

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Визначення раціональних режимів для операцій обробки
отворів за критеріями стружкоутворення»

«Determination of rational modes for hole machining operations by chip formation
criteria»

Виконав: студент 6 курсу, групи 6ТМ
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»
Харченко В.О.

Керівник: д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О.

Рецензент к.т.н., доц. Селіверстов І.А.

Херсон – 2024 рік

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Визначення раціональних режимів для операцій обробки
отворів за критеріями стружкоутворення»

«Determination of rational modes for hole machining operations by chip formation
criteria»

Виконав: студент 6 курсу, групи 6ТМ
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»
Харченко В.О.

Керівник: д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О.

Рецензент к.т.н., доц. Селіверстов І.А.

Херсон – 2024 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет

Інженерії та транспорту

Кафедра

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність

131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри Автоматизації,
робототехніки і мехатроніки

Дмитрієв Д.О.

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Харченко Володимир Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: **Визначення раціональних режимів для операцій**

обробки отворів за критеріями стружкоутворення

Determination of rational modes for hole machining operations chip formation criteria.

керівник проекту: *д.т.н., проф. Дмитрієв Дмитро Олексійович*

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» серпня 2023 р. № 402-с

1. Технічна документація.

2. Науково-технічна література.

2. Строк подання студентом проекту

« 10 » січня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

закономірності теорії різання, параметри

стружкоутворення, показники якості механічної обробки, вихідні параметри

поверхонь, точність, шорсткість, зусилля різання і технологічна спадковість,

режимні параметри, швидкість рвзання, подача, геометрія різального інструменту,

стружкоутворення, база патентів України. 4. Охорона праці.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Пластичні матеріали, крихкі матеріали та геометричні параметри.

Подача та глибина різання, швидкість різання. Типи стружки при різанні.

Фізичні основи процесу різання. Спосіб визначення кута зсуву при стружкоутворенні.

5. Охорона праці.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кузнецов С.І.	30.08.2023	10.01.2024

7. Дата видачі завдання _____ « 30» серпня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз типів стружки при різанні	30.08.23-30.09.23	
2.	Аналіз швидкості різання	30.09.23-05.10.23	
3.	Механіка утворення стружки	05.10.23-12.11.23	
4.	Фізичні основи процесу різання	13.11.23-25.11.23	
6.	Аналіз циліндричних отворів	01.12.23-04.12.23	
7.	Технічні пропозиції по удосконаленню процесу	02.12.23-10.01.24	

Студент

Харченко В.О.

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

Дмитрієв Д.О.

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра студента Харченко Володимира Олександровича на тему «Визначення раціональних режимів для операцій обробки отворів за критеріями стружкоутворення» містить 70 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, 29 рисунків, список посилань 10 найменувань.

В роботі розглянуті особливості раціональних режимів для операцій обробки отворів за критеріями стружкоутворення, проведений патентний пошук прогресивних рішень за темою. Спроектвана ремонтно механічна майстерня для ремонту та модернізації обладнання побутового обслуговування в тому числі розробленої модернізації сушильних барабанів. Проведені розрахунки геометричних параметрів барабану, технологічний розрахунок параметрів робочого процесу, розрахунок приводу барабану, рахунок навантажень вузла опори, розрахунок і підбір підшипників вузла опори, основні розрахунки техніко економічних показників майстерні, розглянуті питання охорони праці. В роботі детально розглянуто можливості комп'ютерного середовища Tecnomatix plant simulation для моделювання виробництв що до побутової техніки. Використовуючи засоби Tecnomatix plant simulation побудованно окремі дільниці механічної обробки слюсарних та лакофарбових робіт, доданно роботизоване обладнання та логістичні елементи у вигляді транспортно складських засобів що об'єднанно в модель віртуального заводу в данній роботі.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.РФ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.								
Перевір.								
Н. Контр.						ХНТУ, гр.6ТМ		
Затверд.								

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі бакалавра студента Харченко Володимира Олександровича на тему «Визначення раціональних режимів для операцій обробки отворів за критеріями стружкоутворення» розглянуті закономірності теорії різання, параметри стружкоутворення, проведений патентний пошук прогресивних рішень за темою, виконані пошук показників якості механічної обробки. Показано вплив таких параметрів як точність, шорсткість, зусилля різання і технологічна спадковість. Встановлено режимні параметри швидкості рвзання, подача, геометрія різального інструменту. Запропоновано нові технічні рішення у вигляді методів дослідження стружкоутворення та проведена робота по пошуку патентів з бази патентів України. Розглянуті питання охорони праці.

Надано рекомендації по визначенню раціональних режимів для операцій обробки отворів, що можуть бути використані у роботах.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.РФ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

In the bachelor's thesis of the student Volodymyr Oleksandrovich Kharchenko on the topic "Determination of rational modes for hole processing operations according to the criteria of chip formation", the laws of cutting theory, parameters of chip formation, a comprehensive patent search for progressive solutions on the topic, and a search for indicators of the quality of mechanical processing were considered. The influence of such parameters as accuracy, roughness, cutting force and technological heredity is shown. The operating parameters of the cutting speed, feed, geometry of the cutting tool are set. New technical solutions in the form of chip formation research methods were proposed and work was carried out to search for patents from the patent database of Ukraine. Considered issues of labor protection.

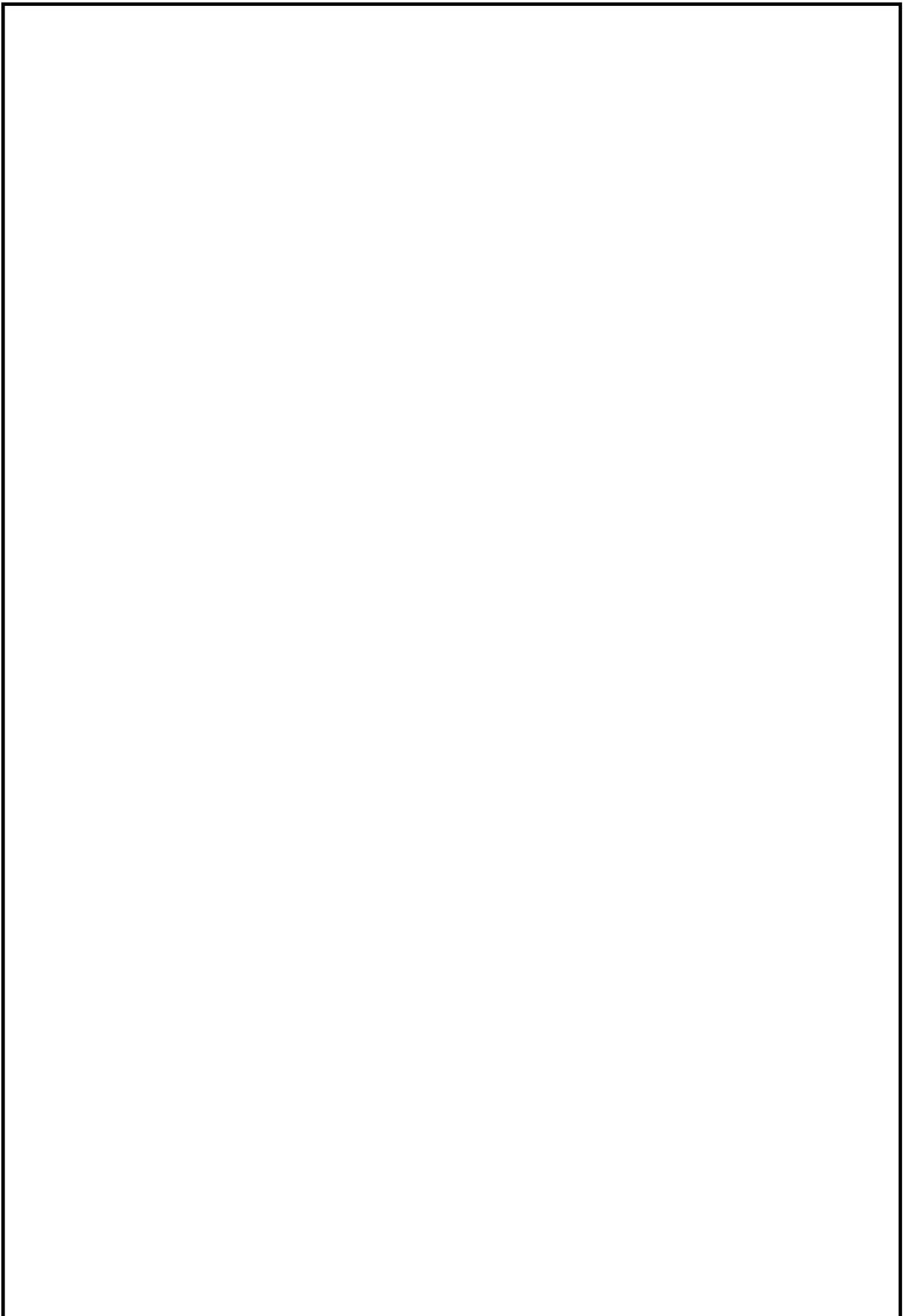
Recommendations are provided for determining rational modes for hole processing operations that can be used in works.

					<i>XHTY 151.KPM.21.A38.PΦ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	10
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ	11
1.1. Пластичні матеріали, крихкі матеріали та геометричні параметри	14
1.2. Подача, глибина та швидкість різання	15
1.3. Типи стружки при різанні	15
1.4. Вплив режимів різання на тип стружки	31
2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ І ТЕОРИТИЧНІ	33
2.1. Фізичні основи процесу різання	33
2.2. Механіка утворення стружки	39
3. ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОТВОРІВ	44
3.1. Види отворів	44
3.2. Розгортання отворів	46
4. ТЕХНІЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ПО УДОСКОНАЛЕННЮ ПРОЦЕСУ СТРУЖКОУТВЕРЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ	49
4.1. Спосіб визначення кута зсуву при стружкоутворенні	49
4.2. Спосіб визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею різального інструмента	54
4.3. Спосіб визначення коефіцієнта усадки стружки	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	59
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		8



					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

Процес різання (стружкоутворення) – складний фізичний процес, що супроводжується великим тепловиділенням, деформацією металу, зношуванням різального інструмента та наростоутворенням на різці. Знання закономірності процесу різання і супроводжуючих його явищ дозволяє раціонально керувати цим процесом і обробляти деталі якісніше, продуктивніше й економніше.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ.

Стружкоутворення, зношування поверхонь леза і утворення нової поверхні на заготовці здійснюються одночасно і дуже тісно взаємозв'язані. Вони в сукупності складають деяку цілісність, яка характеризується пов'язаністю частин, що її складають, і може бути представлена в вигляді замкнутого кола, в якому всі елементи обумовлюють один одного. Ця цілісність називається системою різання.



Рис.1. Система різання.

Система різання є підсистемою замкнутої динамічної системи верстата. Остання включає в себе пружну систему “верстат – пристрій – інструмент – деталь” (ВПД) та процеси, що протікають в рухомих сполученнях елементів пружної системи (різання, тертя, робочі процеси в двигунах та ін.). Система різання є відкритою, вона безперервно обмінюється матерією і енергією з іншими елементами замкнутої динамічної системи верстата. Функціонування системи різання обумовлене факторами стану (первинними параметрами) в які входять матеріал та його фізико-механічні властивості, форма і розміри обробленої поверхні, якість і точність оброблення, ха- рактеристики верстата, пристрою, інструмента, схеми оброблення, режимів оброблення та

технологічного середовища і вторинними параметрами, які визначають результати виконання механічного оброблення. До них відносяться експлуатаційні характеристики деталі, в тому числі точність оброблення та якість поверхні, стійкість і міцність інструменту, продуктивність і економічність оброблення. Характер взаємозв'язків між окремими елементами системи різання характеризується наявністю прямих і зворотних дій. Так, в ланцюгах “Стружкоутворення – Формування обробленої поверхні”, “Зношування різального інструменту – Формування обробленої поверхні” та “Стружкоутворення – Зношування різального інструменту” існують як прямі зв'язки, так зворотні, тобто елементи системи різання між собою тісно пов'язані і взаємно впливають один на другий.

Наприклад, при проектуванні і експлуатації твердосплавних різців важливо отримати форму стружки, зручну для видалення і безпечну для робітника. Така стружка може бути у вигляді окремих шматочків, коротких завитків спіральної або плоскої пружини. Для отримання такої стружки застосовують різні способи завивання й дроблення стружки, а саме: певну геометрію різальної частини різця; уступи і лунки на передній поверхні різця, накладні стружколоми нерегульовані й регульовані; екранні стружколоми; вібраційне різання з використанням вимушених або автоколиваний.

Стружколмання за допомогою спеціально дібраної геометрії не потребує додаткових пристроїв і легко здійснюється. Добір геометричних параметрів у таких різців виконується так, щоб забезпечити при різанні завивання стружки за її напрямлення на деталь, у результаті чого стружка ламається.

На підставі експериментальних робіт дня різців, які використовуються для обробки сталі на верстатах середньої потужності, можна рекомендувати такі геометричні параметри різальної частини;

Кут у плані $\varphi = 90^\circ$

Передній кут $\gamma = +5 \dots +15;$

Кут нахилу різальної кромки $\lambda = +15;$

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Передній кут фаски

$$\gamma_{\phi} = -5;$$

Ширина фаски

$$f = 1,0 \dots 2,0 \text{ мм}$$

У певній зоні режимів різання така геометрія різця є досить ефективним засобом ламання й відведення стружки. Стружколоми у вигляді уступу на передній поверхні перешкоджають вільному сходу стружки і змушують її завиватися або ламатися на окремі частини. Розміри уступів визначаються дослідним шляхом і залежить від режимів різання. Ширина уступів коливається від 1,5 до 6,0 висота від 0,3 до 1,5 радіус закруглення від - 0,25 до 0,75мм. Уступи виконуються під кутом $5 \dots 15^\circ$ до різальної кромки. Розглядувані стружколоми у формі уступу застосовуються через складність виготовлення. Завивання й ламання стружки можна отримати за допомогою лунки на передній поверхні. Цей спосіб найбільш поширені.

Розміри лунки вибираються залежно від режимів і властивостей оброблюваного матеріалу. Для подач від 0,1 до 1.4 мм/об рекомендовані розміри ширині лунки - в межах 2... 10мм, радіус закруглення - 1,5..10мм, ширина фаски - 0,1 -0,8 мм.

Застосування лунок не є універсальним засобом дроблення стружки, тому то лунка певних розмірів може забезпечити дроблення і відведення Стружки у відносно вузьких межах режимів різання. Вона зменшує міцність різальної кромки, ускладнює заточку інструмента.

Накладні не регульовані стружколоми виконуються у формі пластини твердою сплавом, припаяного до передньої поверхні різця Розглядувані стружколоми мають значно більшу висоту порівняно з уступами на передній поверхні, що дає змогу використовувати їх у широких межах режимів різання. До недоліків стружколомів у формі напаяної пластини слід віднести складність виготовлення і переточування, збільшення витрат твердого сплаву, недостатню універсальність. Замість припаявання пластини стружколоми можуть закріплюватися механічно на передній поверхні різця.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Накладні регульовані стружколоми звичайно являють собою пристрої, незалежні від різця, закріплення на супорті верстату. Вони лають змогу змінювати у широких межах положення робочого уступу стружколома, що забезпечує його ефективне застосування за різних режимів різання. Накладні стружколоми не стримали значного поширення через їх громіздкість, складність установа і налагодження. Цей самий недолік притаманний і екранним стружколомом.

Тип стружки багато в чому залежить від роду і механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

1.1. Пластичні матеріали, крихкі матеріали та геометричні параметри

При різанні пластичних матеріалів можливе утворення перших трьох типів стружки: елементної, суглобистої і зливний. У міру збільшення твердості і міцності оброблюваного матеріалу зливна стружка переходить в суглобисту, а потім в елементну.

При обробці крихких матеріалів частіше утворюється елементна стружка, або рідше утворюється стружка надлому. З підвищенням твердості матеріалу, наприклад чавуну, елементна стружка переходить в стружку надлому.

З геометричних параметрів інструмента найбільш сильно на тип стружки впливають передній кут γ і кут нахилу головної різальної кромки λ . При обробці пластичних матеріалів вплив кутів γ і λ принципово однаковий: при поступовому їх збільшенні елементна стружка переходить в суглобисту, а потім в зливну. При різанні крихких матеріалів при великих передніх кутах може утворюватися стружка надлому, яка при поступовому зменшенні переднього кута переходить в елементну.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2. Подача, глибина та швидкість різання

Збільшення подачі призводить при різанні пластичних матеріалів до послідовного переходу від зливної стружки до суглобистої і елементної. При різанні крихких матеріалів зі збільшенням подачі елементна стружка переходить в стружку надлому. Глибина різання на тип стружки практично не впливає.

Найбільш складно на тип стружки впливає швидкість різання. При різанні більшості вуглецевих і легованих конструкційних сталей (якщо виключити зону швидкостей різання, при яких утворюється наріст) у міру збільшення швидкості різання стружка з елементної стає суглобистою, а потім зливною. Однак при обробці деяких жароміцних сталей і сплавів, титанових сплавів підвищення швидкості різання, навпаки, перетворює зливну стружку в елементну. Фізична причина цього явища до теперішнього часу повністю не з'ясована. Підвищення швидкості різання при обробці крихких матеріалів супроводжується переходом стружки надлому в елементну стружку зі зменшенням розмірів окремих елементів і зміцненням зв'язку між ними.

1.3. Типи стружки при різанні

У 1870 р. професор І. А. Тіме запропонував класифікацію типів стружки, яка виявилася настільки вдалою, що нею користуються і в даний час. Згідно з дослідженнями І. А. Тіме, при різанні конструкційних матеріалів у будь-яких умовах існують два способи перетворення зрізаного поверхневого шару в стружку:

– за рахунок зсувних деформацій, що відбуваються під впливом передньої поверхні інструмента на шар, що зрізується (стружки зсуву);

– в результаті відриву елемента зрізаного шару різальним лезом інструмента (стружка відриву). Виходячи з цього, були виділені такі типи стружок (рис. 3.1):

– три типи стружок зсуву:

– елементна стружка (рис. 3.1,а);

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

– суглобиста стружка (рис. 3.1,б); – зливна стружка (рис. 3.1,в).

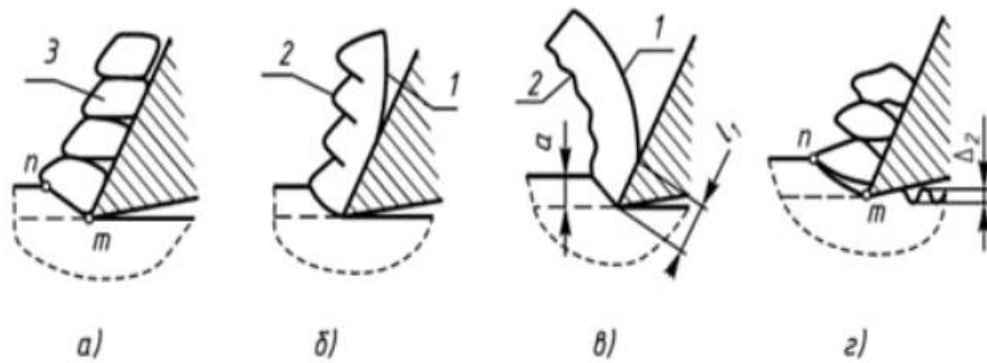


Рис.2. Типи стружок

Елементна стружка

Елементна стружка складається з окремих “елементів”, приблизно однакової форми, які пов’язані або слабо пов’язані один з одним. Границю nm , яка відокремлює елемент стружки, що утворився від зрізаного шару, називають поверхнею зсуву (сколювання). Фізично вона являє собою поверхню, по якій в процесі різання періодично відбувається руйнування зрізаного шару (утворення стружки).

Суглобиста стружка

У суглобистій стружки поділ її на окремі частини не відбувається. Поверхня зсуву (сколювання) тільки намітилася, але вона не пронизує стружку по всій товщині. Тому стружка складається ніби з окремих суглобів 2 без порушення зв’язку між ними.

Зливна стружка

Основною ознакою зливної стружки є її суцільність (безперервність). Якщо на шляху руху зливної стружки немає ніяких перешкод, то вона сходить безперервною стрічкою, звиваючись в плоску або кручену спіраль, поки частина стружки не відламається під дією власної ваги.

Така стружка найбільш складно видаляється із зони обробки і є небажаною, на відміну від елементної і суглобистої, особливо при обробці на верстатах-автоматах і з ЧПК. Поверхню 1 стружки, яка прилягає до передньої поверхні інструмента, називають контактної стороною (поверхнею). Вона

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ				

порівняно гладка, а при високих швидкостях різання відполірована в результаті тертя об передню поверхню інструмента. Її протилежну поверхню 2 називають вільною стороною (поверхнею) стружки. Вона покрита дрібними зазублинами (рискою) і при високих швидкостях різання має оксамитовий вигляд. Стружка контактує з передньою поверхнею інструмента в межах площини контакту, довжина якої позначена через l_1 , а ширина дорівнює робочій довжині головної різальної кромки.



Рис 3. Зливна стружка

Стружка надлому

Стружка надлому (рис. 4) складається з окремих, не пов'язаних один з одним шматочків різної форми і розмірів. Стружку надлому супроводжує дрібна стружка та металевий пил. Поверхня руйнування m може розташовуватися нижче поверхні різання, в результаті чого поверхня деталі покрита слідами від виламаних з неї шматочків стружки на глибину Δ_2 .



Рис 4. Стружка надлому

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

1.4. Вплив режимів різання на тип стружки

Тип стружки багато в чому залежить від роду і механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Пластичні матеріали При різанні пластичних матеріалів можливе утворення перших трьох типів стружки: елементної, суглобистої і зливний. У міру збільшення твердості і міцності оброблюваного матеріалу зливна стружка переходить в суглобисту, а потім в елементну.

Крихкі матеріали та геометричні параметри

При обробці крихких матеріалів частіше утворюється елементна стружка, або рідше утворюється стружка надлому. З підвищенням твердості матеріалу, наприклад чавуну, елементна стружка переходить в стружку надлому.

З геометричних параметрів інструмента найбільш сильно на тип стружки впливають передній кут γ і кут нахилу головної різальної кромки λ . При обробці пластичних матеріалів вплив кутів γ і λ принципово однаковий: при поступовому їх збільшенні елементна стружка переходить в суглобисту, а потім в зливну. При різанні крихких матеріалів при великих передніх кутах може утворюватися стружка надлому, яка при поступовому зменшенні переднього кута переходить в елементну.

Подача та глибина різання

Збільшення подачі призводить при різанні пластичних матеріалів до послідовного переходу від зливної стружки до суглобистої і елементної. При різанні крихких матеріалів зі збільшенням подачі елементна стружка переходить в стружку надлому. Глибина різання на тип стружки практично не впливає.

Швидкість різання

Найбільш складно на тип стружки впливає швидкість різання. При різанні більшості вуглецевих і легованих конструкційних сталей (якщо виключити зону швидкостей різання, при яких утворюється наріст) у міру збільшення швидкості різання стружка з елементної стає суглобистою, а потім зливною. Однак при обробці деяких жароміцних сталей і сплавів, титанових сплавів

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

підвищення швидкості різання, навпаки, перетворює зливну стружку в елементну. Фізична причина цього явища до теперішнього часу повністю не з'ясована. Підвищення швидкості різання при обробці крихких матеріалів супроводжується переходом стружки надлому в елементну стружку зі зменшенням розмірів окремих елементів і зміцненням зв'язку між ними.

Етапи утворення стружки

Процес утворення стружки при вільному прямокутному різанні можна поділити на три етапи, де один етап послідовно переходить в інший (рис. 5).

Етап 1

При проникненні леза у шар, який зрізується (рис. 5а) попереду нього утворюється пружно-пластична зона, сконцентрована в обмеженій області оброблюваного матеріалу і яка примикає до передньої поверхні леза інструмента. Об'єм матеріалу у цій зоні поступово збільшується. У ньому зростають пластичні напруження змінання аж до величини границі міцності матеріалу.

Етап 2

В деякій області деформованого елемента напруження змінання перевищують границю міцності оброблюваного матеріалу і цей елемент руйнується шляхом пластичного зсуву по деякій поверхні або площині зсуву m_n (рис. 5).

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

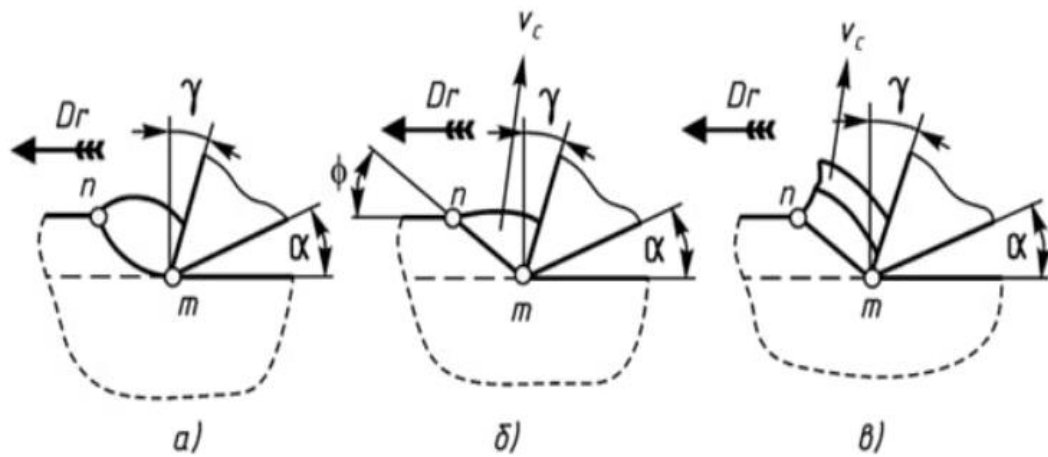


Рис 5. Етапи утворення стружки.

У момент руйнування опір елемента зсуву знижується, а подальший рух інструмента призводить до формування нового елемента та повторення першого етапу. Зрушений елемент має тенденцію переміщатися у напрямку перпендикулярному площині зсуву. Однак, зустрічаючи опір з боку передньої поверхні інструмента, елемент стружки змінює свій напрямок за вектором швидкості руху стружки v_c .

Етап 3

Елемент стружки, переміщуючись уздовж передньої поверхні інструмента, має в приконтактних шарах великий тиск, який призводить до додаткової пластичної деформації приконтактних шарів стружки..

З цієї причини стружка завивається і відривається від передньої поверхні інструмента. При цьому для утворення нових елементів потрібні перші два етапи стружкоутворення. Дослідження, проведені за допомогою методу ділильної сітки (рис. 6), а також вимірювання мікротвердості коренів стружки показали, що між зрізаним шаром і стружкою, що утворилася існує більш-менш чітко виражена перехідна зона. Схема, яка пояснює процес утворення зливної стружки, представлена на рис. 7. Різальний клин інструмента через площадку контакту довжиною l_1 діє на зрізуваний шар товщини a . Зосереджена сила R , з якою передня поверхня інструмента тисне на зрізуваний шар, отримала назву сили стружкоутворення. Лінією ОК позначена нейтральна границя стискаючих

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

(зліва) і розтягуючих (праворуч) напружень в оброблюваному матеріалі, які розташовані нижче поверхні різання. Частина оброблюваного матеріалу, рухаючись назустріч лезу інструмента, має спочатку пружні, а потім пластичні деформації зсуву. Та частина поля напружень, в межах якої відбуваються пластичні деформації, є зоною стружкоутворення. Перед передньою поверхнею інструмента розташована пластична зона I первинної деформації OAB. Ця зона має форму клина з вершиною на лезі інструменту. Її нижня межа OA вигнута і перетинає продовження поверхні різання. Верхня межа OB зони опукла і її довжина в 2...4 рази менше довжини лінії OA. Лінія AB плавно сполучає поверхню різання з вільною стороною стружки. Лівіше лінії OA знаходиться ще не деформовані зерна металу зрізаного шару, а правіше лінії OB зерна металу, які належать стружці. Зерно зрізаного шару, яке переміщається щодо інструмента зі швидкістю різання v починає деформуватися в точці F і рухаючись по траєкторії свого руху отримує все більшу ступінь деформації. Деформація зерна закінчується в точці Q, де зерно набуває швидкість v_s , рівної швидкості стружки. Численні експерименти показують, що ширина стружки в порівнянні з шириною шару, що зрізується (навіть при вільному різанні) суттєво не збільшується; при невірному різанні розширення стружки ще менше. Тому можна вважати, що деформований стан в зоні стружкоутворення є плоским і шар, що зрізується в процесі різання зазнає деформації зсуву. На підставі цього лінія OA фізично являє собою поверхню зсуву (ковзання), на якій зсувне напруження τ дорівнює межі текучості τ_{so} матеріалу на зсув $\tau = \tau_{so}$. Вся зона I складається з подібних поверхонь, на кожній з яких зсувне напруження дорівнює межі плинності матеріалу, який вже отримав певну ступінь зміцнення в результаті попередньої деформації. Лінія OB являє собою поверхню, на якій здійснюється остання зсувна деформація; на ній зсувне напруження τ дорівнює межі текучості τ_s на зсув остаточно зміцненого в результаті перетворення зрізаного шару в стружку матеріалу: $\tau = \tau_s$. Якби між передньою поверхнею інструмента і контактною поверхнею стружки було відсутнє тертя, то на цьому деформування зерен

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

зрізаного шару закінчилося б. Так як між зазначеними поверхнями завжди є тертя, то зерна матеріалу, що знаходяться в безпосередній близькості від контактної поверхні стружки, продовжують деформуватися і після виходу їх із зони первинної деформації. Так виникає зона II вторинної деформації (рис. 7), яка обмежена передньою поверхнею і лінією CD. Довжина зони вторинної деформації OD (10) приблизно дорівнює половині довжини площадки контакту стружки l1 з передньою поверхнею інструмента тобто $l_0 = l1/2$ (рис.7), а максимальна висота зони вторинної деформації Δl в середньому становить 0,1ас. Як показав М. М. Зорев, зерна зрізаного шару, проходячи через зону вторинної деформації, мають дуже сильну деформації: ступінь деформації в зоні II може в 20 разів і більше перевищувати середню деформацію стружки. Наявність зони вторинної деформації призводить до неоднорідності кінцевої деформації стружки по її товщині. На більшій частині товщини стружки ступінь деформації зерен однакова, а в шарі товщиною Δl спостерігається її різке збільшення (рис. 3.6). Складність фізичних процесів, які відбуваються в зоні первинної та вторинної деформації не дозволяють дати простих математичних методів їх кількісного опису. Тому при інженерних розрахунках реальний процес стружкоутворення замінюють його спрощеною моделлю. Правомірність використання спрощеної моделі пов'язано з наступними обставинами. Зона первинної деформації по своїй товщині порівнянна з товщиною зрізаного шару тільки при малих передніх кутах інструмента, великих товщинах шару, що зрізується і низьких швидкостях різання. При значеннях передніх кутів інструмента, товщинах зрізу та швидкостях, що застосовуються в промисловості – зсувні деформації локалізуються в дуже тонкому шарі товщиною Δx (рис. 3.6), а сімейство поверхонь ковзання можна замінити єдиною площиною OE, званою умовною площиною зсуву, нахиленою до напрямку швидкості різання під кутом зсуву ϕ . При такій ідеалізації перетворення зрізаного шару в стружку можна уявити як процес послідовних зрушень тонких шарів оброблюваного матеріалу уздовж умовної площини

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

зсуву. Оскільки деформований стан практично є плоским, то процес стружкоутворення повинен описуватись закономірностями простого зсуву.

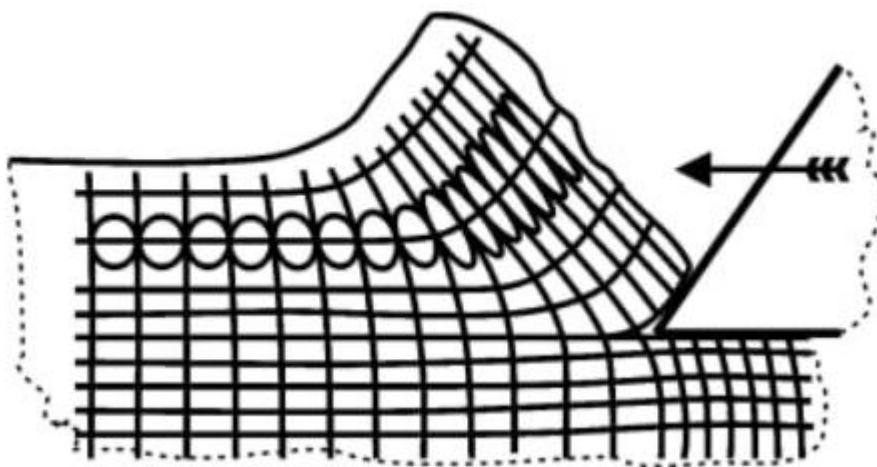


Рис. 6. Перехідна зона виявлена методом ділільної сітки

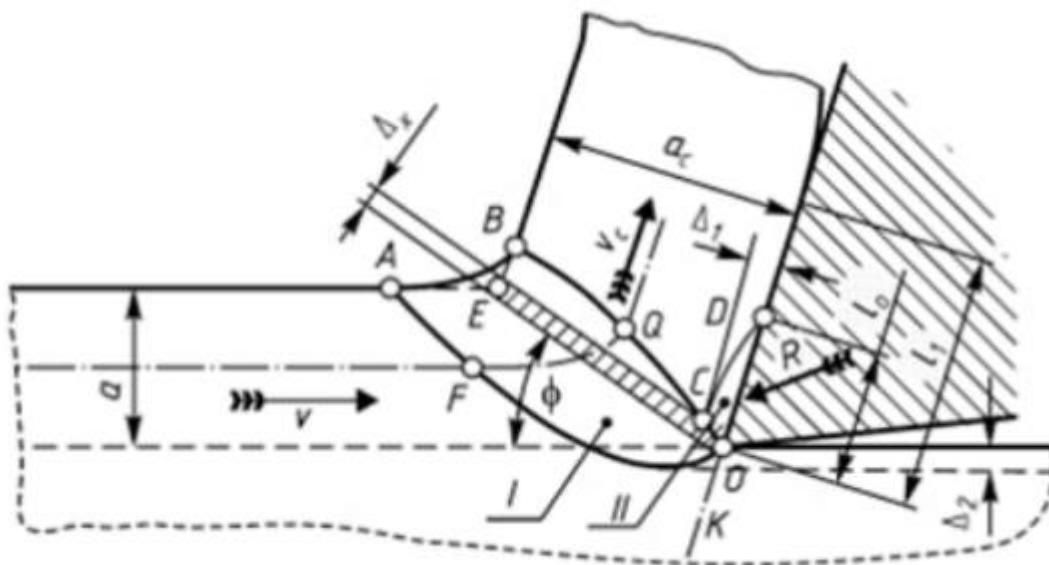


Рис. 7. Зона первинної і вторинної деформацій при перетворенні зрізаного шару в зливну стружку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

- a – товщина зрізаного шару;
- a_c – товщина стружки;
- v – швидкість головного руху;
- v_c – швидкості руху стружки;
- Δ_1 – максимальна висота зони II вторинної деформації;
- Δ_2 – відстань на яку лінія OA перетинає продовження поверхні різання (величина деформування поверхні різання)

Деформація та усадка стружки

Ступінь деформації стружки (рис. 8) представлена схема перетворення шару що зрізується в стружку при єдиній умовній площині зсуву. У зрізаного шару завтовшки a виділимо паралелограм $MN PQ$ з малою висотою Δx , який прилягає до умовної площини зсуву MN , кут φ під яким умовна площина зсуву MN нахилена до поверхні різання, називають кутом зсуву.

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

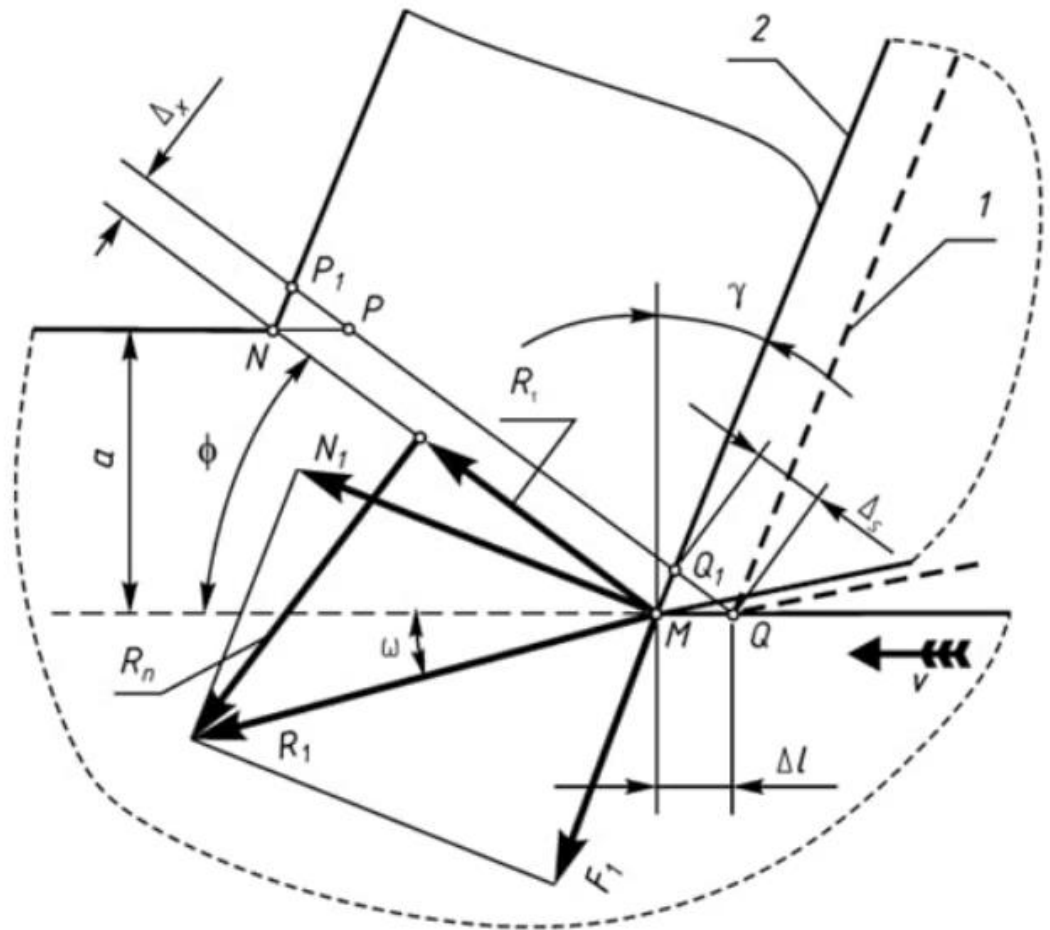


Рис. 8. Схема утворення зливної стружки α - товщина зрізанного шару;
 γ - передній кут; ψ - кут зсуву; v - швидкість різання

Припустимо, що різальний інструмент переміститься з положення I в положення II на відстань Δl . При цьому точка Q шару що зрізується MN PQ, що лежить на поверхні різання, опиниться в точці Q1, що лежить на передній поверхні інструмента. Одночасно точка P опиниться в точці P1, що знаходиться на вільному боці стружки. Таким чином, паралелограм MN PQ, зсуваючись відносно основи MN на Δs , перетворюється в паралелограм MN P1Q1, який належить стружці. При подальшому переміщенні інструмента на величину Δl вказаний процес повториться без порушення зв'язку між зсунутими шарами, тобто без порушення цілісності матеріалу стружки. Відстань Δs є не що інше, як абсолютний зсув. Розглянемо фізичну природу сил, що діють з боку передньої поверхні інструмента. На зрізуваний шар діє нормальна сила N_1 , яка

згідно із законом тертя Амонтона створює силу тертя F_1

$$F_1 = \mu N_1,$$

де μ – умовний середній коефіцієнт тертя між стружкою і інструментом.

У сумі сили F_1 та N_1 дають силу стружкоутворення R_1 , яка нахилена до поверхні різання під кутом дії ω . Розкладемо силу стружкоутворення R_1 на дві складові: силу R_N перпендикулярну до умовної площини зсуву і силу R_t , яка діє уздовж площини зсуву. Сила R_N стискає зрушуваний шар товщиною Δx , а сила R_t зрушує його. Таким чином зсувні процеси при утворенні стружки викликає сила R_t , яка отримала назву сили зсуву. Зсувна деформація починається в тому випадку, коли напруження зсуву стане дорівнювати межі текучості на зсув. При прямокутному різанні напруження зсуву в умовній площині зсуву дорівнюватиме

$$\tau = \frac{P_\tau}{|\overrightarrow{MN}|} \frac{1}{b},$$

де b – ширина шару, що зрізується;

P_τ – сила зсуву.

Вектор напрямку зсуву

$$|\overrightarrow{MN}| = \frac{a}{\sin \phi},$$

де a – товщина шару, що зрізується;

ϕ – кут зсуву.

У результаті отримаємо

$$\tau = \frac{P_\tau}{a b} \sin \phi,$$

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де P_t – сила зсуву; a – товщина зрізаного шару; b – ширина зрізаного шару; φ – кут зсуву. Але зусилля зсуву дорівнює $P_t = R_1 \cos(\omega + \varphi)$, де R_1 – сила зсуву; ω – кут нахилу; φ – кут зсуву. У результаті остаточно маємо напруження зсуву $\tau = R a b \cos(\omega + \varphi) \sin \varphi$. Процес утворення стружки почнеться в тому випадку, коли $\tau \geq \tau_s$, де τ_s є межа текучості оброблюваного матеріалу на зсув.

На рис.3.8 зображена схема напруженого стану малого обсягу матеріалу розташованого на умовній площині зсуву і епюри зміни дотичних і нормальних напружень вздовж умовної площині зсуву. Незалежно від роду і властивостей оброблюваного матеріалу, величин переднього кута інструмента, товщини шару, що зрізується і швидкість різання – дотичні напруження, уздовж умовної площині зсуву, мають постійну величину. Нормальні напруження розподіляються по іншому. При великих значеннях переднього кута γ і малих коефіцієнтах тертя на передній поверхні нормальні напруження зменшуються вздовж умовної площині зсуву в напрямку до вершини інструмента, і в деякій точці їх знак може змінитися на протилежний (рис. 9).

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

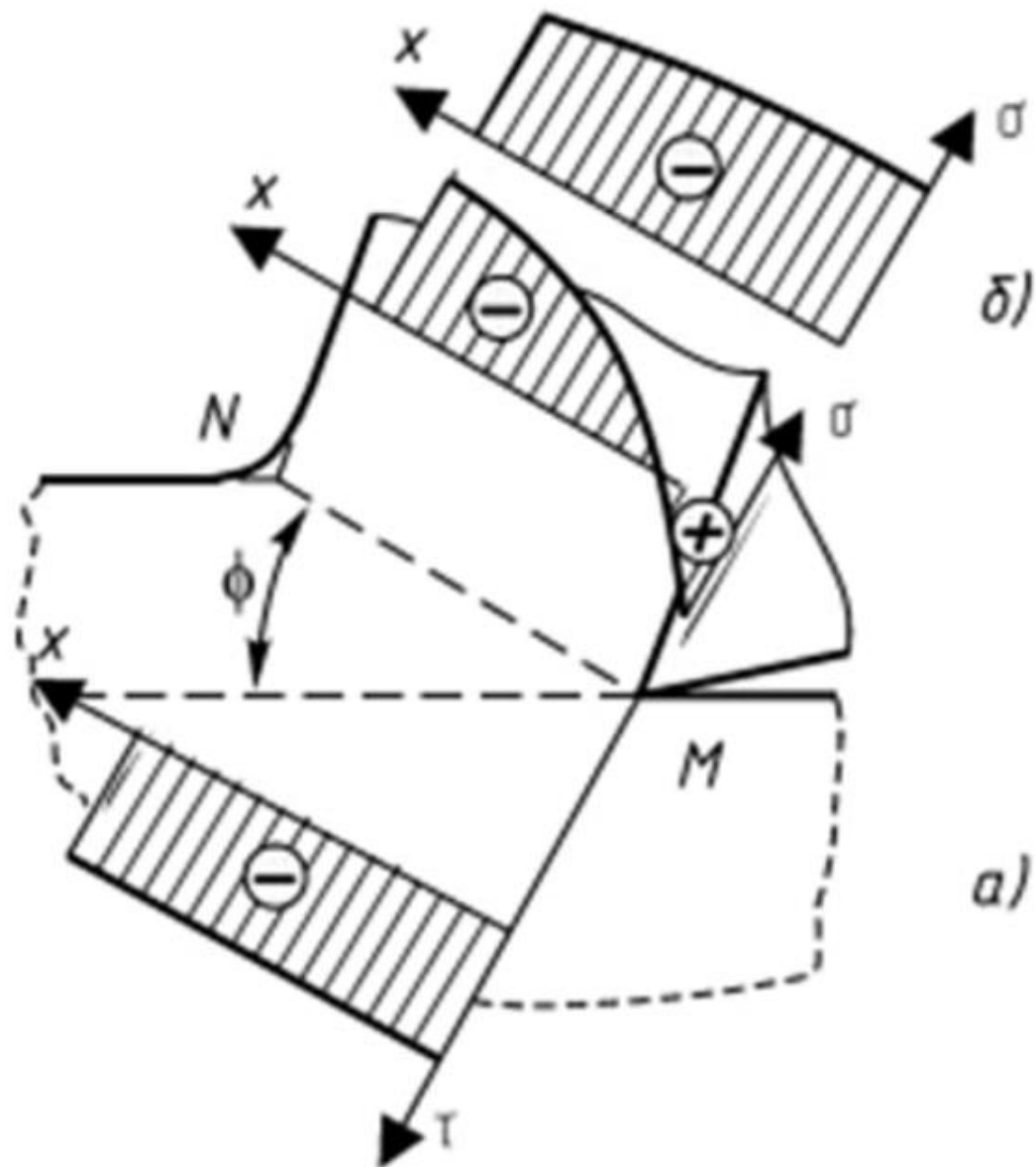


Рис. 9. Нормальні та дотичні напруження на площині зсуву при великих (а) і малих (б) передніх кутах

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Якщо зменшувати кут γ і збільшувати коефіцієнт тертя, зазначена еюра поступово перетворюється до виду, зображеного на рис. 9, де нормальні напруження, зберігаючи постійність знаку, збільшуються при наближенні до вершини різальної кромки. Таким чином, в загальному випадку нормальні напруження, що виникають вздовж умовної площини зсуву MN, на відміну від дотичних напружень, непостійні. Особливістю процесу є відсутність впливу нормальних напружень на величину дотичних напружень. У результаті пластичної деформації в стружці утворюється текстура у вигляді смуг або рядків, розташованих під деяким кутом до умовної площини зсуву (рис.10), який називають кутом текстури ψ . Лінії текстури мають вигляд ланцюжка деформованих зерен стружки, які отримали після проходження через умовну площину зсуву, певну форму і орієнтацію.

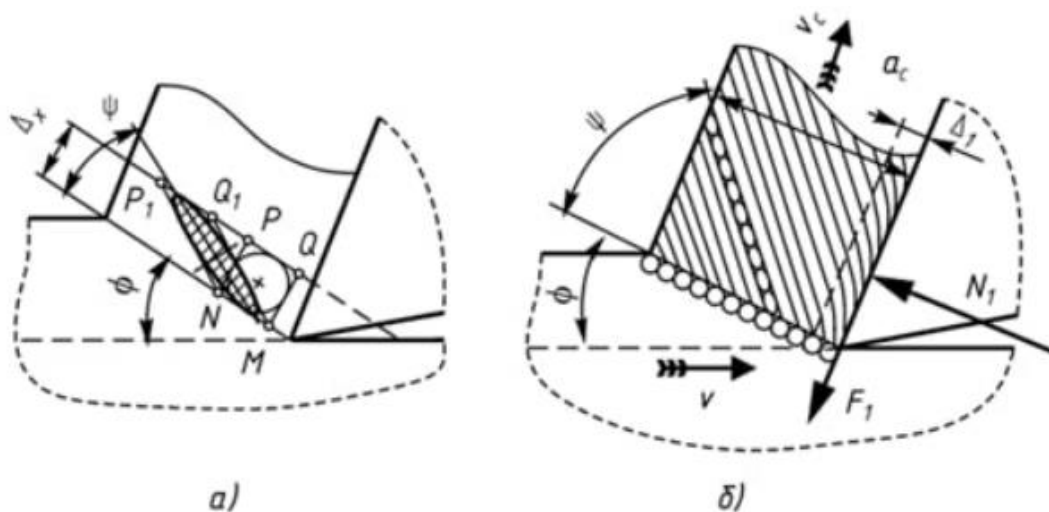


Рис. 10. Схема перетворення сфероїдального зерна в еліпсоїдальне (а) і формування текстури (б)

ψ - кут текстури; Δ - товщина зрушуваного шару

Утворення текстури деформування можна уявити собі таким чином (рис.10). Сфероїдальні зерна матеріалу зрізаного шару впишемо у куб зі стороною, рівною товщині шару, що зрізується. Це буде початкова ячейка для маркування змін текстури. Тоді в перерізі площиною перпендикулярною до леза інструмента, матимемо коло з радіусом, рівним $\Delta x/2$. В результаті деформації

простого зсуву верхня площина шару, що зрізується зміститься відносно нижньої на величину абсолютного зсуву. Квадрат MN PQ, в який вписано коло перетвориться в паралелограм MN P1Q1, а саме коло перетвориться в еліпс, сполученими діаметрами якого є сторони паралелограма.

Вплив властивостей інструментального матеріалу

Властивості матеріалу інструменту впливають на процес стружкоутворення значно менше, ніж оброблюваного. Експериментально встановлено, що помітний вплив на параметри стружкоутворення має лише теплопровідність інструментального матеріалу та його контактна адгезійна активність. Мала теплопровідність погіршує тепловідведення із зони різання і підвищує температуру контакту. Щодо контактної адгезійної активності, під якою мається на увазі здатність матеріалу до схоплювання або хімічного з'єднання з матеріалом стружки, то вона впливає на процес стружкоутворення через коефіцієнт зовнішнього тертя, а також через порушення умови рівноваги між зонами зовнішнього та внутрішнього тертя, а, отже, через довжину контакту стружки з інструментом та середній нормальний тиск. Чим вище здатність інструментального матеріалу до схоплювання з оброблюваним матеріалом, тим більша довжина пластичного і загального контакту стружки, тим нижчий середній нормальний контактний тиск і тим вищий середній коефіцієнт тертя стружки про різець і відповідно вища усадка стружки. Різання інструментами із зносостійкими покриттями, що мають знижену адгезійну активність (наприклад з TiN), призводить до зменшення довжини ділянки пластичного та загального контактів, концентрації нормальних напружень поблизу вершини інструмента, що несприятливо позначається на його міцності. Тому сучасні покриття проектуються таким чином, щоб, маючи підвищені зносостійкі властивості, вони мали б одночасно значну адгезійну активність, що збільшує довжину контактної майданчика і зменшує нормальні контактні напруження.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вплив товщини зрізаного шару

Товщина шару, що зрізується, на процес стружкоутворення впливає тільки опосередковано через зміну інших факторів. Якщо наріст відсутній, то зростання товщини шару, що зрізується пов'язано зі зміною середнього коефіцієнта тертя, який через збільшення середніх нормальних контактних напружень на передній поверхні падає при збільшенні товщини шару, що зрізується. Тому чим товще величина зрізаємо шару, тим менше відносний зсув і питома робота стружкоутворення. За наявності наросту товщина шару, що зрізується, додатково впливає через зміну фактичного переднього кута інструмента. Між процесами в зоні первинної деформації та на передній поверхні інструмента існує тісний взаємозумовлений зв'язок. Будь-яка зміна умов тертя в межах майданчика контакту впливає на протікання деформаційних процесів та характер стружкоутворення. Навпаки, зміна умов стружкоутворення через зміну температури та швидкості стружки впливає на контактні процеси на передній поверхні. Таким чином, будь-яка зміна напруженого стану в одній із зон викликає відповідну зміну напруженого стану в іншій зоні. Якщо з будь-яких причин зміниться середній коефіцієнт тертя на передній поверхні (наприклад, введення мастильно-охолоджувальної рідини), то через зміну напруженого стану в зоні контакту стружки зміниться величина сили стружкоутворення R та момент M (рис.3.23), з якими інструмент діє на стружку. Для збереження рівноваги стружки повинна змінитися величина сили R_f і моменту M_f , з якими шару, що зрізається, діє на стружку, але це змінить напружений і деформований стан в зоні первинної деформації з усіма наслідками, що звідси випливають. Зміна деформаційного стану в зоні I викликає зміну температури і контактних напружень в зоні тертя і, як наслідок, зміну напруженого стану і т.п. У процесі різання за рахунок саморегулювання в зонах I і II встановлюються такі напружені стану, у яких дотримуються умови рівноваги стружки. Це явище останнім часом використовується для моделювання процесу різання, коли стан рівноваги знаходиться поступово,

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ітераційним шляхом. Зі сказаного випливає, що спостерігається складна взаємозв'язок факторів у процесі різання обумовлена тим, що постійно взаємно балансуються (через силу і момент стружкоутворення) два процеси: пластичної деформації в зоні стружкоутворення і тертя в зоні контакту стружки з передньою поверхнею. Досліди показують, що через вплив випадкових факторів повна стабілізація практично не настає, а процес різання постійно виводиться із стану рівноваги та приходить до нього.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ І ТЕОРЕТИЧНІ

2.1. Фізичні основи процесу різання

Фізичні основи процесу різання є складним фізичним процесом в ході якого виникають пружньо- пластичні деформації. Цей процес супроводжується тертям, тепловиділенням, усадкою стружки, наростоутворенням, наклепом обробленої поверхні і зношуванням інструменту. Більшість твердих тіл (метали, діелектрики, напівпровідники), що піддаються обробці різанням мають кристалічну будову, що характеризується трьохмірною періодичністю розміщення атомів. Ідеальні кристали характеризуються безмежною сукупністю атомів, періодично розміщених в просторі. Усі реальні кристали мають певні недосконалості будови: точкові, лінійні, просторові об'ємні дефекти. Точкові дефекти – вакансії і атоми між вузлами. Лінійні дефекти, що порушують правильність чергування атомних площин у кристалічних рамках (в границях однієї, або декількох міжатомних віддалей) називаються дислокаціями. В процесі обробки металу (затвердівання...) завжди утворюються дислокації різних видів. Рух і розмноження дислокацій завжди приводить до елементів пластичної деформації, а їх взаємодія, в основному, визначає сукупність механічних властивостей металу. Якщо пластична деформація проходить шляхом ковзання то одна частина кристалу переміщається відносно другої вздовж певної щільноупакованої площини ковзання. На 1 мм² площини ковзання знаходиться біля 10¹² атомів. В процесі деформування при різанні реальних кристалів число дислокацій (щільність), що перетинає 1 см² площі доходить до 10⁸- 10¹², а щільність вакансій зміцненого металу доходить до 10⁹-10²⁰ в см³. При різанні полікристалічних матеріалів одночасно з внутрішньою деформацією проходить міжкристалічна деформація (відносно зміщення (проковзування) і повертання зерен...). При підвищенні температури міжкристалічні зв'язки послаблюються руйнування матеріалу буде

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

проходити не тільки в нутрі зерен, але і по їх границях. Вивчення механічних деформації показує, що для реальних полікристалічних матеріалів дуже трудно створити прості формули “напруження – деформація – температура”. Тому при вивченні процесу різання матеріал заготовки розглядають як ізотропне тіло з середніми фізико-механічними властивостями.

Процес стружко утворення та явища, що його супроводжують при різанні – це процес послідовного сколювання окремих елементів стружки по єдиній “площині сколювання”, нахиленій до площини різання під кутом β_1 .

Різальний інструмент, переміщуючись під дією сил різання, деформує (стискає) матеріал, що лежить на його шляху. В момент найбільших напружень, допустимих для даного матеріалу, він сколюється по площині $\kappa - \kappa$, утворюючи елемент стружки. Цю площину називають площиною сколювання, або зсуву. В процесі утворення елемента стружки сили різання зростає, а в момент сколювання зменшується, що призводить до коливання сили, що діє на інструмент з боку заготовки, отже процес різання періодичний. Кут дії $\Delta = \varphi + \psi = 180 - \beta_1$ коливається в границях 1450- 1500. З збільшенням кута різання β кут Δ зростає, але не у великих границях.

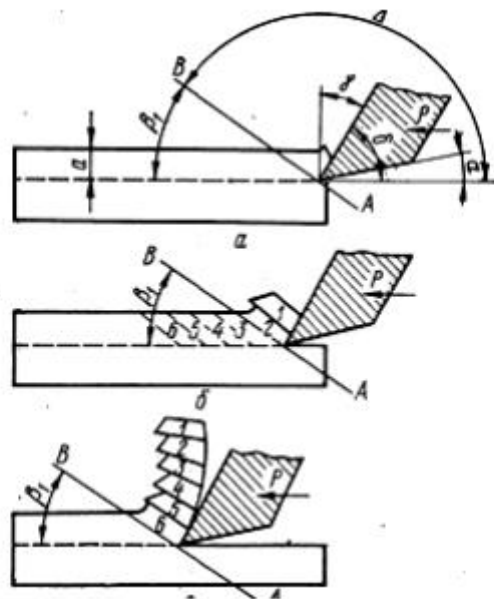


Рис. 11.

Металографічними дослідженнями встановлено, що шар металу, який знімається в процесі обробки, до перетворення в стружку піддається деформації на певній ділянці (зоні). Ширина цієї зони стружкоутворення залежить від властивостей оброблюваного матеріалу і режимів обробки. Найбільший вплив на ширину зони стружкоутворення має швидкість різання. З збільшенням швидкості різання вона може зменшитись до десятих і навіть сотих долів мм. Тому з деяким спрощенням можна вважати, що зсув іде по площині ковзання, яка розміщена під кутом зсуву β_1 .

При врізанні реального різця, який завжди має деякий радіус заокруглення, R заготовку навколо різця виникає область деформованого матеріалу. Розміри цієї області, характеристика процесу стружкоутворення і стан поверхневого шару деталі залежать від властивостей оброблюваного матеріалу і умов різання. При обтіканні леза частина деформованого матеріалу переміщається по передній поверхні різця перетворюється в стружку, а друга частина, що знаходиться нижче лінії зрізу, рухається по задній поверхні різця і утворює поверхневий шар деталі. Умовно весь об'єм пластично деформованого матеріалу можна розділити на 4 зони 1 зона – найбільш віддалена від різальної частини інструменту. Це зона пружних і малих пластичних деформацій. Тут зерна злегка витягуються і повертаються. Виникає складний напружений стан, напруження можуть досягнути границі текучості. 2 зона – найбільш інтенсивна деформація. Зерна металу тут при переміщенні максимально видовжуються, стискаються і повертаються. В контактній області матеріалу з інструментом проходить додаткова деформація матеріалу через його гальмування тертям по передній і задній поверхнях інструменту.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

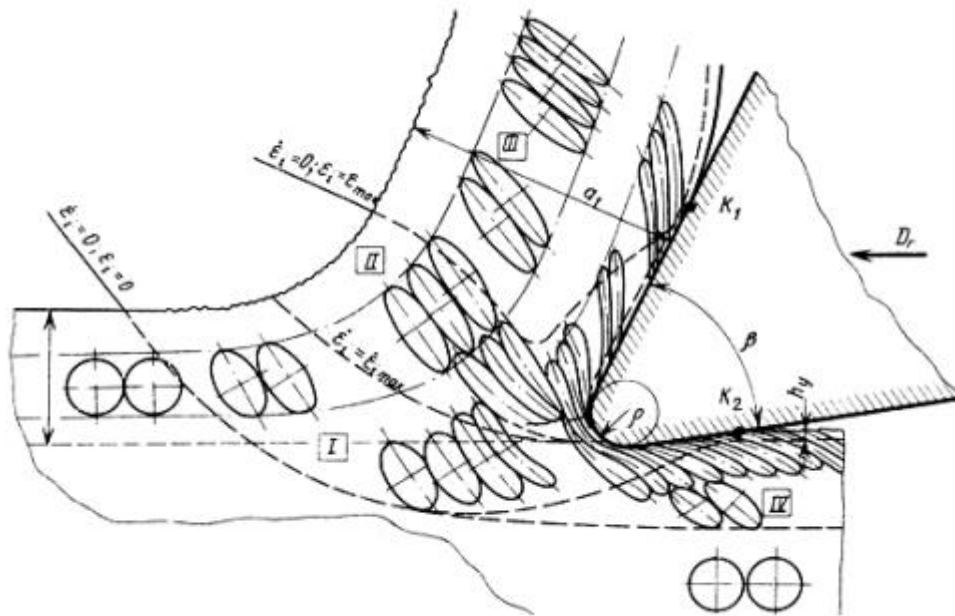


Рис. 12.

В цьому випадку, коли контактні температури доходять до величин близьких до температури плавлення, на контактних поверхнях металу утворюється тонкий сильно деформований оплавлений шар. Тут виникають значні пластичні деформації (200-300% і більше). Біля різальної кромки матеріал сильно зміцнюється, щільність дислокацій доходить до 10^{12} на cm^2 , виникає сітка мікро тріщин, які розділяючись і зливаючись утворюють мікро тріщини критичних розмірів. Проходить розрив витягнутих волокон біля вершини ріжучого клина і товщина мікро тріщини становить ся спів мірною з товщиною зрізаного шару. Дальший розвиток тріщини проходить по нестабільній траєкторії, напрям якої визначається властивостями оброблюваного матеріалу, величиною зерна, станом границь зерен і умовами різання. В тому випадку, коли при різанні пластичних матеріалів тріщина виходить на зовнішню поверхню другої зони, проходить розділення матеріалу. При різанні твердих матеріалів має місце крихке руйнування і тріщина, розповсюджуючись з великою швидкістю (близькою до швидкості звуку), повністю відділяє готовий елемент стружки від основного матеріалу. Розповсюдження тріщин нижче лінії зрізу призводить (навіть при утворенні зливних стружок) до появи на

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ					

оброблюваній поверхні вириків, виступів, зазубрин.

3 зона – це деформований матеріал, що утворив стружку. Приріст деформації тут не проходить, швидкість деформації рівна нулю, величини деформацій досягають максимальних значень. 4 зона поверхневий шар обробленої заготовки. Напружено деформований стан в поверхневому шарі виникає через перетікання деформованого матеріалу з першої зони до додаткового змінання матеріалу округленою різальною кромкою деформацією його задньою поверхнею інструмента. Після проходу інструмента, коли матеріал перестає контактувати з задньою поверхнею, матеріал заготовки пружно відновлюється (пружна післядія), особливо при різанні пружних полімерних неметалічних матеріалів. Цей шар має специфічні фізико-механічні властивості шорсткість. Від деформацій, які протікають в зоні різання і фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу залежить, в основному, вид стружки, яка утворюється в процесі різання матеріалу. Розрізняють такі види стружки: зливна, сколювання і надлому (рис.9). В деякій літературі розрізняють зливну стружку, стружку сколювання (суставчасту), елементну і надлому.

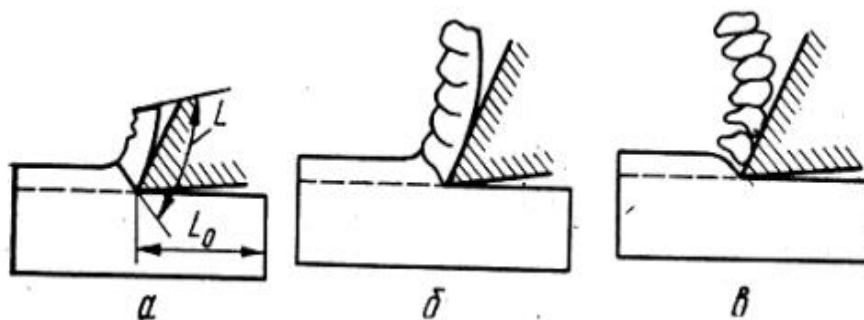


Рис. 13. Види стружки: а - зливна, б - сколювання, в - надлому

Зливна стружка утворюється при обробці пластичних матеріалів (конструктивної сталі, дюралюмініу...) з великою швидкістю різання, коли

знімається шар незначної товщини інструментом з відносно великим переднім. На ній не помітні площини зсуву. Стружка сколювання складається з пластично деформованих і взаємно зсунутих елементів, які досить міцно з'єднані на площинах зсуву (сколювання). Утворюється стружка сколювання при обробці сталей з пониженою пластичністю при значних товщинах зрізаного шару і відносно невеликих швидкостях різання і передніх кутах. В тому випадку, коли при різанні пластичних матеріалів виникає інтенсивне тріщино утворення, проходить повний поділ стружки на слабозв'язані елементи, утворюється елементна стружка. При обробці крихких матеріалів (чавун, бронза, вольфрам, керамічні матеріали...) проходить крихке руйнування і тріщина, розповсюджуючись з швидкістю близькою до швидкості звуку, відділяє елемент стружки від основного матеріалу. Так як пластична деформація майже не проходить, то елементи стружки, що утворюються не мають правильної форми. Оброблена поверхня деталі шорстка з зазубринами і виривами. Таку стружку називають стружкою надлому.

2.2.Механіка утворення стружки

Розділ теорії різання, що вивчає закономірності перетворення шару видаленого матеріалу в стружку називається механіка утворення стружки (стружкоутворення).

При вивченні процесів утворення стружки використовують наступні методи: – візуальний метод;

– швидкісна кінозйомка;

– метод сітки;

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- метод вивчення мікротвердості;
- металографічний метод;
- механічний метод;
- рентгеноструктурний метод;
- поляризаційний метод.

Візуальний метод

Візуальний метод полягає в зовнішньому огляді стружки з визначенням зовнішніх показників процесу деформування і стружкоутворення. Наприклад, за виглядом та формою стружки, її кольором, наявністю або відсутністю наросту і слідів зношування і т.д.

Швидкісна кінозйомка

Швидкісна кіно- і відеозйомка передбачає фотографування зрізаного шару стружки швидкісною кіно- або відеокамерою з частотою до 10 000 кадрів в секунду. Це дозволяє спостерігати процес утворення стружки в уповільненому темпі.



Рис. 14. Викривлення координатної сітки у результаті деформації

Метод сітки

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		39

Метод сітки полягає в нанесенні на бічну поверхню зразка фарбою, травленням, дряпанням і т.д. прямокутників, квадратів або кіл, які при різанні втрачають правильну форму, і по їх спотворенням на стружці судять про пластичну деформацію.

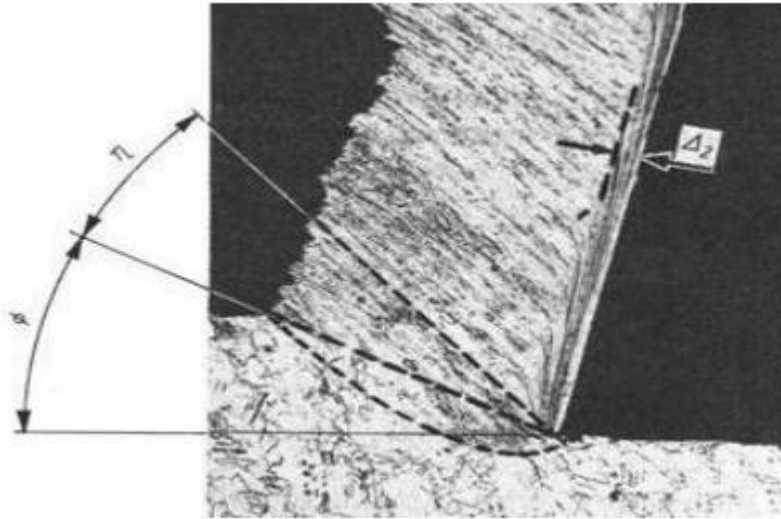


Рис. 15. Мікрошліф «кореня стружки»

Вивчення мікротвердості

Метод вивчення мікротвердості полягає у вимірюванні твердості в різних точках кореня стружки з наступною побудовою ліній постійної твердості (ізоклер), за якими судять про пластичну деформацію і напруження.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тонких шарів матеріалу і вимірюванні за допомогою тензометричних датчиків величин деформації, за якими судять про величину і знак напружень першого роду.

Рентгенографічний метод

Рентгенографічний метод оснований на стравлюванні поверхневого шару зразка деталі і зніманні рентгенограм, за якими вивчають напруження другого роду, що діють всередині кристалічного зерна.

Поляризаційний метод

Поляризаційно-оптичний метод заснований на тому, що прозорі ізотропні тіла при дії на них сил стають анізотропними, і якщо їх розглядати в поляризованому світлі, то інтерференційна картина дозволяє визначити величину і знак напружень. Метод дає точні величини напружень тільки в пружній області при різанні зразків, виготовлених з оптично активних матеріалів, наприклад, органічного скла.

РОЗДІЛ 3. ВИКОНАННЯ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОТВОРІВ

3.1. Види отворів

Для створення певного характеру з'єднання з валом у машинобудуванні виконують необхідні отвори. При цьому враховують певну точність за розмірами, формою, взаємним розташуванням поверхонь і чистоту обробки згідно з технічними вимогами робочого креслення. Отвори бувають наскрізні і глухі. Перші обробляють на прохід, другі – на певну глибину. За формою поверхонь циліндричні отвори бувають гладкі і ступінчасті. Вони складаються з ділянок різних діаметрів, бувають із канавками. Отвори, довжина яких перевищує 5-6 діаметрів, називають глибокими.

На токарних верстатах отвори обробляють свердлінням, розточуванням, зенкеруванням і розгортанням. Залежно від способу обробки розрізняють такі

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

види отворів: кріпильні отвори. Точність обробки 11-12 квалітет. Виконують їх, як правило, свердлінням на одно та багатошпindelних свердлувальних верстатах; ступінчасті або гладкі отвори в деталях типу тіл обертання здійснюють на токарних верстатах свердлінням, розточуванням, зенкеруванням і розгортанням;

відповідальні отвори в корпусних деталях. Точність обробки – 7 квалітет і вище. Виконують на різних універсальних або спеціальних верстатах;

глибокі отвори з відношенням довжини до діаметра більше 5, наприклад, отвори шпинделів металорізальних верстатів тощо;

конічні та фасонні отвори здійснюють використовуючи інструмент з конічними або криволінійними різальними кромками або шляхом розточування методом копіювання;

профільні отвори (не круглого перерізу). Здійснюють протягуванням, прошиванням або довбанням.

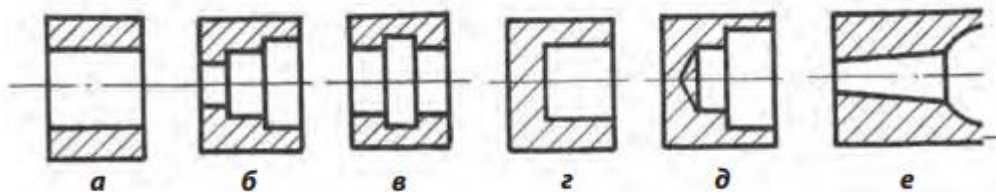


Рис. 18. Форма отворів:

а – наскрізний отвір; г – глухий отвір; а, б, в, г – циліндричні отвори;
б, в, д – ступінчасті отвори; е – конічні та фасонні отвори

Розточування отворів

Розточування – операція металообробки, яка полягає у збільшенні діаметра вже існуючих отворів, отриманих свердлінням, литтям або ковкою.

Розточування виконують шляхом розсвердлювання (при діаметрах отво-

рів до 80 мм) і власне розточування (при діаметрах отворів понад 80 мм).



Рис. 19. Розточування

Розточні різці встановлюють:

- у різцетримачі, паралельно до вісі заготовки;
- вильот державки при цьому має бути мінімальний.

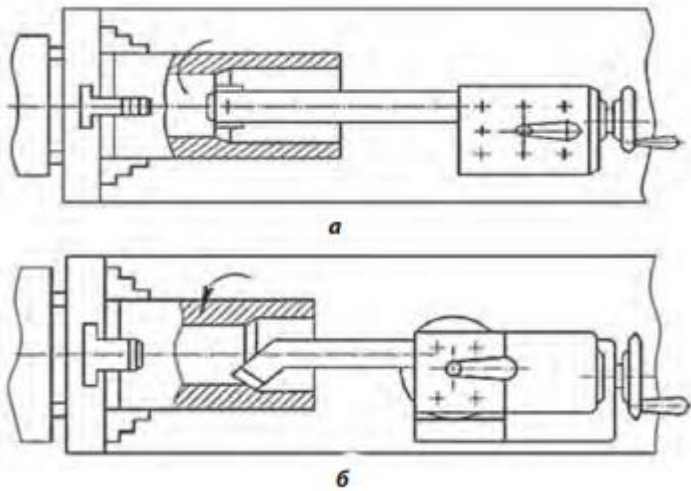


Рис. 20. Схеми розточування отворів на токарних верстатах:
а – розточування глухих отворів; б – розточування наскрізних отворів

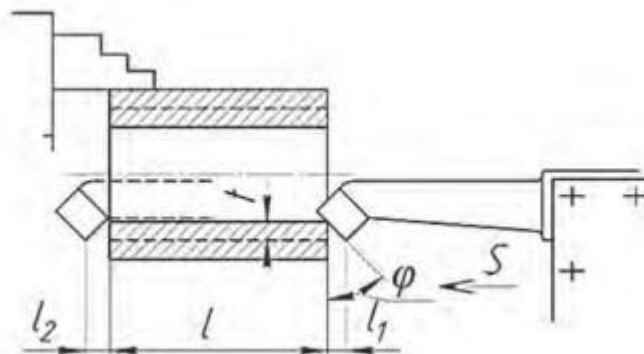


Рис. 21. Схема розточування отвору на прохід

Зенкерування та зенкування отворів

Зенкерування – технологічний спосіб обробки попередньо просвердлених

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

швидкорізальної сталі, а також з ножами, оснащеними пластинами з твердого сплаву. Одні й інші роблять кінцевими (D дорівнює 32...50 мм) і насадними (D дорівнює 40...10 мм).

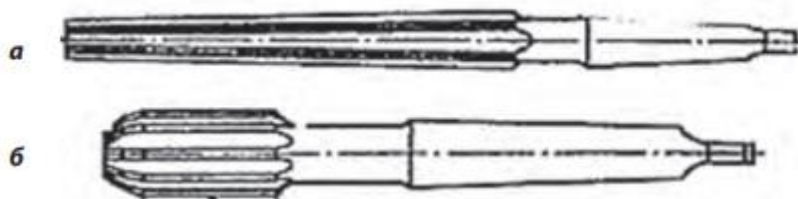


Рис. 26. Види розгортки за формою робочої частини:
а – конічна; б – циліндрична

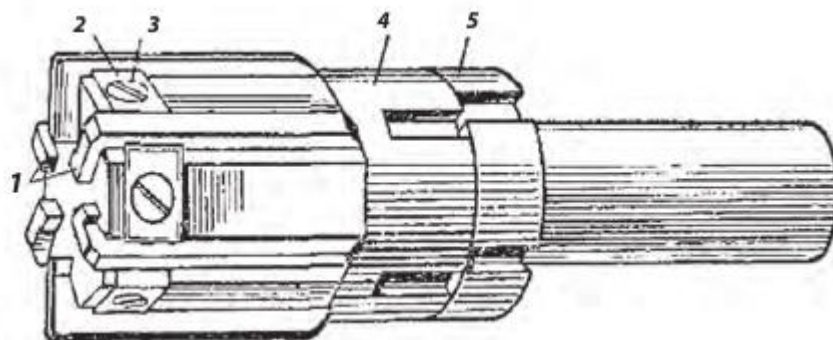


Рис. 27. Регульована розгортка зі вставними ножами:
1 – вставні ножі; 2 – підтримуючі накладки;
3 – фіксуючі гвинти; 4 – гайка; 5 – контргайка

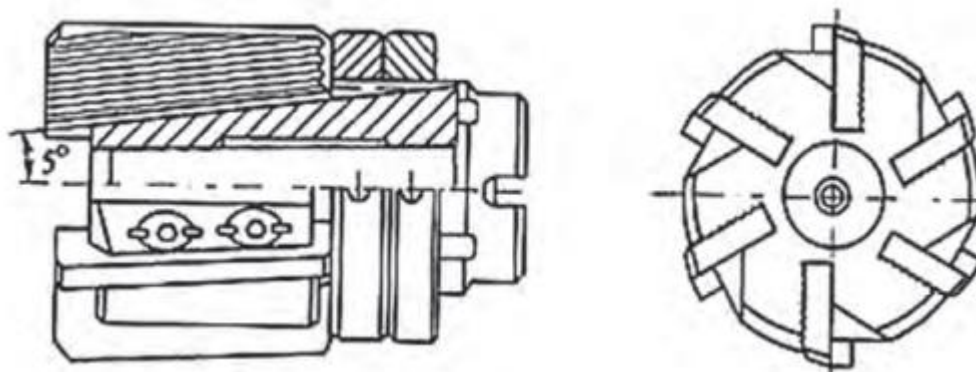


Рис. 28. Розгортка насадна, збірна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4. ТЕХНІЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ПО УДОСКОНАЛЕННЮ ПРОЦЕСУ СТРУЖКОУТВЕРЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ

4.1. Спосіб визначення кута зсуву при стружкоутворенні

Корисна модель належить до обробки матеріалів різанням і може бути використана при дослідженні закономірностей процесу стружкоутворення та для розрахунку сили і температури різання. Відомий спосіб визначення кута зсуву ϕ через коефіцієнт потовщення стружки $K_a = a_s / a$ ($a = S \cdot \sin \phi$ - товщина зрізу, S - подача, ϕ - головний кут в плані, a_s - товщина стружки) або укорочення l_3 з $K = l_1 / (l_3 l)$ (l_3 - довжина зрізу, l - довжина стружки) і передній кут γ по формулі $\tan \phi = K \sin \gamma$ або $\phi = \gamma - \rho$. Недоліки - потребує в кожному випадку проведення експерименту і значних трудомістких затрат. Найбільш близьким є спосіб визначення кута зсуву ϕ по емпіричній формулі $\phi = c - (\rho - \gamma)$, де ρ - кут тертя-ковзання стружки по передній поверхні леза, який може визначатися по відомій формулі для коефіцієнта тертя-ковзання μ через дотичну P_z і нормальну P_n складові сили різання при гострому лезі $\mu = P_z / P_n = \tan \gamma$ або $\rho = \arctan \mu$; c - коефіцієнт з постійним значенням для окремих груп сталей (40 - для вуглецевих сталей з вуглецем $C < 0,15\%$, 46 - для сталей з $C = 0,15-0,25\%$ і малолегованих, 50 - для сталей з $C > 0,25\%$ і високолегованих. Недолік такого способу полягає в необхідності експериментального визначення кута ρ , неточності значень коефіцієнта c і значних похибках отриманих результатів в порівнянні з даними ф. 20. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення кута зсуву при стружкоутворенні, в якому введенням нових технологічних операцій і параметрів процесу досягається можливість виключення експериментального визначення кута зсуву через коефіцієнт потовщення стружки і проведення

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		48

динамометрування складових сили різання при 25 гострому лезі, і за рахунок цього зниження трудомісткості визначення при забезпеченні підвищення точності отриманих результатів в цілому. Поставлена задача вирішується тим, що включає експериментальне визначення коефіцієнта потовщення стружки, знаходження кута зсуву, вимірювання дотичної і нормальної складових сили різання при гострому лезі, згідно з корисною моделлю, попередньо для 30 вибраної марки сталі емпірично визначають дотичну і нормальну складові сили різання при гострому лезі і установлюють постійне значення коефіцієнта тертя-зсуву в площині зсуву.

На кресленні приведена схема визначення кута зсуву. Спосіб виконується в наступному порядку. Спочатку розроблюють узагальнену систему емпіричних залежностей дотичної P_z , радіальної P_y , осьової P_x складових сили різання від режимних (глибини t , подачі S , швидкості V) і геометричних (переднього кута γ , радіусу при вершині r_{40} , величини зносу h по задній поверхні леза) параметрів процесу різання з поправочними коефіцієнтами на умови різання. Потім виконують експерименти по визначенню кута зсуву $\mu = \frac{K \cos \phi}{K \sin \phi}$ а $\phi = \gamma - \gamma_1$ (1) через коефіцієнт потовщення стружки K для певної марки сталі і області застосування умов різання.

Далі знаходять дотичну P_z' (6) і нормальну P_n' (7) складові сили різання при нульових значеннях радіусу при вершині $r=0$ і зносу $h=0$ леза для заданих параметрів t, S, V і γ при визначенні кута ϕ (1). По формули

$$\mu = \frac{P_z' - P_n' \cdot \operatorname{tg} \phi}{P_z' \cdot \operatorname{tg} \phi + P_n'}$$

для знайдених показників ϕ (1), P_z' (6) і P_n' (7) знаходять відповідні коефіцієнти тертя-зсуву μ_s і на основі їх середніх величин установлюють постійне значення $\operatorname{const} \mu_s = \operatorname{const}$. Остаточню кут зсуву визначають по формулі

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{P_z' - P_n' \cdot \mu}{P_z' \cdot \mu + P_n'}$$

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

з урахуванням постійності $\mu_s = \mu$. Розрахункова схема визначення кута зсуву ϕ з розташуванням напрямків сил і кутів 10 стружкоутворення при гострому лезі (величина фаски зносу h і сили тертя на задній поверхні теоретично дорівнює нулю) зображена на кресленні в системі координат основної площини P_v , площини різання P_n і головної січної площини P_t .

Розрахункова схема визначення кута зсуву ϕ (5) з розташуванням напрямків сил і кутів 10 стружкоутворення при гострому лезі (величина фаски зносу h і сили тертя на задній поверхні теоретично дорівнює нулю) зображена на Фіг. 1 в системі координат основної площини P_v , площини різання P_n і головної січної площини P_t : a і a_s - товщина перетину зрізу і стружки; γ - передній кут леза; T_s і T_n - дотична і нормальна складові результуючої сили стружкоутворення T ; $U_s = T_s/T_n$ і $\rho = \arctg \mu$ - коефіцієнт і кут тертя-зсуву при внутрішній суцільності оброблюваного матеріалу в площині зсуву P_ϕ ; F_γ і N_γ 15 - дотична і нормальна сили тертя-ковзання стружки по передній поверхні A_γ ; $\mu_\gamma = F_\gamma/N_\gamma$ і $\rho_\gamma = \mu_\gamma \arctg$ - коефіцієнт і кут тертя стружки; P_z' і P_n' - дотична і нормальна складові сили різання при гострому лезі (проекції сили стружкоутворення T на площину різання P_n і основну площину P_v).

Між складовими сили зсуву T_s , T_n і сили різання при гострому лезі P_z' і P_n' 20 існує згідно Фіг. 1 зв'язок через кут зсуву ϕ . Формула коефіцієнта тертя-зсуву μ_3 виводиться в результаті проєціювання сил P_z' і P_n' в напрямку дотичної і нормальної сил зсуву.

$$\begin{aligned} T_s &= P_z' \cdot \cos\phi - P_n' \cdot \sin\phi \\ T_n &= P_z' \cdot \sin\phi + P_n' \cdot \cos\phi \end{aligned}$$

$$\mu_s = \frac{T_s}{T_n} = \frac{P_z' - P_n' \cdot \operatorname{tg}\phi}{P_z' \cdot \operatorname{tg}\phi + P_n'}$$

ЗВІДКИ

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{P_z' - P_n' \cdot \mu_s}{P_z' \cdot \mu_s + P_n'}, \quad \phi = \arctg\phi$$

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вихідною базою для визначення сил P_z і P_n служить розроблена система рівнянь емпіричних залежностей дотичної P_z , радіальної P_y , осьової P_x складових сили різання від параметрів процесу різання t, S, V, γ, r, h типу

$$P_i = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot (1 - \gamma/90)^n \cdot (1 + r)^v \cdot (1 + h)^u \cdot K_{pi}$$

з напрацьованими показниками степеня $x - u$, коефіцієнтом розмірної пропорційності C_p і поправковими коефіцієнтами на марку K_m і твердість K_n або міцність K_σ оброблювального матеріалу, марку інструментального матеріалу K_i , кути в плані K_ϕ і нахилу головної різальної кромки K_λ та мастильно-охолоджувальне технологічне середовище

$$K_o (K_{pi} = K_m \cdot K_n \cdot K_i \cdot K_\phi \cdot K_\lambda \cdot K_o)$$

Для умов непрямокутного різання нормальна складова сили різання дорівнює

$$P_n = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$$

Спосіб визначення кута зсуву при стружкоутворенні, що включає експериментальне визначення коефіцієнта потовщення стружки, знаходження кута зсуву, вимірювання дотичної і нормальної 15 складових сили різання при гострому лезі, який відрізняється тим, що попередньо для вибраної марки сталі емпірично визначають дотичну і нормальну складові сили різання при гострому лезі і установлюють постійне значення коефіцієнта тертя-зсуву в площині

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{P_z' - P_n' \cdot u}{P_z' \cdot u + P_n'}$$

зсуву, а кут зсуву визначають із співвідношення:

де P_z' і P_n' - емпіричні значення дотичної і нормальної складових сили різання при гострому лезі; u - постійне значення коефіцієнта тертя-зсуву.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

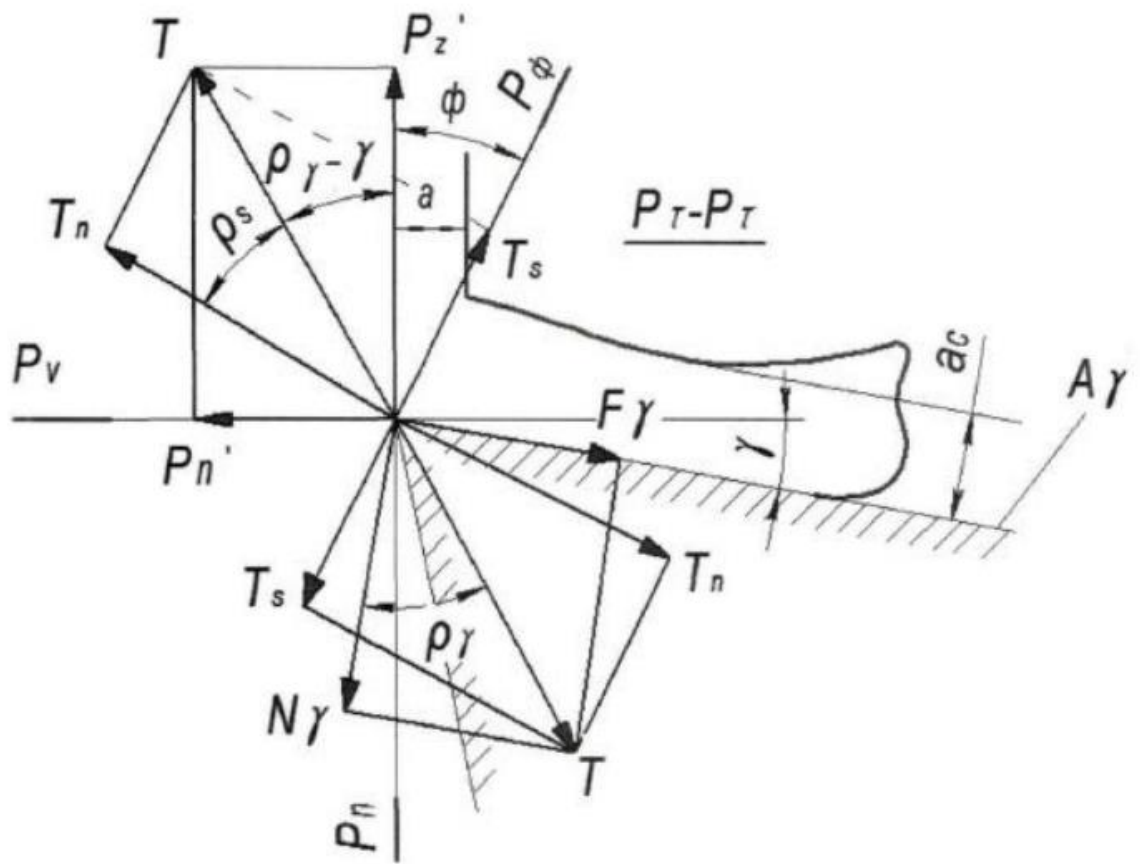


Рис. 29.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

4.2. Спосіб визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею різального інструмента

Спосіб визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею різального інструмента, що включає нанесення на передню поверхню різальної частини інструмента контрольного покриття, який відрізняється тим, що на передню поверхню інструмента на заданій відстані C_0 від різальної кромки наносять резистивний елемент з опором R_0 , до нього підводять напругу від малопотужного джерела живлення, підключають вимірювальний прилад, визначають поточний опір R_i і довжину контакту стружки з передньою поверхнею за формулою:

$$l_k = l_0 \left(1 - \frac{R_i}{R_0}\right) + C_0,$$

де l_0 - загальна довжина нанесеного резистивного елемента, R_i - опір, що вимірюється, R_0 - загальний опір резистивного елемента, C_0 - відстань від різальної кромки до резистивного елемента.

Корисна модель відноситься до техніки вимірювання одної із основних складових параметрів процесу різання матеріалів - довжини контакту стружки з передньою поверхнею робочої частини інструмента. В якості аналогу прийнятий спосіб визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструмента по розміщенню стружколома, який встановлений на передній поверхні різця, а в якості числової характеристики довжини контакту стружки з передньою поверхнею прийнята відстань між стружколомом і ріжучою кромкою. Недолік даного способу - дуже низька точність і велика трудомісткість вимірювань. В якості прототипу вибраний спосіб вимірювання довжини контакту стружки з передньою поверхнею робочої частини інструмента по сліду, сутність якого в тому, що на робочі поверхні інструменту наносять контрольні покриття у вигляді мідної плівки або фарби, проводять різання і після різання під мікроскопом визначають величину знятого стружкою з інструменту контрольного шару, по якому і роблять висновки

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

про величину контакту. Недоліком прототипу є велика трудомісткість вимірювань і мала точність: мідне покриття при різанні окисляється і набуває розпливчатого вигляду. Крім того, немає можливості проводити заміри безпосередньо в процесі різання. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту шляхом того, що в якості контрольного покриття на передню поверхню інструменту наносять резистивний елемент, до якого підводять напругу від малопотужного джерела ЕДС і вимірюють в процесі різання опір резистивного елемента, величина якого змінюється пропорційно довжині контакту, що забезпечує зменшення трудомісткості замірів, підвищує точність замірів і дає можливість проводити вимірювання в процесі різання. Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту включає нанесення на передню поверхню контрольного покриття. Новим є те, що елемент з металокераміки з початковим опором R_0 наносять на заданій відстані l_0 від ріжучої кромки і до останнього підключають вимірювальний прилад і напругу від малопотужного джерела ЕДС.

При обробці деталі східна стружка перекидає резистивний елемент, зменшує його опір R_0 і числове значення довжини контакту стружки з інструментом визначають за формулою

$$l_K = l_0 \left(1 - \frac{R_i}{R_0}\right) + C_0 \text{ (мм)},$$

де l_0 - загальна довжина нанесеного резистивного елемента; R_i - опір, що вимірюється; R_0 - загальний опір резистивного елемента; C_0 - відстань від ріжучої кромки до резистивного елемента. Спосіб виконується наступним чином. На передню поверхню робочої частини інструменту наносять резистивний елемент з опором R_0 на деякій відстані від C_0 від ріжучої кромки інструменту. В цьому випадку контакт стружки з резистивним елементом здійснюється в зоні з незначними контактними навантаженнями, що зменшує

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

стирання стружкою резистивного елемента. У випадку, коли в якості робочої частини інструменту використовують пластини із твердого сплаву, то на поверхню пластини наносять ізолюючу підкладку, в якості якої може бути окис алюмінію Al_2O_3 , а на неї наносять резистивний елемент. На токарний станок встановлюють деталь і інструмент з резистивним елементом. До резистивного елемента підводять напругу від малопотужного джерела і підключають вимірювальний прилад. При обробці деталі східна стружка перекриває частину резистивного елемента, зменшуючи його загальний опір R_0 , а вимірюючи поточний опір R_i , визначають довжину контакту стружки з передньою поверхнею робочої частини інструменту по формулі. Визначення довжини контакту стружки з передньою поверхнею робочої частини інструменту має велике значення для теорії і практики обробки матеріалів різанням, так як по величині довжини контакту роблять висновки про розподіл контактних силових та температурних навантажень на робочу частину інструменту.

4.3. Спосіб визначення коефіцієнта усадки стружки

Корисна модель відноситься до способу визначення коефіцієнту усадки стружки при різанні металів. Корисна модель можна використовувати в експрес-методах оцінки оброблюваності матеріалів різання. Як аналог прийнятий спосіб усадки стружки згідно з авторським свідоцтвом №921677, В23 В 1700,1979р. при якому визначають коефіцієнт усадки стружки на вибраній ділянці по відношенню шляху різання Z_g до довжини стружки L . Для підвищення точності вимірювання усадки при косокутному різанні на тій же ділянці вимірюють кут повороту площини найбільших деформацій, визначають напрямок і кут збігу і коефіцієнт розраховують по формулі

$$K = \frac{L_0 \cdot \cos \lambda}{L \cdot \cos \eta \cdot \cos \nu}$$

де: l - кут нахилу ріжучої крайки, град.; h - кут збігу стружки, град.; n - кут повороту площини найбільшої деформації, град. Недолік даного способу -

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

складність та трудомісткість визначення кута збігу стружки та кута повороту найбільшої деформації. Як прототип вибраний ваговий спосіб суть його полягає в тому, що здійснюють різання металу на глибину (при подачі S та вимірюють шматок стружки по довжині L зважують на вагах і розраховують коефіцієнт усадки стружки по формулі

$$\xi = \frac{G}{\rho \cdot L \cdot S \cdot t}$$

де G - маса стружки; ρ - питома вага матеріалу стружки; L - довжина стружки; S - подача інструменту; t - глибина різання. Недоліком прототипу являється велика трудомісткість та мала точність способу із за неточних вимірів ваги G і розмірів довжини стружки L. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення коефіцієнту усадки стружки шляхом того, що визначають коефіцієнт усадки стружки по відношенні ширини та товщини стружки, що забезпечує підвищення точності, крім того зменшує трудомісткість. Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення коефіцієнту усадки стружки, включає отримання стружки при заданій подачі та глибини різання і визначення коефіцієнта усадки стружки, новим є те, що додатково вимірюють ширину та товщину стружки та визначають коефіцієнт усадки стружки за формулою

$$\xi = \frac{a_c \cdot b_c}{S \cdot t};$$

де a, - товщина стружки; b - ширина стружки; S - подача інструменту; t - глибина різання. Спосіб виконується наступним чином. При перетворенні зрізаемого шару матеріалу в стружку розміри останньої по довжині L, товщині a і ширині B відрізняються від відповідних розмірів зрізаемого шару, з якого утворена стружка (Z, a, B): Lca; bc>b Відомо, що ступінь вимірювання розмірів стружки в порівнянні зі зрізами шару характеризується трьома коефіцієнтами зміни форми: коефіцієнтами усадки - видовження K, стовщення K і зміна ширини K, які визначені співвідношеннями

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$K_L = \frac{L}{L_c}; K_a = \frac{a_c}{a}; K_b = \frac{b_c}{b};$$

Так як об'єм зрізаного шару і стружки рівні $L \cdot a \cdot b = L_c \cdot a_c \cdot b_c$ то можна записати

$$K_L = K_a \cdot K_b = \frac{a_c \cdot b_c}{a \cdot b}$$

Площа зрізу визначається виразом $F = a \cdot b$

При заданому головному куті в плані ріжучого інструменту подачі S і глибини різання t товщина зрізу $a = S \cdot \sin \varphi$

a - ширина

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}$$

$$F = a \cdot b = S \cdot \sin \varphi \cdot \frac{t}{\sin \varphi} = S \cdot t$$

$$\xi = \frac{a_c \cdot b_c}{S \cdot t}$$

Визначення усадки стружки має велике значення для теорії і практики обробки різанням, так як по величині усадки стружки судять про оброблюваність матеріалу. Коефіцієнт усадки стружки, являючись результатом пластичних деформацій, зрізаного шару матеріалу в процесі різання, характеризує величину пластичних деформацій і величину роботи яка затрачується на різання.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

1.2. Інструкція розроблена на основі ДНАОП 0.00-8.03-93 "Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві", ДНАОП 0.00-4.15-98 "Положення про розробку інструкцій з охорони праці", ДНАОП 0.00-4.12-99 "Типове положення про навчання з питань охорони праці", ДНАОП 1.1.10-1.04-01 "Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями".

1.3. За даною інструкцією свердляр інструктується перед початком роботи на підприємстві (первинний інструктаж), а потім через кожні 3 місяці (повторний інструктаж). Результати інструктажу заносяться в "Журнал реєстрації інструктажів з питань охорони праці"; в журналі після проходження інструктажу повинен бути підпис особи, яка інструктує, та свердляра.

1.4. Власник повинен застрахувати свердляра від нещасних випадків та професійних захворювань. В разі пошкодження здоров'я з вини власника, він (свердляр) має право на відшкодування заподіяної йому шкоди.

1.5. За невиконання даної інструкції свердляр несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

1.6. До роботи на свердлильних верстатах допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли відповідне навчання, медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці та інструктаж на робочому місці.

1.7. Свердляр, який користується при роботі вантажопідіймальними механізмами, повинен пройти спеціальне навчання і мати відповідне посвідчення.

1.8. Свердляр повинен:

1.8.1. Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.

1.8.2. Утримувати своє робоче місце в чистоті і порядку.

1.8.3. Не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце.

1.8.4. Користуватися спецодягом і засобами індивідуального захисту.

1.8.5. Вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних випадках.

1.8.6. Вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння.

1.9. Головні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які діють на свердляра:

- захащеність робочого місця;
- частини верстата і деталі, що обертаються;

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- деталі, заготовки та їх осколки, стружка, а також інструмент, які вилітають.
- різальний інструмент;
- підвищена температура оброблюваних деталей та інструменту.
- ураження електричним струмом;
- підвищені рівні шуму, вібрації.

1.10. Свердляр забезпечується спецодягом і засобами індивідуального захисту:

- костюм віскозно-лавсановий;
- черевики шкіряні;
- окуляри захисні;
- під час установки і зняття великогабаритних деталей додатково: рукавиці комбіновані.

1.11. На кожному робочому місці біля верстата на підлозі повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і шириною не менше 0,6 м від частин верстата, що виступають.

1.12. Верстати повинні приводитись у дію та обслуговуватись тільки тими особами, за якими вони закріплені.

1.13. Ремонт верстатів повинен виконуватись спеціально призначеними особами.

1.14. Біля кожного верстата повинна бути вивішена табличка із зазначенням особи, яка відповідає за експлуатацію.

1.15. Для зняття, установлення деталей або заготовок масою більше 20 кг необхідно використовувати підйомно-транспортні механізми, обладнані спеціальними пристроями (захватами).

1.16. Мастильно-охолоджувальні рідини повинні мати відповідний дозвіл Міністерства охорони здоров'я.

1.17. Гачки для видалення стружки повинні мати гладкі рукоятки та щиток, що запобігає порізам рук стружкою.

Не дозволяється користуватися гачками з ручкою, яка має форму петлі.

2. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

2.1. Упорядкувати робочий одяг, взуття, засоби індивідуального захисту. Рукава необхідно застібнути, волосся прибрати під головний убір.

2.2. Прийняти верстат від змінника.

2.3. Приготувати гачок для видалення стружки.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.4. Перевірити наявність і справність:

2.4.1. Огородження зубчатих коліс, приводних ременів, приводів, а також струмоведучих частин електричної апаратури.

2.4.2. Захисного заземлення.

2.4.3. Запобіжних пристроїв для захисту від стружки, охолоджуючих рідин.

2.4.4. Пристрою для кріплення інструменту, деталей.

2.4.5. Ріжучого, вимірювального інструменту, пристосувань.

2.5. Перевірити верстат на холостому ході:

2.5.1. Справність органів керування (механізмів головного руху, подачі, пуску, зупинки руху та інше).

2.5.2. Справність систем змащення і охолодження (впевнитись в тому, що мастильна і охолоджувальна рідини подаються нормально і безперервно).

2.5.3. Справність фіксації важелів включення і переключення.

2.5.4. Відсутність заїдань та надмірної слабини в рухомих частинах верстата - шпинделя, подовжніх і поперечних полозків.

2.6. Перевірити правильність заточування інструменту.

2.7. Розкласти інструмент, пристосування в зручному для користування порядку.

2.8. Шланги, які підводять охолоджувальну рідину, розмістити так, щоб вони не торкались ріжучого інструменту і рухомих частин верстата.

2.9. Відрегулювати місцеве освітлення.

3. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. Під час встановлення свердел та інших різальних інструментів та пристроїв у шпиндель верстата необхідно звертати особливу увагу на міцність їх закріплення і точність центрування.

3.2. Стружку з просвердлених отворів необхідно видаляти гідравлічним способом, магнітами, металевими гачками тощо – тільки після зупинення верстата та відведення інструмента.

3.3. Усі оброблювані на верстаті деталі, крім особливо важких, необхідно установлювати у відповідні пристосування (лещата, кондуктори тощо), які закріплюються на столі (плиті) свердлильного верстата, і кріпити в цих пристосуваннях.

3.4. Для знімання інструменту з верстата необхідно застосовувати спеціальні молотки та вибивачі, виготовлені з матеріалу, від якого під час удару не відділяються частинки.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.5. Шпиндель з патроном повинен самостійно повертатися у верхнє положення при відпусканні штурвала подачі свердла.

3.6. Забороняється:

3.6.1. Використовувати на верстатах інструмент із забитими або спрацьованими конусами та хвостовиками.

3.6.2. Працювати на свердлильних верстатах у рукавицях, рукавичках або із забинтованими руками.

3.6.3. Утримувати виріб руками під час роботи.

3.6.4. Перевіряти рукою гостроту різальних кромek інструмента, глибину отвору та вихід свердла із отвору в деталі, а також охолоджувати свердла мокрою ганчіркою під час роботи верстата.

3.7. Під час роботи не можна близько нахилитися до шпинделя і ріжучого інструменту.

3.8. Щоб уникнути вильоту деталі, яка обробляється, деталь, лещата і пристосування повинні бути міцно закріплені на столі або фундаментній плиті.

Кріплення виконується спеціальними кріпильними деталями: болтами, які відповідають пазу стола, притискними планками, упорами та інше.

3.9. Лещата повинні бути справними, а насічка губок неспрацьована.

3.10. Установку деталей на верстаті і їх знімання з верстата необхідно виконувати тільки тоді, коли шпиндель з ріжучим інструментом знаходяться у вихідному положенні.

3.11. Вставляти чи виймати свердло або інший інструмент із шпинделя верстата дозволяється тільки після повного припинення обертання шпинделя.

Свердло із шпинделя необхідно виймати спеціальним клином, який не повинен залишатись у пазу шпинделя.

3.12. Під час заміни інструменту на багатошпиндельних головках, де при заміні руки знаходяться в зоні розташування головок, необхідно користуватися спецпідставками, які попереджують падіння головки при обриві вантажу.

3.13. Подані на обробку і оброблені деталі необхідно стійко укладати на підкладках і стелажах; висота штабеля не повинна перевищувати для дрібних деталей 0,5 м, для середніх - 1 м, для крупних - 1,5 м.

3.14. Маса і габаритні розміри деталі, яка обробляється, повинні відповідати паспортним даним верстата. Важкі деталі необхідно встановлювати і знімати за допомогою механізмів.

3.15. Звільняти деталь від строповки дозволяється після надійної установки і закріплення.

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- 3.16. Не дозволяється свердління тонких пластинок, смуг чи інших подібних деталей без кріплення в спеціальних пристосуваннях.
- 3.17. Якщо виріб обертається на столі разом з свердлом, необхідно зупинити верстат і зробити необхідні поправки.
- 3.18. Під час свердління глибоких отворів необхідно виводити свердло з отвору для видалення стружки.
- 3.19. Свердлими отвори у в'язких металах необхідно спіральними свердлами зі стружкодробильними каналами.
- 3.20. Ріжучий інструмент необхідно підводити до оброблювальної деталі поступово і плавно, без ударів.
- 3.21. Під час ручної подачі свердла і при свердлінні дрібними свердлами не можна дуже сильно натискувати на важіль.
- 3.22. Режим різання повинен відповідати вказівкам операційної картки для оброблення даної деталі.
- 3.23. Не дозволяється направляти стружку на себе; стружку, яка намотується на оброблювану деталь і ріжучий інструмент, необхідно видаляти спеціальним інструментом при непрацюючому верстаті.
- 3.24. Шпинделі, які не беруть участь в роботі на багатошпиндельних верстатах, необхідно огородити.
- 3.25. Змінні шестерні повинні бути закриті кожухами.
- 3.26. Не дозволяється обдувати стиснутим повітрям верстат і деталь, яка обробляється.
- 3.27. При свердлінні крихких металів, якщо на верстаті відсутні захисні пристосування, необхідно користуватися захисними окулярами або запобіжним щитком з прозорого матеріалу.
- 3.28. Верстат необхідно зупинити у разі:
- відходу від верстату;
 - тимчасового припиненні роботи;
 - прибирання, змащення, чистки верстата;
 - підтягування болтів, гайок та інших з'єднувальних деталей верстата;
 - установки, вимірювання, заміни деталі.
 - перевірки і зачистці ріжучої кромки інструменту;
 - зняття і натягнення ременів шківа верстата.
4. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ
- 4.1. Вимкнути верстат, відключити його від електромережі.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

4.2. Упорядкувати робоче місце, прибрати з верстата стружку, пристосування, очистити верстат від бруду, витерти і змастити частини, що труться; скласти готові деталі і заготовки.

4.3. Прибрати інструмент у відведене для нього місце.

4.4. Зняти спецодяг, помити обличчя, руки з милом; при можливості, прийняти душ.

4.5. При здачі зміни доповісти зміннику і керівнику робіт про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Негайно зупинити верстат, відключити електроенергію, огородити небезпечну зону, не допускати сторонніх осіб в небезпечну зону.

5.2. Повідомити про те, що сталося, керівника робіт.

5.3. Якщо є потерпілі, необхідно надавати їм першу медичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.

5.4. Надання першої медичної допомоги:

5.4.1. Надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом:

У разі ураження електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення – відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

У разі відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані необхідно негайно приступити до оживлення потерпілого і викликати швидку медичну допомогу.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5.4.2. Перша допомога при пораненні:

Для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язочний матеріал, що міститься у ньому, на рану і зав'язати її бинтом.

Якщо індивідуального пакету якимсь чином не буде, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку і т. ін. На те місце ганчірки, що приходиться безпосередньо на рану, бажано накапати декілька крапель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після нього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настойку йоду зазначеним чином при забруднених ранах.

5.4.3. Перша допомога при переломах, вивихах, ударах:

При переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластикою, палицею, картоном або іншим подібним предметом.

Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба.

При переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або роту) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку.

При підозрінні перелому хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям униз, наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався, з метою уникнення ушкодження спинного мозку.

При переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

5.4.4. Надання першої допомоги при теплових опіках:

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64

При опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухири, які утворюються, та обв'язувати опіки бинтом.

При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

6. ОСВІТЛЕННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ

Освітленням називають використання світлової енергії сонця і штучних джерел світла для забезпечення зорового сприйняття довкілля. Освітлення дає сприятливий психофізіологічний ефект, впливає на працездатність людини і на безпеку праці. Раціональне освітлення в цехах промислових підприємств є показником естетики виробництва й високого рівня культури праці. Освітлення є важливим стимулятором організму людини, і тому недостатній рівень його підвищує втому зорового аналізатора у процесі виконання роботи, чим сприяє травматизму.

В умовах виробництва застосовують природне, штучне і комбіноване.

Природне освітлення зумовлюють прямі сонячні промені й дифузне світло небосхилу. Природне освітлення поділяється на: бокове (одно – або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє – через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах з високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не влучали в поле зору працюючих на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Норми освітлення залежать від параметрів, які передбачено роботою. Відстань від очей до предмета праці повинна бути визначена в кожному окремому випадку. Що менше відношення діаметра деталі до відстані від очей, то інтенсивнішим повинно бути освітлення. При цьому необхідно враховувати й здатність поверхні відбивати світло. Спектр джерел світла повинен максимально наближатися до спектра сонячного випромінювання. Важливо також захистити очі робітники від сліпучого світла. Усі системи освітлення повинні забезпечувати правильне сприйняття відтінків світла, аби в робочих приміщеннях було рівномірне освітлення. Тому слід подбати про загальне та місцеве. Освітлювальні пристрої мають забезпечувати гігієнічні вимоги: освітлення, якого було б достатньо для виконання певної роботи без напруження зору; рівномірність освітлення, без тіней, межах робочої поверхні, рівень освітлення проходів; захист очей від блиску; виконання вимог безпеки (шляхом обладнання в окремих випадках аварійного освітлення).

Нормативні величини освітленості робочих місць для різних видів робіт та відповідних зорових навантажень визначаються ДБН Б.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Для роз'яснення зазначимо, що робоча поверхня – головний об'єкт при встановленні регламентованих норм освітлення. Під робочою поверхнею, як об'єкта для нормування рівнів освітленості, розуміють поверхню робочого столу, верстака, частини обладнання, або інструмента, на якій проводиться робота та для якої нормується або на якій вимірюється освітленість.

7. Права працівників на охорону праці

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Працівник під час роботи має право:

1. відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля (за період простою за ним зберігається середній заробіток);
2. розірвати трудовий договір за власним бажанням, якщо роботодавець не виконує законодавства про охорону праці, не додержується умов колективного договору з цих питань (виплачується вихідна допомога в розмірі, передбаченому колективним договором, але не менше тримісячного заробітку);
3. переведення за його згодою на легшу роботу, якщо він за станом здоров'я відповідно до медичного висновку потребує надання такої роботи, а також у разі потреби встановлення скороченого робочого дня та проходження навчання з набуття іншої професії відповідно до законодавства
4. збереження місце роботи, а також середнього заробітку на час зупинення експлуатації підприємства, цеху, дільниці, окремого виробництва або устаткування органом державного нагляду за охороною праці чи службою охорони праці (стаття 6 Закону).

Продуктивність будь-якого ріжучого інструменту характеризується здатністю зберігати свої ріжучі властивості протягом певного проміжку часу (періоду довговічності) при якості і точності обробки, відповідних необхідним, заданим умовам. Довговічність інструменту і його довговічність визначають ступінь досконалості конструкції, економічність його використання за умови забезпечення необхідних показників обробки.

Знос і довговічність ріжучого інструменту визначаються механічними властивостями інструментального матеріалу, режимами різання (швидкість,

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

подача, глибина різання), геометрією інструменту і механічними характеристиками оброблюваного матеріалу. Дослідження і досвід промислових підприємств показують, що під час швидкісного зубчастого фрезерування знос твердосплавного інструменту відбувається в основному на задніх поверхнях ріжучих зубів. Найбільш інтенсивним зносом є ті ділянки ріжучих кромки, які відрізають максимальний обсяг металу. Для черв'ячних і дискорізів це вершинні і перехідні ріжучі кромки. У пальчикових модульних фрезах знос протікає більш рівномірно по всій довжині ріжучих кромки.

Знос твердосплавних різаків зубів відбувається у вигляді стирання, мікроскопічного фарбування і відколів. При відносно невеликих швидкостях різання, при нерівномірному завантаженні ріжучих кромки частинки твердого сплаву фарбуються. Мікроскопічне фарбування на задній поверхні («лускатий знос») з'являється при збільшенні швидкості різання. При швидкостях різання, близьких до оптимальних, для різних сплавів відбувається рівномірний знос у вигляді стирання. Найбільшому зносу піддаються зуби черв'ячних фрез, розташованих в міжцентровому перпендикулярі, опущеному від осі заготовки до осі інструменту. З метою вирівнювання зносу зубів по довжині черв'ячного різачка і, як наслідок, збільшення його опору, осьові зміщення фрези щодо міжцентрового перпендикуляра виробляються величиною осьового кроку або його частини після обробки певної кількості шестерень або після кожного обробленого колеса в обидві сторони.

Робота з ріжучим інструментом доцільна до тих пір, поки його знос не досягне певного значення завдяки точності оброблюваного виробу, допустимій чистоті обробки, потужності і жорсткості верстата, вартості шліфування, максимального використання матеріалу ріжучої частини і т.д. Цей величина зносу або будь-який інший фактор, що визначає здатність ріжучого інструменту різати без порушення заданих умов, є критерієм притуплення ріжучого інструменту.

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

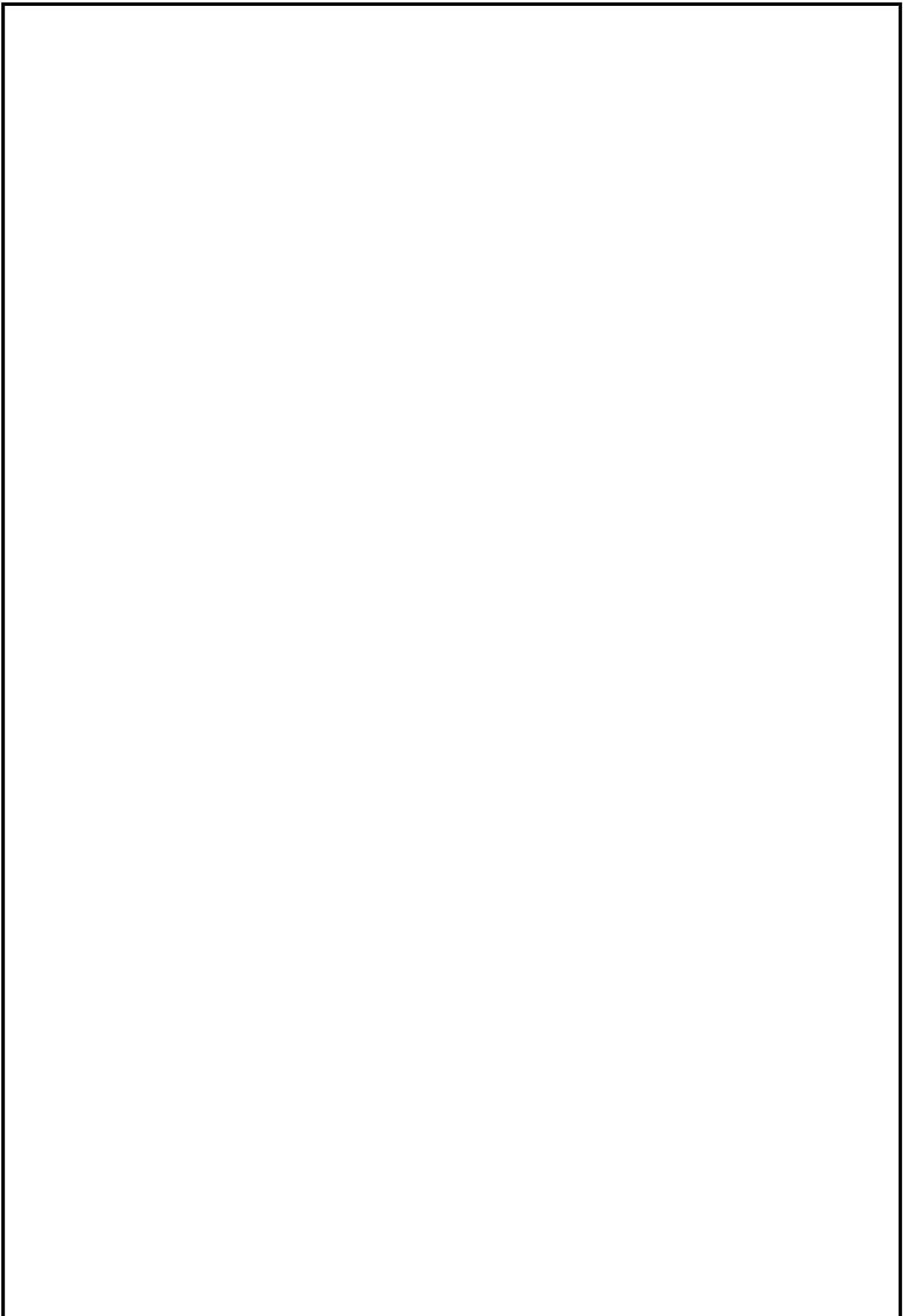
1. В кваліфікаційній роботі магістра проведено визначення раціональних режимів для операцій обробки отворів за критеріями стружкоутворення, розглянуті закономірності теорії різання, параметри стружкоутворення.
2. Проведений патентний пошук прогресивних рішень за темою, виконаний пошук показників якості механічної обробки. Показано вплив таких параметрів як точність, шорсткість, зусилля різання і технологічна спадковість.
3. Проаналізували операції обробки отворів, здійснили літературний та патентний огляд прогресивних рішень для модернізації прототипа.

					ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
2. Трент Є.М. Різання металів/Є.М. Трент; пров. з англ. Г.І. Айзеншта. - К.: Машинобудування, 1980. - 263 с.
3. Випускна кваліфікаційна робота [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В.І.Солодкий, Ю.Й. Бесарабець, В.В. Вовк, Д.О. Красновид – Електронні текстові дані.— Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 221 с.
4. Бобров В.Ф. Основи теорії різання металів: підручник / В.Ф. Бобров. - К.: Машинобудування, 1975. - 344 с.
5. Таланти Н.В. Фізичні основи процесу різання, зношування та руйнування зчарядь / Н.В. Талант. - Машинобудування, 1992. - 240 с.
6. Жорнік Н.І. Діяльність науково-технічної школи професора М.Ф.Семка у контексті розвитку науки про різання матеріалів в Україні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.28.01 / Н.І. Жорнік ; Харк. націон. техн. ун-т «ХПІ». –Харків, 2005. – 20 с.
7. Міністерство освіти і науки України : Машинобудівний коледж ДДМА : Конспект лекцій з дисципліни Основи обробки матеріалів і інструмент – Краматорськ, 2017 – 283 с.
8. СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ЗСУВУ ПРИ СТРУЖКОУТВОРЕННІ : Кравченко Юрій Григорович; Дербаба Віталій Анатолійович : НТУ "ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА" : 2020, с. 8
9. СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ КОНТАКТУ СТРУЖКИ З ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА : Усачов Петро Антонович, Ключ Ольга Вікторівна : НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ" : 2006, с. 2.
10. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: Навчальний посібник/ Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук.— Ж.: ЖІТІ, 2000. — 332 с.
11. Металорізальні інструменти [Текст]: навч. посібник. Ч. 2 / П. Р. Родін [та ін.] ; Київський політехнічний ін-т. — К.: ІСДО, 1993. — 180 с.

					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		70



					<i>ХНТУ 151.КРМ.21.А38.ПЗ</i>	Арк.
						71
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		