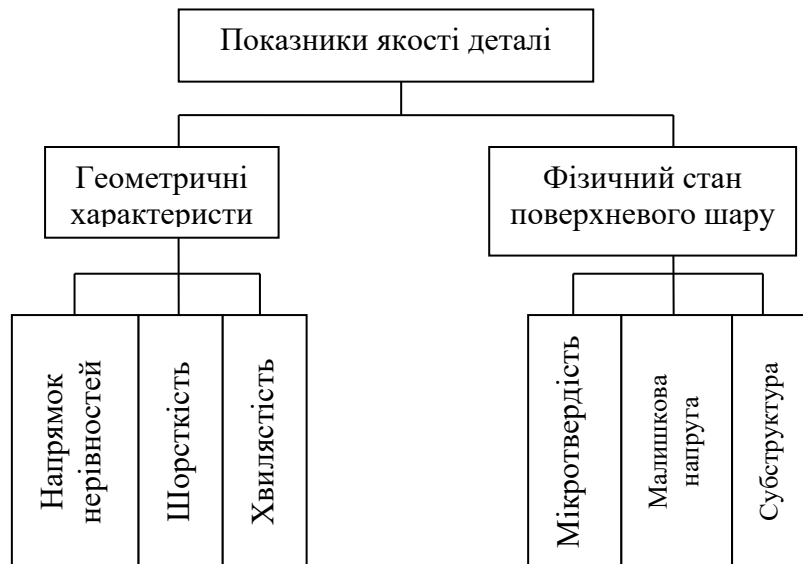


Рисунок 3.1 - Класифікація параметрів якості поверхневого шару деталі.

Формування шорсткості поверхні можна представити композиційною моделлю, що містить детерміновану (регулярну, періодичну) основу, що й накладає на її випадковий компонент (Рис.3.2).

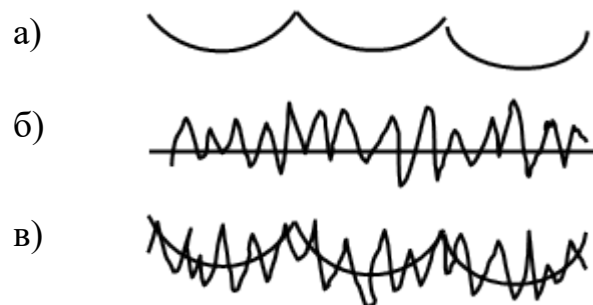


Рисунок 3.2. - Композиційна модель шорсткості поверхні: а-а - детермінована основа; б-б - випадкова складова; в-в - сумарна складова.

При лезовій обробці відхилення реального мікропрофілю від розрахункового детермінованого відбувається в результаті вторинних пластичних деформацій. У зоні контакту інструмента і оброблюваної

поверхні, пружного відновлення поверхневого шару і появи вібрацій при різанні.

Вторинні пластичні деформації відбуваються в зоні контакту головної й допоміжної задніх поверхонь інструмента або наросту з оброблюваним матеріалом. У результаті на обробленій поверхні спостерігаються задири, вириви, відбувається деформація залишкових гребінців. Задири з'являються в місцях підвищених коефіцієнтів тертя й контактних навантажень на задній поверхні.

Періодично повторювані вириви на обробленій поверхні спостерігаються в місцях відриву поверхневого рідкотекучого шару від кристалічної основи, при плинні оброблюваного матеріалу щодо інструмента. Нерегулярні вириви неповторюваної форми викликані, як правило, утвором наросту. Деформація залишкових гребінців особливо істотна при малих значеннях подач, що викликають збільшення не тільки висоти мікронерівностей, але й рівня випадкової складовій у результаті нерівномірного розподілу деформацій по довжині гребінця.

Відхилення реальної шорсткості від розрахункової в значній мірі залежить від динамічної твердості технологічної системи.

технологічних факторів найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні виявляє подача (товщина зрізу). Характерна залежність показника  $R_a$  від подачі наведена на рис. 3.3. Зі збільшенням  $s$  залежність шорсткості від подачі наближається до виду  $R_a=f(s^2)$ , тобто до розрахункової детермінованою складовій. Зі зменшенням подачі  $s$  ця залежність порушується в результаті збільшення частки випадкової складової й зростання впливу вторинних пластичних деформацій.

При  $s < 0,05...0,02$  мм/об (рис. 3.4), особливо при обробці грузлих матеріалів, шорсткість практично не залежить від  $s$  і навіть може збільшуватися при подальшому її зменшенні. Пояснюється це тим, що при таких малих подачах величина залишкових гребінців стає порівнянною й навіть менше нерівностей, викликуваних вторинними пластичними

деформаціями.

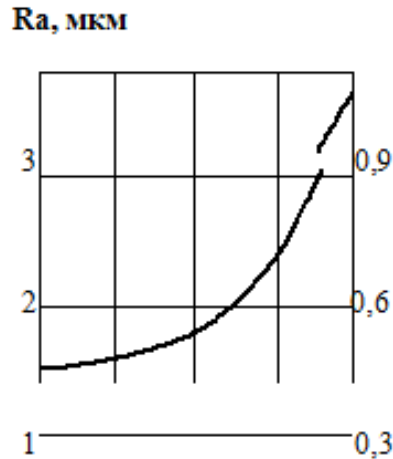


Рисунок 3.3 - Вплив подачі на шорсткість поверхні при точінні

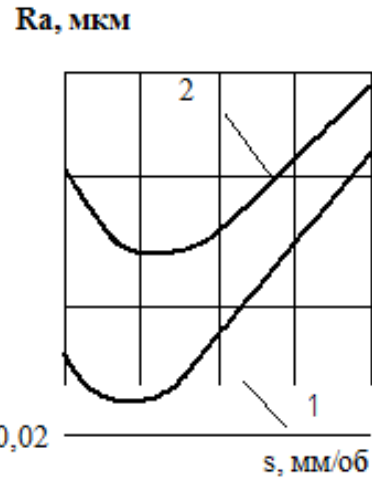


Рисунок 3.4 - Зміна шорсткості поверхні

08X18H10T при  $v = 60\text{м/хв}$  і  $t=1\text{ мм}$  при точінні з малими подачами:

1 –сталь 40X; 2 – 08X18H10T

Зміна шорсткості залежно від швидкості обумовлене температурою й умовами тертя в зоні різання. При малих швидкостях різання порівняно низька пластичність матеріалу сприяє збільшенню випадкової складової шорсткості, особливо при швидкостях різання, що відповідають інтенсивному утворенню наросту. Подальше збільшення  $V$  викликає плавне зменшення шорсткості за рахунок збільшення пластичності оброблюваного матеріалу й зменшення коефіцієнтів тертя в зоні різання. При досить більших швидкостях різання частка випадкової складової може зменшитися настільки, що реальна шорсткість практично зрівняється з розрахунковою детермінованою. Характерна залежність впливу швидкості на показник  $Rz$  показана на рис. 3.5.

Глибина різання (ширина шару, що зрізується) практично не впливає на шорсткість обробленої поверхні. З геометричних параметрів різального інструменту найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні виявляють кути в плані  $\varphi$  і  $\varphi_1$ , а також радіус при вершині різця  $r$  (див. рис. 3.6).

У всіх випадках зменшенню шорсткості сприяє створення на ріжучих крайках фасок з кутом у плані  $\varphi = 0$ ,  $t > 1,5$ .

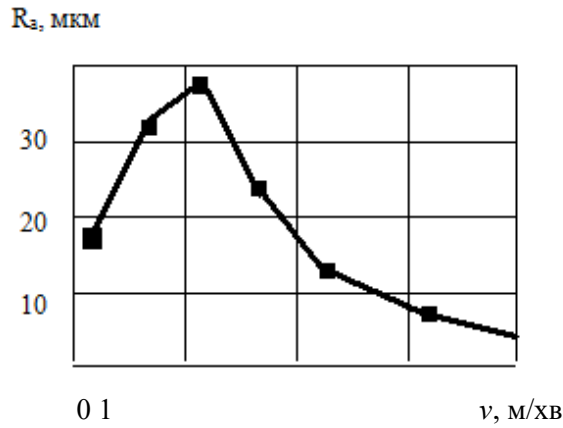


Рисунок 3.5 - Вплив швидкості різання на шорсткість поверхні сталі 08X18H10T.

Збільшення переднього й зменшення заднього кутів інструмента сприяє якомусь (до 15%) зменшенню шорсткості обробленої деталі [28], однак у реальних межах їх зміни цим впливом можна зневажити; вибрати значення цих кутів впливає з урахуванням сил різання, стійкості інструментів [36-38].

Вплив інструментального матеріалу на шорсткість обробленої поверхні обумовлене тертям на робочих поверхнях інструмента й зношуванням. Зміна марки інструментального матеріалу в межах однієї групи (швидкорізальні сталі, тверді сплави – вольфрамкові, титановольфрамкові) майже не впливає на шорсткість обробленої поверхні, тому що умови тертя в зоні різання для всіх матеріалів однієї групи практично однакові.

При використанні твердих сплавів шорсткість трохи зменшується зі зменшенням змісту кобальту; застосування титановольфрамкових твердих сплавів сприяє деякому зменшенню шорсткості в порівнянні з вольфрамовими.

Застосування інструментів із синтетичних або натуральних мінералів сприяє різкому зниженню шорсткості обробленої поверхні за рахунок зменшення сил тертя на контактних поверхнях інструмента і як результат зменшення рівня випадкової складовій. Використання як інструментальний матеріал алмаза, що має найменший коефіцієнт тертя в парі з металами, сприяє різкому зменшенню  $R_a$  і наближенню реальної шорсткості до розрахункової детермінанти (рис. 3.6).

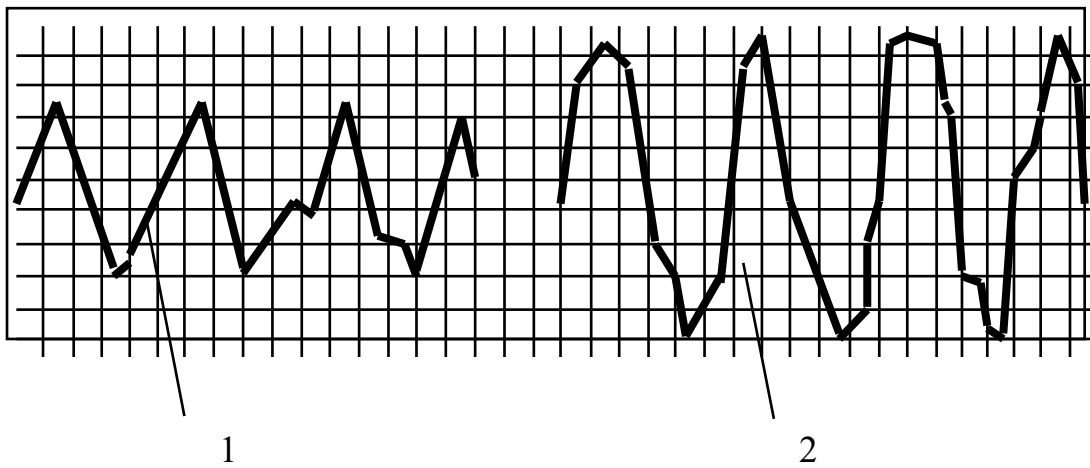


Рисунок 3.6 - Профілограми поверхонь, оброблених керамічним ВОК71 (1) і тврдосплавним інструментом Т15К6 (2):  $v = 120 \text{ м/хв}$ ;  $s = 0,07 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0,2 \text{ мм}$

У міру зношування інструмента шорсткість обробленої поверхні зростає й до кінця періоду стійкості збільшується при гостринні на 57%, циліндричному фрезеруванні – на 115%, торцевому фрезеруванні – на 45%, свердлінні – на 30%, розгортанні – на 20%.

Пластична деформація поверхневого шару приводить до різкої зміни структури: фрагментації зерен, виникненню мікровикривлень, збільшенню на кілька порядків щільності дислокацій. Мікроструктура поверхневого шару розглядається в поперечному (нормальному) перетині або на косих зрізах залежно від товщини деформованого шару. Як правило, у поперечному перерізі структура поверхневого шару складається із зерен твердого розчину, витягнутих у напрямку руху інструмента.

Мікроструктура поверхневого шару залежить від факторів, що визначають протікання пластичних деформацій у зоні різання. Збільшення ступеня зміни мікроструктури відбувається зі збільшенням подачі, радіуса округлення ріжучої крайки, зменшенням переднього кута, а також при підвищеному зношуванні інструмента.

### **3.2 Теоретичні дослідження виникнення вібрацій при різанні металів**

Виникнення вібрацій при різанні сприяє інтенсивному зношуванню різального інструменту, зниженню довговічності виконавчих механізмів верстата, викликає зниження точності обробки й погіршення якості поверхневого шару виробу [5, 25, 26].

Даний процес характеризується силами, що обурюють, інерційними й пружно дисипативними властивостями системи. залежності, що обурюють сили в, від фізичної сутності механізму порушення вібрацій, що діє на технологічну систему, приводять до виникнення власних загасаючих і змушених коливань, а також автоколивань, параметрично порушуваних і інших коливань.

Внаслідок впливу на технологічну систему зовнішньої періодичної сили, що викликає коливальний процес із частотою, рівній частоті сили, що обурює, або складні періодичні процеси, обумовлені нелінійними властивостями системи, виникають змушені коливання. Інтенсивність змушених коливань особливо велика на резонансних режимах, які, як правило, не припустимі в металорізальних верстатах у якості робочих режимів. Зниження інтенсивності й рівня коливань у технологічній системі є актуальною проблемою, яка зважується на основі динамічного синтезу параметрів розробленими методами [24].

Автоколивання характеризуються тим, що сили, що підтримують коливальний процес, виникають у самому процесі коливань. Таким чином, автоколивання є самозбудними коливаннями, що виникають при настановних переміщеннях робочих органів верстата й у робочих режимах повільних подач (фрикційні автоколивання), а також у процесі обробки заготовки (автоколивання при різанні) [24, 25, 26, 27]. Для систем з кінцевим числом ступенів волі можливі автоколивання на різних частотах, близьких до частот власних коливань і практично незалежних від показників режимів різання. Амплітуда автоколивань суттєво залежить від умов обробки, так при

збільшенні ширини зрізу збільшується амплітуда автоколивань, а також від рівня дисипації енергії в системі. Визначення границі області стійкості системи дозволяє при виборі режимів обробки виключити з експлуатаційних автоколивальні режими, які є, як правило, неприпустимими, особливо при чистовій обробці.

Вивченню автоколивань при різанні металів присвячені ряд фундаментальних досліджень: І.С.Амосова, Б.П.Бармина [28], В.Л.Вейца [23, 30], Д.В.Василькова [22, 39], В.В.Максарова [29, 30], Ю.І.Городецького, Н.А.Дроздова, І.Г.Жаркова, В.Л.Заковоротного, В.В.Зарса, А.І.Каширина, В.О.Кононенко, В.А.Кудинова [32], Л.К.Кучми, Л.С. Мурашкина, С.Л.Мурашкина, В.І.Петрова, В.Н.Подураева, А.В.Пушачи, В.Є.Пушачи, Д.Н.Решетова, А.П.Соколовського [44], Н.І.Ташлицького, М.Е.Сльясберга [24] і інших авторів.

Єдності поглядів у розумінні особливостей механізму порушення автоколивань у технологічній системі в цей час не існує. Це пояснюється його складністю й недостатньою вивченістю. Тому сучасні вистави про джерела виникнення автоколивань у технологічній системі механічній обробці різанням засновані на різних гіпотезах.

Вібрації при різанні металів довгий час уважалися змушеними коливаннями. Трактуювання вібрацій, як змушених коливань уперше спростував Н. А. Дроздів. У своїх дослідженнях він установив, що частота вібрацій практично залишається незмінною в широкому діапазоні швидкостей різання. На підставі цього Н. А. Дроздів дійшов висновку, що вібрації, породжувані процесом різання, слід уважати автоколиваннями.

А. І. Каширин першим спробував створити теорію вібрацій при різанні на базі теорії автоколивального процесу. Ґрунтуючись на аналогіях з деякими іншими видами механічних автоколивань, він основне значення надавав існуванню залежності сили тертя стружки про поверхню різця від швидкості різання (наявності падаючої характеристики).

Природа утвору вібрацій пояснюється впливом пластичних деформацій

і теплових явищ на сили тертя при різанні.

Теорія А.П. Соколовського [44] також виходить із особливостей зміни сили різання, однак фізична сутність, що мають тут місце залежностей пояснюється інакше, чому в А. І. Каширина.

А. П. Соколовский вважає, що сили, що виникають у зв'язку з падаючою характеристикою, не є основними силами, що підтримують коливання, тому що вони самі по собі малі. Він розглядає виникнення автоколивань у той момент, коли інструмент обробляє щораз нову поверхню, що не має хвилястості й вібраційного наклепу від попереднього проходу. При одного разу виникаючих коливаннях різець періодично впроваджується в метал те на більшу, то на меншу глибину. При впровадженні в метал різець буде зрізати свіжі, менш зміцнені, а при виході з металу вже деформовані, більш зміцнені шари металу. Тому сила різання, що виникає під час виходу різця з металу й відразлива деталь від різця, буде більше сили різання, що виникає при впровадженні різця в метал і перешкоджаючої наближенню деталі до різця.

Л.С.Мурашкин, С.Л.Мурашкин припускали, що нестійкість процесу різання може викликатися залежністю сили різання від швидкості, що має падаючу характеристику. При цьому розглядалася наявність поперемінно падаючих ділянок, що й піднімаються, характеристики сил різання по швидкості, а також їх нелінійність.

По І.І. Ильницькому [32] основною причиною порушення автоколивань є змінна сила, що діє по задній грані й виникаюча у зв'язку з періодичною зміною задніх кутів у процесі коливань. Величина сили тертя, що діє по задній грані й залежна від величини заднього кута, у півперіод прогину різця вниз – збільшується, а в півперіод руху його нагору – зменшується. Ця змінна сила тертя й забезпечує підтримку незатухаючих коливальних процесів різання.

І. Глустый і В. А. Кудинов [4] незалежно друг від друга висунули теорію, засновану на принципі координатного зв'язку, сутність якої полягає в наступному.

Якщо тіло робить коливання в площині по двом напрямкам і ці

коливання зв'язано один з одним, то при коливаннях у деяких випадках може вийти позитивна робота за цикл, хоча рух по кожному із цих напрямків окремо відбувалися б з поглинанням роботи. І. Тлустый і В. А. Кудинов ураховують два ступені волі системи й одночасно розглядають коливання як у напрямку дії сили  $P_y$ , так і в напрямку дії сили  $P_z$ .

Пізніше В.А. Кудинов [4], вивчаючи закономірності й умови, при яких відсутні коливання, з погляду стійкості руху заданої механічної системи зі змішаним тертям, пояснив природу розривних автоколивань при терті в металорізальних верстатах.

Перехід від стійкого руху до появи автоколивань одержав наступне трактування. Якщо рух нестійкий, то випадково виникле відхилення починає зростати. При коливальному періодичному характері нестійкості, практично найпоширенішому, зростає амплітуда коливань. У деяких випадках таке зростання триває аж до руйнування системи. В.А.Кудиновим було вперше введене поняття динамічної характеристики різання, як елемента динамічної системи верстата, що представляє собою залежність зміни сили різання від, що викликав ця зміна відносного зсуву заготовки й інструмента. Уведене принципово нове поняття постійної часу стружкоутворення  $T_p$ , зазначене на її пряму залежність від розміру усадки й зворотну залежність від швидкості різання  $V_s$ . Сила, утворена в процесі різання, при цьому відстає по фазі від зміни товщини шару, що зрізується, роблячи роботу, підтримує в технологічній системі автоколивальний процес.

М.Е. Єльясберг [24] запропонував теорію автоколивань металорізальних верстатів на основі особливостей фізичного процесу, що протікає при різанні металу. У якості феноменологічного фактора, що викликає можливість нестійкості системи, прийняте запізнювання обох видів сил стосовно відповідних до збурювань, неминуче при руйнуючій деформації пружно-грузлих металів. Сюди ставиться запізнювання сили різання щодо коливання перетину металу, що зрізується, і сили тертя щодо коливання сили різання.

У роботі І.Г. Жаркова був проведений аналіз впливу швидкості різання

на процес різання й стан пластичної зони. Аналіз показав, що швидка зміна швидкості різання при малих відносних зсувах інструмента й заготовки впливає на силу різання, і тільки при значних змінах швидкості різання (більших амплітудах коливань) її вплив на силу різання може стати істотним.

Аналіз існуючих гіпотез порушення автоколивань, заснованих на фізичній виставі процесу різання, дозволяє перераховані вище фактори вважати не стільки причиною, скільки наслідком активного пластичного деформування й руйнування оброблюваного металу в процесі стружкоутворення.

Враховуючи вищевикладене, можна виділити наступні гіпотези про джерела виникнення автоколивань у технологічній системі механічної обробки різанням:

1. наявність ділянки падаючої характеристики. Залежність швидкості різання від сили різання;
2. наявність координатного зв'язку в пружній системі при наявності неконсервативної сили різання;
3. замкнутість динамічної системи верстата при наявності динамічної характеристики різання;
4. запізнювання сил різання стосовно відповідних до збурювань, що виникають при деформації металів у локальній зоні в процесі різання.

Найбільше застосування в практиці динамічних розрахунків має гіпотеза про запізнювання сил різання, яке зв'язується з інерційністю пластичної деформації.

У моделі М.Е. Єльясберга «Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія й практика.» передбачається, що причиною порушення автоколивань у технологічній системі при різанні є наявність запізнілих сил різання  $P$  стосовно координати  $X$  і сили тертя  $Q$  по відношенню силі  $P$ . З теорії автоматичного керування відомо, що система є стійкої, якщо енергія, внесена внаслідок запізнювання сил, повністю розсіюється (рис. 3.7).

Тут і надалі розглядається ортогональна система координат  $XOY$ , де вісь

$OX$  спрямована по нормалі назовні до оброблюваної поверхні у вершині різця, вісь  $OY$  – перпендикулярно до осі  $OX$ , утворює праву систему координат. З метою спрощення вважається, що осі  $OX$  і  $OY$  відповідають головним осям деформації технологічної системи, причому розглядається вільне різання інструментом з нульовим переднім кутом.

Автор гіпотези виходив із пропозиції, що причиною запізнювання сил при різанні металу є специфічні особливості деформації. Передбачалося, що процес стружкоутворення супроводжується утвором випереджальної порожнини, що визначає переривчастість процесу різання. Наявність випереджальної порожнини в леза різця викликає запізнювання коливання сил різання  $P$  щодо коливань координати  $x$ .

Хоча автором гіпотези розроблена відповідна апаратура й методика визначення при проведенні відповідних експериментів запізнювання, наявність випереджальної порожнини, особливо стосовно до пластичних матеріалів, викликало критичне відношення до цієї гіпотези.

Не вдаючись в обговорення проблеми утвору (або не утвору) випереджальної порожнини при різанні, відзначимо безсумнівну продуктивність самої ідеї запізнюванні сили різання й сили тертя як причини, що породжує нестійкість процесу різання й виникнення автоколивань. Відзначимо, що ця ідея одержала розвиток на основі аналізу процесів стружкоутворення з урахуванням явищ у зоні різання. Аналіз процесів у первинній і вторинній зонах пластичної деформації (у зоні контакту різця з оброблюваним матеріалом) дозволив на рівні сучасних вистав про руйнування матеріалів і процесу тертя розвинути вихідні положення Е.М. Єльясберга при дослідженні динаміки технологічної системи механічної обробки різанням.

Вихідна гіпотеза про запізнілі сили вважається, що сила різання  $\Delta P$  запізнюється у своїй зміні щодо зміни переміщення  $\Delta x$  стосовно нормалі в контактній крапці оброблюваної поверхні заготовки. Зміна сили тертя  $\Delta Q$ , у свою чергу, запізнюється стосовно зміни сили різання  $\Delta P$ . Час запізнювання позначається відповідно  $\tau_p$  і  $\tau_Q$ . На схемі (рис.3.7) представлена найпростіша

двоконтурна система (з нормальним і дотичним контурами) при розточуванні. Тут  $m_x, m_y$  – наведені маси контурів;  $C_x, C_y$  – коефіцієнти твердості контурів;  $b_x, b_y, v_x, v_y$  – відповідні коефіцієнти розсіювання енергії контурів  $x$  і  $y$ .

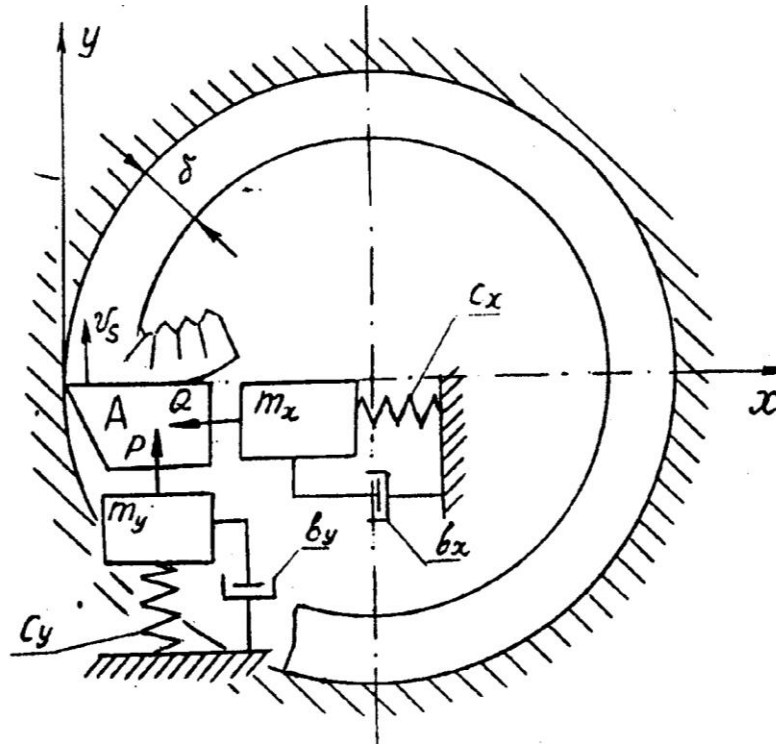


Рисунок 3.7 - Найпростіша двоконтурна система при розточуванні

Значення сили різання  $P_s$ , що встановилося, визначається по формулі

$$P_s = kb_c \delta^\varepsilon \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт різання;  $b_c$  – ширина шару, що зрізується;  $\delta$  – товщина шару, що зрізується;  $\varepsilon$  – постійна нелінійної залежності статичної сили різання.

Шляхи різця під час запізнювання позначимо відповідно  $l_p$  і  $l_q$ , визначаючи їх згідно із залежностями:

$$l_p = \int_0^{\tau_p} (v_s + \Delta \dot{y}) dt = v_s \tau_p + \int_0^{\tau_p} \Delta \dot{y} dt ; \quad (2)$$

$$l_q = \int_0^{\tau_q} (v_s + \Delta \dot{y} + \zeta \Delta \dot{\chi}) dt = v_s \tau_q + \int_0^{\tau_q} (\Delta \dot{y} + \zeta \Delta \dot{\chi}) dt , \quad (3)$$

де  $v_s$  – статична складова швидкості різання (ухвалюється  $v_s = \text{const}$ );  $\tau_p$ ,

$\tau_Q$  – інтервали часу запізнювання для сил  $P$  і  $Q$  відповідно;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  - збільшення координат  $x$  і  $y$  у процесі коливань (ухвалюються малими);  $\zeta$  – коефіцієнт усадки стружки (єднальний залежністю  $l_q = \zeta l'_q$  шлях запізнювання  $l'_Q$  у напрямку  $x$  зі шляхом  $l_q$  запізнювання, який проходить різець у напрямку  $y$  за час  $\tau_Q$ ).

Уважаючись, що  $l_p \sim \text{const}$ ,  $l_q \sim \text{const}$ , і, використовуючи допущення про малу зміну  $\Delta x$  і  $\Delta y$  за інтервали часу  $\tau_p$  і  $\tau_Q$ , отримані приблизні залежності:

$$\tau_p \sim l_p / (v_s + \Delta y); \tau_q \sim l_q / (v_s + \Delta y + \zeta \Delta x) \quad (4)$$

Якщо для рівноважного стану системи покласти  $\Delta x = 0$ ,  $\Delta y = 0$ , то можна виділити постійні часу запізнювання  $T_p$  і  $T_Q$  відповідно для сил  $P$  і  $Q$

$$T_p = l_p / v_s; T_Q = l_q / v_s. \quad (5)$$

Методи експериментального визначення величин  $l_p$  і  $l_q$  для розрахунків  $T_p$  і  $T_Q$  і відповідні довідкові дані для різних оброблюваних матеріалів представлені в роботі Єльясберга М.Е. {Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія й практика.}.

Рівняння для запізнілих сил записуються у вигляді

$$-\Delta P(t) = B \Delta x(t - \tau_p); -\Delta Q(t) = f \Delta p(t - \tau_q), \quad (6)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя стружки про передню поверхню різця;

$B = kb_c \varepsilon \delta^{\varepsilon-1}$  - коефіцієнт збудження контуру  $x$ .

Відзначимо, що в зоні контакту стружки з передньою поверхнею різця (у так званій вторинній зоні пластичної деформації) має місце складний процес розподілу тисків. Сам процес тертя характеризується як чисто механічним взаємодія мікронерівностей контактуючих поверхонь, так і адгезійними процесами, що супроводжується аномальним зміцненням і інтенсивним тепловиділенням. Поняття ``коефіцієнт тертя`` тут, загалом кажучи, істотно відрізняється від загальноприйнятого у вузлах тертя. Відзначимо, що у використуваній М.Е. Єльясбергом інтерпретації,

фактично розглядається квазістатична інтегральна характеристика тертя.

Таким чином, М.Е. Єльясбергом зовсім справедливо відзначена неправомірність при формуванні динамічної моделі технологічної системи використання квазістатичної характеристики сили різання, у його побудовах не вдалося уникнути такого ж підходу. Мова йде як про розглянуту вище характеристику різання (9), так і характеристиці тертя (6). Однак у комбінації з гіпотезою про запізнілі сили ця обставина не є істотною, хоча й вимагає уточнення при розробці більш обґрунтованих моделей.

Рівняння запізнювання можна переписати у вигляді

$$\begin{aligned}\Delta P(t+\tau_P) &= -B\Delta x(t); \\ \Delta Q(t+\tau_Q) &= f\Delta P(t).\end{aligned}\quad (7)$$

Ліві частини рівнянь (15) розкладемо в статичній ряд по ступенях  $\tau_P$  і  $\tau_Q$  і, уважаючи останні малими величинами, обмежимося лінійними членами:

$$\begin{aligned}\Delta P + \Delta P' \tau_P + \dots &= -B\Delta x(t); \\ \Delta Q + \Delta Q' \tau_Q + \dots &= f\Delta P(t)\end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned}\tau_P \Delta P' + \Delta P + B\Delta x &= 0; \\ \tau_P \Delta Q' + \Delta Q - f\Delta P &= 0.\end{aligned}\quad (8)$$

Тут для інтервалів часу  $\tau_P$  і  $\tau_Q$  з урахуванням (7) отримані залежності

$$\tau_P = T_P / \left( 1 + \frac{\Delta \dot{Y}}{v_s} \right); \tau_Q = T_Q / \left[ 1 + \frac{\Delta \dot{Y} + \zeta \Delta \dot{X}}{v_s} \right].\quad (9)$$

Тоді рівняння запізнювання відповідно викладеному вище можна записати у вигляді

$$v_s(T_P \Delta P' + \Delta P + B\Delta x) = -(\Delta P + B\Delta x) \Delta y';\quad (10)$$

$$v_s(T_Q \Delta Q' + \Delta Q - f\Delta P) = -(\Delta Q - f\Delta P)(\Delta y' - \zeta \Delta x').\quad (11)$$

Рівняння запізнювання у формі (18) є нелінійними, що за певних умов обумовлює існування граничного циклу – замкненої фазової траєкторії, до якої як завгодно близько підходять (або, навпаки, відходять від них) інші, сусідні з ним траєкторії. Поняття граничного циклу, запропонованого Пуанкаре, широко використовується в теорії нелінійних коливань стосовно до систем другого порядку, розглянутим у фазовій площині. При розв'язку практично важливих завдань динаміки технологічної системи однієї з найбільш актуальних є завдання побудови границі області стійкості в просторі варійованих параметрів режимів різання, причому в якості таких ухвалюються:  $v_s$ -статична складова швидкості різання й  $\delta$  (або  $b_c$ )-товщина (або ширина) шару, що зрізується. Природно, таке завдання може розглядатися як приватне однокритеріальне завдання синтезу з динамічним критерієм якості – стійкістю системи.

Відзначимо, що в число варійованих параметрів технологічної системи механічної обробки крім зазначених ( $\delta$ ,  $v_s$  ( $b_c$ )), можуть входити інші параметри режимів різання, зокрема подача на оберт  $s$  або подача на зуб  $s_z$  для багатолезового інструмента; деякі параметри інструмента (наприклад, перетин тіла різця  $F_{рез}$  і радіус закруглення  $r$  вершини різця, головний кут у плані  $\varphi$  і ін.). Крім того, до числа варійованих параметрів можна віднести параметри твердості інструмента (діаметр і виліт оправлення при розточуванні, елементи закріплення інструмента та ін.). Таким чином, у загальній постановці завдання синтезу параметрів є багатопараметричної. Вибір двох зазначених найважливіших параметрів зв'язаний із прагненням до спрощення завдання.

Як відомо, критерій стійкості системи, будучи найважливішим з динамічних критеріїв, не є єдиним у загальному підході при постановці завдання оптимального синтезу.

Таким чином, завдання оптимізації режимів різання в процесі механічної обробки можна вважати багатопараметричної і багатокритеріальною. З метою спрощень звичайно використовується метод поділу: спочатку вирішується завдання оптимізації щодо статичних критеріїв

(продуктивності, собівартості), потім здійснюється перевірка виконання умови стійкості процесу різання. Якщо, як це звичайно відбувається, стійкість при обраних режимах на першому етапі не забезпечується, то на основі обраної схеми компромісу з використанням критерію стійкості здійснюється коректування прийнятих режимів обробки. Природно, що доставляється в такий спосіб розв'язок завдання вибору режимів різання механічної обробки різанням не є строго оптимальним і може розглядатися як свого роду квазіоптимальний режим.

Прагнення до максимального спрощення розв'язку завдання стійкості технологічної системи механічної обробки різанням привело до використання лінійних (лінеаризованих) моделей таких систем. У розглянутій роботі М.Е. Сльясберга виконана примітивна лінеаризація:

$$(v\xi)_\Delta \sim a_\xi v + a_v \xi,$$

де  $a_\xi$ ,  $a_v$  – постійні координати, що відповідають фіксованим значенням  $\xi$ ,  $v$  на досить малому інтервалі лінеаризації.

Відповідно до цього вираження

$$R = (\Delta P + B \Delta x) \Delta y'$$

У правій частині рівняння (18) представляється у вигляді

$$R = a_y (\Delta P + B \Delta x) + (a_P + a_x) \Delta y'.$$

Зневажаючи величиною  $a_y (\Delta P + B \Delta x)$  порівняно з  $v_s (\Delta P + B \Delta x)$  у лівій частині рівняння й використовуючи умову балансу енергії коливань нелінійної й лінеаризованих систем (у припущенні, що коливання близькі до гармонійних), у роботі М.Е. Сльясберга отримане наближене вираження

$$R = \mu (P_s - B \Delta x_s) y'. \quad (12)$$

Тут  $x = \Delta x / x_s$ ;  $y = \Delta y / y_s$ ;  $x_s$ ;  $y_s$  – статичні величини переміщень по осях  $x$  і  $y$  відповідно;  $\mu$  – коефіцієнт, обумовлений досвідченим шляхом і який

характеризує величину амплітуди, припустиму при практично спокійному різанні. Що стосується рівняння (19), те при лінеаризації права частина відкидається.

Таким чином, у лінеаризованій моделі рівняння запізнювання представляються у вигляді

$$T_P P' + P = -k_x x - k_y y'; \quad (13)$$

$$T_Q Q' + Q = P, \quad (14)$$

де  $P = \Delta P / P_s$ ;  $Q = \Delta Q / Q_s$  – безрозмірні сили;  $k_x = fB / c_x$  – передатний коефіцієнт контуру  $x$ ;  $k_y = \mu(P_s - Bx_s) / (v_s c_y)$  – коефіцієнт зв'язку контурів  $x$  и  $B$ .

Використовуючи ці рівняння разом з диференціальними рівняннями в напрямках осей  $x$  и  $B$ , можна одержати замкнену систему диференціальних рівнянь технологічної системи механічної обробки різанням у лінеаризованому виді, на підставі якої вирішується завдання стійкості по першому наближенню.

### **3.3 Методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання**

У цей час найбільш важливим напрямком науково-дослідних робіт з гасіння автоколивань є глибоке вивчення причин, що викликає автоколивання й методів зниження їх інтенсивності, тому що стійкість процесу різання в досить широкому діапазоні технологічних режимів є однією з основних умов, якому повинна задовольняти технологічна система. При аналізі стійкості процесу різання необхідно розглядати спільно як закономірності, що супроводжують деформації оброблюваного металу, так і структуру механічної системи, що відображає верстат.

Найбільш типовими робочими процесами для металорізальних верстатів є процес різання, процес тертя й процеси у двигуні, безпосередньому зв'язку між якими не існує. Процеси можуть взаємодіяти між собою тільки через

пружну систему.

Виходячи з того, що багатоконтурність динамічної системи утрудняє її аналіз, здійснюють спрощення, відкидаючи несуттєві зв'язки, представляючи багатоконтурну систему верстата у вигляді одного контуру, що включає пружну еквівалентну систему й досліджуваний процес різання.

Як вказувалося вище, втрата стійкості процесу різання приводить до виникнення автоколивань, що негативно відбивається на якості обробки, сприяє підвищенню інтенсивності зношування різального інструменту, що є неприпустимим у діапазоні робочих режимів. Тому однієї з основних завдань динамічного синтезу є визначення границі області стійкості системи.

У більшості випадків підвищення твердості технологічної системи веде до зниження інтенсивності автоколивань, тому що при цьому підвищується частота вільних коливань системи.

Дія сил, що обурюють, можна звести до мінімуму правильним конструюванням геометрії ріжучої крайки й інструмента в цілому. Оптимальні для роботи різці - різці з більшими головними й допоміжними кутами в плані ( $\varphi = 45^\circ \div 75^\circ; \varphi_1 \geq 15^\circ$ ), з більшими позитивними передніми кутами, з малим радіусом при вершині різця.

Великий практичний ефект досягається зміною схеми навантаження пружної системи силами різання. Навантажувати систему силами різання необхідно в напрямку осі її найвищої стійкості. Вектор результуючої сили різання повинен сприяти збільшенню динамічної стійкості системи.

При виборі режимів різання слід зазначити негативна дія зняття широких і тонких стружок, тобто збільшення глибини різання при зниженні величини подачі. Таке ж дія на систему виявляє вибір швидкостей різання, що відповідають зоні найбільш інтенсивних автоколивальних процесів (60-150 м/хв.). Також відомий метод підвищення стійкості процесу різання за рахунок періодичної зміни швидкості різання із частотою, значно меншої власної частоти системи; і метод, що полягає у введенні в технологічну систему механічної обробки різанням (ТСМОР) осцилюючої подачі.

При обробці заготовок малої твердості й використанні нежорсткого інструмента, особливо із широким лезом або з ріжучою крайкою для силового різання, для поліпшення динамічних властивостей системи доцільно використовувати спеціальні конструкції віброгасників. Віброгасники діляться на дві групи: віброгасники, що пригнічують високочастотні коливань різця й віброгасники низькочастотні коливання, що пригнічують, заготовки. По фізичній сутності їх дії віброгасники розділяють на механічні й гідравлічні. Дія механічних віброгасників засноване на тому, що в результаті тертя між поверхнями твердих тіл відбувається розсіювання енергії коливань. Дія гідравлічних віброгасників засноване на тому, що при протіканні рідини через отвори невеликого перетину (дроселі, трубопроводи) з більшими швидкостями, що мають місце при коливаннях, виникають більші сили опору, що перешкоджають переміщенням; одночасно енергія коливань поглинається за рахунок тертя в зчленуваннях.

Далі будуть наведені приклади конструкцій різців і новаторських розв'язків змін конструкцій деяких вузлів верстата, виражених в авторських посвідченнях, відібраних за останні двадцять років, які прагнуть до забезпечення динамічної стабільності процесу різання.

### 3.3.1 Підсистема « інструмент»

Підвищені властивості, що демпфірують, державок різців, армованих композиційним матеріалом – синтеграном [1-2], забезпечують зменшення амплітуди коливань при різанні й зниження шорсткості обробленої поверхні, а також збільшення стійкості ріжучої пластини. Збільшення частки синтеграну в співвідношенні його обсягу з обсягом металу сприяє підвищенню логарифмічного декременту коливань, однак приводить до зниження статичної твердості різців внаслідок зменшення моменту інерції перетину сталевого каркаса державки. А це може стати причиною погіршення динамічної якості верстата. Немаловажну роль у впливі, що демпфірує, синтегранової вставки відіграє також площа зчеплення металу із синтеграном, яка при тому самому обсязі синтеграну залежить від форми





поперечного переріза державки.

Для вивчення ступеня впливу перерахованих факторів на статичні й динамічні характеристики державок були виготовлені різці з комбінованими державками, що мають перетину різної форми (табл.3.1).

Використовували синтегран наступного состава: 7% епоксидного компаунда й поліетиленполіамін (затверджувача); 93% габбро-діабазу різних фракцій (наповнювача).

На спеціально розробленому стенді шляхом статичного навантаження і розвантаження при різних вильотах 1 державки різця визначали траєкторії переміщення вершини ріжучої пластини під дією сили, що імітує силу різання. За отриманим даними розраховували характеристики статичної піддатливості й логарифмічний декремент коливань.

Таблиця 3.1 - Аналіз різців з комбінованими державками

Тип державки	Перетин	$\rho, \%$	$S, \text{мм}^2/\text{мм}$ довжини	$I, 10^4 \text{мм}^4$
А		42,8	72,0	0,892
Б		48,0	56,0	1,082
В		46,8	62,7	0,76
Г		60,0	40,0	1,024

Примітка.  $\rho$  - зміст синтеграну;  $S$  - площа зчеплення металу та синтеграну;  $I$  - Момент інерції перетину металевого каркаса.

Аналіз результатів показав, що існує певна взаємодію досліджених факторів; оцінити його кількісно можна тільки за допомогою багатфакторних експериментів. Якісна картина має такий вигляд: 1) зміст  $\rho$  синтеграну впливає на характеристики більше, ніж момент інерції  $I$  перетину каркаса; ріст змісту синтеграну послабляє державку й приводить до збільшення її піддатливості; 2) зміст високого змісту синтеграну з малою площею  $S$  зчеплення його з металом

(незалежно від значення  $I$ ) дає найбільшу піддатливість (державки типу Г); 3) розвинена поверхня зчеплення стали і синтеграну в комбінації з порівняно невеликим змістом останнього забезпечує найменшу піддатливість (державки типу А).

Провівши різносторонні дослідження, дійшли висновку, що найбільшого ефекту від застосування комбінованих державок, армованих синтеграном, слід очікувати при великому відношенні вильоту до висоти перетину державки інструмента, наприклад розточувального. Крім того, слід продовжити пошук оптимальних пропорцій між обсягом синтегранових вставок, формою поперечного переріза державки й припустимим переділом збільшення її піддатливості. Виходячи із цих експериментів, розробили математичну модель державки різця, що представляє собою металеву оболонку з ребрами жорсткості, яка заповнена квазидискретною середовищем, що володіє високо демпфуючими властивостями. Комп'ютерні експерименти на цій моделі свідчать про принципову можливість створення державок різців, зокрема розточувальних, здатних стійко працювати при відношенні вильоту до висоти перетину державки до 6 [3].

Далі наведені методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання.

Винахід ставиться до виготовлення металорізальних інструментів.

Відома конструкція різального інструменту, у якій державку виконують складовою з набору пластин [34]. Ціль винаходу - підвищення стійкості інструмента за рахунок гасіння вібрацій.

Поставлена мета досягається тим, що пластини державки склеюють між собою по площинах, паралельних опорній поверхні державки.

На кресленні зображений різець, виготовлений по пропонованому способу.

Різець складається з ріжучої пластини 1 і складової державки 2, виконаної з набору пластин 3 і 4, склеєних між собою по площинах 5, паралельним опорній поверхні 6 державки 2. (рис.3.8.)

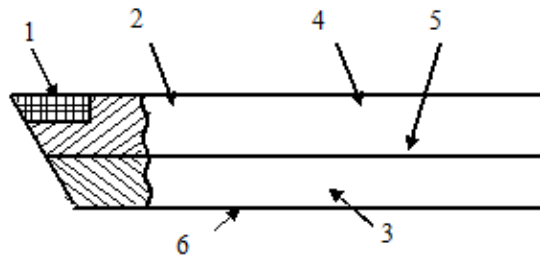


Рисунок. 3.8 - Різець

У процесі роботи інструмента зусилля різання викликають деформації державки. Тонкий еластичний шар клею, розміщений між пластинами, сприймає деформацію, у результаті енергія розсіюється усередині в'язкостійкого шару й коливання гасяться.

Спосіб виготовлення державок різальних інструмент, при якому державку виконують складовій з набору пластин, що відрізняється тим, що, з метою підвищення стійкості інструмента за рахунок гасіння вібрацій, пластини державки склеюють між собою по площинах, паралельних опорній поверхні державки [4]. Недоліком відомої конструкції є недостатня стійкість інструмента.

Відомі різці з механічним кріпленням багатогранної твердосплавної пластинки, установленної на штифті, що й притискається до опорної поверхні державки за допомогою клинового інструмента й притискного болта. Клиновий елемент виконаний у вигляді стрижня, вигнутого в напрямку, протилежному зусиллю притискного болта. Описуваний різець відрізняється від відомих тим, що клиновий вигнутий стрижень має V- образну ділянку. Це дозволяє зменшити вібрацію різця.

На кресленні зображений описуваний різець, вид попереду. (Рис. 3.9)

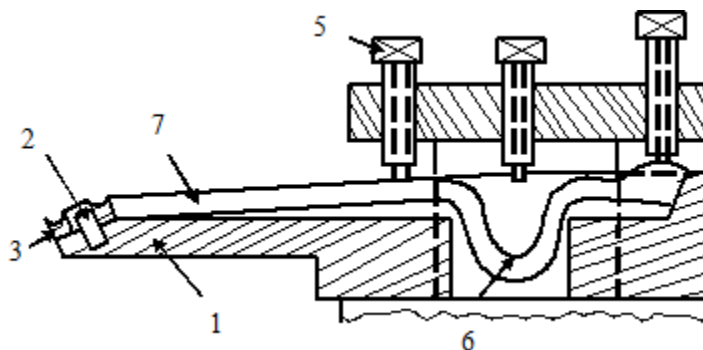


Рисунок 3.9 - Різець

У пазу державки 1 на штифті 2 установлена ріжуча пластина 3, закріплення якої здійснюється клиновим стрижнем 4, вигнутим у напрямку, протилежному зусиллю притискних болтів 5. Стрижень має V-образна ділянка 6.

Недоліком даної конструкції є малий діапазон навантажень і складність конструкції [5].

Відоме застосування еластичних прокладок для усунення вібрацій у деталях металорізальних верстатів і пристосувань.

Вібрації негативно впливають на стійкість ріжучого леза інструмента і якість оброблюваної поверхні. Необхідно ефективно гасити вібрації в процесі різання.

Встановлення віброгасника з еластичних елементів можливо близько до ріжучої частини інструментів сприяє підвищенню стійкості інструмента й поліпшенню чистоти оброблюваної поверхні.

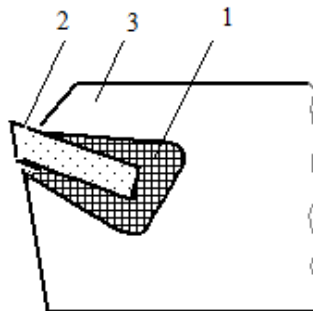
На фіг. 1 і 2 (рис. 3.10) зображені різальні інструмент, постачені віброгасниками, згідно з винаходом; на фіг. 1 і 2 – різці.

Віброгасник 1 виконаний у вигляді еластичної прокладки з матеріалу, що володіє різної в порівнянні із системою ВПД (верстат – пристосування – інструмент - деталь) частотою власних коливань.

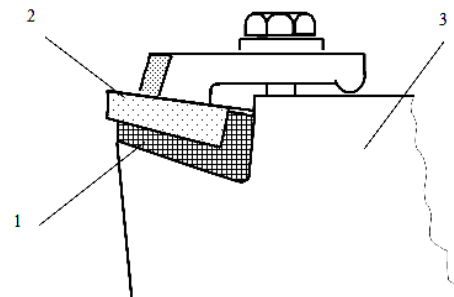
У якості матеріалів для еластичних прокладок 2 можуть бути використані різні види металів, пластмаси, гума й ін.

Прокладки 2 установлюються й кріпляться за допомогою елементів 3.

Недоліком є нестійкість до високих температур [6].



Фігура 1



Фігура 2

Рисунок 3.10 - Різальні інструменти, постачені віброгасителями

Ціль винаходу – підвищення твердості різця при обробці деталей з переривчастими поверхнями.

Поставлена мета досягається тим, що в державке нижче затискного гвинта паралельно ріжучій пластині, уздовж прорізи, виконаний отвір, у якому встановлений опорний елемент, наприклад циліндричний штифт.

На фіг. 1 (рис. 3.11) зображений описуваний різець, вид збоку з вириванням; на фіг. 2 – розріз А-А на фіг. 1; на фіг. 3- різець, вид зверху.

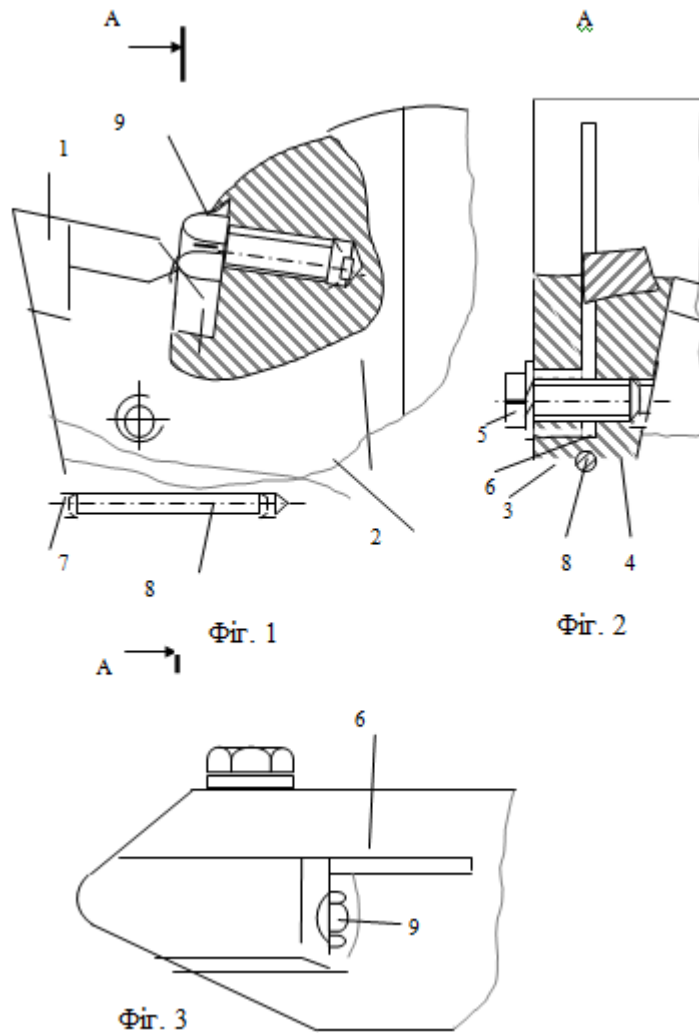


Рисунок 3.11 – Різець.

Різець складається із пластини 1, вставлений у гніздо державки 2 . Пластина 1 затиснута губками 3 і 4 по засобом гвинта 5. У державке 2 нижче займаного гвинта 5 пластині, що паралельно ріже, 1 уздовж прорізу 6 виконаний отвір 7, у яке вставлений опорний елемент, наприклад циліндричний штифт 8. Для виключення випадання штифта 8 при віджиманні

гвинтом 5 губок 3 і 4 вхід отвору на державке 2 расчеканен. Упором для пластини служить гвинт 9, який при переточуваннях ріжучої пластини регулює її виліт з державки.

При роботі різця пластина 1 утримується в гнізді державки 2 гвинтом 9 і губками 3 і 4, стислими гвинтом 5. Штифт 8 при затискачі пластини 1 гвинтом 5 зберігає паралельність губок, що дозволяє при переривчастому різанні розподілити зусилля від затискача й різання рівномірно по бічних поверхнях губок.

Пропонована конструкція різця підвищує твердість і тим самим стійкість ріжучої пластини, що збільшує продуктивність верстата за рахунок зменшення кількості переточувань і перевстановлення різця.

Недоліком даної конструкції є її складність [7].

Метою наступного винаходу є підвищення точності обробки і якість оброблюваної поверхні.

Для цього коливальні переміщення різця, викликані його вібраціями, здійснюють еквідистантно максимальному діаметру оброблюваної деталі.

На кресленні (рис. 3.12.) представлена схема установки різця при реалізації описуваного способу обробки.

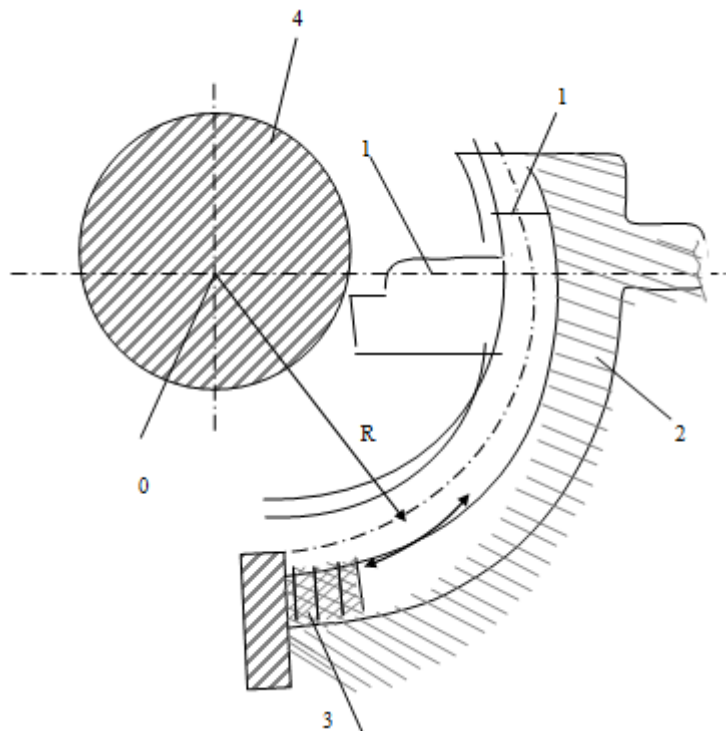


Рисунок 3.12 - Схема установки різця

Різець 1 установлюють у криволінійному пазу різцетримача 2 на пружній опорі 3. Центр кривизни паза різцетримача 2 збігається із центром Про оброблювану деталь 4, а радіус кривизни  $R$  вибирається залежно від величини максимального діаметра оброблюваної деталі.

При виникненні вібрації різець робить коливальні переміщення еквідистантно.

Завдяки наявності упорної опори ці вібрації не передаються на верстат, а коливальні переміщення різця, здійснювані еквідистантно максимальному діаметру оброблюваної деталі, не приводять до зниження точності і якості обробки [8].

Недоліком даної конструкції є індивідуальність для кожної нової форми заготовки.

Наступний винахід - різець з механічним кріпленням пластини, що

Пропонований різець відрізняється тим, що кільцева пружина розклинюючого елемента виконана розрізний по утворюючій. Це підвищує віброгасильний ефект.

На кресленні (рис. 3.13) зображений пропонований різець і розклинюючим елементом.

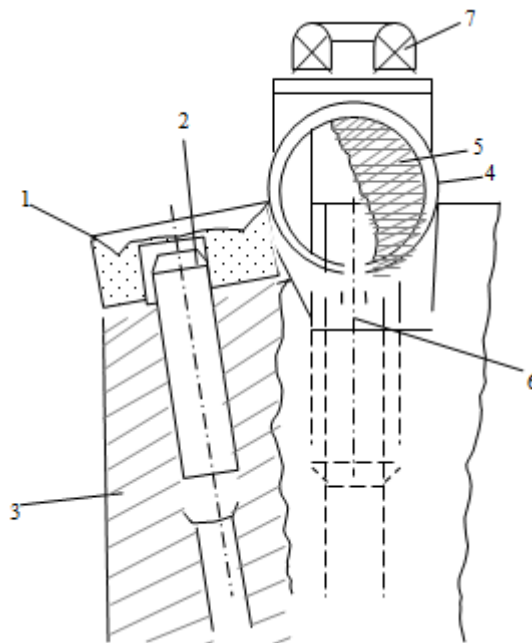


Рисунок 3.13 - Різець і розклинюючий елемент

У різці встановлена ріжуча пластина 1 на штифті 2, запресованому в державку 3, і закріплена розклинюючим елементом у вигляді кільцевої пружини 4, отвір якої заповнене віброгасильним матеріалом 5, наприклад Кільцева пружина 4 забезпечена прорізом 6, який з'єднує обидва торця розклинюючого елемента.

Проріз 6 кільцевої пружини 4 може бути виконан в площині, що проходить через вісь кріпильного гвинта 7. Ширина прорізу 6 устанавлюється залежно від заданого зусилля, але вона повинна бути не менш величини зазору між штифтом 2 і отвором пластини 1. При обробці розрізна по утворюючої кільцева пружина пружного розклинюючого елемента сприймаюча вплив зусилля різання, пружно деформується й, за рахунок прорізу, поглинає виникаючу при обробці вібрацію, передаючи її віброгасящому матеріалу. При цьому зменшується викрашування ріжучих крайок, підвищується стійкість пластини й, тим самим, підвищується віброгасящий ефект [13].

У наступному пропонованому різці між пластиною й клиновим стрижнем устанавлена прокладка, зафіксована на осі притискного болта.

При цьому кінець клинового стрижня, що контактує із прокладкою, виконаний округленим.

На кресленні зображений описуваний різець (з виривом) (рис. 3.14.)

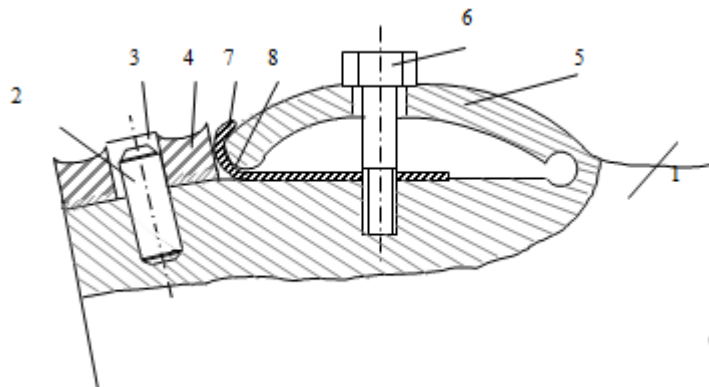


Рисунок 3.14 - Описуваний різець (з виривом)

У державку 1 запресований штифт 2, який входить в отвір 3 багатогранної ріжучої пластини 4. Пластину закріплюють за допомогою

клинового стрижня 5, вигнутого в напрямку, протилежному зусиллю притискного болта 6. Між ріжучою пластиною 4 і клиновим стрижнем 5 установлена прокладка 7, зафіксована на болті 6.

Один кінець клинового стрижня виконаний за одне ціле з державкою, а інший його кінець 8, що контактує із прокладкою 7, округлений. Прокладку 7 доцільно виконувати із пружинної листової сталі або латуні товщиною 0,15-0,3 мм.

Зафіксована прокладка забезпечує затиснення ріжучої пластини 4 без підведення її над базовою поверхнею державки 1.

Виконання прокладки 7 з високо теплопровідного матеріалу, наприклад латуні, забезпечує гарний відвід тепла від ріжучої пластини 4, і її рекомендується застосовувати при обдирних роботах з більшим виділенням тепла в зоні різання. Надійний притиск пластини 4 дозволяє робити обробку деталей з різних матеріалів при підвищених режимах. Крім того, надійне кріплення пластинки забезпечує також більшу вібростійкість різця [9].

Наступним пропонованим різцем буде збірний різець, що містить корпус і ріжучу пластину, закріплену в гнізді корпусу головкою пружного елемента, установленного своїм хвостовиком в отворі корпусу. Відрізняється він тем що, з метою підвищення твердості й надійності кріплення ріжучої пластини, на головці пружного елемента виконана плоска поверхня, призначена для взаємодії з передньою поверхнею ріжучої пластини. Вісь отвору в корпусі виконана під кутом до опорної поверхні гнізда меншим, чому кут між віссю хвостовика і плоскою поверхнею головки пружного елемента.

Винахід ставиться до обробки металів різанням і може бути використане при конструюванні інструментів.

Метою винаходу є підвищення твердості й надійності закріплення ріжучої пластини пружними елементами шляхом стабілізації тиску головки пружного елемента на ріжучу пластину.

На рис. 3.15. зображений різець; на рис. 3.16. - конструкція пружного

елемента.

Збірний різець складається з корпусу 1, у якому за допомогою головки 2 пружного елемента, виконаною пластинчастою формою у вигляді прихвата-стружколома, закріплюється ріжуча пластина. Циліндричний хвостовик 4 пружного елемента розташований в корпусі 1 різця під кутом  $\alpha$  до опорної поверхні ріжучої пластини 3 і з'єднаний з головкою пружною перемичкою 5.

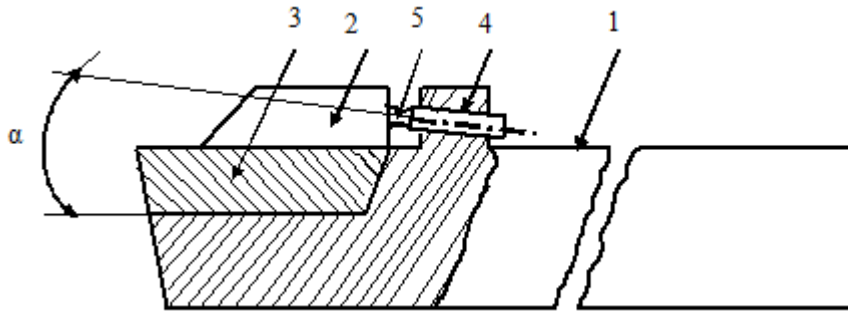


Рисунок 3.15 – Різець

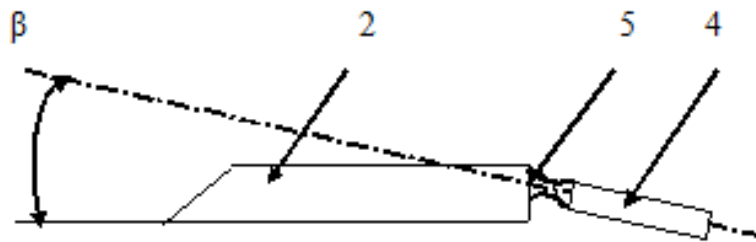


Рисунок 3.16 - Конструкція пружного елемента

При створенні гарантованого тиску головки 2 пружного елемента на ріжучу пластину при складанні хвостовик 4 розташований під кутом  $\beta$  до опорної площини головки 2.

$$B = \alpha + \gamma,$$

де  $\alpha$  - кут між віссю отвору в корпусі й опорною поверхнею гнізда під ріжучу пластину;

$\gamma$  - кут повороту головки пружного елемента щодо хвостовика.

Недоліком даної конструкції є мала стійкість пружного елемента й місце

кріплення його в державке.

Наступний винахід ставиться до металообробки.

Ціль винаходу - підвищення стійкості різця за допомогою зменшення залишкових напруг після пайки в ріжучій пластині.

На кресленні представлений пропонований токарський різець, розріз (рис. 3.17.)

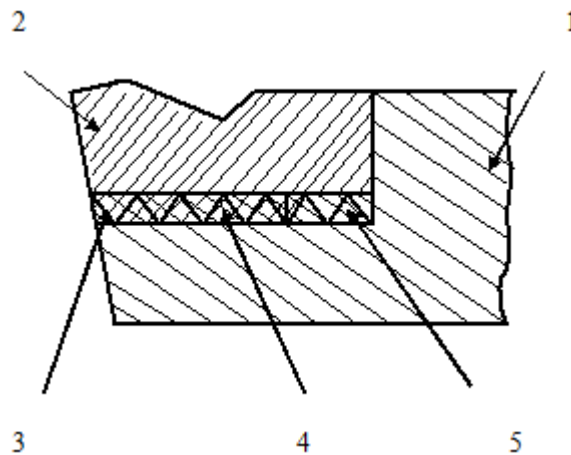


Рисунок 3.17 - Токарський різець, розріз

Різець містить корпус 1, твёрдосплавну ріжучу пластину 2 і опорний елемент 3, виконаний у вигляді сітки, розміщеної у вставці 4 з самотвердіючий пластмаси, наприклад стіракріл, розташованої в зазорі між ріжучої пластиною 2 і корпусом 1. Зазор між корпусом 1 і частиною ріжучої пластины 2, що не підлягає переточуванні, заповнений припоєм 5.

Тому що контакт між ріжучою пластиною 2 і опорним елементом 3 здійснюється по крапках, то кількість мікротріщин у процесі пайки й при наступному остиганні зменшується. Швидкість охолодження ріжучої пластины 2 знижується, тому що зменшується площа контакту пластины 2 з корпусом різця 1. Зменшення кількості мікротріщин і зниження швидкості охолодження ріжучої пластины 2 означає підвищення якості паяного з'єднання, зменшення внутрішній напружень у ріжучій пластині й підвищення стійкості різця [11].

Наступний винахід ставиться до металообробки, зокрема до чистової токарської обробки деталей.

Ціль винаходу - підвищення якості обробки за рахунок забезпечення можливості безперервного гасіння коливань оправлення у всіх напрямки.

На рис. 3.18. зображене розточувальне оправлення, загальний вид; на рис. 3.19 – перетин А.

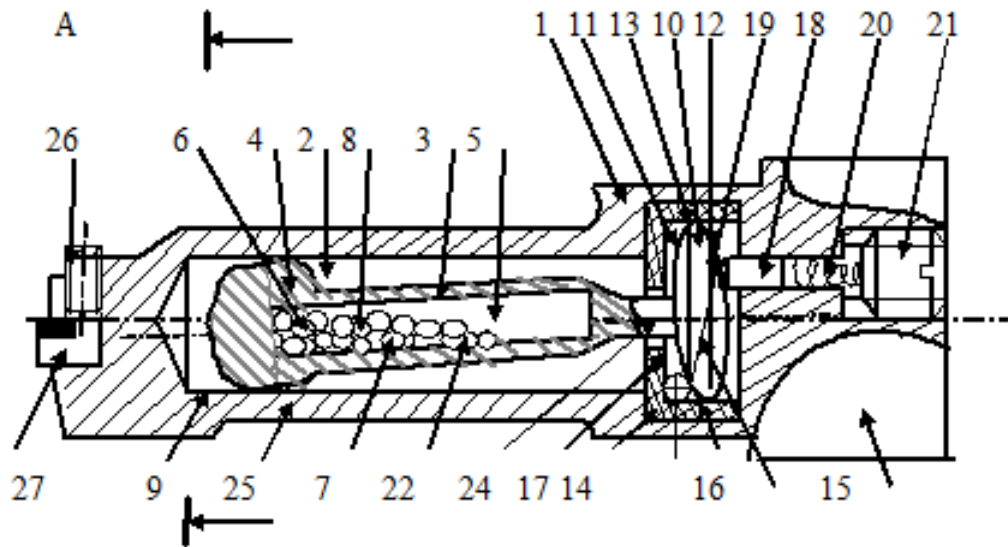


Рисунок 3.18 - Розточувальна оправка

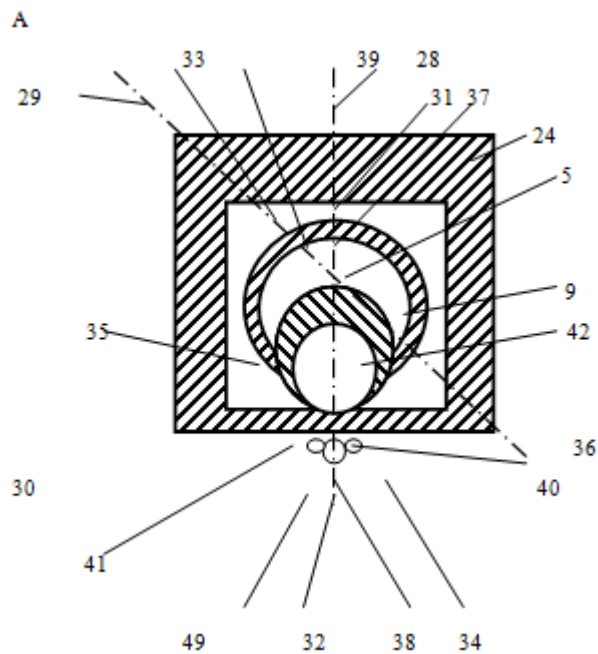


Рисунок 3.19 - Перетин А

Розточувальна оправка містить корпус 1, в отворі 2 якого розташований віброгасник 3 ударної дії, виконаний у вигляді циліндра 4, замкнена порожнина 5 якого заповнена набором кульок 6, 7 і 8 різного діаметра,

виконаних з м'якого металевого матеріалу (наприклад, свинцю).

Циліндр 4 контактує із циліндричними стінками 9 отвору 2 корпусу 1 і з'єднаний з останнім за допомогою торцевого опорного паска 10, який виконано за одне із циліндром 4, а його поверхня утворена перетинанням трьох сферичних поверхонь: двох торцеві 11, 12 і периферійної 13. Торцевий опорний пасок 10 розташовано усередині пружної склянки 14, встановленого в отворі 2 корпусу 1 оправлення. Периферійна сферична поверхня 13 торцевого опорного паска 10 взаємодіє із циліндричною поверхнею 15 пружної склянки 14. Торцева сферична поверхня 11 торцевого опорного паска 10 за допомогою ексцентрично розташований щодо осі отвору 2 корпусу 1 кульки 16 взаємодіє із дном 17 пружної склянки 14. Протилежна торцева сферична поверхня 12 торцевого опорного паска 10 взаємодіє за допомогою штока 18 з напівсферичним наконечником 19 із пружним елементом (пружиною) 20 і регулювальним вузлом 21. Шток 18 встановлено в корпусі 1 оправлення з можливістю осьового переміщення ексцентрично осі 22 отвору 2 зі зсувом убік, протилежну зсуву кульки 16. При цьому напівсферичний наконечник 19 і кульку 16 утворюють вісь 23 обертання торцевого опорного паска 10.

Пружний елемент 20 з регулювальним вузлом 21 розташовано в підставі 24 корпусу 1 оправлення, а на протилежному кінці 25 корпусу 1 перебуває різцетримач 26 з різцем 27.

Оправлення працює в такий спосіб.

При виникненні віброколивань оправлення в процесі токарської обробки деталі циліндр 4 ударяється про стінки 9 отвору 2 корпусу 1, при цьому ударні імпульси зменшують амплітуду коливань оправлення. У цей же момент гасіння власних віброколивань циліндра 4 досягається за рахунок ударних імпульсів від кульок 6, 7 і 8, що переміщаються в замкненій порожнині 5.

Завдяки наявності торцевого опорного паска 10, поверхня якого утворена сферичними поверхнями 11, 12 і 13 обертання, що володіє

можливістю, у пружній склянці 14 навколо осі 23, ударні імпульси від циліндра 4 і кульок 6, 7 і 8 завжди збігаються по напрямкові з максимальними перевантаженнями при вібрації незалежно від того, у якій площині 28, 29 або 30 ці максимальні перевантаження виникають. Так при гасінні віброколивань у площині 28 циліндр 4 створює ударні імпульси в крапках 31, 32 стінки 9; при гасінні в площині 29 – у крапках 33, 34 стінки 9; при наявності коливань у площині 30-у крапках 35, 36 стінки 9.

Гасіння власних коливань циліндра 4 здійснюється відповідно за рахунок ударних імпульсів кульок 6, 7, 8 у крапках 37 і 38 (площина 28), 39 і 40 (площина 29), 41 і 42 (площина 30) про стінки порожнини 5 циліндра 4.

При перехідних режимах різання змінюються як частоти колювання оправлення, так і напрямку перевантажень, що впливають на різець 27 і корпус 1. Шляхом підтискання або ослаблення затягування пружного елемента 20 регулювальним вузлом 21 змінюється зусилля, що впливає через шток 18 з напівсферичним наконечником 19 на торцевий опорний пасок 10, і тим самим змінюється як інтенсивність ударних імпульсів циліндра 4 і кульок 6, 7 і 8, так і площина їх переміщень 28, 29 і 30. Наприклад, при поступовому підтисканні штока 18 у процесі обробки деталі здійснюється переклад колювань циліндра 4 із площини 28 у площину 29 і далі в площину 30.

При ослабленні підтискання штока 18 відбувається зворотний перехід колювань циліндра 4 у площині 29 або 30, залежно від того, яка з них є площиною максимальних перевантажень.

Зазначені операції в процесі обробки деталі здійснюється безупинно без заміни оправлення або зупинки верстата. При токарській обробці деталей конічної, сферичної й фасонної форми, коли площина рівнодіючої віброперевантажень не збігається із площиною різця, а самі частоти й перевантаження віброколювань змінюються при русі різця від великого діаметра до меншого за рахунок різниці навколишніх швидкостей на оброблюваних поверхнях віброгасник автоматично вибирає площина рівнодіючої віброперевантажень і, переміщаючись у цій площині, забезпечує

можливість гасіння коливань у всіх напрямки за рахунок того, що він може самовстановлюватися в сферичних поверхнях [12].

### 3.3.2 Підсистема «верстат»

Винахід ставиться до обробки матеріалів різанням на токарському верстаткуванні. Метою винаходу є підвищення точності обробки шляхом зменшення часу повернення пружних опор у вихідне положення після зняття з різцетримача пікових перевантажень в умовах точіння при змінних зусиллях різання, тим самим забезпечується й вібростійкість усього механізму.

Пристрій складається з корпусу 1 (рис. 3.20), у нижньому елементі 3 якого виконана заповнена робочим тілом порожнина, у напрямних отворах якої встановлені рухливі опори 10, 11. Порожнина розділена центральною перегородкою 5 на дві гідравлічні ізольовані між собою камери 6, 7, а натискний гвинт 8 виконаний східчастим зі співвідношенням площ поперечних перерізів 2:1 і діаметром щаблі меншої площі, рівним діаметру отвору перегородки. При пікових перевантаженнях, що виникають у процесі різання, різець впливає на передню опору 10, яка переміщаючись униз, додатково стискає робітниче середовище, створюючи різницю тиску між камерами. При цьому вершина різця займає нижнє положення, що приводить до зменшення зусиль різання, а опора 11 зміщується нагору, зберігаючи пружне підтискання до різця. При знятті пікових перевантажень система протягом короткого проміжку часу вертається у вихідний стан.

Застосування пропонованого пристрою забезпечує підвищення точності обробки шляхом зниження часу повернення несучих різець пружних опор у вихідне положення після зняття з різцетримача пікових перевантажень, що може бути використане, наприклад, при обробці заготовок зі сторонніми твердими включеннями [14].

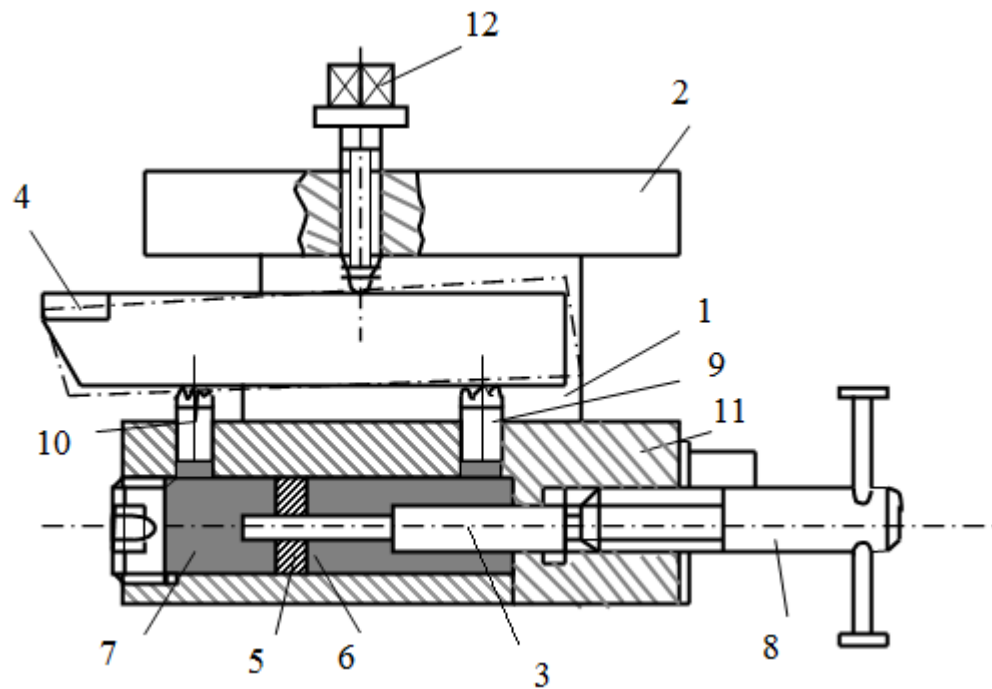


Рисунок 3.20 - Пристрій для різання

Недоліком даного пристрою є підвищену увагу до гідросистеми й неможливість роботи з більшими навантаженнями.

Винахід ставиться до області технології автомобільного виробництва й може бути використане при токарській обробці нежорстких металевих деталей - тіл обертання, що мають відношення довжини до діаметра не менш 20, на верстатах токарського типу.

Відомий спосіб токарської обробки нежорстких деталей з розтяганням у межах пружності матеріалу деталі й установкою її з можливістю коливального руху в поздовжньому напрямку.

Ціль винаходу - забезпечення мимовільного дроблення стружки, а так само зменшення вібрацій. Для цього обробку ведуть зі швидкістю 45 - 100 м/хв, подачею 0,07 - 0,33 мм/об, глибиною різання 0,1 - 1 мм і напругою розтягання 0,2 - 0,5 границі текучості матеріалу деталі.

На кресленні схематично зображений пристрій для реалізації пропонованого способу токарської обробки.

Пристрій складається з корпусу 1 (рис. 3.21.), закріпленого на піноли 2

задньої бабки за допомогою кільця 3 і гвинтами 4 і 5. У корпусі 1 установлений пружний елемент-пружина 6 стиску, хід якої обмежений кришкою 7, прикріпленої до корпусу гвинтами 8. Оброблювана деталь 9 паском, що центрує, установлюється одним кінцем у патроні 10, а іншим - у внутрішньому кільці упорного-завзятого-радіально-упорного підшипника 11. Щоб уникнути осьового переміщення внутрішнього кільця підшипника 11, останній зафіксований шайбою 12 і болтом 13 по різьбленню в деталі 9. Обробку ведуть різцем 14.

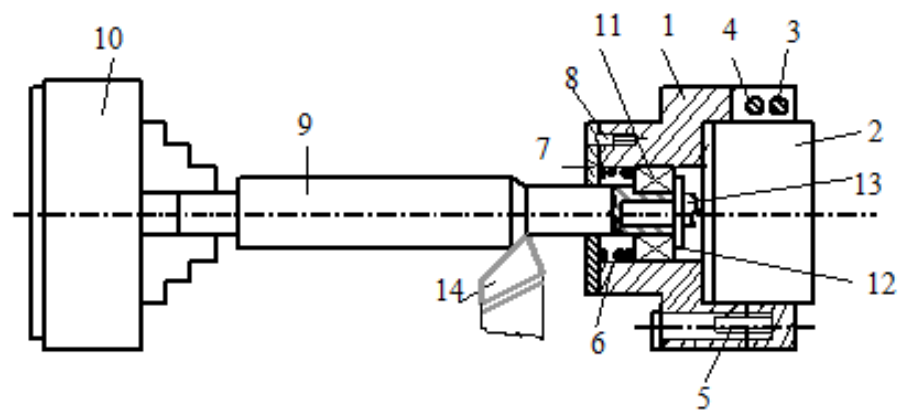


Рисунок 3.21 - Пристрій для токарської обробки

Пристрій працює в такий спосіб.

Обертанням маховика задньої бабки (на кресленні не показаний) переміщують піноль 2 вправо. Зовнішнє кільце підшипника 11 ковзає по посадковій поверхні корпусу 1, залишаючись на місці. Пружний елемент 6 стискується, значення розтяжного зусилля визначається величиною ходу останнього, тим самим створюється ефект попередньо спрямованої деталі. Після розтягання деталь 9 обробляється по зовнішньому діаметру різцем 14.

У процесі обробки з розтяганням полегшують умови пластичного деформування матеріалу деталі, відбувається більш інтенсивний наклеп стружки, різка зміна структури в металі, що зрізується, стружки, що є причиною виникнення значних внутрішній напружень, нестійкості поверхневої структури й, відповідно, появи в стружці тріщин, що приводять до мимовільного дроблення на окремі ділянки різної довжини (від 2 до 30

див). Крім того, при обробці деталей, фіксованих у розтягнутому стані за допомогою пружного елемента, мають місце поздовжні осцилюючі коливання деталі (спільно зі шпиндельним вузлом), що викликають зміну перетину стружки, що зрізується, сприяють її дробленню, що також впливає на автоколивальний процес, як наслідок накладення одного виду коливань на іншій. Амплітуда поздовжніх коливань за даними авторів перебуває в межах 0,01-0,06 мм і залежить від твердості пружного елемента, обумовленої діаметром дроту пружини [15].

Недоліком є складність конструкції, необхідність підготовки кожної деталі.

Винахід ставиться до металообробки й може бути використане при ротаційному різанні.

Метою винаходу є підвищення надійності роботи і якості обробки шляхом регулювання здатності, що демпфірує, різця за рахунок зміни частоти його власних коливань.

На кресленні зображена конструкція пропонованого ротаційного різця (рис. 3.22).

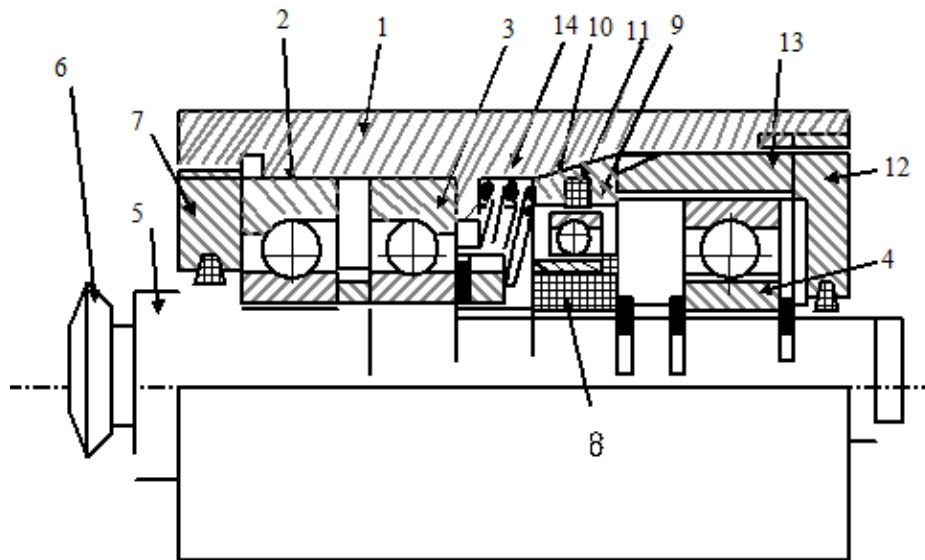


Рисунок 3.22 - Конструкція пропонованого ротаційного різця

У корпус 1 на підшипниках 2, 3 і 4 кочення встановлений шпиндель 5, що несе круглу ріжучу пластину 6, радіально-упорні підшипники 2 і 3 утворюють передню опору, регулювання якої здійснюється різьбовою

втулкою 7. Підшипник 4 служить задньою опорою шпинделя.

Між опорами шпинделя нерухомо встановлена пружна втулка 8, що несе радіальний підшипник 9, яка виготовлена з матеріалу з більшим внутрішнім тертям, наприклад гуми. У корпусі 1 встановлена з можливістю осьового переміщення цанга 10, постачена пружним елементом 11, наприклад кільцевим, який охоплює підшипник 9. Для переміщення цанги в осьовому напрямку служить пристрій, який виконаний у вигляді різьбової втулки 12 і кільця 13. Переміщення цанги в протилежну сторону здійснюється пружиною 14. Фіксація різьбових втулок 7 і 12 від самовідгвинчування забезпечується затискачами (не показані).

При обертанні різьбової втулки 12 одержують осьове переміщення кільце 13 і цанга 10, яка, взаємодіючи з конічною поверхнею в корпусі, деформується в радіальному напрямку разом із пружним елементом 11. Змінюючи, таким чином, ступінь стиску пружного елемента, регулюють його твердість, що й демпфірує здатність і, отже, вібростійкість різця. Поліпшення вібростійкості забезпечується також установкою між шпинделем 5 і підшипником 9 пружної втулки 8 [16]. Наступний винахід ставиться до способів підвищення стійкості інструмента, що забезпечують найменше зношування інструмента при найбільшій продуктивності праці й може бути використане при механічній обробці в різних галузях промисловості.

Ціль винаходу - підвищення стійкості винаходу шляхом повідомлення йому протифазних коливань у порівнянні з коливаннями, вимірюваними в процесі різання. На наведеній схемі (рис. 3.23.) представлена блок-схема пристрою для підвищення стійкості інструмента, принцип якого заснований на гасінні активних хвиль напруг протифазних коливань.

Пропонований спосіб здійснюється в такий спосіб.

У процесі механічної обробки реєструють високочастотні хвилі напруг, генеруються в зоні різання, аналізують їх і формують протифазні коливання, які вводять у тіло інструмента й тим самим демпфірують початкові хвилі, які генеруються в процесі різання.

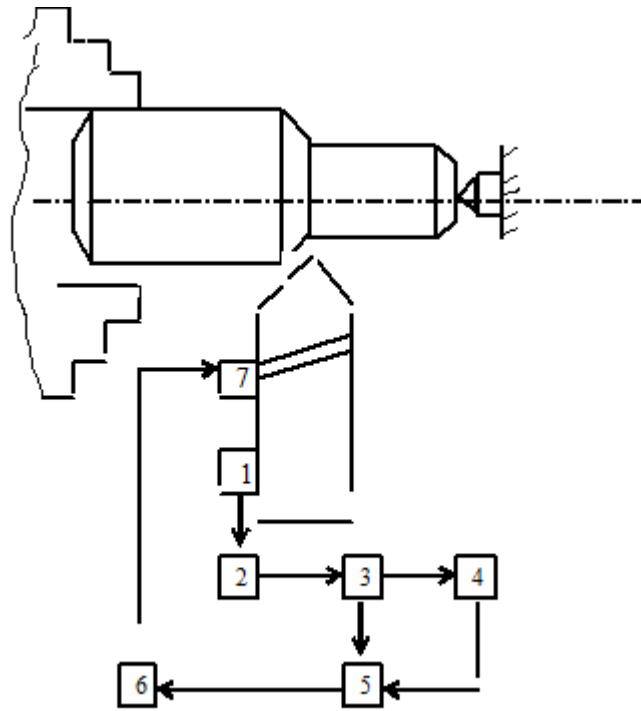


Рисунок 3.23 - Блок-схема пристрою для підвищення стійкості інструмента

Пристрій містить послідовно з'єднані п'єзоелектричний датчик 1, попередній підсилювач 2, активні смуговий фільтр 3 зі смугою пропускання 100-1000 кГц, фільтр 3 паралельно з'єднано з відеодетектором 4 і інформаційним входом підсилювача 5 з керованим коефіцієнтом підсилення. Вихід відеодетектора 4 з'єднаний з керуючим входом підсилювача 5. Підсилювач 5 послідовно з'єднано з підсилювачем 6 потужності й акустичним вібратором 7.

Пристрій працює в такий спосіб.

Хвилі напруг, які генеруються в зоні різання й на контактних поверхнях ріжучого клина інструмента, перетворюються чутливим елементом п'єзоелектричного датчика 1 в електричний сигнал, який подається на вхід попереднього підсилювача 2. Посилений сигнал проходить селекцію по частоті в активному смуговому фільтрі 3 зі смугою пропускання 100-1000 кГц, що забезпечує перешкодозахищеність пристрою від шумів системи ВПІД (пристосування-інструмент-деталь). З виходу фільтра 3 сигнал паралельно

надходить на вхід відеодетектора 4 і інформаційний вхід підсилювача 5. З виходу відеодетектора 4 сигнал надходить на керуючий вхід підсилювача 5. Відеодетектор 4 управляє значенням коефіцієнта підсилення підсилювача 5 з максимальним гасінням хвиль напруг. У підсилювачі 5 відбувається інвертування фази сигналу і його посилення. З виходу підсилювача 5 сигнал надходить на підсилювач 6 потужності, який підсилює сигнал до рівня, необхідного для нормальної роботи вібратора й подає на вхід акустичного вібратора 7, установлюваного на інструмент. Вібратор 7 генерує високочастотні хвилі для погашення хвиль напруг.

Використання в пристрої відеодетектора, підсилювача з керованим коефіцієнтом підсилення, підсилювача потужності й акустичного вібратора дозволяє здійснити гасіння, що генеруються у зоні різання хвиль напруг, що дозволяє підвищити стійкість інструмента [17].

Недоліком даного винаходу є дорожнеча й складність віброгасіння.

Винахід ставиться до верстатобудування, а саме до шпindelних вузлів металорізальних верстатів.

Ціль винаходу – підвищення твердості й поліпшення технологічності шпindelного вузла за рахунок контакту одного із зовнішніх кілець підшипників із внутрішнім торцем корпусу, а з іншого – із кришкою й установки між ними пружного елемента, зусилля якого перевищує зусилля попереднього натягу.

На рис. 3.24. показаний шпindelний вузол, загальний вид; на рис. 3.25. – регулювання натягу в опорі із пружним елементом.

Шпindelний вузол складається з корпусу 1, шпинделя 2, розпірної втулки 3, підшипників 4 задньої опори із втулками 5 і 6 між ними, підшипників 7 передньої опори, між внутрішніми кільцями яких установлена втулка 8, а між зовнішніми – пружний елемент 9, виконаний, наприклад, у вигляді пакета тарілчастих пружин, робоче зусилля якого перевищує зусилля попереднього натягу й визначається заданою осьовою твердістю вузла.

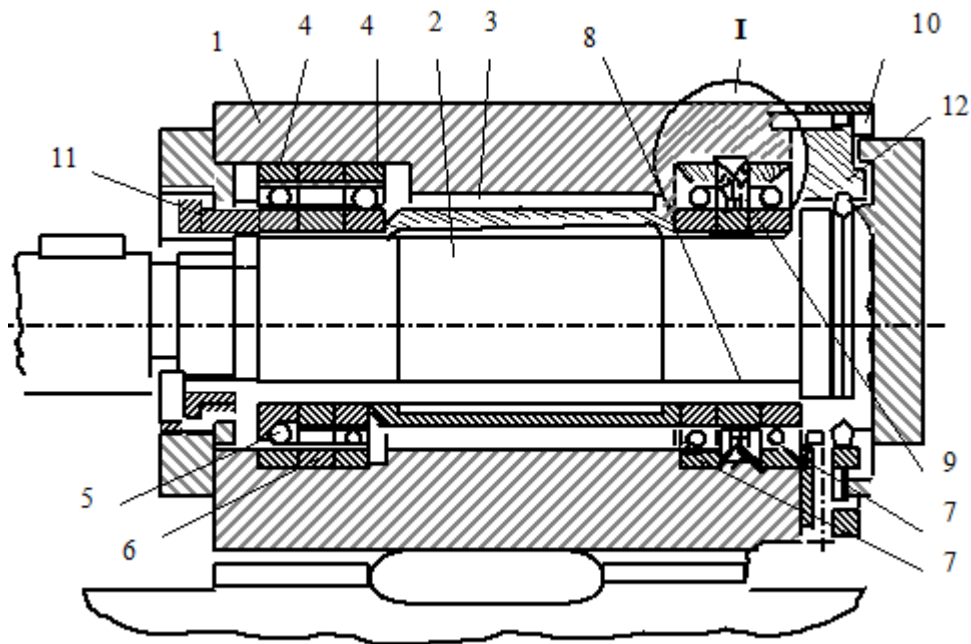


Рисунок 3.24 - Шпиндельний вузол

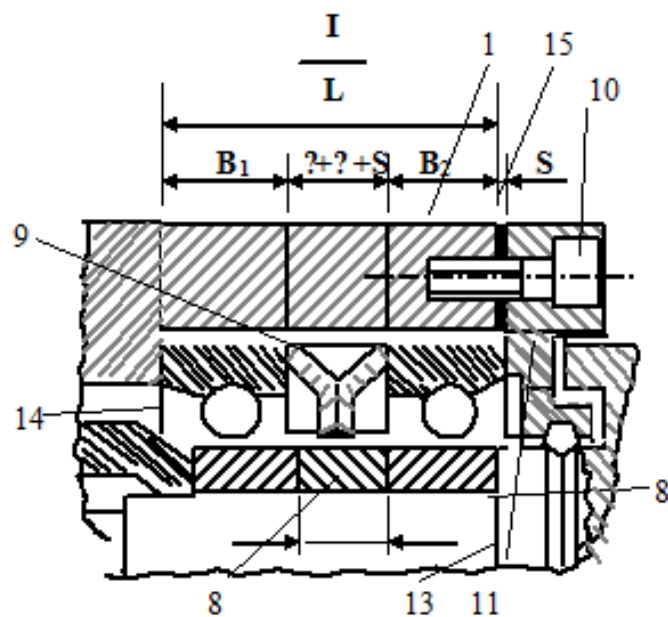


Рисунок 3.25 - Регулювання натягу в опорі із пружним елементом

На торці корпуса 1 гвинтами 10 кріплять плоску кришку 11. Гайкою 12 підтискають підшипники 4 задньої опори із втулкою 5, розпірну втулку 3 і підшипники 7 передньої опори із втулкою 8 до торця 13 шпинделя. При встановленій кришці 11 і підгорнутій гайці 12 зовнішні кільця обох підшипників передньої опори під дією пружного елемента зміщуються щодо внутрішніх кілець до упору з однієї сторони в торець 14 корпуса 1, а з іншого

– у плоску кришку 11. Щоб створити в опорі необхідний попередній натяг, величина цього зсуву повинна бути дорівнює величині зсуву  $\Delta$ , певної для даної пари підшипників при додатку зусилля, рівного зусиллю попереднього натягу. Досягається це тим, що фіксованому положенні торців зовнішніх кілець підшипників пружний елемент займає по довжині місце більше, ніж втулка 8, на величину зсуву  $\Delta$ , для чого довжину втулки 8 визначають по формулі

$$\underline{\ell} = L - (B_1 + B_2 + \Delta).$$

Властиво робоче зусилля, передане пружним елементом, сприймається торцем 14 корпусу й плоскою кришкою 11, і на величину попереднього натягу впливу не виявляє.

Таким чином, осьова твердість шпindelного вузла не регламентується величиною зусилля попереднього натягу, а визначається робочим зусиллям пружного елемента, шпindelний вузол здатний сприймати двостороннє осьове навантаження, при цьому розточення в корпусі під підшипники одноступінчаста, тому що вони одного діаметра. Установка ж пружного елемента дозволяє при обертанні шпинделя й нагріванні вузла зменшити тертя в підшипниках і знизити в процесі експлуатації зношування доріжок і тіл кочення. При виникненні зазорів і падіння натягу в опорі в процесі експлуатації конструкція шпindelного вузла дозволяє відновити необхідний натяг без переробки шпindelного вузла.

Здійснюють це в такий спосіб.

Злегка віджимають гвинти 10, між торцем корпусу 1 і плоскою кришкою 11 установлюють прокладку 15 з фольги, що полягає із двох півкілець, після чого гвинти 10 знову затискають. При цьому пружний елемент розсовує зовнішні кільця підшипників до упору в плоску кришку, відсунуту на товщину  $S$  прокладки 15, і необхідний натяг в опорі відновлюється. Величину натягу в опорі регулюють товщиною прокладок [18].

Винахід ставиться до обробки металів різанням і може бути використане

при обробці деталей малої твердості, переважно на верстатах із застосуванням систем автоматичного керування.

Ціль винаходу – підвищення ресурсу й надійності в роботі пристрою шляхом зниження фрикційного зношування упорного ролика.

На рис. 3.26. зображений віброгасник, загальний вид; на рис. 3.27. – те ж, вид зверху; на рис. 2.28. – перетин А.

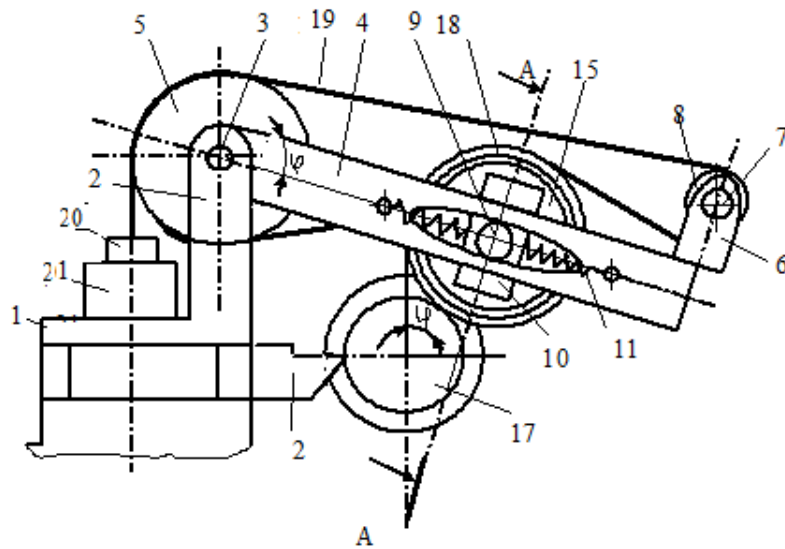


Рисунок 3.26 – Віброгасник

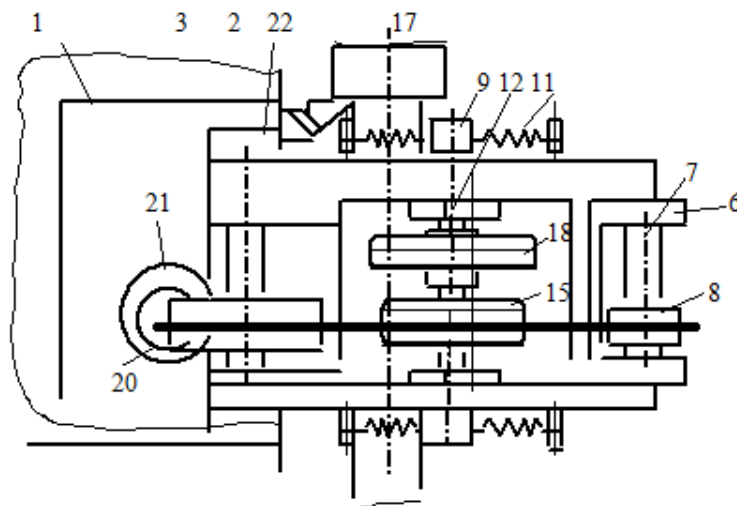


Рисунок 3.27 – Віброгасник, вид зверху

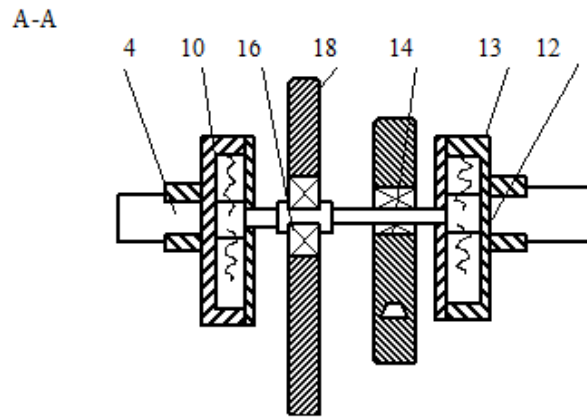


Рисунок 3.28 - Перетин А

Віброгасник містить установлений на різцетримаче 1 кронштейн 2, на осі 3 якого встановлений з можливістю повороту й фіксації важіль 4 і обертовий шків 5. На кінці важеля 4 у стійці 6 на осі 7 установлений обертовий шків 8. В осьових пазах важеля 4 установлені з можливістю переміщення цапфи 9 з корпусами 10, підпружинені пружинами 11. У корпусах 10 цапфи 9 установлена з можливістю переміщення в напрямку, перпендикулярному осі важеля 4, вісь 12, підпружинена пружинами 13. На осі 12 з можливістю обертання на підшипнику 14 установлений упорний ролик 15 і з можливістю незалежного обертання на підшипнику 16, призначений для взаємодії з деталлю 17 додатковий ролик 18 більшого діаметра, чому діаметр упорного ролика 15. Шків 5 і шків 8 охоплені гнучким тросом 19, який контактує з упорним роликом 15. Один кінець гнучкого троса 19 закріплено на шківі 5, а другий з'єднано із сердечником 20 електромагніту 21, установленного на різцетримаче 1. Кут повороту шківів 5 при відключенні живлячого напруги електромагніту 21 обмежується пружиною, що втримує сердечник 20 у котушці електромагніту 21 (не показана).

Динамічний віброгасник працює в такий спосіб.

Деталь 17 установлюють у патроні верстата й підтискають заданим центром. Включають привод головного руху, підводять різець 22 до деталі 17 і набудовують на розмір. Важіль 4 віброгасника з роликами 15 і 18 установлюють у кронштейні 2 під необхідним кутом  $\varphi$  залежно від розмірів

деталі 17 і режимів різання й фіксують у цім положенні. Потім різцю 22 повідомляють рух робочої подачі, здійснюють врізання й починають процес гостріння. При цьому ролик 18 переходить на вже оброблену поверхню деталі 17 і підтискається до неї зусиллям пружини електромагніту 21, переданим ролику 18 через ролик 15, вісь 12 і гнучкий трос 19. При цьому ролик 18 обертається незалежно те ролика 15, що суттєво зменшує силу тертя між роликом 15 і гнучким тросом 19 і процес нагрівання троса 19. У міру переміщення різця 22 щодо деталі 17 по сигналах програмного блоку або датчика переміщення різця щодо деталі (не показані) на обмотку електромагніту 21 подається напруга, і сердечник 20 втягується в котушку, що приводить до натягу гнучкого троса 19 через шків 5 і 8. Створюване натягом троса 19 зусилля впливає через ролик 15, вісь 12 і ролик 18 на деталь 17, тим самим, стискаючи статичні прогини деталі.

Одночасно ролик 18, установлений на осі 12, підпружиненої пружинами 11 і 13, здійснює гасіння динамічних коливань деталі 17, що сприяє разом із силою натягу троса 19 зниженню статичних прогинів деталі 17 і гасінню коливань у широкому діапазоні.

Використання пропонованого віброгасника забезпечує більш надійну роботу й точність поднастройки, тому що усувається нагрівання троса й зношування ролика від сил тертя між їхніми поверхнями, оскільки упорний ролик обертається незалежно від додаткового ролика, взаємодіючого з деталлю [19].

Недолік: громіздкість, складність, вимагає індивідуальність налаштування.

### 3.3.3 Підсистема «заготовка»

Одним з ефективних способів боротьби з автоколиваннями це кінематичний, коли створюються коливальні рухи заготовки або інструмента в напрямку подачі.

Залежно від джерела енергії коливань різняться пристрої, що

забезпечують змушені коливання різця або заготовки (такі пристрої вимагають переробки верстата, додаткових джерел енергії й синхронізації коливань різця або заготовки з обертанням шпинделя верстата), і пристрою, що використовують для дроблення стружки викликувані силами різання автоколивання інструмента; ці пристрої більш прості й економічні, однак вони припиняють коливальний процес при відносно невеликому зношуванні різця по задній поверхні через зниження твердості технологічної системи [24].

Фізичний вплив на поверхню матеріалу в локальній зоні приводить до зміни в ній структури й механічних властивостей оброблюваного матеріалу. У процесі гостріння заготовок. Підданих такому впливу, відбувається періодична зміна умов різання в порівнянні з вихідним матеріалом ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ), що приводить до миттєвої зміни напружено-деформованого стану шару, що зрізується, і стійкому сегментуванню стружки на відрізки заданої довжини.

У цей час для забезпечення для забезпечення дроблення стружки при обробці корозійно-стійких і жароміцних сталей і сплавів усе більше застосування знаходить метод попереднього локального впливу на оброблювану поверхню заготовки шляхом нанесення високо або низькотемпературного, а також деформаційного впливу (див. рис.3.29.) [23].

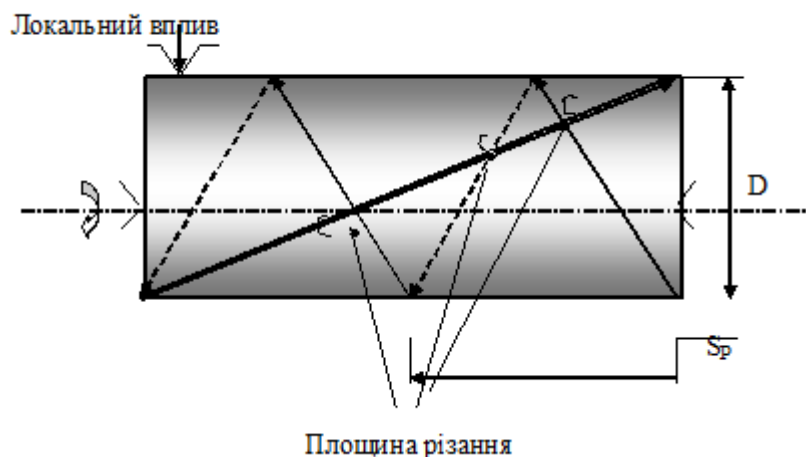


Рисунок 3.29 – Деформаційний вплив

Крапки перетинання площини різання із зоною локального впливу рис.3.29.

### **3.4 Аналіз способів підвищення динамічної стабільності в процесі тонкої лезової обробки**

Втрата стійкості процесу різання приводить до утвору періодичних коливань елементів пружної системи, що сприяє підвищенню інтенсивності зношування різального інструменту й зниженню довговічності виконавчих механізмів верстата. Виникнення вібрацій викликає зниження точності обробки й погіршення якості поверхневого шару виробу, що у свою чергу, викликає обмеження продуктивності обробки й технологічних можливостей устаткування [1 - 6].

Під час процесу різання різальний інструмент робить коливання в області високих і середніх частот і найчастіше є ненадійною ланкою.

У цей час існує ряд напрямків, метою яких є поліпшення властивостей, що демпфірують, усієї технологічної системи. З них можна виділити три основні: 1 - методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання в технологічній підсистемі «інструмент»; 2 - методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання в технологічній підсистемі «верстат»; 3 - методи й способи забезпечення динамічної стабільності процесу різання в технологічній підсистемі «заготовка». Класифікацію сучасних методів можна представити у вигляді схеми, зображеної на рис. 2.30.

У технологічній підсистемі «інструмент» використовується зміни в конструкції різального інструменту. Використання таких різців можна розглянути на прикладах.

Підвищені властивості, що демпфірують, державок різців, армованих композиційним матеріалом – синтеграном [2], забезпечують зменшення амплітуди коливань при різанні й зниження шорсткості обробленої поверхні, а також збільшення стійкості ріжучої пластини.

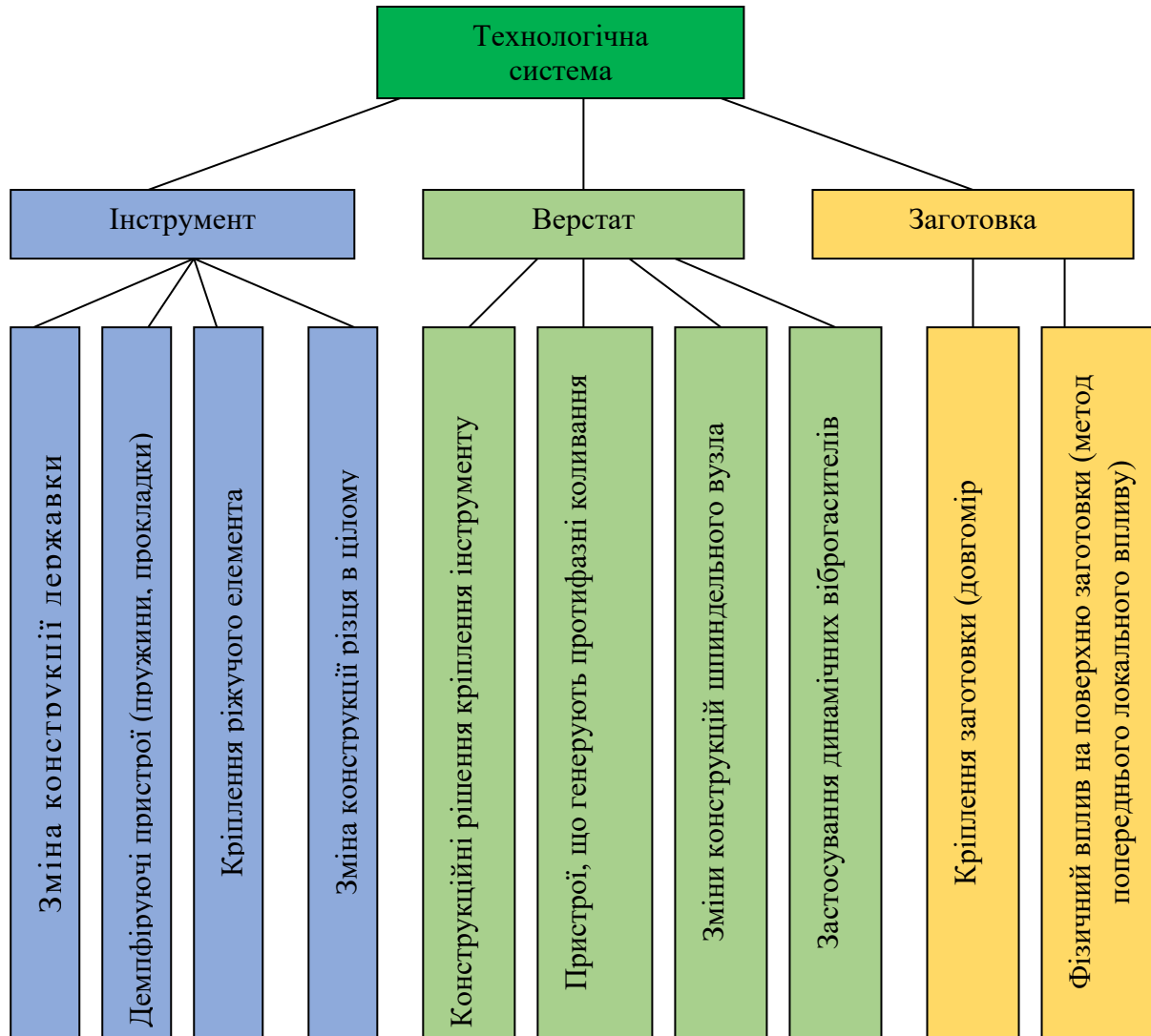


Рисунок 3.30 – Класифікація способів підвищення динамічної стабільності технологічної системи

Відома конструкція різального інструменту [7], у якій державку виконують складовій з набору пластин.

Відомі різці з механічним кріпленням багатогранної твердосплавної пластинки, установлені на штифті, що й притискається до опорної поверхні державки за допомогою клинового інструмента й притискного болта. Клиновий елемент виконаний у вигляді стрижня, вигнутого в напрямку, протилежному зусиллю притискного болта. Описуваний різець відрізняється від відомих тим, що клиновий вигнутий стрижень має V-образна ділянка. Це дозволяє зменшити вібрацію різця [5].

Вібрації негативно впливають на стійкість ріжучого леза інструмента і

якість оброблюваної поверхні. Необхідно ефективно гасити вібрації в процесі різання. Установка віброгасника з еластичних елементів можливо близько до ріжучої частини інструментів сприяє підвищенню стійкості інструмента й поліпшенню шорсткості оброблюваної поверхні.

Існують різці, що відрізняються тим, що кільцева пружина розклинюючого елемента пластини, що ріже, виконана розрізний по утворюючій. Це підвищує віброгасильний ефект [5].

Поряд із цим існують різці, складної конструкції, у якості віброгасильного ефекту використовується змінюваний центр мас [6]. У технологічній підсистемі «верстат» використовуються зміни в конструкції самого верстата. До таких можливих способів можна віднести й зміна кріплення різця в різцетримаче. Шляхом зменшення часу повернення пружних опор у вихідне положення після зняття з різцетримача пікових перевантажень в умовах гостріння при змінних зусиллях різання, тим самим забезпечується й вібростійкість усього механізму

Стабільність процесу різання також досягається шляхом повідомлення різцю протифазних коливань у порівнянні з коливаннями, вимірюваними в процесі різання [7].

Крім цього, для забезпечення динамічної стабільності існують схеми, що включають зміну шпиндельних вузлів, у яких між підшипниками встановлюють пружний елемент [7].

Для забезпечення динамічної стабільності процесу різання в технологічній підсистемі «заготовка» усе більше застосування знаходить метод попереднього локального фізичного впливу на оброблювану поверхню заготовки шляхом нанесення високо або низькотемпературного, а також деформаційного впливів [9].

### 3.5 Висновки й постановка завдання в роботі

1. Для розробки вібростійкого інструменту для тонкої лезвийної обробки потрібно використовувати теорію виникнення автоколивань, скориставшись концепцією запізнілих сил, запропонованої М.Е.Ельясбергом в 1955 році [24].

2. Усі наведені методи і способи для забезпечення динамічної стабільності процесу різання мають конструкції ефективні для певних діапазонів різання і отримання певних результатів. Але для тонкої лезвийної обробки ці методи недостатньо ефективні: шорсткість отриманої поверхні не має розрахункових значень, точність поверхні вимагає додаткових витрат, фізичні властивості поверхневого шару заготовки не відповідають запроєктованим вимогам. Також дані конструкційні рішення складні у виготовленні і дорогі. А деякі моделі різців не працюють в умовах тонкої лезвийної обробки на великих швидкостях.

В результаті вищевикладеного матеріалу можна визначити цілі і завдання подальших досліджень.

Метою роботи є розробка науково-обґрунтованого способу підвищення ефективності тонкої лезвийної обробки за рахунок динамічної стабільності, використовуючи анізотропні властивості ріжучого інструменту.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Дослідження анізотропних властивостей матеріалу різального інструменту.

2. Розробити і обґрунтувати вибір конструкції ріжучого інструменту з анізотропними властивостями на основі досліджень і розрахунків.

3. Розробити динамічну модель технологічної системи при тонкої лезвийної обробці.

4. Виконати комплекс експериментальних досліджень з метою підтвердження отриманих теоретичних досліджень.

## 4. СПОСІБ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### 4.1 Спосіб забезпечення динамічної стабільності процесу тонкої лезової обробки за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту

Підвищення ефективності процесу різання, особливо при обробці корозійно-стійких і жароміцних сталей і сплавів, у сучасному автомобільному виробництві обумовлює необхідність широкого використання високопродуктивного встаткування, що дозволяє автоматизувати процеси механічної обробки [33]. Успішний розв'язок завдань керування процесами механічної обробки в автоматизованих виробництвах можливо лише на основі формування нових підходів до вивчення й використанню явищ, що супроводжують процес різання металів.

Теоретичні й експериментальні дослідження, проведені в останні роки в області механічної обробки металів різанням, засновані на дислокаційній виставі структури матеріалу, дозволили глибше зрозуміти багато фізичних явищ у їхньому взаємозв'язку, що суттєво сприяло вдосконалюванню технології обробки металів. З погляду раціональної організації процесу різання при обробці сталей найбільш бажане мати зливальну стружку, оскільки вона є показником динамічної стійкості технологічної системи, забезпечує висока якість обробленої поверхні й гарантований час служби інструмента. У реальних умовах обробки заготовок це відповідає вузькому діапазону стану технологічної системи в процесі різання, що не завжди відповідає вимогам по продуктивності до застосовуваних режимів різання й параметрам стійкості інструмента. Поява збурювання в пружній системі приводить до зміни стану деформованої зони й до відповідного до зміни сил різання. Ця зміна не може поширюватися миттєво на всю зону, що викликає запізнювання в зміні сил різання. Наявність запізнених сил, що збуджують замкнену технологічну систему, може викликати автоколивання в процесі різання. Втрата стійкості процесу різання й виникнення автоколивань

викликають підвищення інтенсивності зношування різального інструменту й зниження довговічності виконавчих механізмів верстата. Наявність вібрацій обумовлює погіршення якості поверхневого шару виробу й точності обробки, що, в остаточному підсумку приводить до зниження продуктивності обробки й обмеженню технологічних можливостей устаткування [24].

При лезовій обробці відхилення реального мікропрофілю від розрахункового, детермінованого, відбувається в результаті вторинних пластичних деформацій. У зоні контакту інструмента й оброблюваної поверхні, пружного відновлення поверхневого шару й появи вібрацій при різанні.

Одним зі способів динамічної стабільності технологічної системи є створення багат шарових державок, у яких застосовують разорієнтацію структури металу (рис. 4.1). Пропоновану державку різального інструменту виготовляють із пакета зібраних між собою по площинах, паралельних опорній поверхні державки, пластин, вирізаних з листового прокату з поздовжньої 1, поперечної 2 і вертикальної 3, 4 орієнтуванням їх площини щодо напрямку їх прокатки й зібраних у пакет з кутом разорієнтації текстури [34].

Для досягнення найбільшого ефекту, що демпфірує, разорієнтація текстури деформації у двох сусідніх пластинах повинна бути максимальна. Тоді коливальна хвиля при переході границі роздягнула міняє свій напрямок, у результаті чого відбувається розсіювання енергії коливань. При малій величині разорієнтації текстури деформації дисипація енергії незначна. Тому в пропонованому технічному розв'язку пластини державки орієнтують таким чином, щоб при переході від однієї пластини до іншої текстура деформації змінювалася на  $90 \pm 100$  щодо дії на державку основний – тангенціальної складової сили різання (рис. 4.1).

Під дією сили різання у верхніх шарах державки виникають переважно максимальні розтягувальні напруги  $\sigma_p$ , а в нижніх, опорні напруги, що стискають,  $\sigma_{сж}$ . Тому для стабілізації міцності різних зон і збільшення міцності

й надійності всієї державки необхідні додаткові умови по орієнтації текстури деформації в пластинах збірні державки щодо сил різання.

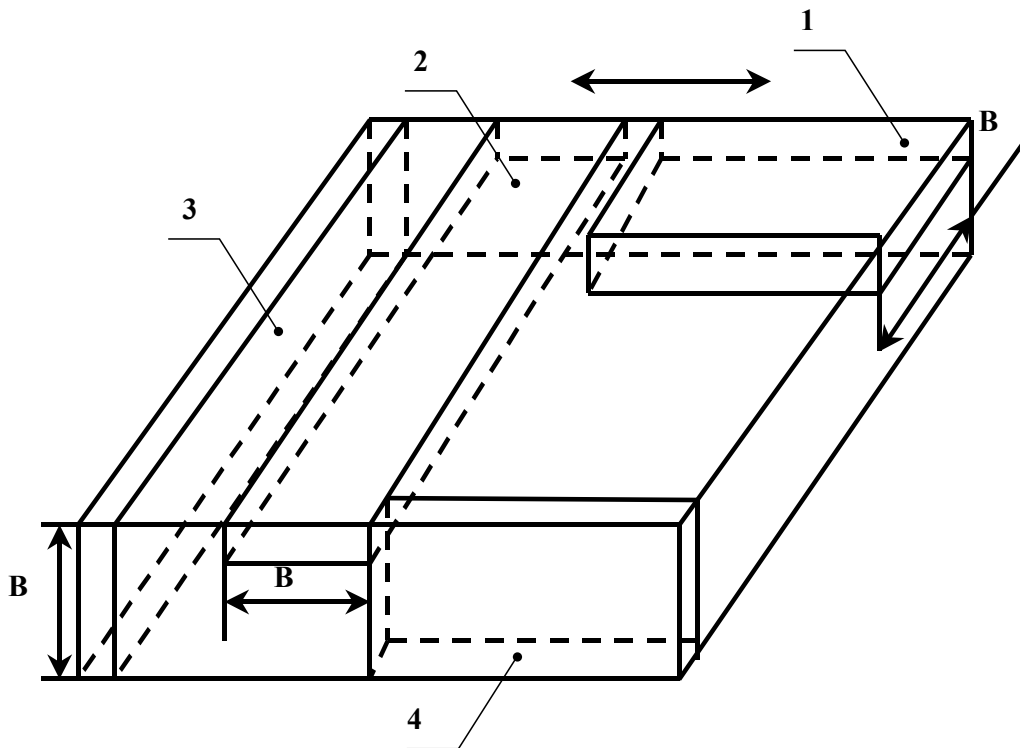


Рисунок 4.1 - Спосіб виготовлення пластин державки

Відомо, що максимальний опір розтягувальним напругам прокачаний метал виявляє в поздовжньому напрямку, а мінімальне - у вертикальному напрямку щодо напрямку прокатки. Максимальним опором стискаючим напругам, навпаки, прокачаний метал має у вертикальному напрямку, а мінімальним - у поздовжньому. Опір металу в поперечному напрямку й розтягувальне навантаження, що стискає мають проміжні значення. Напрямок прокатки в опорній пластині 1 орієнтоване паралельно тангенціальній складовій сили різання. У верхній пластині 2 напрямок прокатки орієнтовано паралельно радіальній складовій сили різання, а площина прокатки розташовується перпендикулярно тангенціальній складовій сили різання. Напрямок прокатки в середній пластині 3 паралельно дії осьової складової сили різання (рис. 4.2).

Випробування різального інструменту, державка якого, виготовлена по пропонованому способу, проводилася на верстаті мод. 16Б16Т1 на операції

точіння закріпленої в центрах заготовки зі сталі 40Х с твердістю HRC 50. Заготовка мала розміри  $\text{Ø } 60 \times 320$  мм.

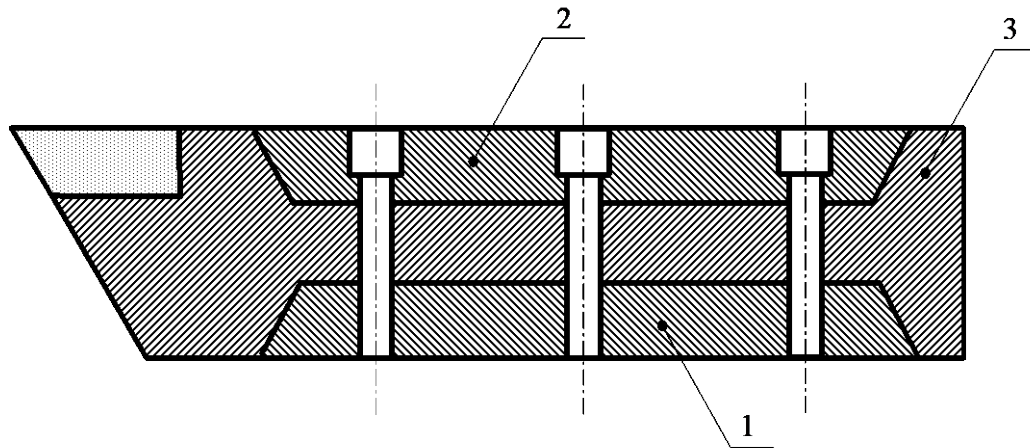


Рисунок 4.2 - Багатошарова державка

У якості різального інструменту використовували два різці з однаковим перетином  $25 \times 18$  мм, довжиною 150 мм, виготовлені зі сталі 40Х с твердістю HRC 63. У якості ріжучого матеріалу використовували ріжучу кераміку марки ВОК-63 форми 2010-0162. Випробування інструмента проводили на режимах різання  $v = 120$  м/хв,  $s = 0,15$  мм/об,  $t = 1,0$  мм. При установці перетворювача на осі  $X$  на пропонованій державке в процесі обробки отримана амплітуда коливань в 1,7...2,0 рази менше, чим на державке, виготовленої по відомому способу. При цьому зношування задньої поверхні ріжучої пластини при періоді стійкості  $T = 60$  хв в 1,6...1,8 раз менше, шорсткість обробленої поверхні по параметру  $R_a$  в 1,7...1,9 раз нижче. Логарифмічний декремент власних загасаючих коливань державки по осі  $X$ , закріпленої в інструментальному магазині, в 2,5...3,0 рази вище в порівнянні з типовими конструкціями інструмента.

Як видно з порівняльних випробувань, виготовлення державок різальних інструмент по пропонованому способу дозволяє в процесі обробки заготовок забезпечити більш ефективне динамічне гасіння коливань, чому відомі, тому що підвищується коефіцієнт поглинання й демпфірування коливань за рахунок великий дисипативної сили опору матеріалу державки з орієнтованої в різних напрямках текстурою деформації металу.

## 4.2 Аналіз способу виготовлення державки різального інструменту на основі анізотропних властивостей металу

Механічна обробка різанням є найпоширенішим видом формоутворення деталей з відповідних заготовок. На основі деталей комплектуються складальні одиниці, вузли машини в цілому. Тому вимоги до якості вироблених машин відповідним чином відображається в показниках якості кожної обробленої деталі [1].

Стосовно до механічної обробки різанням установлюються вимоги щодо точності виконання розмірів і форми виробу, мікрогеометрії оброблюваної поверхні, виду й рівня залишкових напруг. Розв'язок цих завдань пов'язане з необхідністю вибору режимів механічної обробки виробів з урахуванням динамічних властивостей технологічної системи.

Визначальний вплив на якість процесу обробки в металорізальному верстаті виявляють динамічні властивості технологічної системи, що полягає з підсистем «верстат – пристосування – інструмент - деталь». Динамічні властивості кожної з підсистем визначає сукупна властивість усієї технологічної системи в процесі обробки. На стадії тонкої лезової обробки найбільш слабкою ланкою є підсистема «заготовка-інструмент». Тому в даній роботі для забезпечення динамічної стабільності процесу різання в підсистемі «заготовка-інструмент» була розглянуто одна з домінуючих парціальних систем – система «інструмент». Для забезпечення динамічної стабільності в системі «інструмент» були використані анізотропні властивості металів для виготовлення державки різця [34].

Анізотропія є наслідком упорядкованості в розташуванні структурних елементів і їх орієнтації. Слово анізотропія походить від грецьких: «анізос» - нерівний і «тропос» - напрямок і означає неоднаковість властивостей матеріалу в різних структурних напрямках. Значною анізотропією відрізняються кристали, тому більші успіхи у вивченні фізичних властивостей анізотропних тіл нагромадилися в кристалофізики. Широко застосовуване в кристалофізики вчення про симетрію відкриває нові можливості й для

дослідження анізотропії механічних властивостей металів [3].

Анізотропія механічних властивостей стали, як правило, є наслідком переважного орієнтування кристалів після пластичного деформування (волочіння, прокатки або іншої обробки тиском) [4].

При прокатці листового металу його властивості двох напрямках – паралельному й перпендикулярному напрямку прокату – суттєво різняться [3, 4]. На рис. 4.3 представлені діаграми розтягання й стиску поздовжніх і поперечних зразків стали 40X після загартування й відпустки. Із цих діаграм випливає, що при стиску в процесі всього навантаження й при розтягання майже до межі міцності анізотропія практично не проявляється, у теж час по характеристиках руйнування при розтяганні поздовжні поперечні зразки мають істотну різницю.

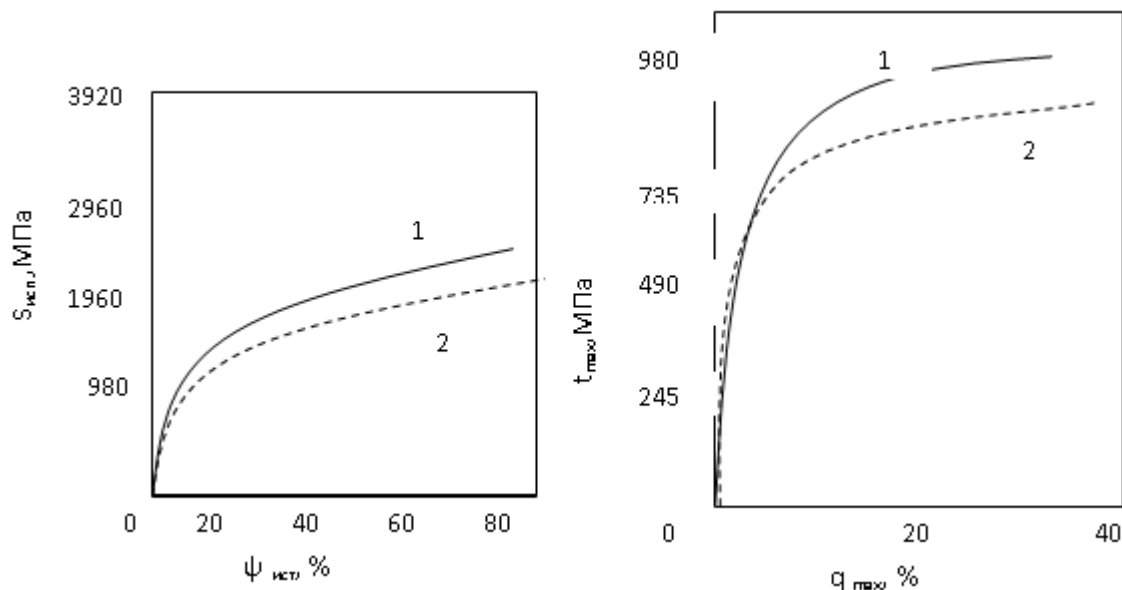


Рисунок 4.3 - Діаграма розтягування (а) і стиснення (б) зразків стали 40X: 1 поздовжні зразки; 2 - поперечні зразки

Для вибору складених елементів державки різця можна скористатися тензометричним способом. Тензометрією називається експериментальне вивчення деформації безпосередньо на деталях машин і конструкцій, що має своєю метою дослідження напруженого стану. До тензометрії прибігають звичайно тоді, коли теоретичне визначення напруг неможливо або коли необхідно перевірити ступінь відповідності теоретичних формул дійсності.

Обчислюються головні напруги, що діють у небезпечних крапках. У випадку якщо досліджується міцність деталей з анізотропного матеріалу, обчислення головних напруг не є необхідним. Перевірка міцності при плоскому напруженому стані вимагає визначення напруг, що діють по майданчиках симетрії матеріалу. Якщо напрямок осей симетрії матеріалу заздалегідь відомо, то завдання ця суттєво спрощується.

Визначення дійсного розташування осей симетрії ортотропного (неоднорідного по составу) матеріалу в деталі може бути здійснене різними способами. Іноді воно з великою точністю задається технологією виготовлення. Наприклад, у прокатних металевих аркушах напрямок прокату досить точно визначає положення однієї з осей симетрії всіх механічних властивостей металу.

Дійсний напрямок переважної орієнтації металу, а, отже, і розташування осей пружної симетрії при ортогональному укладанні волокон може бути знайдене за допомогою ультразвуку. Для цього на готову деталь наноситься окружність довільного радіуса (рис. 4.5.). Через дві діаметрально протилежні крапки 1 і 2 пропускається ультразвукова хвиля.

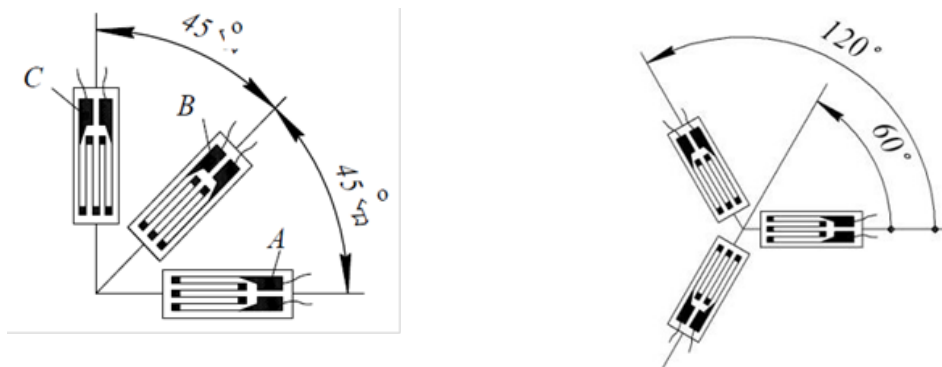


Рисунок 4.5 - Розетка тензометричних датчиків на поверхні деталі

Час, за який хвиля проходить відстань між відзначеними крапками, фіксується приладом, і по відомій відстані між крапками, рівному діаметру нанесеної окружності, визначається швидкість проходження ультразвукової хвилі. Швидше всього хвиля пробігає уздовж осі найбільшої твердості матеріалу, що збігається з напрямком переважної орієнтації волокон. Тому, вимірюючи швидкість хвилі в декількох напрямках, можна легко визначити вісь найбільшої твердості, тобто вісь пружної симетрії матеріалу.

Найбільше поширення при вивченні напруженого стану в деталях з анізотропних матеріалів знайшли дротові датчики (тензорезистори). Для визначення напруг застосовуються розетки, що полягають із трьох датчиків. Два датчики розетки наклеюються по напрямках осей симетрії матеріалу, а третій — під кутом  $45^\circ$  до перших двом [5].

Особливості тензометричного визначення напруг, що діють у деталях з анізотропних матеріалів, можуть бути прикладом практичного застосування в розв'язку питань вібростійкості різального інструменту.

### 4.3 Результати й висновки по розділу

Проаналізувавши вищевикладені дані можна зробити наступні висновки;

1. Енергія, що розсіюється за цикл, залежить від тривалого циклу; при цьому, чим більше частота процесу, тем більшої виявляється й площа петлі гістерезису. Численними прямими й непрямыми експериментами встановлене, що в реальних матеріалів цей зв'язок відсутня для досить широкої області значень амплітуд напруг (крім досить малих) і частот (крім понад високі).

2. При лезовій обробці відхилення реального мікропрофілю від розрахункового, детермірованного, відбувається в результаті вторинних пластичних деформацій.

3. Одним зі способів динамічної стабільності технологічної системи є створення багат шарових державок, у яких застосовують разорієнтацію структури металу.

4. Анізотропія механічних властивостей стали, як правило, є наслідком переважного орієнтування кристалів після пластичного деформування (волочіння, прокатки або іншої обробки тиском).

У результаті вищевикладеного матеріалу можна визначити мети й завдання подальших досліджень:

1. Досліджувати пластини державки в поперечному й поздовжньому виконанні на ступінь анізотропії.

2. Досліджувати різальний інструмент із анізотропними властивостями державки.

3. Одержати дані про найбільш сприятливі режими обробки інструментом з анізотропними властивостями.

## 5. ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З АНІЗОТРОПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЕРЖАВКИ

### 5.1 Анізотропія характеристик міцності за експериментальними даними

Анізотропія металу, обробленого тиском, відома дуже давно [36, 37]. Анізотропія чистих металів і твердих розчинів пояснюється тим, що при пластичному деформуванні кристаліти ухвалюють форму витягнутих у довжину дисків, а їх кристалографічні осі стають паралельними один одному, що створює орієнтовану структуру (текстуру).

Характер анізотропії може бути різним залежно від структури металу. Для прокатних міді й алюмінію характерно мінімальне значення межі міцності на розрив під кутом  $45^\circ$  до напрямку прокату. Для латуні величина межі міцності зменшується поступово від напрямку прокату, досягаючи мінімуму в поперечному напрямку. Для цинку міцність у поперечному напрямку більше, чим у напрямку прокату (рис. 4.1).

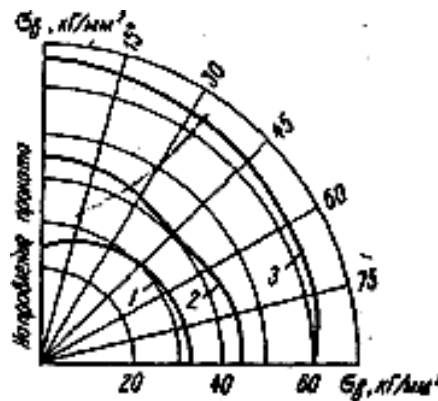


Рисунок 5.1 - Полярна діаграма межі міцності  $\sigma_y$  при розтяганні катаних аркушів кольорових металів, побудована за даними роботи [21]: 1- цинк; 2 — чиста мідь; 3 — латунь

Найбільш зручним методом випробування для перевірки ступеня анізотропії металу служить розтягання. Не тільки межа міцності, але й межа пружності й плинності, а також характеристики пластичності при розтяганні виявляють анізотропію. При цьому ступінь анізотропії різний для різних

характеристик і може бути різної при розтяганні й стиску. У табл. 5.1 наведені характеристики міцності алюмінієво-магнієвого сплаву при розтяганні й стиску [23]. Майже всі характеристики міцності цього сплаву в напрямку прокату при розтяганні нижче, а при стиску вище, чим у перпендикулярному напрямку.

Характеристики міцності алюмінієво-магнієвого сплаву при розтяганні й стиску див. (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Характеристики міцності алюмінієво-магнієвого сплаву при розтяганні й стиску

Характеристика міцності, кг/мм <sup>2</sup>	Розтягання			Стиск		
	Кут напрямку прокату, град.					
	0	45	90	0	45	90
Межа пружності $\sigma_{0,02}$	8,5	5,3	9,4	10,4	6,3	7,1
Границя текучості $\sigma_{0,2}$	14,0	11,7	18,1	20,3	10,8	11,8
Межа міцності $\sigma_B$	16,0	18,5	23,0	39,8	35,2	41,6

За даними табл. 5.1 і по формулі побудовані криві (рис. 5.2), що показують, що характер анізотропії цього сплаву при розтяганні й при стиску зовсім різний.

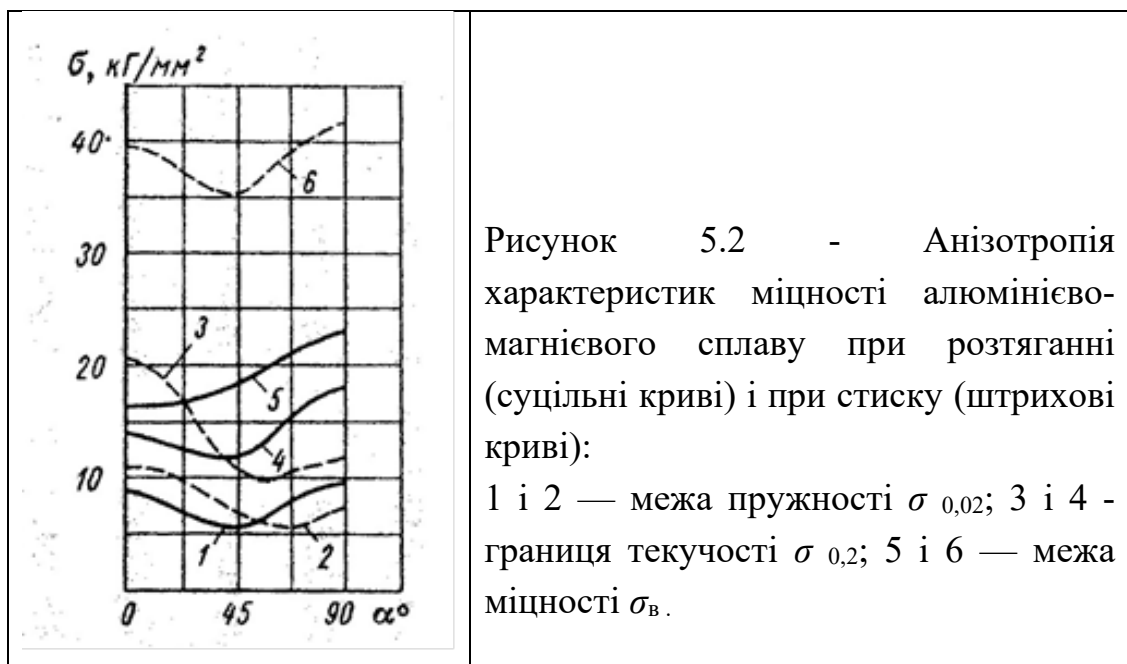


Рисунок 5.2 - Анізотропія характеристик міцності алюмінієво-магнієвого сплаву при розтяганні (суцільні криві) і при стиску (штрихові криві):  
1 і 2 — межа пружності  $\sigma_{0,02}$ ; 3 і 4 - границя текучості  $\sigma_{0,2}$ ; 5 і 6 — межа міцності  $\sigma_B$ .

Неметалічні включення, наявні в більшості прокатних металів, підсилюють анізотропію, а на думку деяких авторів, є її основною причиною [36]. При обробці тиском неметалічні включення витягаються й розташовуються в листовому прокаті у вигляді тонких плівок, утворюючи так звану «порядкову» структуру. По характеру анізотропії такий метал близький до шаруватих матеріалів зі слабкими прошарками. Його руйнування часте йде по площині, паралельній площині аркуша, тобто по «рядкові».

Для «порядкової» структури характерно, що межі міцності в напрямку «волокон» металу завжди найбільші, а в поперечних напрямках — найменші.

У роботі [37] наведені результати дослідження анізотропії холоднокатаної сталі «порядкової» структури при різних ступенях наклепу. Метою цього дослідження було вивчення причини появи «вух» (фестонів), що приводять до шлюбу при виготовленні патронних склянок з катаної сталі за допомогою глибокої витяжки. Поява вух пов'язане з тим, що метал в одних напрямках витягається легше, а в інших - сужніше, що характеризується анізотропією пластичних властивостей. Це явище замічене в аркушах міді, сплаву міді з нікелем, латуні й сталі.

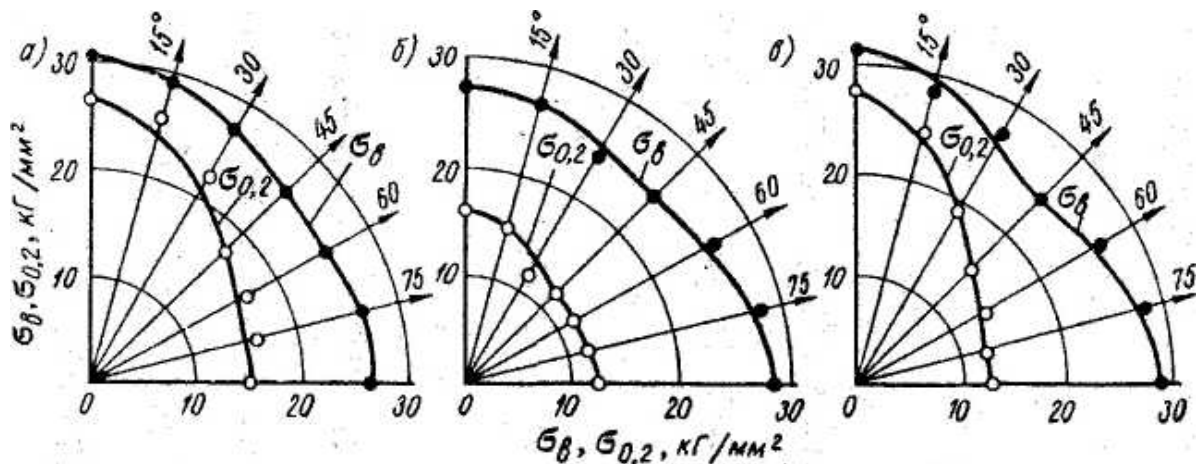


Рисунок 5.3 - Полярні діаграми зміни межі міцності  $\sigma_b$  і границі текучості  $\sigma_{0,2}$  магнієвого сплаву залежно від напрямку вирізки зразків: а — у площині пресування; б — у площині, перпендикулярної пластин і напрямку пресування; в — у площині, перпендикулярної пластин і паралельному напрямку пресування;  $O_{ii}^*$  - середні результати випробувань.

Radwan FAA [43] вважає основною причиною анізотропії, особливо при великому ступені наклепу (більш 70%), не текстуру, а волокниста будова металу, при якому на границях зерен виділяється цементит і неметалічні включення, що утворюють як би плівку, що розділяє волокна. При наклепі понад 70% така волокниста або рядкова структура приводить до того, що руйнування зразків, що розтягуються під кутом більш  $45^\circ$  до напрямку прокату металу, відбувається по майданчиках, паралельних волокнах, що характерно головним чином для таких сильно анізотропних волокнистих матеріалів як деревина.

При дуже великому ступені наклепу (85%) межа міцності в напрямку, перпендикулярному прокатці ( $\alpha = 90^\circ$ ), помітно падає. Відносне звуження при цьому теж падає. Матеріал проявляє схильність до тендітного руйнування, що характерно для всіх шаруватих матеріалів при розтяганні в напрямку, перпендикулярному шарам.

Ще більш значна анізотропія ударної в'язкості сталевого прокату при рядкової структурі, обумовленої неметалічними включеннями. За даними роботи [37] величина ударної в'язкості поперечних зразків конструкційної сталі становить усього 27,9% від величини ударної в'язкості поздовжніх зразків.

Так, за даними роботи [36] величина  $a_n$  для зразків, паралельних ширині пресованої смуги алюмінієвого сплаву, виходить у два рази, а для зразків, паралельних товщині, майже в чотири рази нижче, чим  $a_n$  для зразків, паралельних довжині. Ще більш значна анізотропія ударної в'язкості сталевого прокату при рядкової структурі, обумовленої неметалічними включеннями. За даними роботи [37] величина ударної в'язкості поперечних зразків конструкційної сталі становить усього 27,9% від величини ударної в'язкості поздовжніх зразків.

На рис. 5.4. представлені криві, побудовані за даними Е. Гувер . Як видно із цього малюнка, анізотропія ударної в'язкості (крива 3) більш значна, чому анізотропія розривного зусилля (криві 1 і 2). Прокатна сталь

випробовувалася Е. Гувер у різні стосовно прокату напрямках.

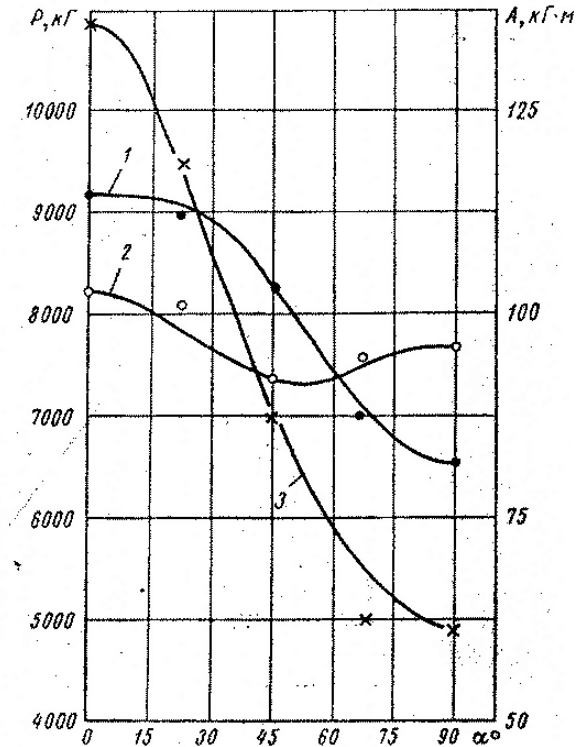


Рисунок 5.4 - Залежність міцності прокатної сталі від кута  $\alpha^\circ$  нахилу зусилля до напрямку прокату (за даними Е. Гувер):

1, 2 — розривне зусилля  $P$  для сталей партій I і II; 3 — робота розриву  $A$  для сталі партії I

Частина смуг сталі (партія I) була прокачана тільки в поздовжньому напрямку, причому довжина прокачаних смуг в 210 раз перевищувала довжину виливків. Інші смуги сталі (партія II) були отримані прокаткою спершу в поздовжньому напрямку (довжина плити була в 13 раз більше довжини виливка), а потім у перпендикулярному (довжина плити збільшилася в 19 раз). При цьому на поверхні смуг не було виявлено ніяких ушкоджень або дефектів. Анізотропія міцності сталі партії II невелика й становить по величині тимчасового опору на стандартних зразках  $\sigma_0 / \sigma_{90}$  1,1.

Випробування анізотропної сталеві смуги проводилися Е. Гувер на зразках у формі пластинок із глибоким надрізом і свердлінням наприкінці надрізу. Ці зразки випробовувалися при різних кутах нахилу розривного зусилля до напрямку прокату смуги, причому надріз завжди залишався перпендикулярним розривному зусиллю. Були випробувано два види

матеріалу: сталь партії I зазнала до випробувань попередньому прокату в одному напрямку, а сталь партії II відрізнялася від сталі партії I тільки тим, що була прокачана у два взаємно перпендикулярних напрямках.

Ординати кривих 1, 2 і 3 (рис. 5.4) підраховані по формулі . Між даними розрахунків і досвіду вийшла досить близька відповідність. Очевидно, внаслідок незначної анізотропії пружних властивостей прокатної сталі, відмінності в напружених станах по різному орієнтованих зразків вийшли в цих випробуваннях незначними. Коефіцієнт концентрації напруг, що змінюється залежно від напрямку розтяжного зусилля тем сильніше, чим більше відмінність у модулях пружності  $E$  уздовж і поперек прокату, у цьому випадку залишався майже постійним. Тому й виявилось, що формула (49), виведена для характеристик міцності при однорідних простих напружених станах, приблизно слухна й при складних напружених станах, при яких обставини досвіду майже не міняються при зміні орієнтування зразка.

## **5.2 Спосіб виготовлення й методика випробування механічних властивостей пластин державки**

Спосіб ставиться до обробки металів різанням, зокрема до виробництва металорізального інструмента. Метою такого способу є підвищення стійкості за рахунок зменшення вібрацій державки. Пластини державки виготовляють із листового прокату з поздовжнім і поперечним орієнтуванням їх по площині щодо напрямку прокатки. Вони кріпляться на корпусі державки з кутом разоорієнтовки текстури деформацій у нижній і верхньої пластинах. Причому напрямок прокатки в пластині з опорною поверхнею орієнтоване паралельно тангенціальній складовій сили різання, а у верхньої пластині напрямок прокатки орієнтований паралельно радіальній складовій сили різання.

Таким чином, пластини мають різну текстуру деформації у своїй площині й у своєму перетині, мають різні фізико-механічні, у тому числі властивостями, що демпфують, щодо дії сил, що навантажують (складові

сили різання). Для досягнення найбільшого ефекту, що демпфірує, разорієнтація текстури у верхній і нижньої пластини повинна бути максимальної. Тоді коливальна хвиля при переході границі роздягнула міняє свій напрямок, у результаті чого відбувається розсіювання енергії коливань. При малій величині разорієнтації текстури деформації енергія незначна. Тому в пропонуваному технічному розв'язку пластини державки орієнтовані таким чином, щоб при переході від однієї пластини до іншої текстура деформацій змінювалася на  $90^\circ \pm \text{°}$  щодо дії на державку основний – тангенціальної складової сили різання. Відомо, що максимальний опір розтягувальним напругам прокачаний метал виявляє в поздовжньому напрямку, а мінімальне – у вертикальному напрямку щодо напрямку прокату. Максимальним опором стискаючою напругою, навпаки, прокачаний метал має у вертикальному напрямку, а мінімальним – у поздовжньому. Опір металу в поперечному напрямку стискаючим напругам, що й розсіюють і, має проміжні значення. Напрямок прокатки в опорній пластині орієнтоване паралельно тангенціальної складової сили різання. У верхній пластині напрямок прокатки орієнтований паралельно радіальної складової сили різання, а площина прокатки розташовується перпендикулярно тангенціальної складової сили різання.

Перевірка механічних властивостей пластин державки була зроблена за допомогою іспитових зразків у лабораторії металів (див. рис. 5.5 і 5.6).

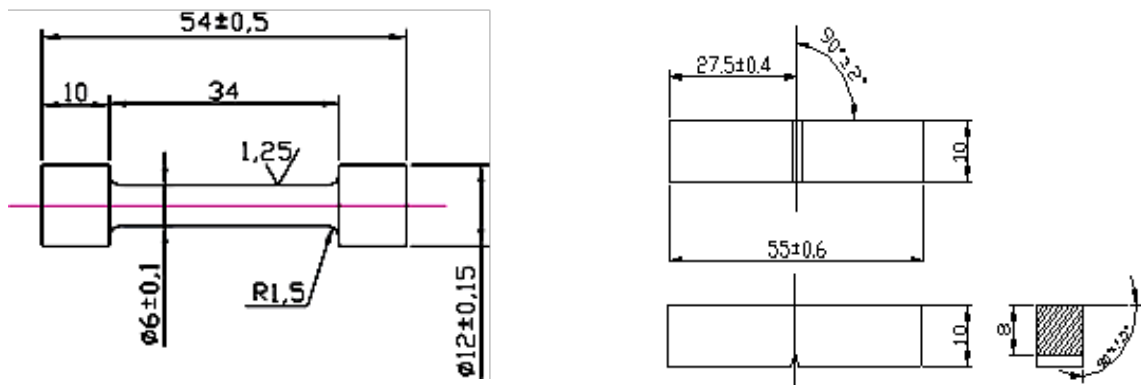


Рисунок 5.5 - Зразок циліндричний і Зразок для випробувань на ударне розтягнення (тип III N6) ДЕРЖСТАНДАРТ 1497-73 вигин (тип I – КСУ) ДЕРЖСТАНДАРТ 9454-73

Результати випробувань наведені в (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Протокол випробування відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 1497-84, 9454-78

Іспитове встаткування 1958 МК-30 Тип зразка: Тип III N6 Тип I		Вимоги: Матеріал: Сталь 45						
Випробування проведені відповідно до : ДЕРЖСТАНДАРТ 1497-84, 9454-78								
N п/п	Напрямок проби	N Зразка	Границя текучості $\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження $\delta_5$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Ударна в'язкість КСУ кДж/м <sup>2</sup>	Твердість НВ
	90°	1	380	640	26	51		
	90°	2	380	630	31	53		
	90°	3					735	
	90°	4					735	
	0°	5	380	650	33	58		
	0°	6	380	640	30	57		
	0°	7					955	
	0°	8					980	

За результатами механічних випробувань складемо діаграму рис.5.6.

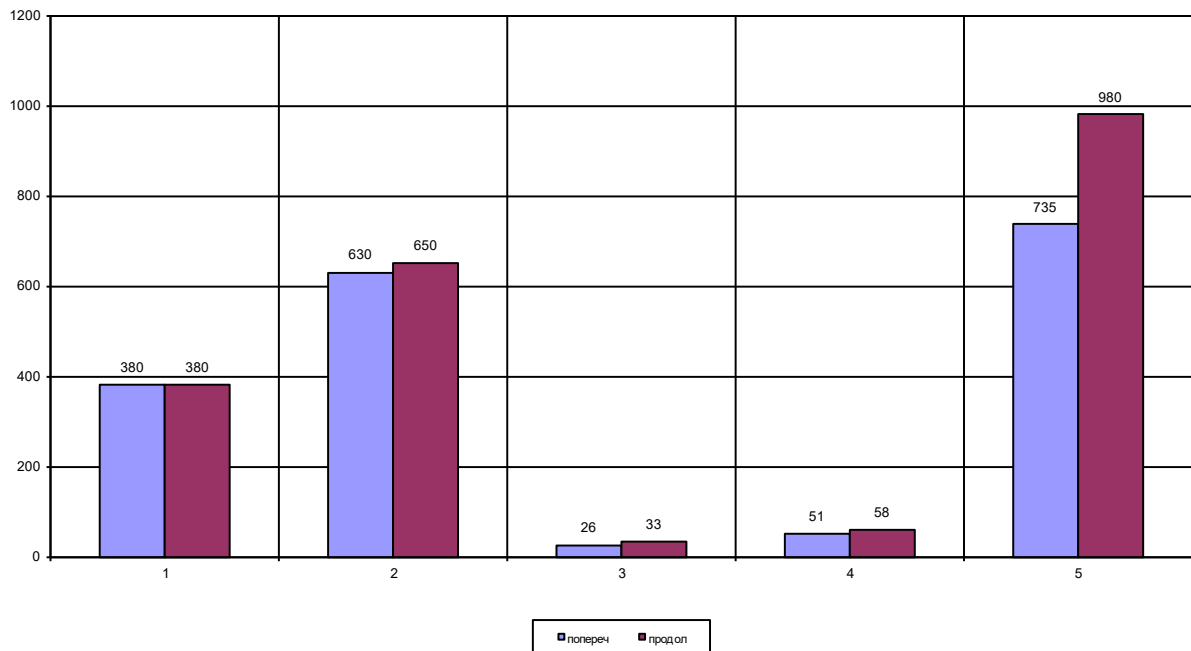


Рисунок 5.6 - Діаграма результатів випробувань

1. Границя текучості -  $\sigma_{0,2}$ , Н/мм<sup>2</sup>;
2. Границя текучості -  $\sigma_b$ , Н/мм<sup>2</sup>;
3. Відносне подовження -  $\delta_5$ , %;
4. Відносне звуження -  $\psi$ , %;
5. Ударна в'язкість КСУ, кДж/м<sup>2</sup>.

З діаграми видно, що в зразках з поздовжньою й поперечною текстурою є відмінності механічних властивостей. Це значить, що ми маємо ефект анізотропії. Анізотропія механічних властивостей матеріалу зв'язана насамперед з особливостями їх внутрішньої будови. Тому анізотропію більшою мірою характеризує співвідношення поздовжніх і поперечних властивостей досліджуваного матеріалу. У зв'язку із цим визначальним у поздовжньому й поперечному напрямках, відповідно орієнтованих стосовно осі анізотропії, є пластичний стан і дотичний напруження. Пластини державки виготовлено зі сталі 40Х ДЕРЖСТАНДАРТ1080-88. Представимо таблицю хімічного складу, механічних і технологічних властивостей сталі 40Х (див. табл. 5.3).

Таблиця 5.3 - Хімічний склад, механічні й технологічні властивості Ст 40Х

Хімічний склад, %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
			Не більш				
0,44-0,46	0,17-0,37	0,5-0,8	0,04	0,04	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25
Механічні властивості							
Режим термообробки	Розташування зразка	$\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$a_n$ , кгс·м/см <sup>2</sup>	НВ
Отжиг	поздовжнє						≤ 170
Нормалізація	поздовжнє	28	52	18	45	4,0	145-187
Загартування	поздовжнє	45	65	22	55	7	HRC ≤ 50
Технологічні властивості							
Температура кування		Зварюваність		Оброблюваність в різанні	Схильність до відпускнуї крихкості	корозійна стійкість	
початок	кінець	РДС і ЕШС. Необхідний підігрів і наступна термообробка		Твердий сплав K <sub>v</sub> =2,0 Швидкорізальна а сталь K <sub>v</sub> =1,0 НВ ≤ 187	Схильна	Низька	
1250	800						

Призначення: шестеренні вали, зубчасті колеса, шпинделі, бандажі, плунжери, колінчаті й розподільні вали, важелі, траверси, циліндри, муфти, штифти, шайби, втулки й т.п.

### 5.3 Експериментальні дослідження різального інструменту з анізотропними властивостями державки

Зробимо порівняльні випробування шорсткості оброблюваної поверхні після обробки різцями старої й нової конструкції. Обробку будемо робити на токарно-гвинторізному верстаті марки 400. ПАТ "Світло шахтаря"

#### Технологічне оснащення:

1. Патрон токарний 3-х кулачковий, самоцентруючий, підвищеної точності Ф 250
2. Центр обертання К/М N5 ДЕРЖСТАНДАРТ 8742-75

#### Різальний інструмент:

1. Різець токарський збірний прохідної з механічним кріпленням пластин тригранної форми з кераміки (стара конструкція).  $H \times b \times l$ , мм: 25×25×145.

2. Різець токарний збірний прохідної з різноорієнтованою текстурою державки, з механічним кріпленням пластин тригранної форми з кераміки (нова конструкція).  $H \times b \times l$ , мм: 25×25×145.

3. Ріжуча пластина TNUN 160404 ДЕРЖСТАНДАРТ 25003-81; форма пластини – 01111-160404; матеріал пластини – сплав ВОК-71. Пластина виготовлена з керамічного інструментального матеріалу оксидного й оксидно-карбідного типів за ДСТ 26630-85 (ІСО 883-85). Марка й основні фізико-механічні властивості матеріалів повинні відповідати зазначеним в (Табл. 5.4).

Таблиця 5.4 - Фізико-механічні властивості матеріалів

Марка (сполука)	Код ДКПП	Група застосування по ІСО 513-75	Фізико-механічні властивості		
			Щільність $\times 103, \text{кг/м}^3$	Межа міцності при вигині, $\text{Н/мм}^2$ ( $\text{кгс/мм}^2$ ), не менш	Твердість НРА, не менш
ВОК-71 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ )	197612	PO1 (K1)	4,20-4,30	637 (65)	93

Прим.1. Межа міцності при поперечному вигині визначають за ДСТ 200019-74.

1. Твердість матеріалів по Роквеллу – за ДСТ 20017-74.
2. Щільність матеріалів визначають за ДСТ 20018-74.

Ріжучі змінні пластини зі сплаву марки ВОК-71 застосовуються при чистовій і напівчистовій токарській обробці загартованих конструкційних сталей НРС 45...60 і більш, сірих ковких легованих чавунів з високими швидкостями різання з малими перетинами зрізу.

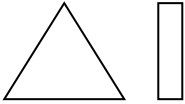
Система позначення пластин.

1. Цифрове й буквено-цифрові позначення пластин – за ДСТ 19042-80.
2. Умовна позначка пластин складається з урахуванням загальносоюзного класифікатора продукції (ДКПП).

Повний код ДКПП умовної позначки пластин складається з 16 знаків, перші шість із яких (код ВКГ ДКПП) позначає марку кераміки, що випливають чотири знаки (код серійно-порядкового номера ДКПП) – форму пластини, останні шість знаків – розмір пластин.

Код серійно-порядкового номера ДКПП для пластин зазначений в (Табл. 5.5).

Таблиця 5.5 - Код серійно-порядкового номера ДКПП для пластин

Позначення пластин		Код серійно-порядкового номера ДКПП	Найменування пластин	Ескіз	Рекомендоване призначення
Цифрове	Буквено-цифрове				
01111	TNUN	0352	Пластина правильної тригранної форми		Токарські й прохідні, підрізні й розточувальні різці

3. Пластини повинні виготовлятися двох класів:

U – шліфовані по опорних і задніх поверхнях;

G - шліфовані по опорних і задніх поверхнях з більш твердими допусками.

4. Граничні відхилення контрольованих параметрів пластин повинні відповідати величинам, зазначеним в (Табл. 5.6).

Таблиця 5.6 - Граничні відхилення контрольованих параметрів пластин

Контрольований параметр		Граничне відхилення для пластин класів	
		U	G
Діаметр уписаної окружності $d$	Св. 9,525 до 12,700	$\pm 0,130$	$\pm 0,025$
Товщина $s$		$\pm 0,13$	$\pm 0,13$
Радіус при вершині $r$		$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Кут при вершині		$\pm 30'$	$\pm 5'$
Відхилення від паралельності опорних поверхонь		0,025	0,025
Відхилення від перпендикулярності задніх поверхонь до опорної		$\pm 30'$	$\pm 15'$
Відхилення від площинності опорної поверхні	Опуклість	0,005	0,005
	Увігнутість	0,015	0,015
Відхилення від площинності задніх поверхонь	Опуклість	0,025	0,010
	Увігнутість	0,050	0,010
Ширина фаски $f$		$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
Кут нахилу фаски		$\pm 30'$	$\pm 30'$

Вимір шорсткості оброблюваної деталі проводилися за допомогою профілометра Pocket Surf - "Federal Products Co.", США. Даний прилад працює на батарейках, утримується в руках, може використовуватися на будь-яких деталях при вимірі шорсткості поверхні. Дана модель розрахована на цифрову оцінку шорсткості поверхні по  $R_a$ .

Технічна характеристика приладу:

1. Розмір: 105×1×17,5 мм
2. Маса: 130 г
3. Вимірювальний діапазон: 0,1 мкм – 40 мкм
4. Довжина переміщення датчика: 5 мм
5. Швидкість переміщення датчика 2мм/сек
6. Вимірювальне зусилля: 10 мН (1г)
7. Погрішність: 5% від відліку 0,1 мкм
8. Робочі умови: 5-40°C; Відносна вологість – 90%; Ємність батарейок: понад 10000 операції

Перед початком роботи слід перевірити прилад на правильність

калібрування з використанням еталона, який перебуває на дні переносного футляра. На цифровому табло повинне бути :  $6,1 \text{ мкм} \pm 0,3 \text{ мкм}$ .

Порядок роботи із приладом:

Перемістити огороження вимірювального щупа із укрій лівого положення вправо; установивши Профілометр Pocket Surf у вертикальне положення на контрольовану поверхню таким чином, щоб дві стрілки на передній панелі корпусу розташовувалися над місцем контролю або під еталоном. Нажати пускову кнопку у верхній частині приладу. Вимірювальний щуп переміститься на відстань 5 мм поперек слідів механічної обробки. На індикаторному табло з'явиться результат виміру.

Практичні випробування.

Порівняльні випробування шорсткості оброблюваної поверхні будемо робити на деталях “Калібр” креслення МА 19105.02.001. Деталь виготовляється зі сталі марки ХВГ ДЕРЖСТАНДАРТ 5950-73. Деталь “Калібр” входить до складу установки для дорновки . Умови роботи установки вимагають від конструкції даної деталі виконання наступних параметрів:

обробити зовнішній діаметр деталі в розмір  $\varnothing 38,2 \text{ h}6(-0,016)$  із чистотою поверхні  $Ra = 1,25 \text{ мкм}$  при твердості 58...62 HRC.

Методика випробувань.

Випробування будемо робити на заготовці зі сталі марки ХВГ. Твердість заготовки після термообробки, становить 58...62 HRC. Обробляти будемо зовнішній діаметр деталі, тобто імітувати чистову (остаточну) обробку, намагаючись досягти як можна більшу чистоту оброблюваної поверхні. У процесі обробки будемо міняти наступні параметри:

1. Швидкість різання:

Швидкість різання  $V$  розраховують по емпіричних формулах, установлених для кожного виду обробки, які мають загальний вигляд:

$$V = C_v / T^m t^x S^y K_v - (\text{м/с}) \text{ [39] т.2, с.268,}$$

де:  $t$  – глибина різання в мм;

$S$  - подача різання мм/ про;

$C_v$  – коефіцієнт залежний від марки оброблюваного матеріалу; для чистової обробки  $C_v=420$

$T$  – період стійкості різального інструменту, хв; (середнє значення стійкості  $T$  при одноінструментної обробці – 30-60 хвилин);

$m, x_v, y_v$ , - статечні показники, які вибираються по літературі [39] табл. 17, с.269-270.

Значення коефіцієнта  $C_v$  і показників ступені, що втримуються в цих формулах, так само як і періоду стійкості  $T$  інструмента, застосовуваного для даного виду обробки, наведені в таблицях для кожного виду обробки [2]. Обчислена з використанням табличних даних швидкість різання  $V$  урахує конкретні значення глибини різання  $t$ , подачі  $s$  і стійкості  $T$  и дійсна при певних табличних значеннях ряду інших факторів. Тому для одержання дійсного значення швидкості різання  $V$  з урахуванням конкретних значень згаданих факторів уводиться поправочний коефіцієнт  $K_v$ . Тоді дійсна швидкість різання  $V = V_{тб} \times K_v$ , де  $K_v$  – добуток ряду коефіцієнтів. Найважливішим з них, загальними для різних видів обробки, є:

$K_{mv}$  – коефіцієнт враховуючий вплив матеріалу заготовки, - [39] табл.1-4,с.261-263;

$K_{nv}$  – коефіцієнт, що відбиває стан поверхні заготовки, -[39] табл.5,с.263;

$K_{uv}$  – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструмента, -[39] табл.5,с.263;

$K_\phi$  – поправочний коефіцієнт на величину головного кута в плані, -[39] табл.18,с.271;

$K_r$  – поправочний коефіцієнт на радіус при вершині різця, -[39] табл.18,с.271;

$$K_v = K_{mv} \times K_{nv} \times K_{uv} \times K_\phi \times K_r$$

$$K_{mv} = k_T (750/\sigma_B)^{nv} = 0,85 \times (750/1000)^{1,0} = 0,637$$

$k_T$  – коефіцієнт, що характеризує групу сталі по оброблюваності. -[39]

табл.2,с.262; ухвалюємо  $k_T = 0,85$ ;

$n_v$  – показник ступеня - [39] табл.2,с.262;

$K_{nv}$  – ухвалюємо рівним 1,0

$K_{uv}$  – ухвалюємо рівним 0,92

$K_\phi$  – ухвалюємо рівним 0,7

$K_r$  – ухвалюємо рівним 1,0

$K_v = 0,637 \cdot 1,0 \cdot 0,92 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 0,41$

$V = 420/600^{0,2} \cdot 0,2^{0,15} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,41 = 153,75$  м/хв

Визначаємо частоту обертання шпинделя

$$n = 1000 \cdot V / \pi \cdot D$$

$$n = 1000 \cdot 153,75 / 3,14 \cdot 49,2 = 995,22 \text{ хв}^{-1}$$

$D$  – діаметр експериментальної заготовки після термообробки 50 мм, рекомендується перед чистою обробкою обробити поверхню під чистову обробку із глибиною різання 0,4 мм. Одержали для підрахунку розрахунковий діаметр рівний 49,2 мм.

По паспорту верстата вибираємо найближче значення, яке рівно 1000  $\text{хв}^{-1}$ .

Коректуємо швидкість різання  $V$  згідно з паспортними значеннями частоти обертання шпинделя:

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 = 3,14 \cdot 49,2 \cdot 1000 / 1000 = 154,48 \text{ м/хв}$$

Оздоблювальна токарська обробка має ряд особливостей, що відрізняють її від чорнового й міжопераційного точіння, тому рекомендовані режими різання при тонкому (алмазному) точінні на швидкохідних токарських верстатах наведені -[39] табл.19,с.271;

Приклад: сталь із  $\sigma_B \geq 800$  МПа із шорсткістю поверхні в межах  $Ra = 1,25 - 0,63$  мкм, при подачі 0,06 – 0,12 мм/ про при обробці різцем з матеріалом ріжучої частини інструмента з Т30 К4 швидкість різання повинна бути в межах 120-170 м /хв.

У зв'язку з вищевикладеним і керуючись довідковою літературою й паспортними даними верстата - вибираємо оптимальні  $s$ ,  $t$  і  $V$ . Так що

випробування будемо робити при швидкості  $V = 154,48$  м/хв, з подачею  $s = 0,1$  мм/об, при глибині різання  $t = 0,2$  мм.

Обробку деталі будемо робити по черзі різцем нової й старої конструкції.

### Експеримент №1.

Перевіряємо шорсткість оброблюваної поверхні зі зміною швидкості різання, міняючи частоту обертання шпинделя згідно з паспортними даними верстата (див. табл. 4.7). Подача й глибина різання – величини постійні:

$S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,2$  мм. Експеримент будемо робити по п'яти параметрам, вибираючи оптимальну швидкість різання й при цьому порівнювати шорсткість поверхні деталі після обробки різцями старої й нової конструкції. Шорсткість оброблюваної поверхні будемо вимірювати в трьох різних точках, із занесенням результатів вимірів у таблицю. Під графою 3-х вимірів будемо вважати середній результат.

Шорсткість поверхні при обробці зі зміною швидкості різання (Табл. 5.7)

Таблиця 5.7 - Шорсткість поверхні при обробці зі зміною швидкості різання

№ Експ	$n, \text{хв}^{-1}$	$V, \text{м/хв}$	Новий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$			Старий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$		
1.1	500	80	0,9	1,1	0,9	1,2	1,2	1,1
			Середнє значення - 0,966			Середнє значення – 1,16		
1.2	630	97	1,0	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2
			Середнє значення - 1,0			Середнє значення – 1,26		
1.3	800	123	0,8	1,0	0,9	1,3	1,3	1,4
			Середнє значення - 0,9			Середнє значення – 1,33		
1.4	1000	154	1,0	1,1	1,1	1,3	1,5	1,4
			Середнє значення – 1,06			Середнє значення – 1,4		
1.5	1250	192	0,7	0,8	0,6	1,4	1,3	1,4
			Середнє значення - 0,7			Середнє значення – 1,36		

Результати експерименту №1:

1. Різець нової конструкції по всіх параметрах показав більш високий клас значення шорсткості оброблюваної поверхні. Зі збільшенням швидкості різання, шорсткість поверхневого шару поліпшується. Цей процес явно видний на графіку. Особливо гарні значення отримані в експерименту 1.5 при швидкості різання 192 м/хв.

2. Різець старої конструкції по всіх параметрах випробувань показав більш низький клас оброблюваної поверхні. У різця старої конструкції не так явно виражена залежність чистоти оброблюваної поверхні від швидкості різання.

### Експеримент №2.

Перевіряємо шорсткість оброблюваної поверхні зі зміною подачі, згідно паспортним даним верстата (див. табл. 5.8). Швидкість і глибина різання – величини постійні:  $V = 154$  м/хв,  $t = 0,2$  мм. Експеримент будемо проводити також по п'яти параметрам, вибираючи оптимальну подачу, при постійній швидкості різання й при цьому порівнювати шорсткість поверхні після обробки поверхні деталі різцями старої й нової конструкції. Шорсткість оброблюваної поверхні будемо вимірювати в трьох різних точках, із занесенням результатів вимірів у таблицю. Під графою 3-х вимірів будемо вважати середній результат.

Таблиця 5.8 - Шорсткість поверхні при обробці зі зміною подачі

№ Експ	s, мм/об	V, м/хв	Новий різець (Чистота обробки) Ra, мкм			Старий різець (Чистота обробки) Ra, мкм		
2.1	0,06	154	0,7	0,7	0,9	1,1	1,0	1,1
			Середнє значення - 0,766			Середнє значення – 1,066		
2.2	0,1	154	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,0
			Середнє значення - 1,033			Середнє значення – 1,16		
2.3	0,15	154	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
			Середнє значення - 1,6			Середнє значення – 1,6		
2.4	0,2	154	1,9	1,6	1,5	1,7	1,7	1,9
			Середнє значення – 1,6			Середнє значення – 1,76		
2.5	0,25	154	2,1	2,0	2,0	2,6	2,6	2,8
			Середнє значення - 2,033			Середнє значення – 2,66		

### Результати експерименту № 2:

1. Різець нової конструкції майже по всіх параметрах показав більш високий клас значення шорсткості оброблюваної поверхні. Зі збільшенням подачі шорсткість поверхневого шару погіршується. Цей процес явно видний на графіку. Особливо гарні значення отримані обробкою деталі різцем нової конструкції. При швидкості різання 192 м/хв і подачі 0,06 мм/об, отримана

шорсткість оброблюваної поверхні  $Ra = 0,766$  мкм.

2. Різець старої конструкції по всіх параметрах випробувань показав більш низький клас шорсткості оброблюваної поверхні. Тільки в експерименті 2.3, при подачі 0,15 мм/об, отримана однакова шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 1,6$  мкм. У різця старої конструкції також прослідковується тенденція погіршення чистоти обробки зі збільшенням подачі.

### Експеримент № 3.

Перевіряємо шорсткість оброблюваної поверхні змінюючи глибину різання після кожного проходу. Досвід почнемо, обробляючи заготовку з мінімальною глибиною різання  $t = 0,1$  мм. Швидкість різання й подача – величини постійні:  $V = 154$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об. Експеримент будемо робити також по п'яти параметрам, поступово збільшуючи глибину різання на 0,05 мм. Будемо вибирати оптимальну глибину різання при постійній швидкості різання й подачі. Після зміни кожного параметра, будемо робити вимір шорсткості поверхні після обробки деталі різцями старої й нової конструкції. Шорсткість оброблюваної поверхні будемо вимірювати в трьох різних точках, із занесенням результатів вимірів у таблицю. Під графою 3-х вимірів будемо вважати середній результат.

Шорсткість поверхні при обробці зі зміною глибини різання (Табл. 5.9).

Таблиця 5.9 - Шорсткість поверхні при обробці зі зміною глибини різання

№ Експ.	$t$ мм	$V$ м/хв	Новий різець (Чистота обробки) $Ra$ , мкм			Старий різець (Чистота обробки) $Ra$ , мкм		
3.1	0,1	154	1,4	1,2	1,2	1,6	1,4	1,5
			Середнє значення - 1,3			Середнє значення – 1,5		
3.2	0,15	154	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2
			Середнє значення - 1,2			Середнє значення – 1,26		
3.3	0,2	154	1,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,2
			Середнє значення - 1,2			Середнє значення – 1,26		
3.4	0,25	154	1,5	1,4	1,3	1,6	1,3	1,4
			Середнє значення – 1,4			Середнє значення – 1,43		
3.5	0,3	154	1,6	1,5	1,6	1,6	1,8	1,
			Середнє значення - 1,56			Середнє значення – 1,7		

### Результати експерименту № 3:

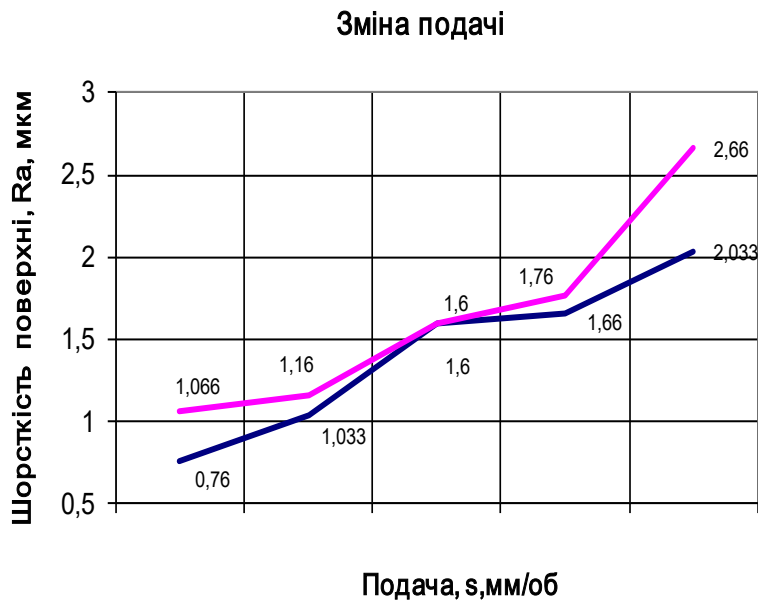
1. Різець нової конструкції по всіх параметрах показав більш високий клас значення шорсткості оброблюваної поверхні. За результатами експерименту №3 робимо висновок, що оптимальна глибина різання 0,1 – 0,2 мм. Особливо гарні значення отримані в експерименті № 3.2 і 3.3 обробкою деталі різцем нової конструкції. При швидкості різання 154 м/хв і глибині різання 0,15 і 0,2 мм, отримана шорсткість оброблюваної поверхні  $R_a = 1,2$  мкм. При глибині різання 0,3 мм відбувається значне погіршення значень шорсткості оброблюваної деталі.

2. Різець старої конструкції по всіх параметрах випробувань показав більш низький клас значень шорсткості оброблюваної поверхні. Однак у експериментах № 3.2, 3.3 і 3.4 значення шорсткості оброблюваної поверхні, за своїми показниками досить близько наближаються до значень при обробці різцем нової конструкції. Оптимальна глибина різання також, як і різця нової конструкції 0,15-0,2 мм. У різця старої конструкції також прослідковується тенденція погіршення шорсткості обробки зі збільшенням глибини різання до 0,3мм.

За результатами випробувань побудуємо графіки рис. 5.7; 5.8 і 5.9.



Рисунок 5.7 - Зміна швидкості різання



$$S_1 = 0,06 \text{ мм/об}$$

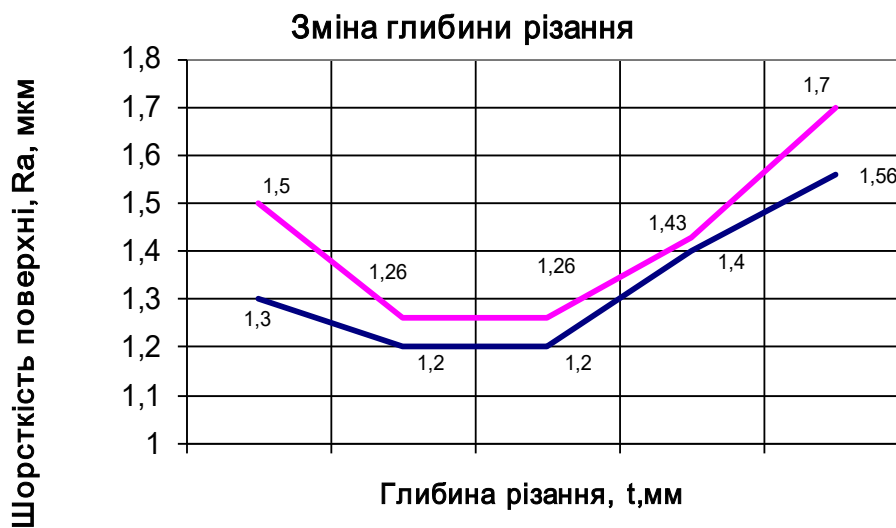
$$S_1 = 0,1 \text{ мм/об}$$

$$S_1 = 0,15 \text{ мм/об}$$

$$S_1 = 0,2 \text{ мм/об}$$

$$S_1 = 0,25 \text{ мм/об}$$

Рисунок 5.8 - Зміна подачі



$$t = 0,1 \text{ мм}$$

$$t = 0,15 \text{ мм}$$

$$t = 0,2 \text{ мм}$$

$$t = 0,25 \text{ мм}$$

$$t = 0,3 \text{ мм}$$

Рисунок 5.9 - Зміна глибини різання

#### 5.4 Результати й висновки по розділу

Проаналізувавши вищевикладені дані в розділі 4, можна зробити наступні висновки:

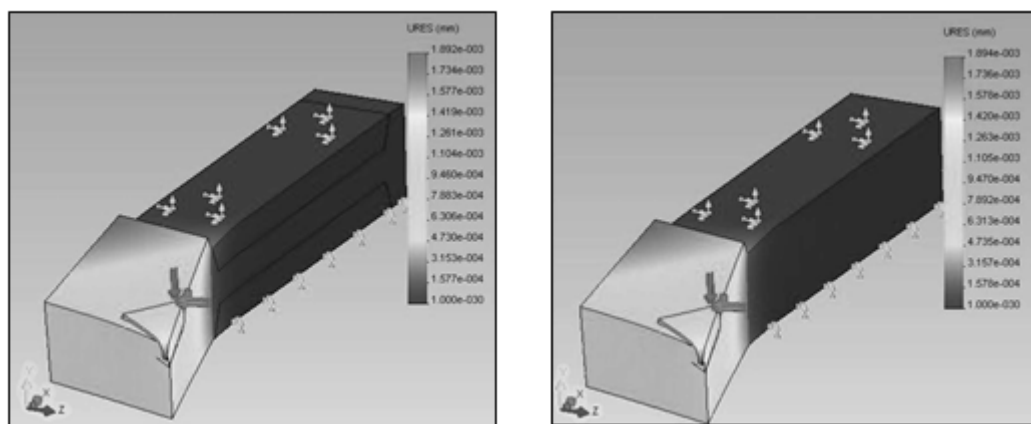
1. Найбільш зручним методом випробування для перевірки ступеня анізотропії металу служить розтягання. Не тільки межа міцності, але й межа пружності й плинності, а також характеристики пластичності при розтяганні виявляють анізотропію. При цьому ступінь анізотропії різний для різних характеристик і може бути різної при розтяганні й стиску.

2. Неметалічні включення, наявні в більшості прокатних металів, підсилюють анізотропію, а на думку деяких авторів, є її основною причиною.

3. Пластини для виготовлення експериментального різця мають різну текстуру деформації, у своїй площині й у своєму перетині, мають різні фізико-механічні властивості. Це явно видно на діаграмі результатів механічних випробувань пластин державки.

4. Для досягнення найбільшого ефекту, що демпфірує, разорієнтація текстури у верхній і нижній пластинках повинна бути максимальною.

5. Розрахункові вибропереміщення при обробці підсистем інструменту, оснащеної багат шаровою державкою, показали зниження рівня автоколебаний в процесі різання. Проведені в цій області експериментальні дослідження вибропереміщень при обробці заготовки зі сталі 40X підтвердили правильність теоретичної моделі і довели ефективність застосування різців з анізотропної демпфируючої державкою при тонколезвійному точінні (рис.5.10).



а)

б)

Рисунок 5.10 - Епюра суммарного статичного переміщення різачка з багат шаровою державкою (а) і різца-аналога (б)

6. Дану конструкцію різця рекомендувати для роботи на деталях з високою твердістю, високим класом шорсткості поверхні. Різець використовувати при тонколезвійній токарній обробці.

## 6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ».

Завдання, що виконуються сучасними машинами, безперервно ускладнюються: зростають швидкості, прискорення, навантаження, температура, зменшуються маса, обсяг, знижуються показники шуму і вібрації. Все це призводить до ускладнення конструкції машин, посилення вимог до точності обробки, шорсткості поверхонь, до застосування нових надміцних, жаростійких і спеціальних матеріалів. Виробництво точних деталей вимагає вирішення складних технологічних завдань, застосування нових видів обробки і залучення для цього як складної взаємозалежної техніки, так і висококваліфікованих працівників у сфері підготовки виробництва і безпосередньо при виготовленні деталей.

Виходячи з цього і виникає необхідність підвищення ефективності обробки деталей. Для якісного виконання цих завдань потрібні кваліфіковані фахівці. Саме таких готує Українська інженерно-педагогічна академія за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Стратегічні цілі підготовки фахівців даного напрямку: одержати знання, уміння та навички для того щоб надалі бути затребуваним на ринку труда та праці.

Дисципліна, з якої буде розроблятися семінар: «Теорія різання та інструмент», тема: «Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту». Мета вивчення дисципліни: передбачає формування знань у студентів з основних принципових методів обробки матеріалів механічним способом, зокрема різанням, вивчення структури технологічного процесу механічної обробки, методики різання, режимів різання на металорізальному верстаті інструментів та пристосувань.

## 6.1. Постановка оперативних цілей семінару

Одним з визначальних компонентів процесу навчання є його ціль. Ціль навчання — це ідеальне мисленнєве передбачення кінцевого результату процесу навчання, це те, до чого прагнуть педагог і ті, що навчаються.

Організація процесу навчання найперше пов'язана з чітким визначенням його цілей, а також усвідомленням і прийняттям їх студентами. Цільові установки навчання спричиняють розуміння суті і способів організації навчально-пізнавальної діяльності, суттєво впливаючи на її активізацію.

Цілі навчання включають формування досвіду особистості, представленого у формі переліку професіональних завдань, які повинен уміти виконувати фахівець в заданій сфері діяльності.

В процесі підготовки студентів за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», студенти проходили багато різних дисциплін за різними напрямками, одна з яких «Теорія різання та інструмент», з якої і буде розроблятися семінар.

Цілі семінару зазначені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Цілі семінару

Дидактична мета семінару	Рівень цілі	Умови досягнення цілі	Результат у вигляді дій, які студенти повинні продемонструвати в результаті виконання семінару, та їх характеристика	Розвиваюча мета проведення семінару.
1	2	3	4	5
Сформувати умінь у студентів визначати, характеризувати, аналізувати шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту	IV рівень	Сформовані знання про види обробки деталей, лезову обробку, тонку лезову обробку, ріжучі інструменти, динамічну стабільність	Сформоване умінь у студентів визначати, характеризувати, аналізувати шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту/	Розвивати інтелект, умінь аналізувати, класифікувати, порівнювати, робити висновки, умінь самостійно конструювати нові алгоритми на основі аналізу й узагальнення послідовності виконуваних операцій і дій, що ведуть до результату. Розвивати логічне мислення, просторову уяву, увагу, пам'ять, розумову активність, інтуїцію, пізнавальну самостійність, пізнавальний інтерес, потребу в самоосвіті, ініціативу, творчість, обґрунтованість суджень.

## 6.2. Вибір типу семінару і форми його проведення

Семінар — вид навчальних занять практичного характеру, спрямованих на поглиблене опрацювання теоретичного матеріалу. Семінарські заняття сприяють активізації пізнавальної діяльності студентів, формуванню самостійності суджень, умінню обстоювати власні думки, аргументувати їх на основі наукових фактів. Вони сприяють оволодінню фундаментальними знаннями, допомагають розвивати логічне мислення, формувати переконання, оволодіти культурою толерантності, активно впливати на соціальне становлення особистості.

Враховуючи дидактичну мету, та розвиваючу ціль, було обрано семінар обговорення (реферативний семінар).

Таблиця 6.2 - Вибір типу семінару та форми його проведення

Тема семінару	Дисципліна, з якої проводиться семінар	Тип семінару та обґрунтування його обрання	Форма проведення семінару та обґрунтування її обрання
1	2	3	4
«Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту»	«Теорія різання та інструмент»	Тип: Реферативний семінар. Такі семінари проводяться для поширення і систематизації уявлень студентів по окремим питанням навчального курсу, поповнення словарного запасу науковими термінами і закріплення їх, також розвиток комунікативних здібностей студентів.	Форма проведення: Групова. Група розподіляється на підгрупи в довільному порядку або за бажаннями студентів. Кожній підгрупі видається завдання підготувати доповідь з окремих питань і захистити її, використовуючи сучасні засоби навчання. Решта студентів повинна уважно слухати доповіді та доповнювати їх.

### 6.3. Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару

Перелік питань, які необхідно розглянути на семінарі наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Питання для обговорення

Питання для обговорення	Джерела інформації
1	2
Які існують причини динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці?	1. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкообразовання при лезовій механічній обробці. 2. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126 с.
В чому полягає процес поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту за рахунок оптимальних режимів тонкої лезової обробки?	Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкообразовання при лез-вийной механічній обробці. 2. Ельясберг М.Є. Автоколебання металорізальних верстатів.
Як відбувається підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю?	Кудінов В.А. Динаміка верстатів. - М.: Машинобудування, 1967 - 359 с. 2. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. - СПб.: СЗП. 2000–160 с.
В чому особливість процесу підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців?	Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126с. 2. Максаров В.В., Коломін П.Ю. Підвищення динамічної стабільності технологічної системи за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту / Проблеми машинознавства та машинобудування. Міжвуз. зб. - СПб.: СЗТУ, 2004, вип.32. - С.147-150.
Які методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент» існують?	1. Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993 – 180 с. 2. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. – СПб.: СЗП, 2000 – 160 с.
Які існують методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Верстат»?	Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993. - 180 с. 2. Кудінов В.А. Динаміка верстатів. - М.: Машинобудування, 1967 - 359 с.
Які Ви можете назвати методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»?	1. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. - СПб.: СЗП. 2000-160с. 2. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126 с.

Продовження табл. 6.3

1	2
В чому полягає особливість технології розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента?	<p>1. Максаров В.В., Коломін П.Ю. Підвищення динамічної стабільності технологічної системи за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту / Проблеми машинознавства та машинобудування. Міжвуз. зб. - СПб.: СЗТУ, 2004, вип.32. - С.147-150.</p> <p>2. Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993 – 180 с.</p>

#### **6.4. Просктування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі.**

Мотивація до навчання – одна із головних умов реалізації навчально – виховного процесу. Вона не тільки сприяє розвитку інтелекту, але і є рушійною силою удосконалення особистості в цілому

Мотивація - система спонукань які зумовлюють активність організму і визначають її спрямованість. Навчальна мотивація ґрунтується на потребі, яка стимулює пізнавальну активність студентів, їх готовність до засвоєння знань. Потреба не визначає характеру діяльності, її предмет окреслюється тоді, коли людина починає діяти.

Для проведення даного семінару визначаємо тип,вид та методи мотивації. Враховуючи те, що дидактична мета в нас 4 рівня, то тип мотивації обираємо – внутрішню на вступному етапі , яка допоможе нам досягти нашої поставленої мети, тому, що направить студентів на вивчення теми більш детально та творчо та зовнішню, які підтримуючу увагу та зосередженість студентів. Текст мотивації представимо в табл.6.4.

Таблиця 6.4 - Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи і текст мотивації	
Вступна внутрішня мотивація Приєм: віднесення до ситуації	Підтримуюча зовнішня мотивація Приєм: віднесення до особистості
1	2
<p>Втрата стійкості процесу різання призводить до утворення періодичних коливань елементів пружної системи, що сприяє підвищенню інтенсивності зношування ріжучого інструменту і зниження довговічності виконавчих механізмів верстата. Виникнення вібрацій викликає зниження точності обробки і погіршення якості поверхневого шару виробу, що в свою чергу, викликає обмеження продуктивності обробки та технологічних можливостей обладнання. Під час процесу різання ріжучий інструмент робить коливання в області високих і середніх частот і часто є ненадійним ланкою. В даний час існує ряд напрямків, метою яких є поліпшення динамічних властивостей всієї технологічної системи. Всі наведені методи і способи для забезпечення динамічної стабільності процесу різання мають конструкції ефективні для певних діапазонів різання і отримання певних результатів. Але для тонкої лезвійної обробки ці методи недостатньо ефективні: шорсткість отриманої поверхні не має розрахункових значень, точність поверхні вимагає додаткових витрат, фізичні властивості поверхневого шару заготовки не відповідають запроєктованим вимогам. Також дані конструкційні рішення складні у виготовленні і дорогі. А деякі моделі різців не працюють в умовах тонкої лезвійної обробки на великих швидкостях. Тому є необхідністю дослідження та обговорення питання підвищення ефективності тонкої лезової обробки. Ті хто будуть активно приймати участь в обговоренні доповідей отримають додаткові бали на занятті та певний досвід в рамках даної теми. Тож розпочнімо!</p>	<p>Ми з вами заслухали декілька доповідей з теми семінару «Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту». Тепер нам треба визначити, які ж з них найефективніші. Отже, продовжуємо працювати та заслухаємо ще кілька доповідей. Не забувайте, що сьогодні за роботу на семінарі всі отримають бали, але їх кількість буде залежати від того, як Ви працюєте Тож не відволікайтесь і продовжуємо!</p>

### 6.5. Аналіз базових умов навчання

Базовий матеріал – це всі ті відомості, що за змістом зв'язані з даною темою і знання яких учнем робить для нього новий матеріал доступним. Базові знання – це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу. Вони відображують ті мінімальні вміння та здатності, якими

повинні володіти ті що навчаються до того як вони почали програмне навчання.

В таблиці 6.5 наведемо аналіз базових умов навчання з теми семінару.

Таблиця 6.5 - Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дій	Назва дисциплін і тем, в яких формуються опорні знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обробка деталей</li> <li>– Види обробки деталей</li> <li>– Лезова обробка</li> <li>– Тонка лезова обробка</li> <li>– Ріжучі інструменти</li> <li>– Динамічна стабільність</li> </ul>	«Теорія різання та інструмент»	<p>Усне фронтальне опитування, за допомогою питань:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Що розуміється під процесом обробки деталі?</li> <li>2. Які види обробки деталі існують? Охарактеризуйте кожен з видів обробки.</li> <li>3. Що таке лезова обробка?</li> <li>5. Як характеризується тонка лезова обробка?</li> <li>5. Які види ріжучих інструментів Ви знаєте? Опишіть особливість будови та застосування кожного з них.</li> <li>6. В чому полягає динамічна стабільність, для чого її необхідно дотримуватися?</li> </ol>	Стисле нагадування основних положень базового матеріалу

### 6.6. Проектування основної частини реферативного семінару.

При розробці дидактичного проекту семінару слід:

- визначити навчальний матеріал, що підлягає закріпленню, та сформулювати питання для обговорення;
- розробити змістовні матеріали з кожного питання: перелік основних понять, показників та закономірностей, які повинні бути обговорені та закріплені на семінарі;
- навести перелік тем доповідей, а також визначити мету та тривалість кожної доповіді наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Характеристика доповідей на семінарі

№ доповіді	Тема доповіді	Мета доповіді	Тривалість доповіді	Тривалість обговорення доповіді
1	2	3	4	5
1	Визначення причин динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці	Проаналізувати причини динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці	3-5 хв.	до 5 хв.
2	Поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту за рахунок оптимальних режимів тонкої лезової обробки	Проаналізувати вплив вибору оптимальних режимів тонкої лезової обробки на поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту	3-5 хв.	до 5 хв.
3	Підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю	Охарактеризувати особливості технології підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю	3-5 хв.	до 5 хв.
4	Підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців	Ознайомити слухачів із сутністю процесу підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців	3-5 хв.	до 5 хв.
5	Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент»	Охарактеризувати методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент»	3-5 хв.	до 5 хв.
6	Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Верстат»	Назвати та описати методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Верстат»	3-5 хв.	до 5 хв.
7	Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»	Ознайомити слухачів з методами і способами забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»	3-5 хв.	до 5 хв.

## Продовження табл. 6.6

1	2	3	4	5
8	Технологія розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента	Охарактеризувати технологію розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента	3-5 хв.	до 5 хв.

Необхідно зазначити перелік джерел інформації для доповідей, який знаходиться в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 - Джерела інформації для підготовки доповідей

Теми доповідей	Джерела інформації
1	2
Визначення причин динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці	1. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. - СПб.: СЗП. 2000-160с. 2. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126 с.
Поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту за рахунок оптимальних режимів тонкої лезової обробки	1. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкообразовання при лез-вийной механічній обробці. 2. Ельясберг М.Є. Автоколебання металорізальних верстатів.
Підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю	1. Кудінов В.А. Динаміка верстатів. - М: Машинобудування, 1967 - 359 с. 2. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. - СПб.: СЗП. 2000–160 с.
Підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців	1. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126с. 2. Максаров В.В., Коломін П.Ю. Підвищення динамічної стабільності технологічної системи за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту / Проблеми машинознавства та машинобудування. Міжвуз. зб. - СПб.: СЗТУ, 2004, вип.32. - С.147-150.
Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент»	1. Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993 – 180 с. 2. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. – СПб.: СЗП, 2000 – 160 с.
Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі	1. Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993. - 180 с. 2. Кудінов В.А. Динаміка верстатів. - М:

## Продовження табл. 6.7

1	2
«Верстат»	Машинобудування, 1967 - 359 с.
Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»	1. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динаміка та управління процесом стружкоутворення при лезовій механічній обробці. - СПб.: СЗП. 2000-160с. 2. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів.-М.: Машинобудування., 1975.-126 с.
Технологія розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента	1. Максаров В.В., Коломін П.Ю. Підвищення динамічної стабільності технологічної системи за рахунок анізотропних властивостей різального інструменту / Проблеми машинознавства та машинобудування. Міжвуз. зб. - СПб.: СЗТУ, 2004, вип.32. - С.147-150. 2. Ельясберг М.Є. Автоколивання металорізальних верстатів. Теорія та практика. - СПб.: Вид. ОКБС, 1993 – 180 с.

Необхідно розробити змістовну характеристику кожної доповіді і методику її проведення, яка знаходиться в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 - Змістовна характеристика доповідей

Тема доповіді	Частини доповіді	Основні питання доповіді	Метод викладу змісту	Методика забезпечення наочності	Прийоми активізації слухачів
1	2	3	4	5	6
Доповідь №1.Тема «Визначення причин динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці»	Вступна частина	Аналіз причин динамічної нестабільності процесу різання при тонкій лезовій обробці	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Розповідь
	Основна частина				
	Заключна частина				
Доповідь №2.Тема: «Поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту за рахунок оптимальних режимів тонкої лезової обробки»	Вступна частина	Опис та аналіз особливостей процесу впровадження оптимальних режимів лезової обробки для поліпшення системи забезпечення підвищення ефективності динамічної стабільності ріжучого інструменту	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Виступ з проблемою
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки щодо проведеного аналізу			
Доповідь №3.Тема:	Вступна	Відомості			

Продовження табл. 6.8.

1	2	3	4	5	6
«Підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів поліпшеною оброблюваністю» 3	частина	підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки за рахунок застосування конструкційних матеріалів поліпшеною оброблюваністю 3	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій Демонстрація презентаційних слайдів	Розповідь
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №6.Тема: «Підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців»	Вступна частина	Опис технології підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента при тонкій лезовій обробці за рахунок впровадження армованих композиційних матеріалів для виготовлення державок різців	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №5.Тема: «Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент»»	Вступна частина	Визначення та характеристика методів і способів забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Інструмент»	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №6.Тема: «Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Верстат»»	Вступна частина	Опис методів і способів забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Верстат»	Монологічний виклад інформації	Демонстрація презентаційних слайдів	Паузи на важливих моментах
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			

## Продовження табл. 6.8.

1	2	3	4	5	6
Доповідь №7 Тема: «Методи і способи забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»»	Вступна частина	Визначення та характеристика методів і способів забезпечення динамічної стабільності ріжучого інструменту при тонкій лезовій обробці в технологічній системі «Заготовка»	Монологічний виклад інформації	Демонстрація презентаційних слайдів	Паузи на важливих моментах
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №8 Тема: «Технологія розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента»	Вступна частина	Опис технології розробки моделі технологічної системи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок підвищення динамічної стабільності ріжучого інструмента	Монологічний виклад інформації	Демонстрація презентаційних слайдів	Паузи на важливих моментах, тезисні висновки
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			

Критерії оцінювання студентів наведені в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 - Оцінка участі студентів в семінарі та доповідей

Критерії оцінки участі в семінарі	Кількість балів	Критерії оцінки доповіді	Кількість балів
Виступ з докладом	Мах 5	Повнота висвітлення теми доповіді	Мах 6
Опанування	Мах 5	Логічність викладу	Мах 5
Виступ в обговоренні доповіді	Мах 5	Наочність викладу	Мах 5
Культура мови	Мах 4	Володіння аудиторією	Мах 4

Максимум і мінімум оцінки надається за рахунок участі та викладу кожного студента в підготовку та представленні доповіді.

Загальна кількість балів перераховується за коефіцієнтом з розрахунку кількості занять та максимум за вивчення дисципліни – 100 балів.

Сценарій проведення реферативного семінару на тему: «Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту» наведено в таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 - Сценарій проведення реферативного семінару

Етап проведення семінару	Дії викладача	Дії студентів
1	2	3
Організація початку заняття	Доброго дня, передайте мені будь-ласка журнал, та розпочнемо заняття.	Студенти готуються до заняття, слухають уважно викладача
Повідомлення теми, цілі, увідна мотивація навчальної діяльності	Тема нашого сьогоднішнього заняття: «Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту», мета заняття: сформувані умінь у студентів визначати, характеризувати, аналізувати шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту. Пояснює важливість вивчення теми.	Студенти записують тему заняття, сприймають мету заняття, усвідомлюють важливість і актуальність теми
Аналіз сформованості та актуалізація опорних знань	Проведення усного фронтального опитування, за допомогою питань: 1. Що розуміється під процесом обробки деталі? 2. Які види обробки деталі існують? Охарактеризуйте кожен з видів обробки. 3. Що таке лезова обробка? 5. Як характеризується тонка лезова обробка? 5. Які види ріжучих інструментів Ви знаєте? Опишіть особливості будови та застосування кожного з них. 6. В чому полягає динамічна стабільність, для чого її необхідно дотримуватися? Слухає відповіді студентів, корегує при необхідності, нагадує та пояснює незрозумілі моменти.	Студенти слухають викладача, відповідають на питання. Слухають стисле нагадування
Повідомлення про тематику докладів і організацію опанування та обговорення.	На сьогоднішньому занятті, ми з вами заслухаємо 8 доповідей, які Ви підготували вдома, після кожного виступу буде можливість обговорити основні положення доповіді та прийти до певних висновків. Ті, хто будуть активно приймати участь в обговоренні доповідей, отримають додаткові бали на занятті, та певний досвід в рамках даної теми. Також під час виступу, всі інші повинні конспектувати основні положення.	Студенти слухають викладача. Студенти з доповідями готуються до виступу.

Продовження табл. 6.10

1	2	3
Заслуховування та обговорення доповідей.	Заслуховування доповідей студентів на обрані теми. Після кожної доповіді у студентів є час для того, щоб обговорити виступ, задати питання, які виникали під час доповіді. Обговорення.	Слухають уважно доповідачів, конспектують основні положення. Обговорюють доповідь та задають питання. Висловлюють свої думки
Оцінка доповідей та участі студентів в їх обговоренні.	Ми прослухали всі доповіді, які були на сьогодні підготовлені. Всі дуже гарно підготувалися та виступили, та отримують добрі оцінки, студенти які приймали участь в обговоренні також отримують додаткові бали.	Слухають уважно викладача
Підведення підсумків семінару.	На сьогоднішньому занятті ми з вами добре попрацювали, дізнались про шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту, що стане Вам у нагоді у подальшому навчанні Вашій професії та у майбутній професійній діяльності.	Слухають викладача

## 6.7 Висновки до розділу 6

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності ріжучого інструменту» з дисципліни: «Теорія різання та інструмент» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З літературного й технічного огляду були встановлені вимоги до деталей типу «тіл обертання». Деталь повинна бути виготовлена по 6 класу точності й із шорсткість поверхні не нижче по  $R_a = 0,63$  мкм.

2. У процесі виробництва виробів такого виду виникають коливальні процеси в технологічній системі, які приводять до погіршення якості обробленої поверхні деталі.

3. Аналіз існуючих методів і способів підвищення ефективності процесу тонкої лезової обробки показав, що в цей час у виробництві деталей не використовуються інструменти, що володіють здатністю до гасіння вібрацій.

4. У зв'язку із цим запропонована конструкція державки різального інструменту, заснована на принципі багат шаровості за рахунок застосування разорієнтації структури металу.

5. Пропоновану державку різального інструменту виготовляють із пакета зібраних між собою по площинах, паралельних опорній поверхні державки, пластин, вирізаних з листового прокату з поздовжнім, поперечним і вертикальним орієнтуванням їх площини щодо напрямку їх прокатки й зібраних у пакет з кутом разорієнтіровки текстури.

6. Розташування прокатки здійснюється в опорній пластині паралельно тангенціальної складової сили різання, у верхній – радіальній і в середній пластині паралельно дії осьової складової сили різання.

7. Випробування різального інструменту, державка якого, виготовлена по пропонованому способу, проводилася на верстаті мод. 1К62 на операції гостріння закріпленої в центрах заготовки зі сталі 40Х с твердістю HRC 50. При випробуванні інструмента на режимах різання  $v = 120$  м/хв,  $s = 0,15$  мм/об,  $t = 1,0$  мм амплітуда коливань в 1,7...2, 0 рази менше, чим на державке, виготовленої по відомому способу. При цьому зношування задньої поверхні ріжучої пластини при періоді стійкості  $T = 60$  хв в 1,6...1,8 раз менше, шорсткість обробленої поверхні по параметру  $R_a$  в 1,7...1,9 раз нижче.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Васильков Д.С., Вейц В.Л., Максаров В.В. Моделирование процесса стружкообразования на основе кусочно-линейной аппроксимации / Академический вестник. Информатизация. Вып.1.-СПб.: И маш., 1998 - С.16-21.
2. Вейц В.Л., Максаров В.В. Физические основы моделирования стружкообразования в процессе резания // Машиностроение и автоматизация производства: Межвуз. Сб. Вып.13. - СПб.: СЗПИ, 1999 - С.44-46.
3. Кабалдин Ю.Г., Шпилев А.М. Синергетический подход к управлению процессами механообработки в автоматизированном производстве / Вестник машиностроения, 1996 - №8 - С.13-19.
4. Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967 - 359 с.
5. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
6. Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков. Теория и практика. - СПб.: Изд. ОКБС, 1993.- 180 с.
7. Барт В.Е., Рогов В.А., Позняк Г.Г. Статические и динамические характеристики резцов с державками из композиционного материала. // Полимеры в бетоне: Материалы VIII международного конгресса по полимерам. - М.:БЕТОКОМ, 1992 - С. 470-476 с.
8. Позняк Г.Г., Барт В.Е., Рогов В.А. Исследования резцов с синтеграновыми вставками // Станки и инструмент. - 1993 - №1 - С. 29-31.
9. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динамика и управление процессом стружкообразования при лезвийной механической обработке. - СПб.: СЗПИ, 2000 - 160 с.
10. Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков. Теория и практика. - СПб.: Изд. ОКБС, 1993 - 180 с.
11. Максаров В.В., Максарова И.Ю., Иващенко П.И. Авторское свидетельство СССР №931299, кл. В 23 в 1/00, 1982.
12. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машиностроение, 1974.- 320 с.

13. Максаров В.В., Коломин П.Ю. Повышение динамической стабильности технологической системы за счет анизотропных свойств режущего инструмента / Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвуз. сб. – СПб.: СЗТУ, 2004, вып.32. – С.147-150.
14. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: Справочник.- Л.: Машиностроение, 1980.- 148 с.
15. Микляев П.Г., Фридман Я.Б. Анизотропия механических свойств металлов. – М.: Металлургия, 1988. – 224 с.
16. Тасман Д.М., Гедз Н.И. Применение тензометрии в лесной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 110 с.
17. Барт В.Е., Рогов В.А., Позняк Г.Г. Статические и динамические характеристики резцов с державками из композиционного материала. // Полимеры в бетоне: Материалы VIII международного конгресса по полимерам.- М.:БЕТОКОМ ,1992.-С. 470-476 с.
18. Позняк Г.Г., Барт В.Е., Рогов В.А. Исследования резцов с синтеграновыми вставками // Станки и инструмент.-1993.-№1.-С. 29-31.
19. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Исследования характеристик комбинированных державок резцов на физических моделях. СТИН. 2003. №2. С.19-22.
20. Васин Л.А., Васин С.А. Способ изготовления державок и режущих инструментов. Авт. свидетельство №931299. В23 В1/100.
21. Идель В.В., Резец. Авт. свидетельство №322231. В23в 27/16.
22. Гоголев И.В., Левин В.И., Подгурский Г.В. Виброгаситель для режущих инструментов. Авт. свидетельство №151174. В23в25/02.
23. Глухов В.А., Борзилов В.С. Резец. Авт. свидетельство №543464. В23 В27/16.
24. Сабирзянов С., Радощекин Г.А. Способ механической обработки. Авт. свидетельство №730474. В23 В1/00.
25. Романов Р.А. Резец. Авт. свидетельство №547293. В23 В27/16.
26. Чигодаев Н.Е., Резец. Авт. свидетельство SU №1220860 А. В23

B27/16.

27. Бельфер Л.Г., Мошкович М.У., Ройтбург В.И. и Шнирман А.М. Резец токарный. Авт. свидетельство SU №1296310. В23 В27/18.

28. Тихонов Н.П., Медведев Н.И., Понамарев Н.Н., Крохин В.М. Расточная оправка. Авт. свидетельство SU №1220862 А. В23 В29/02.

29. Сабирзянов С., Радощекин Г.А. Резец с механическим креплением неперетачиваемой пластины. Авт. свидетельство №380393. В23 в27/16.

30. Аксенко А.А., Галушка В.Ф. Резцедержатель для токарных станков. Авт. свидетельство №1292929 А2. В23 В29/14.

31. Карпушин В.А., Дорожкин Н.Н., Каледин В.А., Кашицин Л.П. Способ токарной обработки нежестких деталей. Авт. свидетельство №617169. В23 В1/100.

32. Данилов В.А., Терентьев В.А. Ротационный резец. Авт. свидетельство №1220857. В23 В27/12.

33. Подураев В.Н., Кибальченко А.В., Алтухов В.Н., Чубиенко Б.А. Способ обработки резанием. Авт. свидетельство №1210992 А. В23 В1/100.

34. Гольдрах Г.М., Немировская М.И., Френкель М.С., Джугурян Т.Г. Шпиндельный узел. Авт. свидетельство №1271665. В23 В19/02.

35. Тараченко В.А. Виброгаситель динамический. Авт. свидетельство №1282866. В23 В25/00.

36. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение., 1975.-126с.

37. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М. Высшая школа, 1985.- 304с.

38. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Высшая школа, 1974.- 587с.

39. Вейц В.Л., Максаров В.В. Динамика и управление процессом стружкообразования при лезвийной механической обработке.- СПб.: СЗПИ. 2000-160с.

40. Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков. Теория и

практика. – СПб.: Изд. ОКБС, 1993.-180с.

41. Из Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. 1960 г.[98].

42. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. 1960 г. 190 с.

43. Radwan FAA. Нормальные отношения и степень анизотропии. J Appl Sci. 2001; 1 (3): 301-4.

44. Соколовский, А. П. Научные основы технологии машиностроения. [Текст] / А. П. Соколовский.– М.: Машгиз, 1955. – 515 с.

45. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: [http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna\\_pedagogika.pdf](http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf)

46. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.

47. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.

48. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.

49. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2026. – 224 с.

50. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти

денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УІПА, 2026. – 82 с.

51. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

52. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

53. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

54. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

55. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

56. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

57. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

58. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

59. Все освіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

60. виробництво і технології [Електронний ресурс]: <http://4ua.co.ua/manufacture/index.html>

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені В.Н. КАРАЗІНА**

**Навчально-науковий інститут «Українська**  
**інженерно-педагогічна академія»**

(назва факультету/інституту)

**Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання**

(назва кафедри)

кваліфікаційна робота рівня вищої освіти "магістр"

**Професійна підготовка фахівця підприємств  
інструментального виробництва з підвищення ефективності  
тонкої лезової обробки за рахунок забезпечення динамічної  
стабільності ріжучого інструменту**

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Виконав студент групи ДІТ-ПОМ23мг

Керівник к.т.н., доц.

Олег УКРАЇНЕЦЬ

Олег ПОДОЛЯК

# ВИХІДНІ ДАНІ, ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ТИПОВІ ДЕТАЛІ ПРЕДСТАВНИКИ

## Тип виробництва – дрібносерійне ( $Ra = 0,2\text{мкм}$ ).

Деталь - “Калібр”, креслення МА 19105.02.001 одна з деталей комплекту технологічного оснащення для дорновки сегментів обода **ротора** у кількості **840** штук.

Деталь - “Вкладиш” сферичного підшипникового капсуля, креслення МА 19105.02.015, одна з деталей “Розгінної установки для випробування колекторів” у кількості **12** штук.

Деталь - “Кільце зовнішнє”, креслення МА 18237.02.011 одна з деталей верстата для ізоляції **стрижнів** у кількості **24** штуки



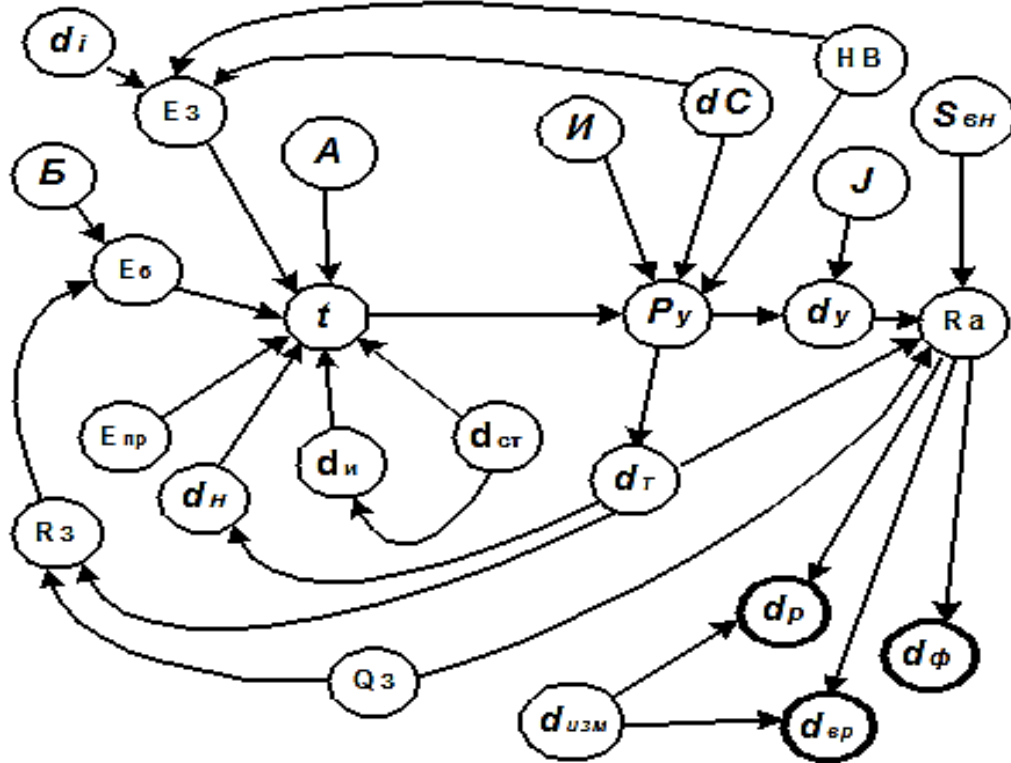
Токарно-гвинторізний верстат 16K20Ф32 до модернізації



Токарно-гвинторізний верстат 16K20Ф32 після модернізації



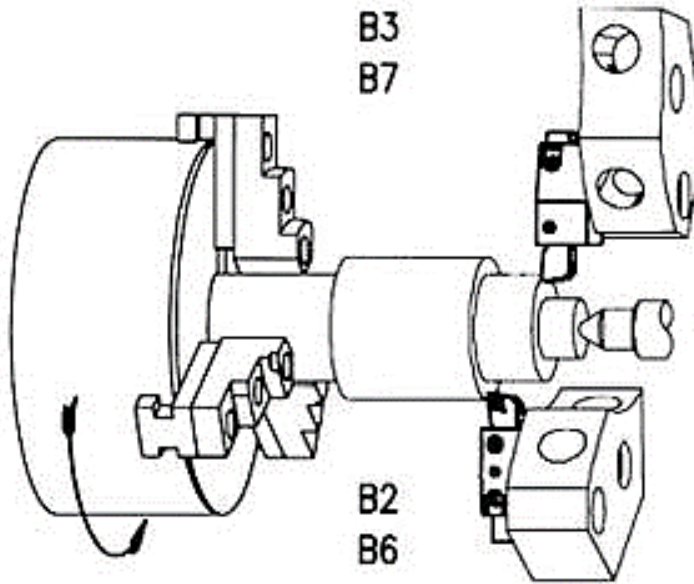
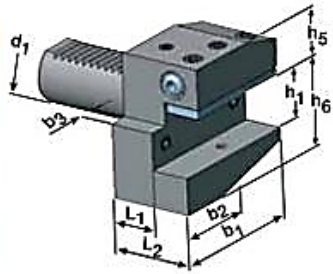
## СХЕМА ФОРМУВАННЯ ПОХИБОК ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ:



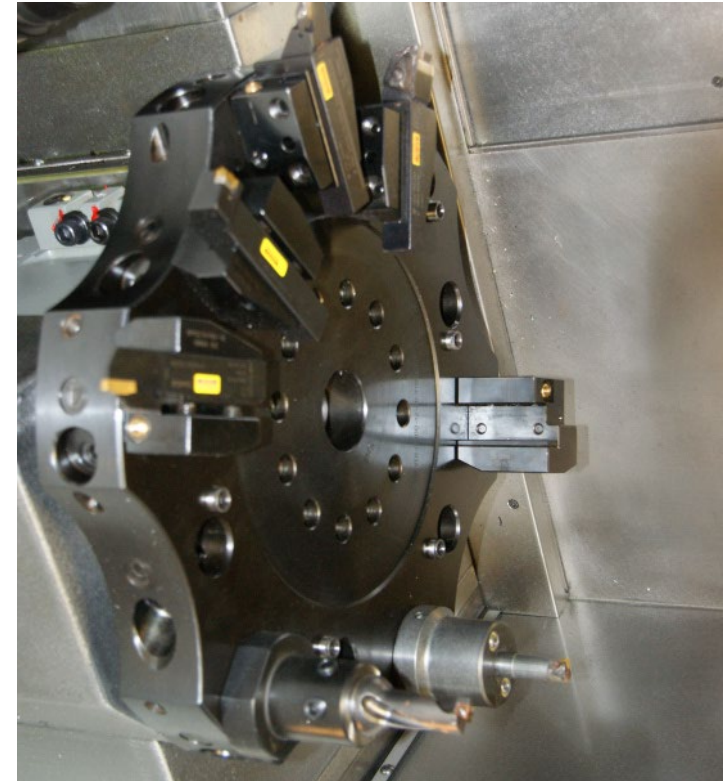
**A** - номінальний розмір;  
**t** - глибина різання;  
 **$P_y$**  - радіальна складова сила різання;  
 **$d_y$**  - пружні деформації системи;  
 **$R_a$**  - шорсткість деталі;  
 **$R_3$**  - шорсткість заготовки;  
 **$d_p$**  - похибка розмірів;  
 **$d_{uzm}$**  - похибка вимірювання;  
 **$d_{\epsilon}$**  - похибки від впливу тимчасового фактора;  
 **$d_{\phi}$**  - похибка форми деталей;

**$d_{\epsilon}$**  - похибки від внутрішніх напружень деталі;  
 **$Q_3$**  - сила закріплення деталі;  
**J** - жорсткість системи;  
**HB** - коливання твердості;  
 **$d_C$**  - коливання фізико-механічних властивостей;  
**I** - особливості геометрії інструменту;  
 **$d_p$**  - номінальний розмір;  
**B** - застосовуються бази;  
 **$E_6$**  - похибка базування;  
 **$E_3$**  - похибка закріплення;  
 **$d_C$**  - коливання фізико-механічних властивостей;  
 **$E_{np}$**  - похибка пристосування;  
 **$d_H$**  - похибка настройки похибка від розмірного зносу інструменту;  
 **$d_{cm}$**  - похибка від неточності виготовлення елемента верстата похибка від теплових деформацій;  
 **$d_{Q_3}$**  - коливання зусиль закріплення  
 **$d_r$**  - коливання шорсткості існуючої заготовки.

# Револьверна головка верстата 16K20Ф32



Прохідний різець

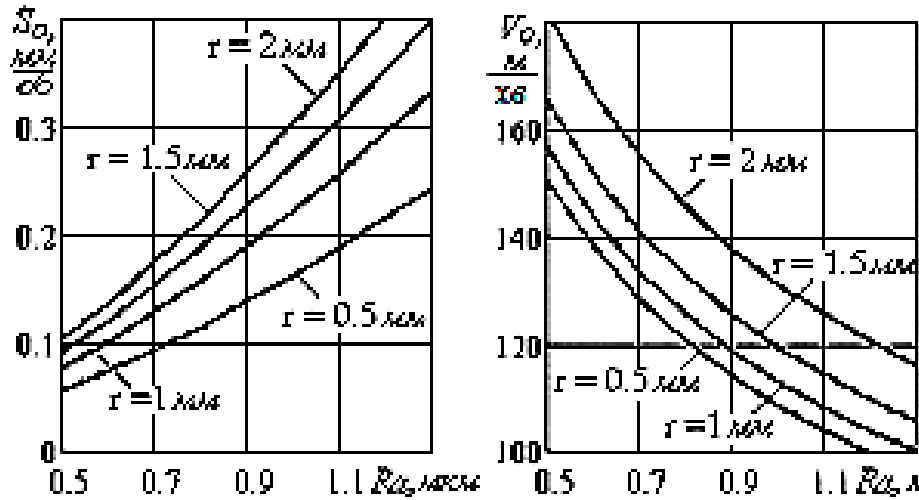


Змінні ріжучі пластини з кераміки марки ВОК 71

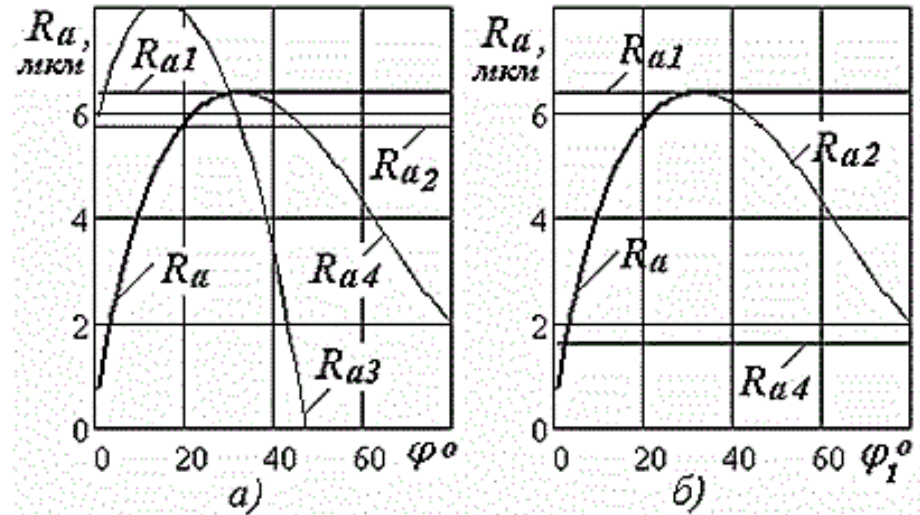


# АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

Вплив подачі і швидкості різання на шорсткість поверхні при точінні сталі 08X18H10T ( $t = 1$  мм)

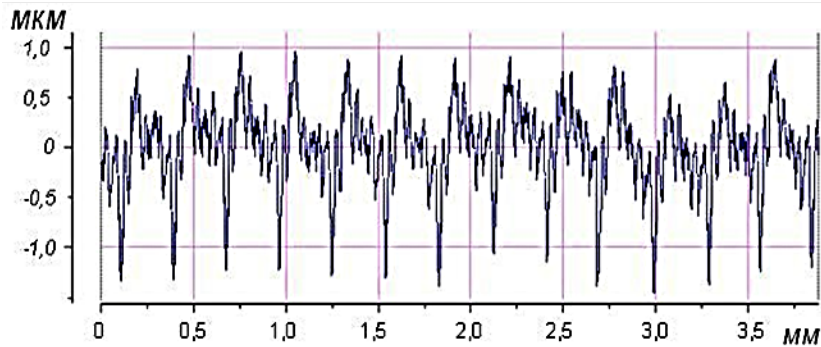


Вплив кута в плані на шорсткість

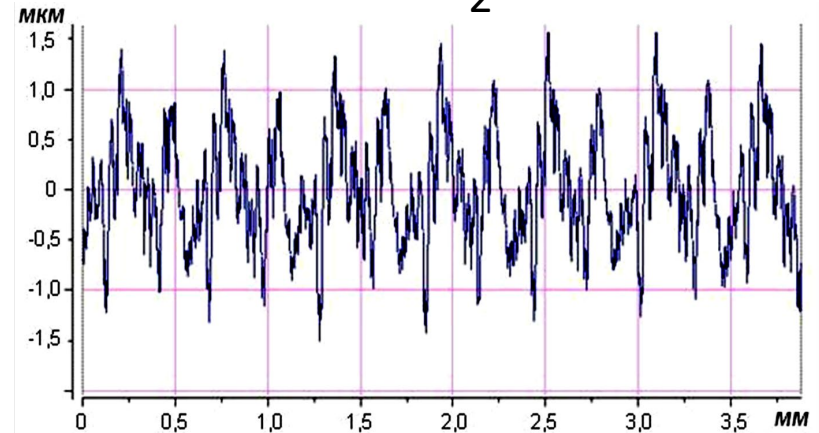


Профілограми поверхонь, оброблених керамічним ВК71 (1) і твердосплавним інструментом Т15К6 (2):  $v = 120 \text{ м/хв}$ ;  $s = 0,07 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0,2 \text{ мм}$

1



2



## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ ВІБРАЦІЙ ПРИ РІЗАННІ МЕТАЛІВ

Вивченню виникнення вібрацій при різанні металів присвячені ряд фундаментальних досліджень: І.С.Амосова, Б.П.Бармина, В.Л.Вейца, Д.В.Василькова, В.В.Максарова, Ю.І.Городецького, Н.А.Дроздова, І.Г.Жаркова, В.Л.Заковоротного, В.В.Зарса, А.І.Каширина, В.О.Кононенко, В.А.Кудинова, Л.К.Кучми, Л.С. Мурашкина, С.Л.Мурашкина, В.І.Петрова, В.Н.Подураева, А.В.Пушачи, В.Є.Пушачи, Д.Н.Решетова, А.П.Соколовського, Н.І.Ташлицького, М.Е.Эльясберга і інших авторів.

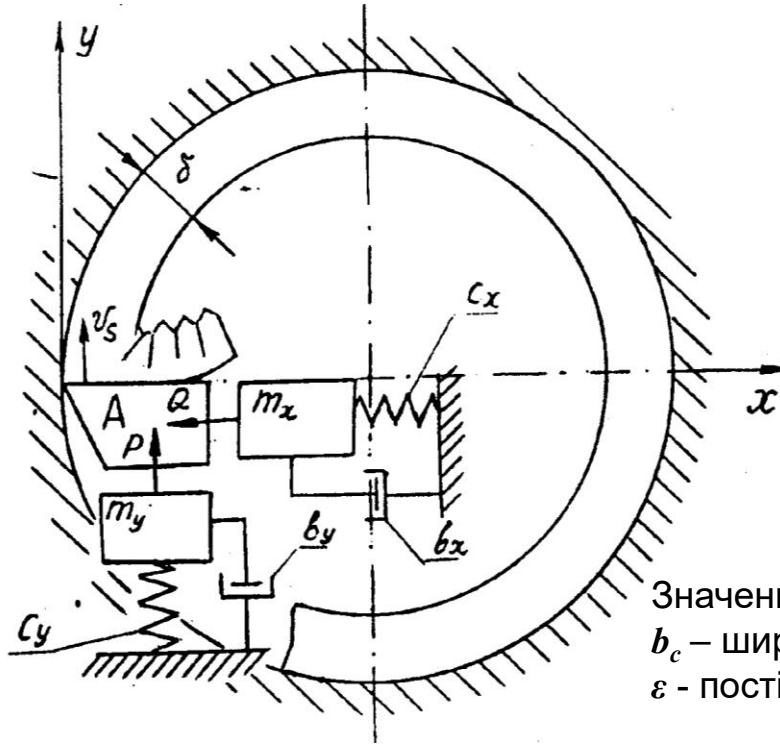
Єдності поглядів у розумінні особливостей механізму порушення автоколивань у технологічній системі в цей час не існує. Це пояснюється його складністю й недостатньою вивченістю. Тому сучасні вистави про джерела виникнення автоколивань у технологічній системі механічній обробці різанням засновані на різних гіпотезах.

Гіпотези про джерела виникнення автоколивань у технологічній системі механічної обробки різанням:

1. наявність ділянки падаючої характеристики. Залежність швидкості різання від сили різання;
2. наявність координатного зв'язку в пружній системі при наявності неконсервативної сили різання;
3. замкнутість динамічної системи верстата при наявності динамічної характеристики різання;
4. запізнювання сил різання стосовно відповідних до збурювань, що виникають при деформації металів у локальній зоні в процесі різання.

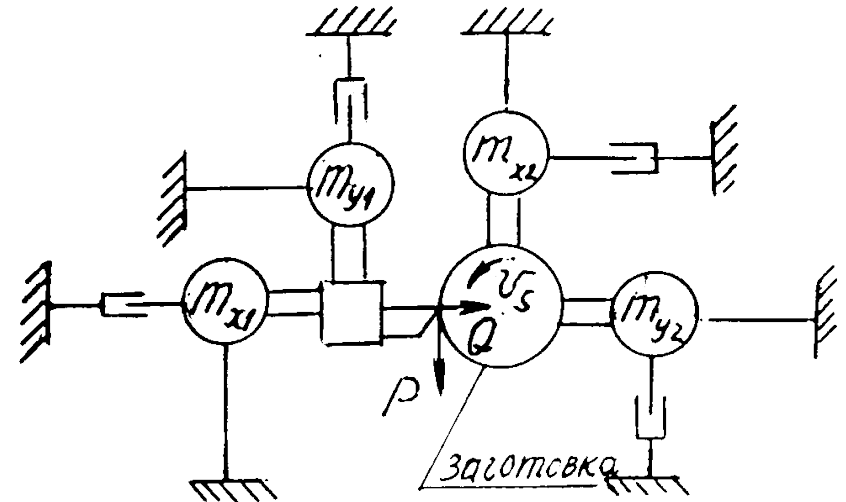
*Найбільше застосування в практиці динамічних розрахунків має гіпотеза про запізнювання сил різання, яке зв'язується з інерційністю пластичної деформації.*

Найпростіша двоконтурна система при розточуванні по Е.М. Эльясбергу



$Q$  - сили тертя;  
 $\Delta Q$  - зміна сили тертя;  
 $\Delta x$  - зміни переміщення;  
 $\Delta P$  - зміни сили різання;  
 $\tau_p, \tau_Q$  - час запізнювання;  
 $m_x, m_y$  - наведені маси контурів;  
 $C_x, C_y$  - коефіцієнти твердості контурів;  
 $b_x, b_y, v_x, v_y$  - відповідні коефіцієнти розсіювання енергії контурів  $x$  і  $y$ .

Динамічна схема токарного верстата з багатьма ступенями свободи по Е.М. Эльясбергу



Значення сили різання  $P_s = kb_c \delta^\varepsilon$ , де  $k$  - коефіцієнт різання;  $b_c$  - ширина шару, що зрізується;  $\delta$  - товщина шару, що зрізується;  $\varepsilon$  - постійна нелінійної залежності статичної сили різання.

Шляхи різця:

$$l_p = \int_0^{\tau} (v_s + \Delta \dot{y}) dt = v_s \tau_p + \int_0^{\tau} \Delta \dot{y} dt$$

$$l_q = \int_0^{\tau_q} (v_s + \Delta \dot{y} + \zeta \Delta \dot{\chi}) dt = v_s \tau_q + \int_0^{\tau_q} (\Delta \dot{y} + \zeta \Delta \dot{\chi}) dt$$

де  $v_s$  - статична складова швидкості різання (ухвалюється  $v_s = \text{const}$ );  $\tau_p, \tau_Q$  - інтервали часу запізнювання для сил  $P$  і  $Q$  відповідно;  $\Delta x, \Delta y$  - збільшення координат  $x$  і  $y$  у процесі коливань (ухвалюються малими);  $\zeta$  - коефіцієнт усадки стружки (єднальний залежністю  $l_q = \zeta l_p$  шлях запізнювання  $P_Q$  у напрямку  $x$  зі шляхом  $l_q$  запізнювання, який проходить різець у напрямку  $y$  за час  $\tau_Q$ ).

Уважаючись, що  $l_p \sim const$ ,  $l_q \sim const$ , і, використовуюючи допущення про малу зміну  $\Delta x$  і  $\Delta y$  за інтервали часу  $\tau_p$  і  $\tau_q$ , отримані приблизні залежності:  $\tau_p \sim l_p/(v_s + \Delta y)$ ;  $\tau_q \sim l_q/(v_s + \Delta y + \zeta \Delta x)$

Постійні часу запізнювання  $T_p$  і  $T_q$  відповідно для сил  $P$  і  $Q$ :  $T_p = l_p/v_s$ ;  $T_q = l_q/v_s$

Рівняння для запізнених сил записуються у вигляді:  $-\Delta P(t) = B \Delta x(t - \tau_p)$ ;  $-\Delta Q(t) = f \Delta P(t - \tau_q)$ ,

де  $f$  – коефіцієнт тертя стружки про передню поверхню різця;

$B = kb_c \varepsilon \delta^{\varepsilon-1}$  – коефіцієнт збудження контуру  $x$ .

Рівняння запізнювання можна переписати у вигляді:  $\Delta P(t + \tau_p) = -B \Delta x(t)$ ;  
 $\Delta Q(t + \tau_q) = f \Delta P(t)$ .

Ліві частини рівнянь розкладемо в статичний ряд по ступенях  $\tau_p$  і  $\tau_q$  і, вважаючи останні малими величинами, обмежимося лінійними членами:

$$\begin{aligned} \Delta P + \Delta P' \tau_p + \dots = -B \Delta x(t); & \quad \text{або} & \quad \tau_p \Delta P' + \Delta P + B \Delta x = 0; \\ \Delta Q + \Delta Q' \tau_q + \dots = f \Delta P(t) & & \quad \tau_q \Delta Q' + \Delta Q - f \Delta P = 0. \end{aligned} \quad \text{де} \quad \tau_p = T_p / \left( 1 + \frac{\Delta \dot{Y}}{v_s} \right); \tau_q = T_q / \left[ 1 + \frac{\Delta \dot{Y} + \zeta \Delta \dot{X}}{v_s} \right].$$

Тоді рівняння запізнювання відповідно викладеному вище можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} v_s (T_p \Delta P' + \Delta P + B \Delta x) &= -(\Delta P + B \Delta x) \Delta y'; \\ v_s (T_q \Delta Q' + \Delta Q - f \Delta P) &= -(\Delta Q - f \Delta P) (\Delta y' - \zeta \Delta x'). \end{aligned}$$

Таким чином, завдання оптимізації режимів різання в процесі механічної обробки можна вважати багатопараметричною і багатокритеріальною.

У розглянутій роботі М.Е. Эльясберга виконана примітивна лінеаризація:  $(v \xi)_A \sim a_\xi v + a_v \xi$ ,

де  $a_\xi$ ,  $a_v$  – постійні координати, що відповідають фіксованим значенням  $\xi$ ,  $v$  на досить малому інтервалі лінеаризації.

У лінеаризованій моделі рівняння запізнювання представляються у вигляді:





$$\begin{aligned} T_p P' + P &= -k_x x - k_y y'; \\ T_q Q' + Q &= P, \end{aligned}$$

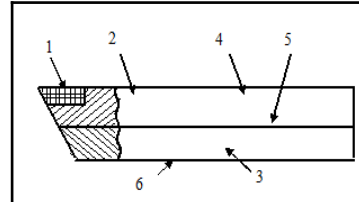
де  $P = \Delta P/P_s$ ;  $Q = \Delta Q/Q_s$  – безрозмірні сили;  $k_x = fB/c_x$  – передатний коефіцієнт контуру  $x$ ;  $k_y = \mu(P_s - Bx_s)/(v_s c_y)$  – коефіцієнт зв'язку контурів  $x$  і  $B$ .

# МЕТОДИ Й СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

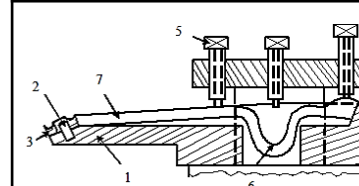
## Підсистема «інструмент»

### Аналіз різців з комбінованими державками

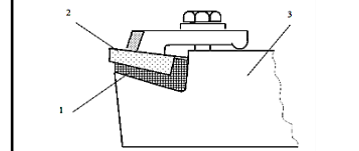
Тип державки	Перетин	$\rho, \%$	$S, \text{мм}^2/\text{мм довжини}$	$I, 10^4 \text{м}^4$
А		42,8	72,0	0,892
Б		48,0	56,0	1,082
В		46,8	62,7	0,76
Г		60,0	40,0	1,024



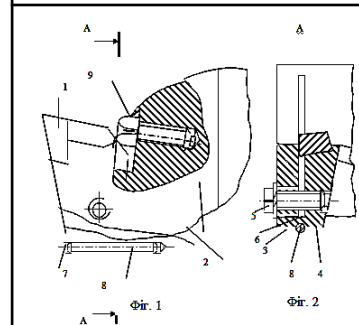
Різець складається з ріжучої пластини 1 і складовій державки 2, виконаної з набору пластин 3 і 4, склеєних між собою по площинах 5 (Тонкий еластичний шар клею), паралельним опорної поверхні 6 державки 2. **(недостатня стійкість інструмента.)**



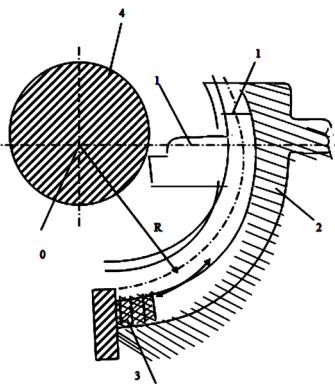
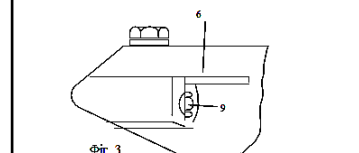
У пазу державки 1 на штифті 2 установлена ріжуча пластина 3, закріплення якої здійснюється клиновим стрижнем 4, вигнутим у напрямку, протилежному зусиллю притискних болтів 5. Стрижень має U-образна ділянка 6. **(малий діапазон навантажень і складність конструкції)**



Віброгасник 1 виконаний у вигляді прокладки з еластичного матеріалу. **(нестійкість до високих температур)**



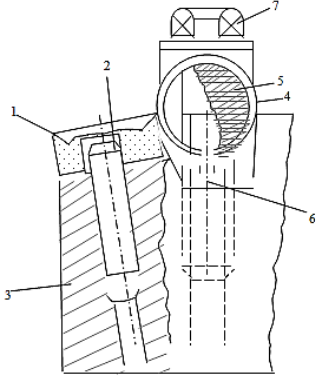
При роботі різця пластина 1 утримується в гнізді державки 2 гвинтом 9 і губками 3 і 4, стислими гвинтом 5. Штифт 8 при затискачі пластини 1 гвинтом 5 зберігає паралельність губок, що дозволяє при переривчастому різанні розподілити зусилля від затискача й різання рівномірно по бічних поверхнях губок. **(недоліком даної конструкції є її складність )**



Різець 1 установлюють у криволінійному пазу різцетримача 2 на пружній опорі 3. Центр кривизни паза різцетримача 2 збігається із центром. Про оброблювану деталь 4, а радіус кривизни R вибирається залежно від величини максимального діаметра оброблюваної деталі.

При виникненні вібрації різець робить коливальні переміщення еквідистантно.

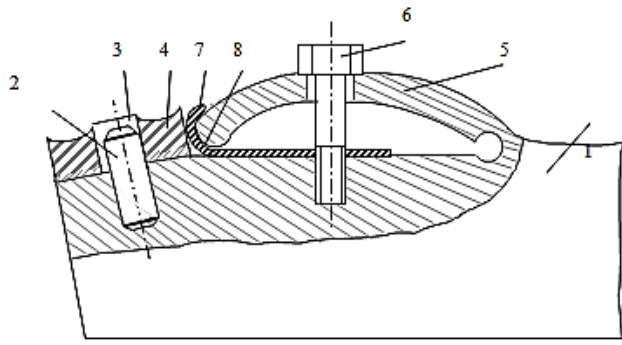
**(Недоліком даної конструкції є індивідуальність для кожної нової форми заготовки)**



У різці встановлена ріжуча пластина 1 на штифті 2, запресованому в державке 3, і закріплена розклинюючим елементом у вигляді кільцевої пружини 4, отвір якої заповнене віброгасильних матеріалом 5, наприклад Кільцева пружина 4 забезпечена прорізom 6, який з'єднує обидва торця расклинивающего елемента.

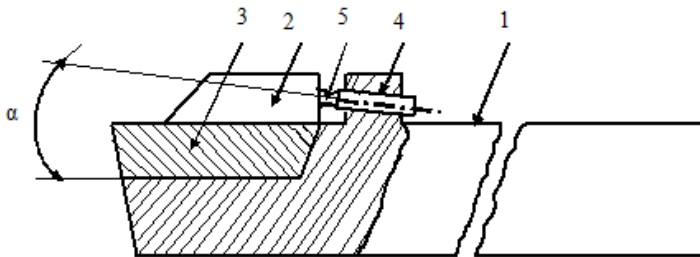
При обробці розрізна кільцева пружина деформується й поглинає виникаючу при обробці вібрацію, передаючи її віброгасящому матеріалу.

**(швидкий знос елементів конструкції)**



У державку 1 запресований штифт 2, який входить в отвір 3 багатогранної ріжучої пластини 4. Пластину закріплюють за допомогою клинового стрижня 5, вигнутого в напрямку, протилежному зусиллю притискного болта 6. Між ріжучою пластиною 4 і клиновим стрижнем 5 установлена прокладка 7, зафіксована на болті 6.

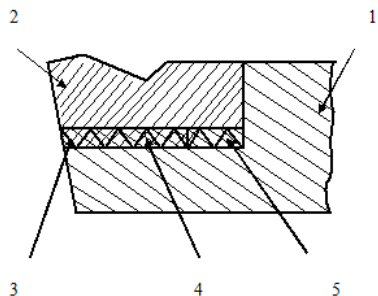
Виконання прокладки 7 з високо теплопровідного матеріалу, наприклад латуні, забезпечує гарний відвід тепла від ріжучої пластини 4, і її рекомендується застосовувати при обдирних роботах з більшим виділенням тепла в зоні різання. Надійний притиск пластини 4 дозволяє робити обробку деталей з різних матеріалів при підвищених режимах. Крім того, надійне кріплення пластинки забезпечує також більшу вібростійкість різця



Збірний різець складається з корпусу 1, у якому за допомогою головки 2 пружного елемента, виконаною пластинчастою формою у вигляді прихвата-стружколома, закріплюється ріжуча пластина. Циліндричний хвостовик 4 пружного елемента розташований в корпусі 1 різця під кутом  $\alpha$  до опорної поверхні ріжучої пластини 3 і з'єднаний з головкою пружною перемичкою 5.

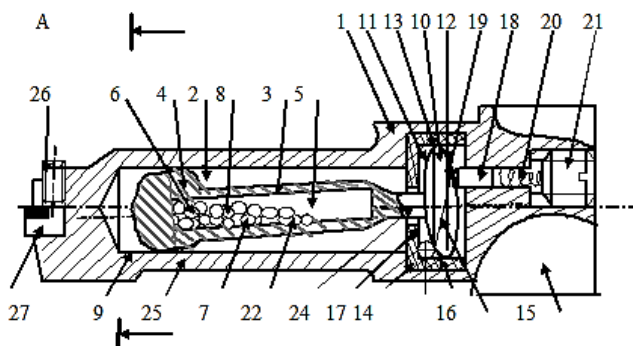
При створенні гарантованого тиску головки 2 пружного елемента на ріжучу пластину при складанні хвостовик 4 розташований під кутом  $\beta$  до опорної площини головки 2.  $\beta = \alpha + \gamma$ , де  $\alpha$  - кут між віссю отвору в корпусі й опорною поверхнею гнізда під ріжучу пластину;  $\gamma$  - кут повороту головки пружного елемента щодо хвостовика.

**Недоліком даної конструкції є мала стійкість пружного елемента й місце кріплення його в державке.**



Різець містить корпус 1, твердосплавну ріжучу пластину 2 і опорний елемент 3, виконаний у вигляді сітки, розміщеної у вставці 4 з самотвердіючий пластмаси, наприклад стіракріл, розташованої в зазорі між ріжучою пластиною 2 і корпусом 1. Зазор між корпусом 1 і частиною ріжучої пластини 2, що не підлягає переточуванню, заповнений припоєм 5.

Тому що контакт між ріжучою пластиною 2 і опорним елементом 3 здійснюється по крапках, то кількість мікротріщин у процесі пайки й при наступному остиганні зменшується. Швидкість охолодження ріжучої пластини 2 знижується, тому що зменшується площа контакту пластини 2 з корпусом різця 1. Зменшення кількості мікротріщин і зниження швидкості охолодження ріжучої пластини 2 означає підвищення якості паяного з'єднання, зменшення внутрішній напружень у ріжучій пластині й підвищення стійкості різця

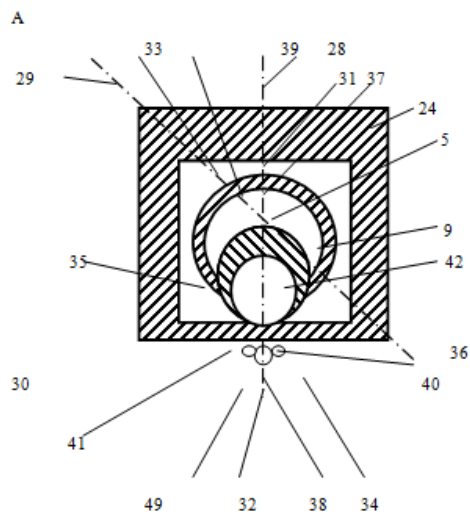


При виникненні віброколебаній оправлення в процесі токарської обробки деталі циліндр 4 ударяється про стінки 9 отвору 2 корпуса 1, при цьому ударні імпульси зменшують амплітуду коливань оправлення. У цей же момент гасіння власних віброколебаній циліндра 4 досягається за рахунок ударних імпульсів від кульок 6, 7 і 8, що переміщуються в замкненій порожнині 5.

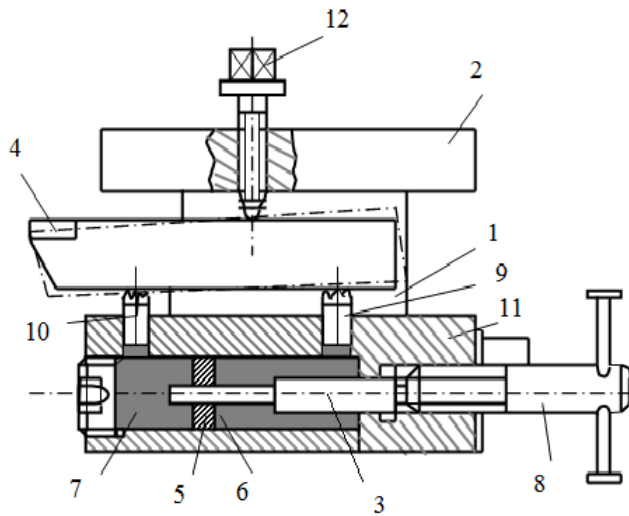
Завдяки наявності торцевого опорного паска 10, поверхня якого утворена сферичними поверхнями 11, 12 і 13 обертання, що володіє можливістю, у пружній склянці 14 навколо осі 23, ударні імпульси від циліндра 4 і кульок 6, 7 і 8 завжди збігаються по напрямкові з максимальними перевантаженнями при вібрації незалежно від того, у якій площині 28, 29 або 30 ці максимальні перевантаження виникають. Так при гасінні віброколебаній у площині 28 циліндр 4 створює ударні імпульси в крапках 31, 32 стінки 9; при гасінні в площині 29 – у крапках 33, 34 стінки 9; при наявності коливань у площині 30-у крапках 35, 36 стінки 9.

Гасіння власних коливань циліндра 4 здійснюється відповідно за рахунок ударних імпульсів кульок 6, 7, 8 у крапках 37 і 38 (площина 28), 39 і 40 (площина 29), 41 і 42 (площина 30) про стінки порожнини 5 циліндра 4.

При перехідних режимах різання змінюються як частоти коливання оправлення, так і напрямку перевантажень, що впливають на різець 27 і корпус 1. Шляхом підтискання або ослаблення затягування пружного елемента 20 регулювальним вузлом 21 змінюється зусилля, що впливає через шток 18 з напівсферичним наконечником 19 на торцевий опорний пасок 10, і тим самим змінюється як інтенсивність ударних імпульсів циліндра 4 і кульок 6, 7 і 8, так і площина їх переміщень 28, 29 і 30. Наприклад, при поступовому підтисканні штока 18 у процесі обробки деталі здійснюється перекид коливань циліндра 4 із площини 28 у площину 29 і далі в площину 30.



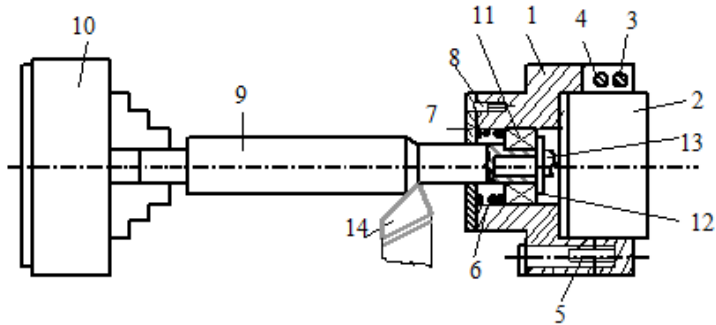
## Підсистема «верстат»



**Недоліком даного пристрою є підвищену увагу до гідросистеми й неможливість роботи з більшими навантаженнями**

Пристрій складається з корпусу 1 (рис. 2.20), у нижньому елементі 3 якого виконана заповнена робочим тілом порожнина, у напрямних отворах якої встановлені рухливі опори 10, 11. Порожнина розділена центральною перегородкою 5 на дві гідравлічні ізолювані між собою камери 6, 7, а натискний гвинт 8 виконаний східчастим зі співвідношенням площ поперечних перерізів 2:1 і діаметром щаблі меншої площі, рівним діаметру отвору перегородки. При пікових перевантаженнях, що виникають у процесі різання, різець впливає на передню опору 10, яка переміщаючись униз, додатково стискає робітниче середовище, створюючи різницю тиску між камерами. При цьому вершина різця займає нижнє положення, що приводить до зменшення зусиль різання, а опора 11 зміщується нагору, зберігаючи пружне підтискання до різця. При знятті пікових перевантажень система протягом короткого проміжку часу вертається у вихідний стан.

Застосування пропонованого пристрою забезпечує підвищення точності обробки шляхом зниження часу повернення несучих різців пружних опор у вихідне положення після зняття з різцетримача пікових перевантажень, що може бути використане, наприклад, при обробці заготовок зі сторонніми твердими вклученнями.

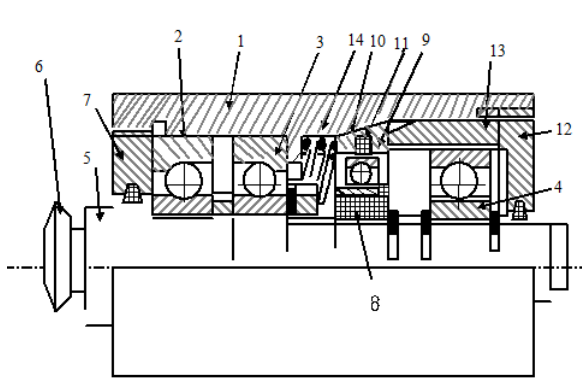


**Недоліком є складність конструкції, необхідність підготовки кожної деталі.**

Обертання маховика задньої бабки (на кресленні не показаний) переміщують піноль 2 вправо. Зовнішнє кільце підшипника 11 скочзає по посадковій поверхні корпусу 1, залишаючись на місці. Пружний елемент 6 стискається, значення розтяжного зусилля визначається величиною ходу останнього, тим самим створюється ефект попередньо спрямованої деталі. Після розтягання деталь 9 обробляється по зовнішньому діаметру різцем 14.

У процесі обробки з розтяганням полегшують умови пластичного деформування матеріалу деталі, відбувається більш інтенсивний наклеп стружки, різка зміна структури в металі, що зрізується, стружки, що є причиною виникнення значних внутрішніх напружень, нестійкості поверхневої структури й, відповідно, появи в стружці тріщин, що приводять до мимовільного дроблення на окремі ділянки різної довжини ( від 2 до 30 см). Крім того, при обробці деталей, фіксованих у розтягнутому стані за допомогою пружного елемента, мають місце поздовжні осцилюючі коливання деталі (спільно зі шпindelним вузлом), що викликають зміну перетину стружки, що зрізується, сприяють її дробленню, що також впливає на автоколивальний процес, як наслідок накладення одного виду коливань на інший. Амплітуда поздовжніх коливань за даними авторів перебуває в межах 0,01-0,06 мм і залежить від твердості пружного елемента, обумовленої діаметром дроту пружини.

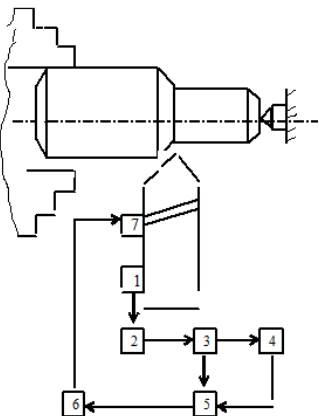
## Конструкція ротаційного різця



У корпус 1 на підшипниках 2, 3 і 4 кочення встановлений шпindelь 5, що несе круглу ріжучу пластину 6, радіально-упорні підшипники 2 і 3 утворюють передню опору, регулювання якої здійснюється різьбовою втулкою 7. Підшипник 4 служить задньою опорою шпинделя.

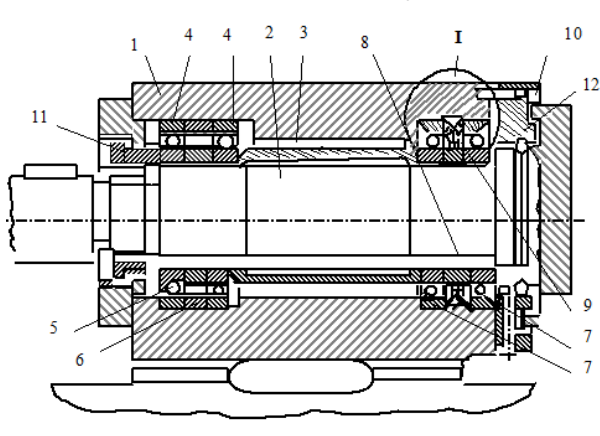
Між опорами шпинделя нерухомо встановлена пружна втулка 8, що несе радіальний підшипник 9, яка виготовлена з матеріалу з більшим внутрішнім тертям, наприклад гуми. У корпусі 1 установлена з можливістю осьового переміщення цанга 10, постачена пружним елементом 11, наприклад кільцевим, який охоплює підшипник 9. Для переміщення цанги в осьовому напрямку служить пристрій, який виконаний у вигляді різьбової втулки 12 і кільця 13. Переміщення цанги в протилежну сторону здійснюється пружиною 14. Фіксація різьбових втулок 7 і 12 від самовідгвинчування забезпечується затискачами (не показані).

При обертанні різьбової втулки 12 одержують осьове переміщення кільце 13 і цанга 10, яка, взаємодіючи з конічною поверхнею в корпусі, деформується в радіальному напрямку разом із пружним елементом 11. Змінюючи, таким чином, ступінь стиску пружного елемента, регулюють його твердість, що й демпфірує здатність і, отже, вібростійкість різця. Поліпшення вібростійкості забезпечується також установкою між шпинделем 5 і підшипником 9 пружної втулки 8 [16]. Наступний винахід ставиться до способів підвищення стійкості інструмента, що забезпечують найменше зношування інструмента при найбільшій продуктивності праці й може бути використане при механічній обробці в різних галузях промисловості.

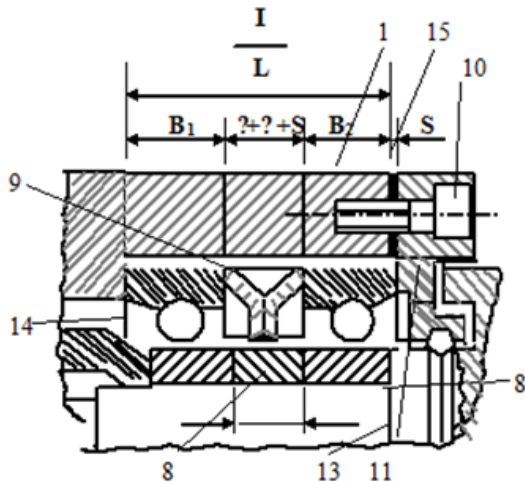


Хвилі напруг, які генеруються в зоні різання й на контактних поверхнях ріжучого клина інструмента, перетворюються чутливим елементом п'єзоелектричного датчика 1 в електричний сигнал, який подається на вхід попереднього підсилювача 2. Посилений сигнал проходить селекцію по частоті в активному смуговому фільтрі 3 зі смугою пропускання 100-1000 кГц, що забезпечує перешкодозахищеність пристрою від шумів системи ВПІД (пристосування-інструмент-деталь). З виходу фільтра 3 сигнал паралельно надходить на вхід відеодетектора 4 і інформаційний вхід підсилювача 5. З виходу відеодетектора 4 сигнал надходить на керуючий вхід підсилювача 5. Відеодетектор 4 управляє значенням коефіцієнта підсилення підсилювача 5 з максимальним гасінням хвиль напруг. У підсилювачі 5 відбувається інвертування фази сигналу і його посилення. З виходу підсилювача 5 сигнал надходить на підсилювач 6 потужності, який підсилює сигнал до рівня, необхідного для нормальної роботи вібратора й подає на вхід акустичного вібратора 7, установлюваного на інструмент. Вібратор 7 генерує високочастотні хвилі для погашення хвиль напруг. **Недоліком даного винаходу є дорожнеча й складність процесу віброгасіння.**

## Шпиндельний вузол



вид А



Ціль винаходу – підвищення твердості й поліпшення технологічності шпиндельного вузла за рахунок контакту одного із зовнішніх кілець підшипників із внутрішнім торцем корпуса, а з іншого – із кришкою й установкою між ними пружного елемента, зусилля якого перевищує зусилля попереднього натягу.

Показаний шпиндельний вузол, загальний вид А – регулювання натягу в опорі із пружним елементом.

Шпиндельний вузол складається з корпуса 1, шпинделя 2, розпірної втулки 3, підшипників 4 задньої опори із втулками 5 і 6 між ними, підшипників 7 передньої опори, між внутрішніми кільцями яких установлена втулка 8, а між зовнішніми – пружний елемент 9, виконаний, наприклад, у вигляді пакета тарілчастих пружин, робоче зусилля якого перевищує зусилля попереднього натягу й визначається заданою осьовою твердістю вузла.

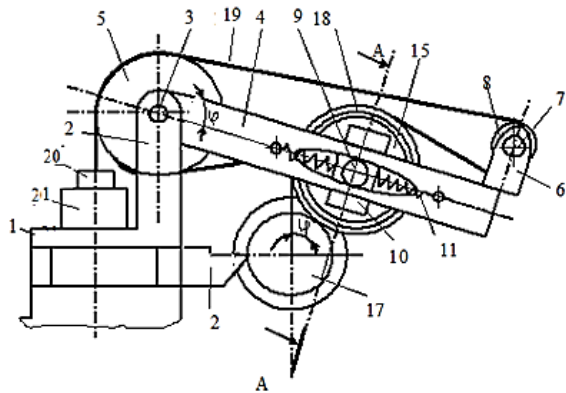
На торці корпуса 1 гвинтами 10 кріплять плоску кришку 11. Гайкою 12 підтискають підшипники 4 задньої опори із втулкою 5, розпірну втулку 3 і підшипники 7 передньої опори із втулкою 8 до торця 13 шпинделя. При встановленій кришці 11 і підгорнутій гайці 12 зовнішні кільця обох підшипників передньої опори під дією пружного елемента зміщуються щодо внутрішніх кілець до упору з однієї сторони в торець 14 корпуса 1, а з іншого – у плоску кришку 11. Щоб створити в опорі необхідний попередній натяг, величина цього зсуву повинна бути дорівнює величині зсуву  $\Delta$ , певної для даної пари підшипників при додатку зусилля, рівного зусиллю попереднього натягу. Досягається це тим, що фіксованому положенні торців зовнішніх кілець підшипників пружний елемент займає по довжині місце більше, ніж втулка 8, на величину зсуву  $\Delta$ , для чого довжину втулки 8 визначають по формулі

$$l=L-(B1+B2+\Delta).$$

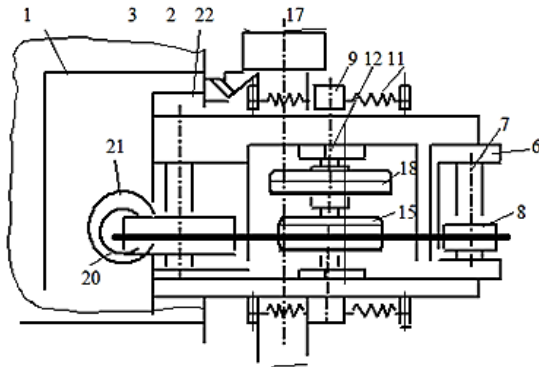
Властиво робоче зусилля, передане пружним елементом, сприймається торцем 14 корпуса й плоскою кришкою 11, і на величину попереднього натягу впливу не виявляє.

Таким чином, осьова твердість шпиндельного вузла не регламентується величиною зусилля попереднього натягу, а визначається робочим зусиллям пружного елемента,

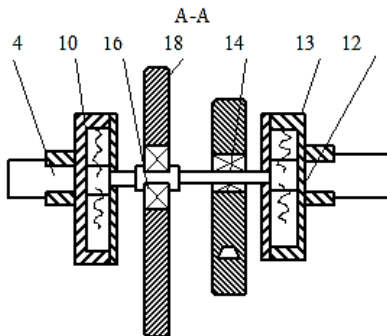
## Віброгасник



## Віброгасник, вид зверху



## Перетин А



Віброгасник містить установлений на різцетримаче 1 кронштейн 2, на осі 3 якого встановлений з можливістю повороту й фіксації важіль 4 і обертовий шків 5. На кінці важеля 4 у стійці 6 на осі 7 установлений обертовий шків 8. В осьових пазах важеля 4 установлені з можливістю переміщення цапфи 9 з корпусами 10, підпружинені пружинами 11. У корпусах 10 цапфи 9 установлена з можливістю переміщення в напрямку, перпендикулярному осі важеля 4, вісь 12, підпружинена пружинами 13. На осі 12 з можливістю обертання на підшипнику 14 установлений упорний ролик 15 і з можливістю незалежного обертання на підшипнику 16, призначений для взаємодії з деталлю 17 додатковий ролик 18 більшого діаметра, чому діаметр упорного ролика 15. Шків 5 і шків 8 охоплені гнучким тросом 19, який контактує з упорним роликом 15. Один кінець гнучкого троса 19 закріплено на шківі 5, а другий з'єднано із сердечником 20 електромагніту 21, установленного на різцетримаче 1. Кут повороту шківів 5 при відключенні живлячого напруги електромагніту 21 обмежується пружиною, що втримує сердечник 20 у котушці електромагніту 21 (не показана).

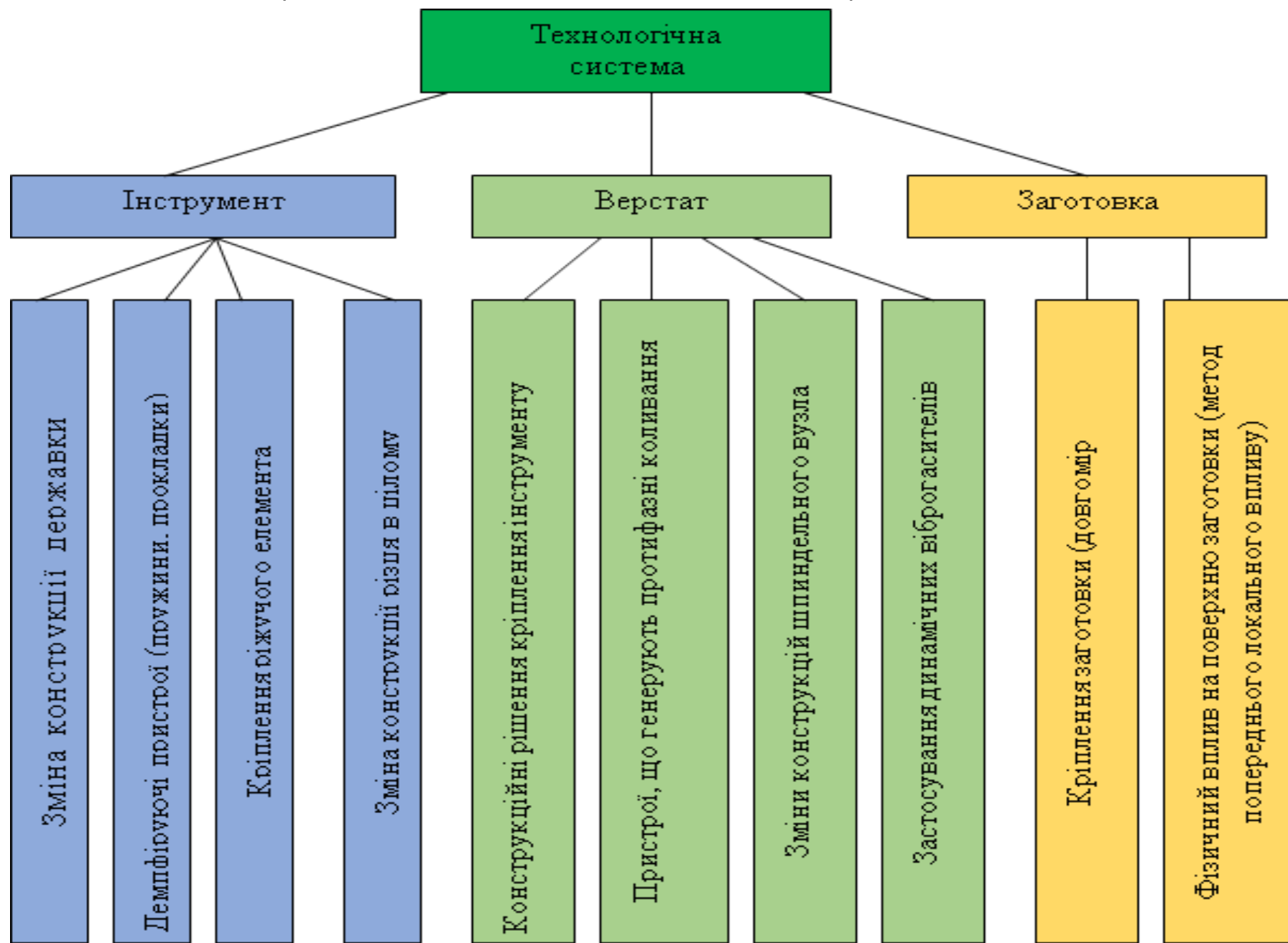
Динамічний віброгасник працює в такий спосіб.

Деталь 17 установлюють у патроні верстата й підискають заданим центром. Включають привод головного руху, підводять різець 22 до деталі 17 і набудовують на розмір. Важіль 4 віброгасника з роликами 15 і 18 установлюють у кронштейні 2 під необхідним кутом  $\varphi$  залежно від розмірів деталі 17 і режимів різання й фіксують у цій положенні. Потім різцю 22 повідомляють рух робочої подачі, здійснюють врізання й починають процес гостріння. При цьому ролик 18 переходить на вже оброблену поверхню деталі 17 і підискається до неї зусиллям пружини електромагніту 21, переданим ролику 18 через ролик 15, вісь 12 і гнучкий трос 19. При цьому ролик 18 обертається незалежно те ролика 15, що суттєво зменшує силу тертя між роликом 15 і гнучким тросом 19 і процес нагрівання троса 19. У міру переміщення різця 22 щодо деталі 17 по сигналах програмного блоку або датчика переміщення різця щодо деталі (не показані) на обмотку електромагніту 21 подається напруга, і сердечник 20 втягується в котушку, що приводить до натягу гнучкого троса 19 через шківів 5 і 8. Створюване натягом троса 19 зусилля впливає через ролик 15, вісь 12 і ролик 18 на деталь 17, тим самим, стискаючи статичні прогини деталі.

Одночасно ролик 18, установлений на осі 12, підпружиненої пружинами 11 і 13, здійснює гасіння динамічних коливань деталі 17, що сприяє разом із силою натягу троса 19 зниженню статичних прогинів деталі 17 і гасінню коливань у широкому діапазоні.

**Недолік:** громіздкість, складність, вимагає індивідуальність налаштування.

# СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ В ПРОЦЕСІ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ



## Висновки й постановка завдань в роботі

1. Для розробки вібростійкого інструменту для тонкої лезової обробки потрібно використовувати теорію виникнення автоколивань, скориставшись концепцією запізнілих сил, запропонованої М.Е. Ельясбергом в 1955 році.

2. Усі наведені методи і способи для забезпечення динамічної стабільності процесу різання мають конструкції ефективні для певних діапазонів різання і отримання певних результатів. Але для тонкої лезової обробки ці методи недостатньо ефективні: шорсткість отриманої поверхні не має розрахункових значень, точність поверхні вимагає додаткових витрат, фізичні властивості поверхневого шару заготовки не відповідають запроєктованим вимогам. Також дані конструкційні рішення складні у виготовленні і дорогі. А деякі моделі різців не працюють в умовах тонкої лезової обробки на великих швидкостях.

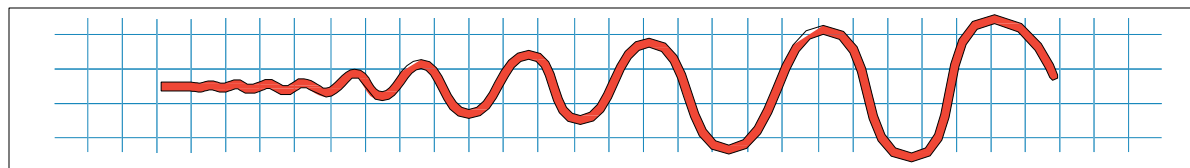
В результаті вищевикладеного матеріалу можна визначити цілі і завдання подальших досліджень.

Метою роботи є розробка науково-обґрунтованого способу підвищення ефективності тонкої лезової обробки за рахунок динамічної стабільності, використовуючи анізотропні властивості ріжучого інструменту.

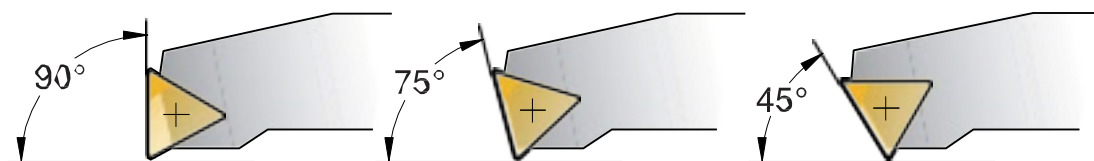
Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Дослідження анізотропних властивостей матеріалу різального інструменту.
2. Розробити і обґрунтувати вибір конструкції ріжучого інструменту з анізотропними властивостями на основі досліджень і розрахунків.
3. Розробити динамічну модель технологічної системи при тонкій лезовій обробці.
4. Виконати комплекс експериментальних досліджень з метою підтвердження отриманих теоретичних досліджень.

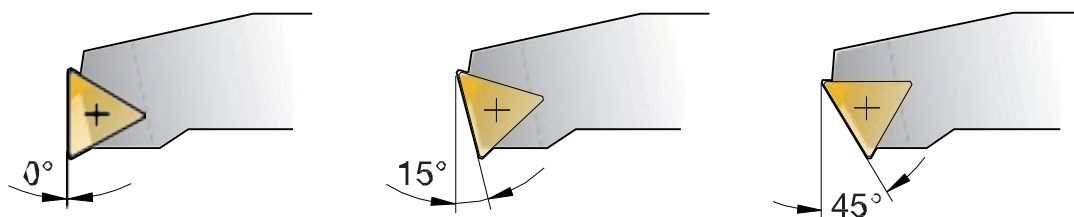
Вплив геометрії різця на виникнення вібрацій при обробці заготовок в автоматичному режимі  
(Рекомендації копанні SANDVIK COROMANT)



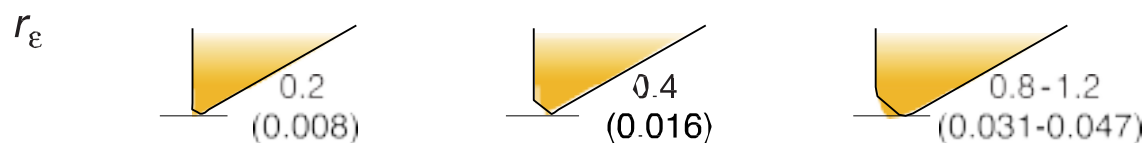
Схильність до вібрацій



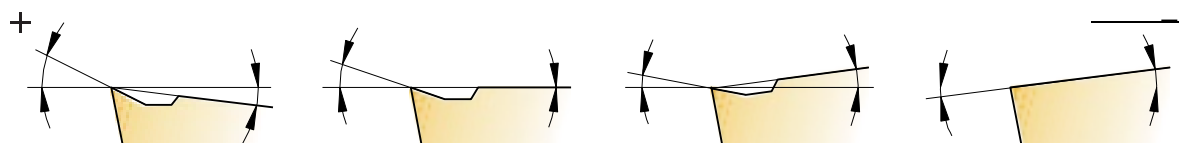
Головний кут в плані



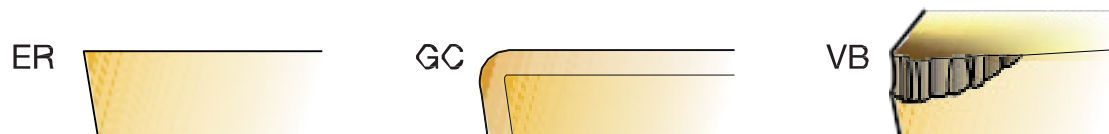
Кут і радіус при вершині пластини, мм (дюйм).



Геометрія передньої поверхні



Стан ріжучої кромки



Відношення глибини різання до радіусу при вершині



# СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОНКОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Збірний прохідний різець із різноорієнтованою текстурою державки, оснащений змінною ріжучою пластинкою з кераміки марки ВОР 71 (Оксикарбид:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 60%,  $\text{TiC}$  – 40%). Корпус державки інструмента виготовлено зі сталі 40Х (ДЕРЖСТАНДАРТ 4543-2005), HRC 42-46.

Збірний прохідний різець з багатшаровою державкою

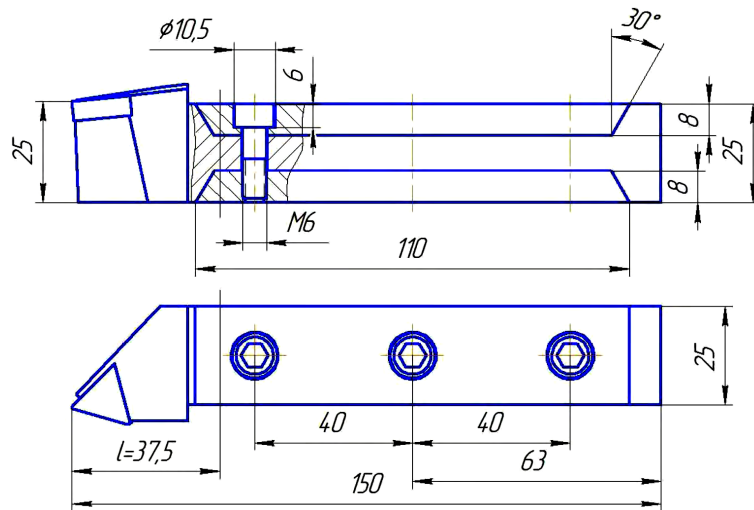
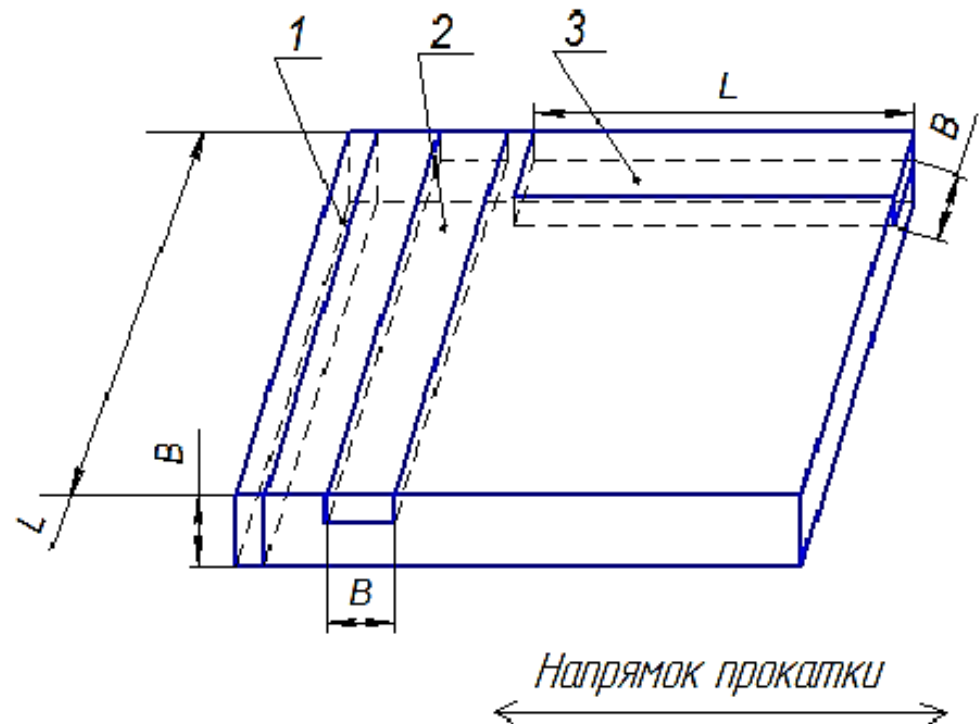


Схема вирізки пластин для державки з листового прокату:  
1 - пластина з вертикальною орієнтуванням прокатки; 2 - пластина з поперечною орієнтуванням прокатки; 3 - пластина з поздовжньою орієнтуванням прокатки; L - довжина пластини; B - ширина пластини (заготовка зі сталі 40X)

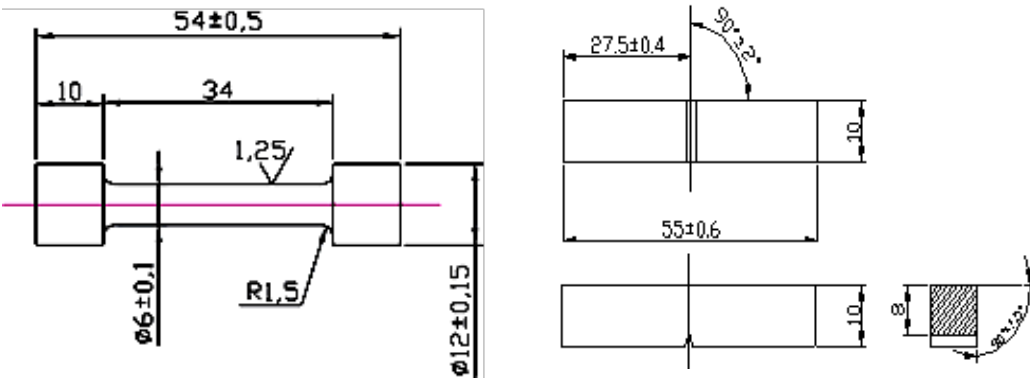


# ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З АНІЗОТРОПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЕРЖАВКИ

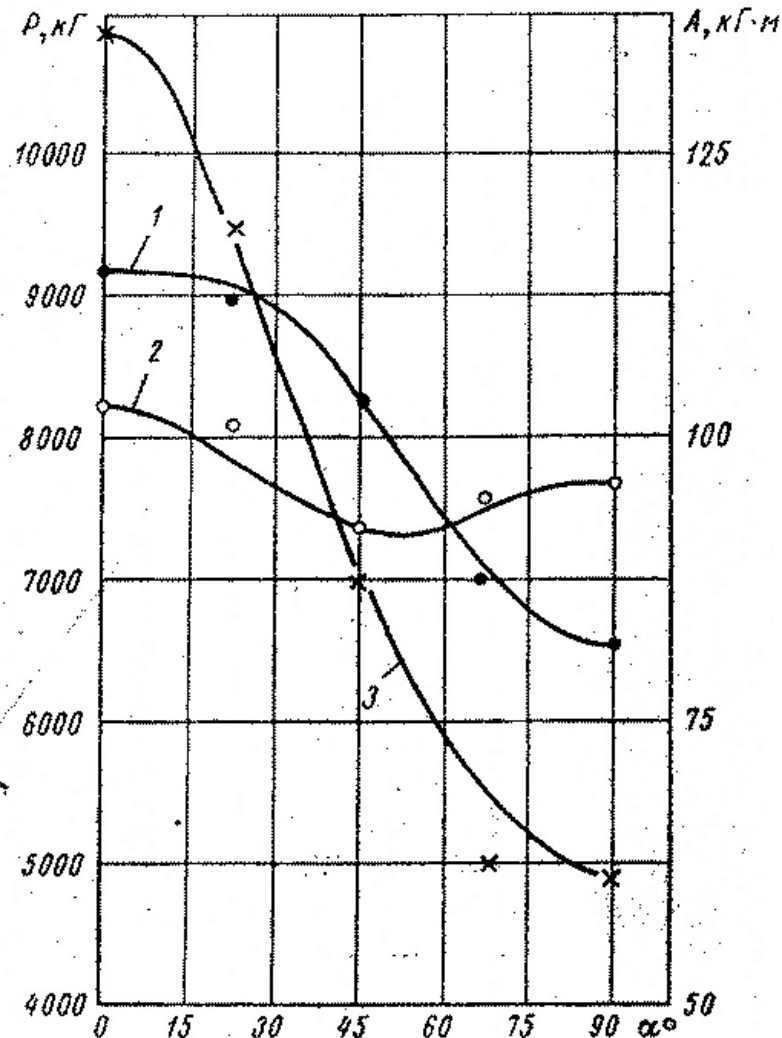
Механічні властивості листової сталі в різних напрямках

Напрямок випробувань	X	Y	Z	K y-x	K z-y
Тимчасовий опір, МПа	1278	1225	1153	0,96	0,94
Границя текучості, МПа	1209	1140	1126	0,94	0,98
Відносне подовження, %	15,7	13,5	3,8	0,85	0,28
Звуження поперечного переріза, %	55,8	50,1	8,8	0,89	0,18
Ударна в'язкість, КДж/см	78	67	25	0,86	0,37

Зразок циліндричний і зразок для випробувань на ударне розтягнення (тип III N6) ДЕРЖСТАНДАРТ 1497-73 вигин (тип I – КСУ) ДЕРЖСТАНДАРТ 9454-73

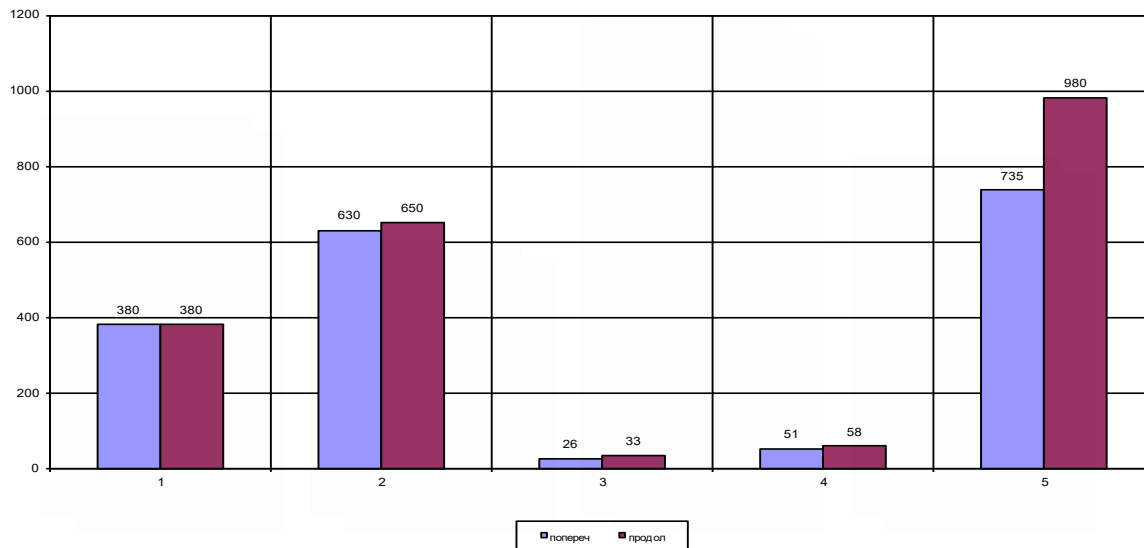


Залежність міцності прокатної сталі від кута  $\alpha^\circ$  нахилу зусилля до напрямку прокату ( за даними Е. Гувер): 1, 2 — розривне зусилля  $P$  для сталей партій I і II; 3 — робота розриву  $A$  для сталі партії I



# Протокол випробування відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 1497-84, 9454-78

Іспитове встаткування 1958 МК-30 Тип зразка: Тип III N6 Тип I		Вимоги: Матеріал: Сталь 40X						
Випробування проведені відповідно до : ДЕРЖСТАНДАРТ 1497-84, 9454-78								
N п/п	Напрямок проби	N Зразка	Границя текучості $\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження $\delta_5$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Ударна в'язкість КСУ кДж/м <sup>2</sup>	Твердість НВ
	90°	1	380	640	26	51		
	90°	2	380	630	31	53		
	90°	3					735	
	90°	4					735	
	0°	5	380	650	33	58		
	0°	6	380	640	30	57		
	0°	7					955	
	0°	8					980	



1. Границя текучості –  $\sigma_{0,2}$ , Н/мм<sup>2</sup>;
2. Границя текучості -  $\sigma_b$ , Н/мм<sup>2</sup>;
3. Відносне подовження -  $\delta_5$ , %;
4. Відносне звуження -  $\psi$ , %;
5. Ударна в'язкість КСУ, кДж/м<sup>2</sup>.

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З АНІЗОТРОПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЕРЖАВКИ

## Шорсткість поверхні при обробці зі зміною швидкості різання

№ Експ	$n, \text{хв}^{-1}$	$V, \text{м/хв}$	Новий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$			Старий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$		
			1.1	500	80	0,9	1,1	0,9
			Середнє значення - 0,966			Середнє значення – 1,16		
1.2	630	97	1,0	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2
			Середнє значення - 1,0			Середнє значення – 1,26		
1.3	800	123	0,8	1,0	0,9	1,3	1,3	1,4
			Середнє значення - 0,9			Середнє значення – 1,33		
1.4	1000	154	1,0	1,1	1,1	1,3	1,5	1,4
			Середнє значення – 1,06			Середнє значення – 1,4		
1.5	1250	192	0,7	0,8	0,6	1,4	1,3	1,4
			Середнє значення - 0,7			Середнє значення – 1,36		

## Шорсткість поверхні при обробці зі зміною подачі

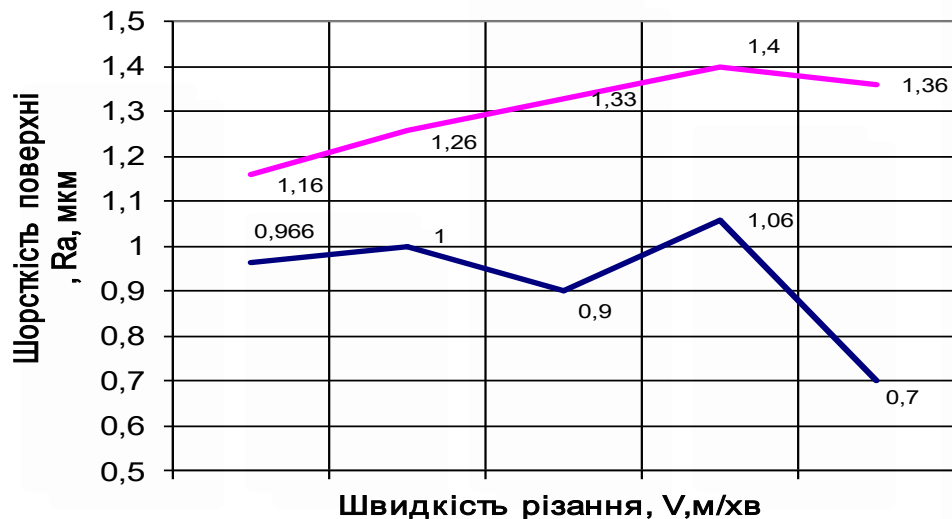
№ Експ	$s, \text{мм/об}$	$V, \text{м/хв}$	Новий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$			Старий різець (Чистота обробки) $Ra, \text{мкм}$		
			2.1	0,06	154	0,7	0,7	0,9
			Середнє значення - 0,766			Середнє значення – 1,066		
2.2	0,1	154	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,0
			Середнє значення - 1,033			Середнє значення – 1,16		
2.3	0,15	154	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
			Середнє значення - 1,6			Середнє значення – 1,6		
2.4	0,2	154	1,9	1,6	1,5	1,7	1,7	1,9
			Середнє значення – 1,6			Середнє значення – 1,76		
2.5	0,25	154	2,1	2,0	2,0	2,6	2,6	2,8
			Середнє значення - 2,033			Середнє значення – 2,66		

## Шорсткість поверхні при обробці зі зміною глибини різання

№ Експ.	$t$ мм	$V$ м/хв	Новий різець (Чистота обробки) $Ra$ , мкм			Старий різець (Чистота обробки) $Ra$ , мкм		
3.1	0,1	154	1,4	1,2	1,2	1,6	1,4	1,5
			Середнє значення - 1,3			Середнє значення - 1,5		
3.2	0,15	154	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2
			Середнє значення - 1,2			Середнє значення - 1,26		
3.3	0,2	154	1,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,2
			Середнє значення - 1,2			Середнє значення - 1,26		
3.4	0,25	154	1,5	1,4	1,3	1,6	1,3	1,4
			Середнє значення - 1,4			Середнє значення - 1,43		
3.5	0,3	154	1,6	1,5	1,6	1,6	1,8	1,
			Середнє значення - 1,56			Середнє значення - 1,7		

За результатами випробувань побудуємо графіки

**Зміна швидкості різання**



$V_1=80$  м/хв

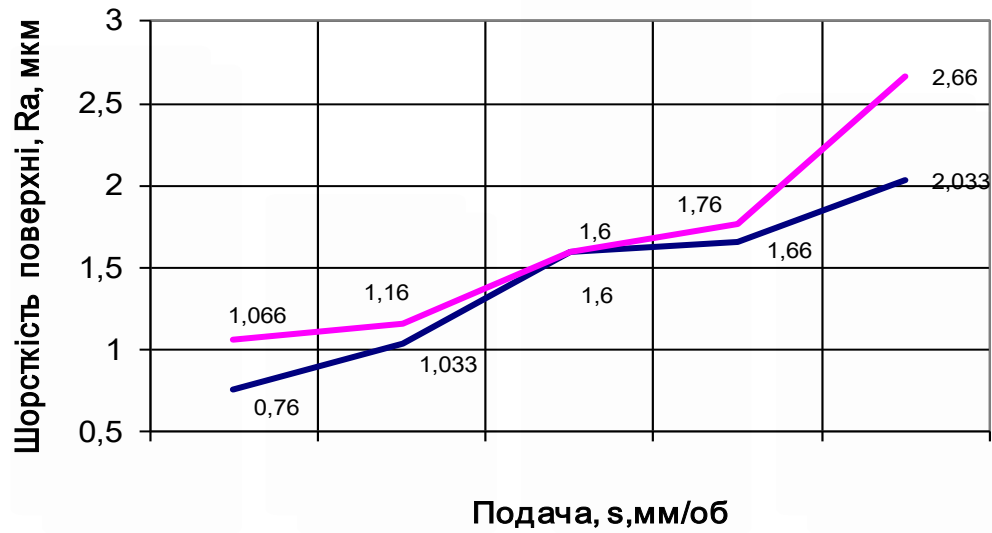
$V_1=97$  м/хв

$V_1=123$  м/хв

$V_1=154$  м/хв

$V_1=192$  м/хв

### Зміна подачі



$S_1 = 0,06$  мм/об

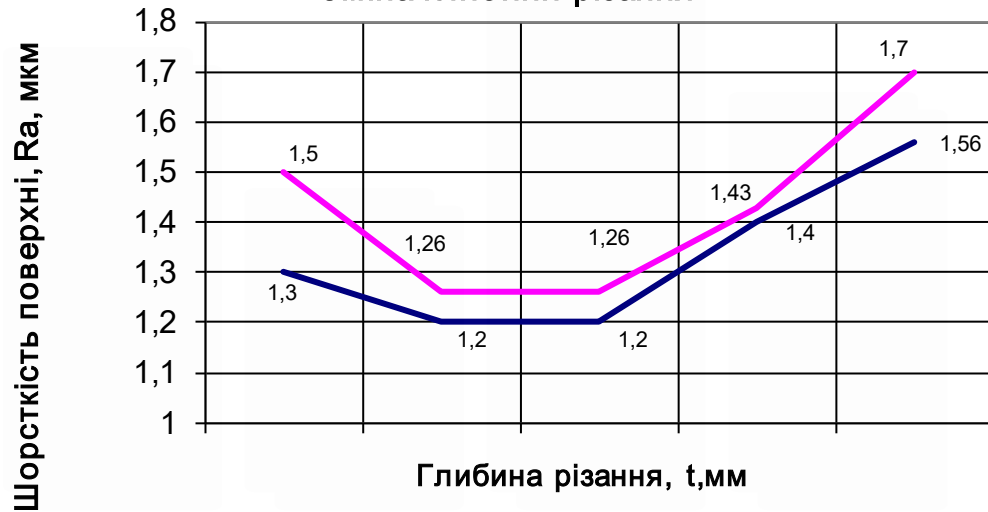
$S_1 = 0,1$  мм/об

$S_1 = 0,15$  мм/об

$S_1 = 0,2$  мм/об

$S_1 = 0,25$  мм/об

### Зміна глибини різання



$t = 0,1$  мм

$t = 0,15$  мм

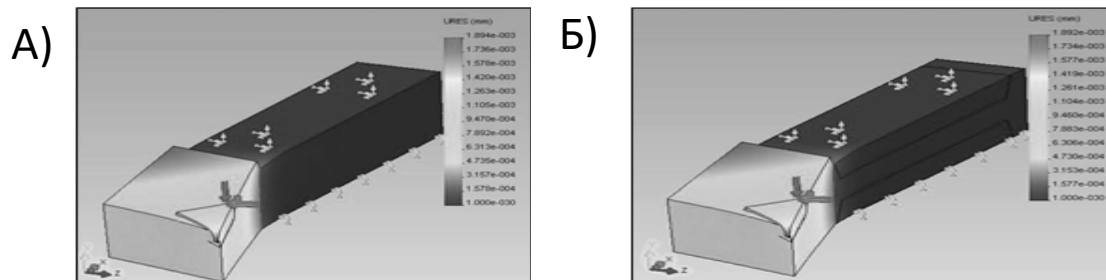
$t = 0,2$  мм

$t = 0,25$  мм

$t = 0,3$  мм

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИСНОВКИ:

1. Найбільш зручним методом випробування для перевірки ступеня анізотропії металу служить розтягання. Не тільки межа міцності, але й межа пружності й плинності, а також характеристики пластичності при розтяганні виявляють анізотропію. При цьому ступінь анізотропії різний для різних характеристик і може бути різної при розтяганні й стиску.
2. Неметалічні включення, наявні в більшості прокатних металів, підсилюють анізотропію, а на думку деяких авторів, є її основною причиною.
3. Пластини для виготовлення експериментального різця мають різну текстуру деформації, у своїй площині й у своєму перетині, мають різні фізико-механічні властивості. Це явно видно на діаграмі результатів механічних випробувань пластин державки.
4. Для досягнення найбільшого ефекту демфирования, разорієнтація текстури у верхній і нижній пластині повинна бути максимальної.
5. Розрахункові вибропереміщення при обробці підсистем інструменту, оснащеної багат шаровою державкою, показали зниження рівня автоколебаний в процесі різання. Проведені в цій області експериментальні дослідження вибропереміщень при обробці заготовки зі сталі 40X підтвердили правильність теоретичної моделі і довели ефективність застосування різців з анізотропної демпфируючої державкою при чистовому точінні



Епюра суммарного статичного переміщення різача з багат шаровою державкою (а) і різца-аналога (б)

6. Дану конструкцію різця рекомендувати для роботи на деталях з високою твердістю, високим класом шорсткості поверхні. Різець використовувати при тонколезвійной токарській обробці.