

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра Машинознавства та обладнання промислових підприємств

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до магістерської роботи

освітньо-кваліфікаційного рівня *магістр*

спеціальності *131 прикладна механіка*  
спеціалізації - *технології машинобудування*

на тему «Удосконалення конструкції збірних різців з метою підвищення їх  
періоду стійкості»

Виконав: студент групи ТМ-17дм

Ланцов Д.С.  
(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Сергієнко О.В.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завідувач кафедри Архипов О.Г.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Шевченко О.В.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сєверодонецьк – 2018

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота за темою «Удосконалення конструкції збірних різців з метою підвищення їх періоду стійкості»: 102 с., 12 табл., 45 рис., 142 джерела.

ЗБІРНІ РІЗЦІ, ПЕРІОД СТІЙКОСТІ, ЗМІННІ БАГАТОГРАННІ ПЛАСТИНИ, СУХЕ РІЗАННЯ, КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, АПРОКСИМАЦІЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – процес підвищення періоду стійкості збірних різців.

Мета магістерської роботи – підвищення зносостойкості збірних різців при чистовій обробці важкооброблюваних матеріалів при сухому різанні за рахунок використання екологічно безпечних систем, заснованих на ефекті випарного охолодження.

Методи дослідження: в роботі використані основні положення теорії зношування інструментальних твердих сплавів, теорії теплофізичних процесів в технологічних системах механічної лезвійної обробки, кореляційний аналіз, а також статистичні методи оцінки достовірності отриманих даних.

У першому розділі виконано аналіз методів охолодження збірних різців з метою їх удосконалення.

У другому та третьому розділах розроблено методологію та конструкції збірних різців, оснащених системами випарного охолодження відкритого та закритого типу.

У четвертому розділі виконано експериментальне дослідження зносостійкості збірних різців, оснащених двофазною комплексною системою охолодження.

В останньому розділі розглянуто вимоги охорони праці та техніки безпеки при проведенні науково-дослідних робіт в механообробних лабораторіях.

## ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗБІРНИХ РЕЗЦІВ З МЕТОЮ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ.....	8
1.1 Вплив теплових явищ при різанні матеріалів на вихідні показники процесу.....	8
1.2 Методи дослідження теплофізичних явищ.....	10
1.3 Особливості протікання теплових явищ при роботі збірними різцями....	11
1.4 Способи впливу на теплофізичні процеси.....	18
1.5 Традиційні методи охолодження різців.....	21
1.6 Нетрадиційні методи охолодження збірних різців.....	25
1.6.1 Технологія "сухого" електростатичного охолодження (СЕО) ріжучого інструменту і охолодження іонізованими розпорошеними рідинами....	25
1.6.2 Випарне охолодження. Використання ефекту фазових переходів першого роду в системах зниження температури.....	27
1.7 Мета та завдання дослідження.....	32
2 ВИПАРНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ВІДКРИТОГО ТИПУ .....	34
2.1 Про можливості охолодження зони різання за допомогою випаровування рідини.....	34
2.2 Розрахунок кількості води, що витрачається при випарному охолодженні відкритого типу.....	36
2.3 Конструкції збірних різців, оснащених системою випарного охолодження відкритого типу.....	40
2.4 Експериментальне дослідження ефективності випарного охолодження збірних різців.....	41
3 ВИПАРНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗАКРИТОГО ТИПУ.....	49
3.1 Визначення геометрії теплової труби.....	49

3.2 Конструкції збірних різців, оснащених автономною системою випарного охолодження закритого типу.....	54
3.3 Дослідження впливу теплової труби на знос різців.....	58
4 ДВОФАЗНА КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ (КСО) ЗБІРНИХ РІЗЦІВ.....	64
4.1 Статистична обробка результатів стійкостних випробувань.....	64
4.2 Статистична обробка результатів стійкосних іспитів.....	66
4.3 Вирівнювання емпіричного розподілу стійкості.....	71
4.4 Визначення критерію Пірсона.....	73
4.5 Визначення критерію Стьюдента.....	74
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	75
5.1 Основні вимоги.....	75
5.2 Вимоги безпеки перед початком роботи.....	77
5.3 Вимоги безпеки під час роботи.....	78
5.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях при роботі на верстатах всіх типів.....	85
5.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	85
ВИСНОВОК.....	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	88

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

НВ – твердість за Бринелем

НV – твердість за Вікерсом

НРС – твердість за Роквелом

ЗОТЗ - змащувально-охолоджуючі технологічні засоби

ЗБП - змінні багатогранні пластини

Технологія СЕО - технологія "сухого" електростатичного охолодження

РЕА - радіоелектронна апаратура

ТТ - теплові труби

КСО - комплексна система охолодження

МОТС – мастильно-охолоджуюча технологічна система

$k$  – постійна Больцмана, Дж/К

$n$  – кількість дослідів

$T$  – температура, К

$\delta$  – відносна деформація зразка, %

$\sigma_s$  - напруга плинності, МПа

$\sigma_b$  – границя міцності, МПа

$\sigma_t$  – границя текучості, МПа

$\sigma_{0,2}$  – умовна границя текучості, МПа

$\sigma_{-1}$  – границя втоми, МПа

$\psi$  – відносне звуження, %

$\mu$  - коефіцієнт Пуасона

## ВСТУП

Однією з найважливіших завдань сучасного машинобудування є пошук ефективних методів чистової обробки різних важкооброблюваних матеріалів, що мають низьку теплопровідність, таких як титанові сплави і високомарганцеві сталі. Підвищення ефективності обробки цих матеріалів із забезпеченням необхідних параметрів точності і якості оброблюваних деталей можливо лише за умови створення ріжучих інструментів, забезпечувати задану надійність і регламентований період стійкості.

При точінні низькотеплопровідних матеріалів істотно зростає доля теплоти, що надходить в ріжучий клин інструменту, що призводить до підвищення поверхневої і об'ємної температур в контактній зоні різання і сприяє збільшенню зносу ріжучого інструменту. Існуючі традиційні методи зниження цих температур за рахунок застосування змащувально-охолоджуючих технологічних засобів (ЗОТЗ) не завжди виявляються достатньо ефективними і не відповідають сучасним вимогам, збільшуючи при цьому вартість операцій за рахунок витрат по розробці і експлуатації систем подачі ЗОТЗ, собівартості і витрат по їх переробці і утилізації. Крім того, використання ЗОТЗ завдає великої екологічної шкоди навколишньому середовищу, викликає патологічні зміни в організмі людини (депресія нервової системи, токсичну і канцерогенну дію). Тому в світовій практиці металообробки виникає питання, пов'язане з відмовою від застосування ЗОТЗ і переходом на «сухе» різання, при якому актуальною залишається проблема зниження температури інструменту. Одним із способів нетрадиційного охолодження є поглинання тепла за рахунок зміни агрегатного стану речовини (випарне охолодження відкритого і закритого типів, використання легкоплавких речовин), засноване на застосуванні фазових переходів першого роду. Досвід охолодження за допомогою фазових переходів першого роду в інших технічних областях дозволяє зробити висновок про можливість застосування таких підходів до охолодження збірних ріжучих інструментів. На основі аналізу літературних даних встановлено, що способи зниження температури різання зміною

агрегатного стану речовини при випарному охолодженні стосовно завдань обробки конструкційних матеріалів в даний час досліджені недостатньо.

У зв'язку з цим охолодження збірних різців, оснащених змінними багатограними пластинами (ЗБП), з використанням ефекту випарного охолодження при сухому різанні важкооброблюваних матеріалів є актуальною науково-технічною задачею.

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗБІРНИХ РЕЗЦІВ З МЕТОЮ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

## 1.1 Вплив теплових явищ при різанні матеріалів на вихідні показники процесу

Одним з найважливіших факторів, що впливають на вихідні показники процесу різання, є якість інструменту. ГОСТ 25751-83 визначає працездатний і непрацездатний стан ріжучого інструменту.

Встановлено, що процес зношування робочих поверхонь інструменту є результатом комплексу цілого ряду фізико-хімічних явищ, що відбуваються в контактних зонах «інструмент-заготовка» [20, 64, 67, 103].

Значний внесок у вивчення складних явищ при механічній і фізико-технічній обробці матеріалів внесли і вітчизняні, і зарубіжні вчені. Найбільш інтенсивно ці дослідження проводилися в ХХ столітті. У числі видатних учених, які зробили свій внесок у вирішення даної проблеми, особливі заслуги належать таким вченим як А.А. Аваков, В.І. Аверченко, А.П. Бабічев, В.Ф. Без'язичний, В.Ф. Бобров, А.І. Болдирєв, С.А. Васін, А.С. Верещака, А.М.Вульф, О.І. Горленко, Г.І. Грановський, В.Г. Грановський, С. Григор'єв, О.І. Драчєв, В.Л. Заковоротний, Ю.Г. Кабалдін, В.М. Кім, А.В. Кірічек, М.Н.Клушин, А.М. Козлов, Н.С. Колєв, В.І. Колесніков, М.Н. Ларін, Т.Н. Лоладзе, М.П. Левицький, А.Д. Макаров, В.І. Малишев, А.В. Панкін, С.І.Петрушин, В.Н. Подураєв, М.Ф. Полетика, Ю.Н. Полянчиков, А.Л.Плотніков, М.М. Рикалін, Н.І. Резніков, А.Н. Резніков, А.А. Рижкин, С.С.Сілін, В.А. Синопальников, В.К. Старков, В.П. Смоленцев, В.Н.Старов, А.Г.Суслов, Н.В. Талантів, С.Я. Хлуд, А.Н. Чукарін, Е.І. Фельдштейн, П.І. Ящеріцин і ін.

Результати численних досліджень, виконаних за всю історію розвитку науки про різання матеріалів, показали недостатню ефективність спроб створити теорію зношування на макрорівні. На підставі ряду подальших робіт було встановлено, що процес різання являє собою складний комплекс взаємодіючих фізико-механічних і хімічних явищ, що протікають в контактних зонах оброблюваного та



інструментального матеріалів, в результаті чого відбувається знос інструменту [12].

В умовах розвитку автоматизованого машинобудування необхідно забезпечувати роботу ріжучого інструменту з гарантованим гамма процентним ресурсом стійкості - часом різання, протягом якого інструмент не досягне відмови із заданою вірогідністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках [14, 85].

Теплові явища, що відбуваються при різанні матеріалів, грають важливу роль в процесі виробництва. Найчастіше тільки вони обмежують можливість підвищення продуктивності і збереження необхідної якості одержуваних виробів. Коли температура інструменту переходить за режим красностійкості інструментального матеріалу, це призводить до руйнування його ріжучої частини [18, 53]. Крім того, при підвищених температурах змінюються і характеристики поверхневого шару обробленої деталі. Теплові явища також впливають на інші параметри процесу обробки, зокрема, на температурне подовження інструменту, обумовлене фізичними властивостями інструментального матеріалу [18,63,75]. Це особливо важливо при чистових режимах обробки деталей. Через температурне подовження робочої частини інструменту виникають суттєві похибки розмірів, еквівалентні величині цього подовження. Зниження температури різання, таким чином, сприяє зменшенню однієї зі складових сумарної похибки обробки [40,84].

Можливість більш повного використання ресурсу ріжучого інструменту може бути досягнута також за рахунок стабілізації температури, зростаючої у міру зносу інструменту. Саме тому завдання оперативного управління процесом різання в залежності від температури є актуальною в роботах ряду дослідників [16,18,20,23,24,49].

На думку багатьох авторів [103,105,106,110] теплові процеси, що відбуваються при різанні матеріалів, є превалюючими і, таким чином, рішення задачі зниження температури в зоні різання необхідно для забезпечення підвищення стійкості ріжучого інструменту, необхідної якості продукції при високій продуктивності обробки та зниження матеріальних витрат.

## 1.2 Методи дослідження теплофізичних явищ

Протягом тривалого періоду становлення науки про різанні матеріалів вивчення складних фізичних процесів, що протікають в контактній зоні «Інструмент - заготовка», відбувалося за рахунок експериментальних досліджень. Пошуки найкращого поєднання конструкційних і інструментальних матеріалів (від каменю до сучасних сталей і сплавів, алмазів, кераміки і композитів) протікали з найдавніших часів. Збір і систематизація результатів накопиченого досвіду дозволили описати складні процеси, що протікають при обробці різанням, емпіричними залежностями [124, 125].

Початок теоретичних досліджень теплових процесів поклали роботи М.П. Левицького [55], де, вперше використовуючи рівняння математичної фізики, отримана теоретична формула для розрахунку температури на поверхні контакту інструменту зі стружкою. У роботах Т.Н. Лоладзе, М.П. Клушина і ряду інших авторів ідеї М.П. Левицького отримали свій подальший розвиток. Однак, головним недоліком прийнятих в даних роботах математичних моделей були припущення, які має велике значення, віддаляли прийняту схему від реального процесу.

Значний крок у вдосконаленні аналітичних методів дослідження теплофізичних процесів був зроблений внаслідок розвитку математичної теорії теплообміну, наприклад [13, 61, 105, 106], при розробці методу зосереджених джерел тепла, в основі якого лежать такі припущення:

- джерело теплоти може бути представлено як система точкових миттєвих джерел теплоти;

- вплив теплообміну поверхонь тіла з навколишнім середовищем на температурне поле в цьому тілі може бути враховано за допомогою системи фіктивних (так званих відображених) джерел, що впливають на процес поширення тепла в тілі таким же чином, як і теплообмін на граничних поверхнях.

Головним результатом застосування методу джерел є рішення В.В. Томсоном (Кельвіном) рівняння теплопровідності.

Надалі розвиток аналітичних методів розрахунку процесу теплообміну при різанні матеріалів стало можливим завдяки фундаментальним роботам М.М. Рикаліна [120], на підставі досліджень якого, А.Н. Резнікової вперше був виконаний аналіз закономірностей зміни температури стружки в результаті дії нерівномірного розподілу сил тертя [105].

Далі була побудована загальна аналітична теорія температурного поля в зоні різання. Результати багаторічних досліджень в галузі теплофізичних розрахунків при різанні і пластичній деформації були узагальнені в роботах [107, 110, 112], де крім математичних моделей дані алгоритми вирішення ряду конкретних завдань.

Удосконалення сучасної швидкодіючої обчислювальної техніки дозволило на наступному етапі розвитку теплофізики різання широко використовувати чисельні методи рішення диференціального рівняння теплопровідності з урахуванням нелінійності, нестационарності та граничних умов процесу різання [78, 87].

Однак, незважаючи на успіхи в розвитку математичних методів, як і раніше актуальними є експериментальні дослідження теплових процесів, що протікають при різанні.

### **1.3 Особливості протікання теплових явищ при роботі збірними різцями**

Виходячи з аналізу існуючих конструкцій збірних ріжучих інструментів, можна зробити висновок, що у всіх випадках не забезпечується максимальний контакт ріжучої пластини з опорною поверхнею. Дискретність контакту негативно впливає на стік теплоти з ріжучої пластини в державку, що веде до зростання температур в ріжучій пластині, а, отже, до збільшення зносу.

Напайні різці конструктивно мають високу теплопровідність контакту "пластина-корпус", проте, як уже було зазначено, останнім часом застосування збірних різців на верстатах з ЧПУ, в порівнянні з напайними, істотно зросла.[22, 65] Тому варто докладніше розглянути переваги та недоліки цих видів ріжучих інструментів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика напайних і збірних токарних різців

Напайний різець		
№	Переваги	Недоліки
1	Висока жорсткість конструкції	Значний допоміжний час при зміні інструменту
2	Висока теплопровідність контакту	Термічні напруги після пайки, «Пластина - корпус різця» тріщини
3	Можливість зміни геометрії параметрів при переточуванні	Втрати твердого сплаву при переточуваннях
Збірний різець, оснащений ЗМП		
№	Переваги	Недоліки
1	Можливість повернення твердого сплаву на переробку (до 95%)	Жорсткість нижче, ніж у напайного різця
2	Вищі ріжучі властивості через виключення операції пайки	Висока термічний опір контакту «пластина - корпус різця »
3	Економія допоміжного часу при заміні пластини	-
4	Можливість взаємозамінності без підналагодження	-
5	Можливість формування оптимальних форм робочих поверхонь	-

На думку ряду авторів [18, 57, 107, 110] найбільші температури виникають в зоні контакту стружки з передньою поверхнею різця (рис. 1.1), особливо при обробці низькотеплопровідних важкооброблюваних матеріалів.

У той же час, утворена теплота поширюється в об'ємі ріжучої пластини і державки, що знижує концентрацію тепла в зоні різання і вирівнює температуру в ріжучій пластині.

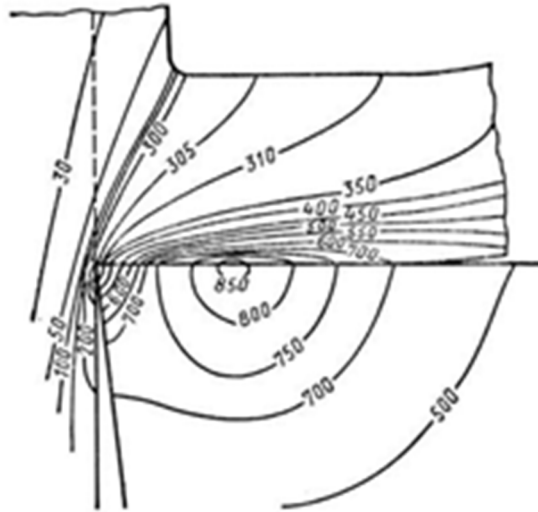


Рисунок 1.1 - Температурне поле в зоні різання (ШХ15 - Т14К8;  $t = 5,8$  мм;  
 $s = 0,35$  мм / об;  $v = 80$  м / хв) [25]

Збірні інструменти поряд із зазначеними перевагами (табл. 1.1) мають також істотний недолік, що полягає у високому термічному опорі контакту між опорною і ріжучою пластиною. Опорна поверхня ріжучої пластини з твердого сплаву після спікання покрита плівкою оксидів, що мають низьку теплопровідність (на порядок нижче, ніж у матеріалу інструменту), тому поширення тепла в тіло державки утруднено. Крім цього, поверхня опорної пластини збірного різця повинна бути оброблена з забезпеченням шорсткості  $Ra\ 0,05 \dots 0,025$  мкм.

Незважаючи на це між поверхнями опорної і ріжучої пластин існують мікронерівності, заповнені повітрям, що має низьку теплопровідність ( $\lambda = 0,03026$  Вт/м · К), що також підвищує термічний опір і перешкоджає поширенню тепла в напрямку державки. Це знижує теплопроводность контакту, в результаті чого підвищується частка теплоти, спрямованої в ріжучий інструмент і викликає його прискорений знос.

Необхідність підвищеного тепловідведення з контактної зони різання була докладно розглянута Поповим В.М.[98], який прийшов до висновку, що однією з вимог, що пред'являються до збірного ріжучого інструменту, є надійний термічний контакт опорної поверхні ріжучої пластини з державкою, що забезпечує високу теплопровідність стику.

Це можна продемонструвати на прикладі, коли матеріалом опорної пластини служить низькотеплопровідна кераміка. Для комп'ютерного моделювання розподілу температур на кордоні ріжучої і опорної пластин в роботі [32] створена геометрична модель ріжучого клина інструмента за допомогою програмного продукту «ELCUT», яка дає можливість отримання картини температурних полів ріжучої пластини збірного різця [80, 21].

Розподіл температурних полів було побудовано для двох випадків:

1. Оброблюваний матеріал - сталь 45, ріжуча пластина T15K6, опорна пластина з мінеральної кераміки, яка має низьку теплопровідність (рис. 1.2).

2. Оброблюваний матеріал - сталь 45, ріжуча пластина T15K6, опорна пластина з міді, що володіє в порівнянні з керамікою надзвичайно високою теплопровідністю (рис. 1.3).

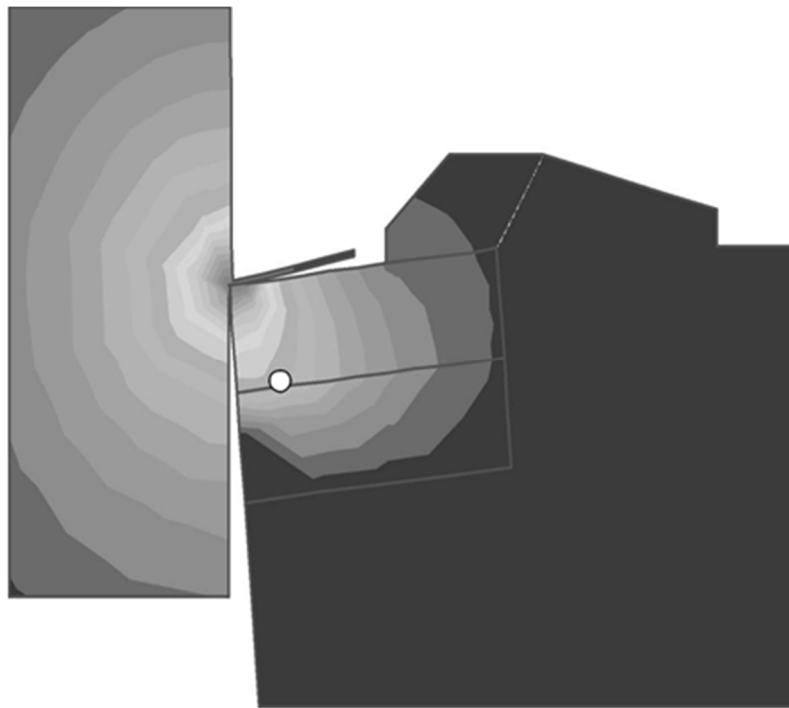


Рисунок 1.2 - Температурні поля (опорна пластина - кераміка ; сталь 45 - T15K6 - кераміка;  $t = 1,5$  мм,  $s = 0,3$  мм / об,  $v = 180$  м / хв

З рис. 1.2 видно, що температура на опорній керамічній пластині приблизно в 2,5 рази вище в порівнянні з випадком, коли матеріалом опорної пластини є високотеплопровідна мідь (рис. 1.3). Це призводить до значного збільшення

модуля позитивного температурного градієнта в другому випадку.

За даними В.Н. Кащеєва [45] при терті зразків на основі нікелю та бронзи було встановлено, що температурний градієнт, спрямований до поверхні контакту, зменшує знос.

Вплив температурного градієнта на інтенсивність зношування інструментальних матеріалів було встановлено також А.В.Чічінадзе і А.А. Рижкіним, який виразив інтенсивність зношування інструментального матеріалу  $J_n$  і потік ентропії через параметри теплового поля.

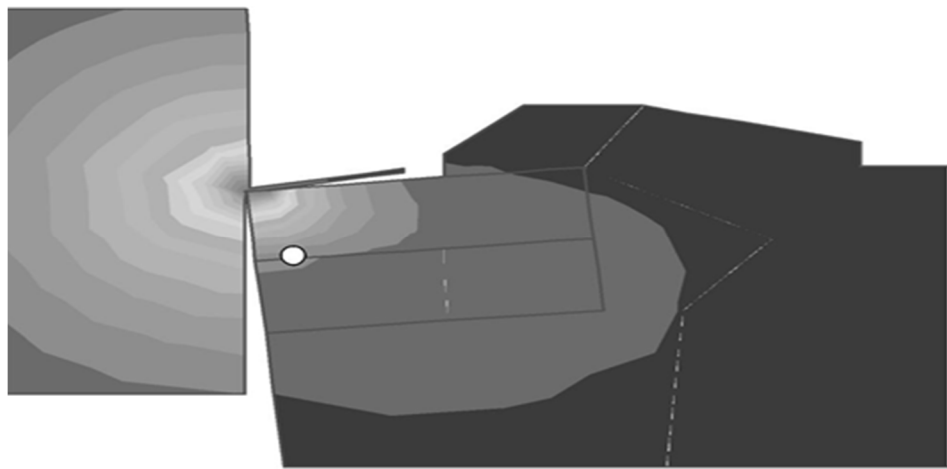


Рисунок 1.3 - Температурні поля (опорна пластина-мідь) ; сталь 45 - Т15К6 - мідь;  $t = 1,5$  мм,  $s = 0,3$  мм / об,  $v = 180$  м / хв

З висновків А.А. Рижкіна слід, що при постійній температурі контакту інтенсивність зношування  $J_n$  інструментального матеріалу, що знаходиться в стаціонарному тепловому режимі, залежить від локалізації теплового поля до поверхні контакту, тобто від градієнта температури, і зменшується при збільшенні модуля градієнта температури. Цей висновок узгоджується з результатами досліджень В.І. Колесникова.

На тепловий режим збірних різців сильно впливає термічний опір контакту, залежний від шорсткості поверхонь тіл, притиснутих один до одного, їх матеріалів і тиску на контактній площадці. Отже, при проходженні теплового потоку через дотичні поверхні двох тіл температури на межі поділу в будь-який момент часу будуть рівні тільки в тому випадку, якщо зіткнення відбувається у

всіх точках поверхні, тобто якщо контакт є ідеальним. В результаті цього направлення теплового потоку при підході до зони контакту не зазнає скільки-небудь помітних відхилень від прямих. Оскільки мова йде про роз'ємні з'єднання, то слід зауважити, що вони завжди мають дискретний характер механічного дотику поверхонь. В результаті теплообмін в контактній зоні супроводжується рівністю температур лише в окремих точках або в групах точок дотику номінальної поверхні.

У зв'язку з тим, що теплопровідність контактуючих матеріалів зазвичай у багато разів вище теплопровідності міжконтактного середовища, що заповнює простір між виступами нерівностей (рис. 1.4), основна частина теплового потоку спрямовується до плям фактичного контакту, що викликає стягання ліній теплового потоку до цих плям.



Рисунок 1.4 - Контакт ріжучої пластини з опорною пластиною в збірному різці

На підставі сказаного можна зробити висновок, що підвищення ефективності обробки збірними різцями можливо завдяки поліпшенню контактної теплопровідності стиків «ріжуча пластина - опорна пластина». Це може бути досягнуто:

- напиленням або гальванічним покриттям контактних поверхонь високотеплопровідними і високопластичними металами [18, 21];
- застосування високотеплопровідних прокладок з м'яких металів (олово, свинець, кадмій тощо);
- введення в зону контакту рідких металів або сплавів [98];
- використання високотеплопровідних інструментальних матеріалів [9, 18,



22, 92, 98].

Одним із шляхів вирішення цього завдання може бути розробка нових конструкцій ЗМП з високотеплопровідними вставками, застосування яких забезпечує більш високу еквівалентну теплопровідність ріжучих пластин. Раніше ідея використання високотеплопровідних матеріалів була описана А.А.Аваковим і В.М.Поповим.[98]

А.А.Аваков наводить схему різання з прокладками, зробленими з міді і міканіти (рис. 1.5).

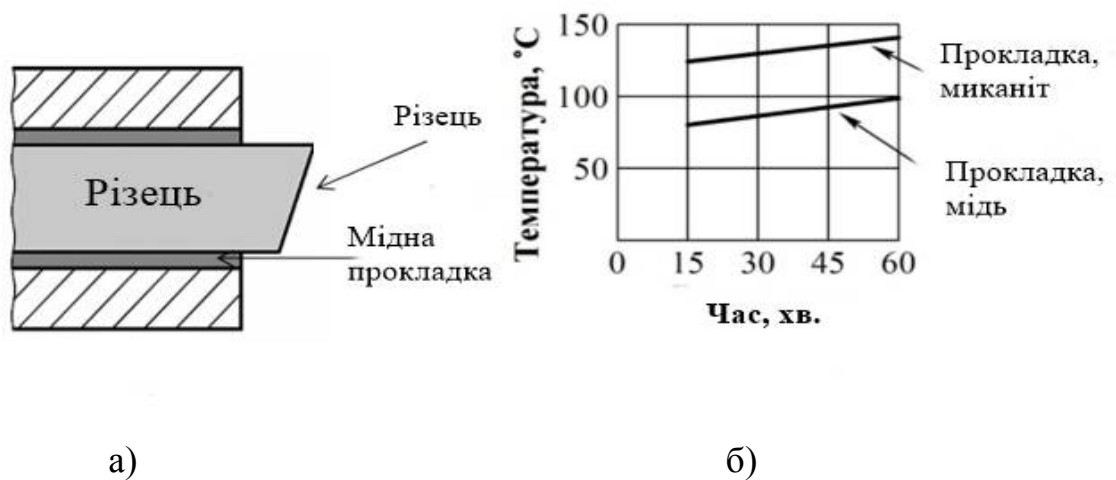


Рисунок 1.5 - а) Різець з футляром з матеріалів з різною теплопровідністю; б) вплив матеріалу прокладки на температуру державки [2]

Вимірювання температури методом штучної термопари, вміщеній в тілі різця, показали, що з-за високої теплопровідності мідного футляра можна (в порівнянні з теплозахисною оболонкою - міканіт) знизити температуру в державці на деякій відстані від зони різання приблизно на 40...50 °С. Автор робить висновок про те, що "прикладом різця з футляром, що проводить тепло, може служити ріжуча пластина, до самих країв втоплена в хорошому провіднику тепла". Надалі ця ідея була реалізована в конструкціях збірних ЗМП з мідними вставками [77, 93] а також в твердосплавних пластинах підвищеної теплопровідності, що досягається дифузійним насиченням міддю [90].

На підставі результатів виконаного комп'ютерного моделювання в програмі

ANSYS був зроблений висновок про те, що зміна умов теплообміну визначає рівень температурних градієнтів в ріжучому клині [32, 39, 92].

Виключити ж повністю вплив термічного опору можна, тільки досягнувши ідеального контакту між пластинами. Для цього необхідно контакт між опорною і ріжучою пластинами заповнити будь-якою легкоплавкою речовиною, температура плавлення якої буде нижче температури пов'язаних ріжучої і опорної пластин в процесі різання, а теплопровідність значно вище теплопровідності повітря [136].

#### 1.4 Способи впливу на теплофізичні процеси

Залежно від конкретних обставин метою регулювання термічного режиму процесу різання може бути: загальна зміна (зниження, підвищення) температури в зоні обробки і зміна температури окремих ділянок заготовки та інструменту, яке можна назвати спрямованою зміною температури (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 - Способи управління тепловими процесами

А.Н. Резніков [110] виділив наступні загальні способи зниження температури різання:

- 1) регулювання потужності теплоутворення;

- 2) регулювання тривалості контакту інструменту із заготовкою;
- 3) застосування ротаційних методів обробки;
- 4) застосування змащувально-охолоджуючих технологічних засобів (ЗОТЗ);
- 5) комбінування різних видів енергії.

Спрямована зміна температури може бути досягнута:

- 1) регулюванням розмірів контактних майданчиків («інструмент-деталь»);
- 2) застосуванням додаткових тепловідвідних крайок і фасок;
- 3) вибором положення і розмірів ріжучої пластини;
- 4) зміною коефіцієнта теплопровідності інструментального матеріалу;
- 5) застосуванням автономних систем охолодження.

Деякі з названих способів зниження температури отримали розвиток останнім часом. Так, наприклад, методологічні принципи створення нових збірних конструкцій пластин докладно розроблені С.А. Васіним і С.Я. Хлудовим [17]. Пластина включає в себе корпус з твердого сплаву (мінералокераміки) або іншого інструментального матеріалу, вставку, отриману спіканням із залізного порошку, а також кульки. Дана конструкція дозволяє замінити тертя ковзання, що виникає на передній поверхні ріжучого клина зі стружкою, тертям кочення. Таке рішення дозволяє по-новому розглянути принципи проектування змінних багатогранних пластин. Основна увага звертається на процеси стружкоутворення і вплив на них складної передньої поверхні сучасних ЗМП, а, отже, і на зміну температури різання [17, 50].

Потужність теплоутворення можна також істотно знизити шляхом скорочення довжини контакту робочих поверхонь інструменту з оброблюваним матеріалом. На чистових операціях передня поверхня в зв'язку зі значними але меншими перетинами зрізу практично не зношується, але при високих швидкостях різання і малих подачах спостерігається інтенсивний знос по задній поверхні. У таких випадках доцільно застосування різців з укороченою задньою поверхнею [81].

Відома висока ефективність різців з укороченою задньою поверхнею, яка особливо показова при чистовій обробці високоміцних чавунів і титанових

сплавів [70, 81, 83].

Очевидно, що скорочення довжини контакту по задній поверхні за рахунок її укорочення знижує роботу тертя на майданчику контакту між виробом і різцем. Заповнення підточеної частини задньої поверхні різця високотепло-провідним матеріалом може сприяти більш сприятливому розподілу теплових потоків в ріжучій частини інструменту [73, 76, 77, 78]. Існує можливість регулювання контакту і по передній поверхні різця [18, 103]. Була створена комп'ютерна модель [82] зони різання інструментом, у якого регулюється довжина передньої поверхні таким чином, щоб мінімізувати площу контакту стружки з передньою поверхнею інструменту (рис. 1.7, а). Підсумкові температурні поля в ріжучому клині з регулярним мікрорельєфом, розраховані методом кінцевих різниць.

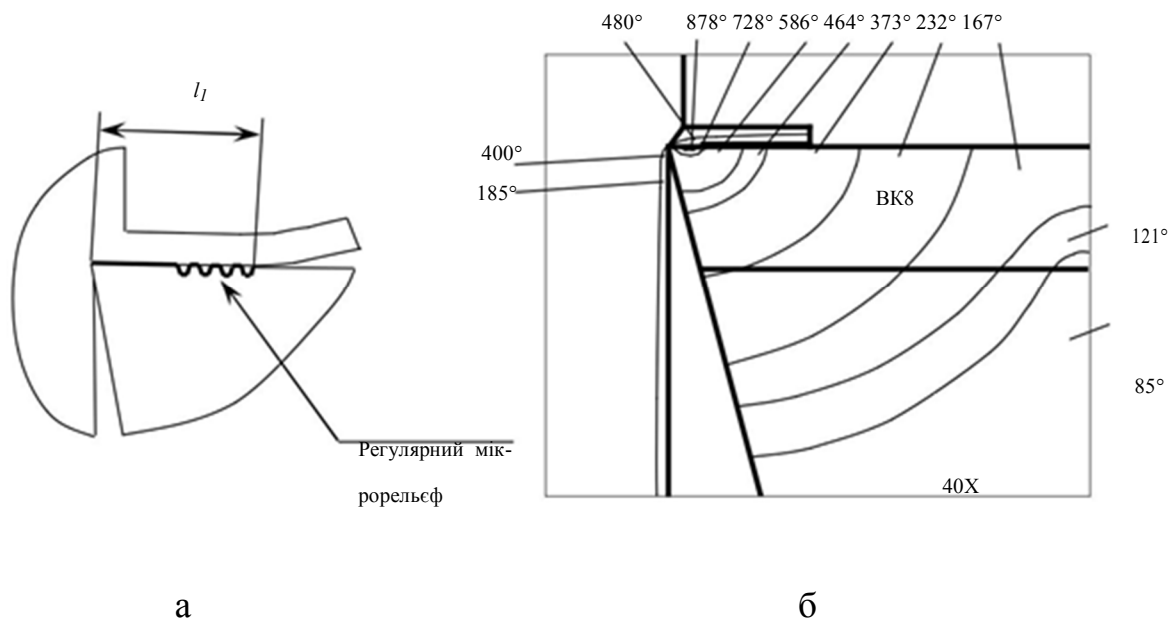


Рисунок 1.7 - а) Модель ріжучої пластини з регулярним мікрорельєфом;  
б) температурне поле ріжучої пластини з регулярним мікрорельєфом [82]

Порівняння отриманих результатів показало, що різниця максимальних температур на передній поверхні звичайної пластини і пластини з регулярним мікрорельєфом становить близько 70°C.

Зміна процесу теплоутворення за рахунок регулювання контакту «інструмент - деталь» можливо також не тільки при лезвійній, але і при абразивній обробці.

Так в роботі А.М. Козлова розглядається збірний торцевий абразивний інструмент. При дискретному шліфуванні зберігається безперервний контакт інструменту з деталлю, одночасно реалізуючи принцип переривчастого різання.

### 1.5 Традиційні методи охолодження різців

У процесі різання матеріалів відбуваються три види теплопередачі: теплопровідність, конвекція або теплове випромінювання, кожен з яких може відігравати більшу або меншу роль.

А.Н. Резніков [110] розглядає теплообмін в зоні різання при точінні в вигляді схеми, представленої на рис. 1.8.

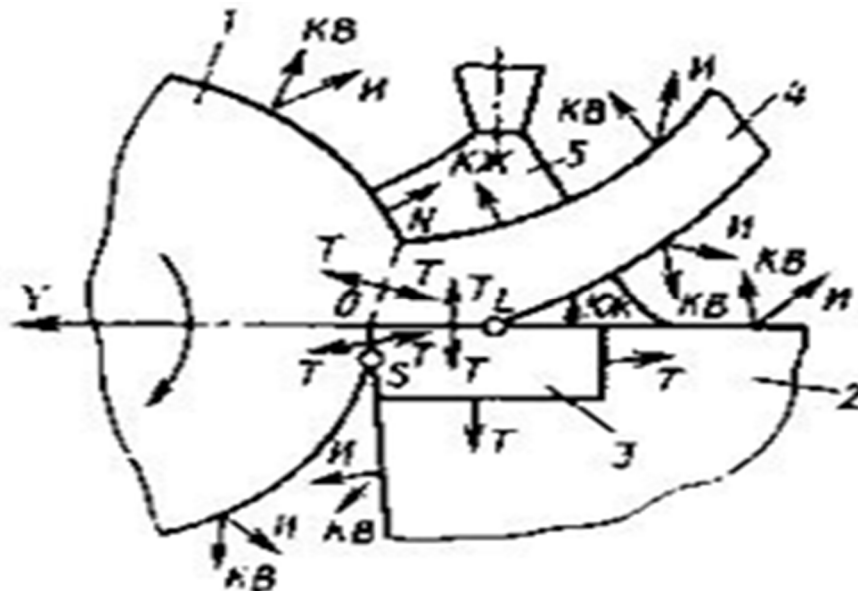


Рисунок 1.8 - Види теплообміну в зоні різання напайним різцем (різання з притрансформаційних змін ЗОТЗ); Т - теплопровідність; Кв - конвективний теплообмін з повітрям; Кж - конвективний теплообмін з рідиною; И - теплообмін випромінюванням; (1 - деталь, 2 - напайний різець; 3 - ріжуча пластина; 4 - стружка; 5 - струмінь ЗОТЗ) [110]

Основною метою охолодження інструментів є зниження температури різання. У зв'язку з цим на практиці застосовуються ЗОТЗ, які можна розбити на дві основні групи. До першої групи відносять водні розчини і емульсії, що мають велику теплоємність і теплопровідність. До другої групи відносять ЗОТЗ, що мають високу олійність: мінеральні мастила, гас, розчини в мастилi або гасi

поверхнево-активних речовин, а також осірненням мастила, так званий сульфофрезол, що містить в якості активованої добавки сірку [54, 11].

ЗОТЗ сприятливо впливають на процес різання матеріалів, виробу виконуючи мастильну, диспергуючу, миючу, охолоджуючу дії, значно зменшують знос ріжучого інструменту, підвищують якість обробленої поверхні і знижують витрати енергії, а також перешкоджають утворенню наросту у ріжучої кромки інструменту, сприяють видаленню стружки та абразивних частинок із зони різання. Це призводить до підвищення стійкості інструменту, точності обробки, зниження шорсткості і зменшення несприятливих залишкових напружень в поверхневому шарі.

Однак, при лезвійній обробці ефект дії ЗОТЗ особливо проявляється при швидкості різання до 150 м/хв. Зі збільшенням швидкості різання і товщини зрізу позитивний ефект від дії ЗОТЗ зменшується [18], що також підтверджується в роботах В.М. Подураєва [95, 96], (рис. 1.9).

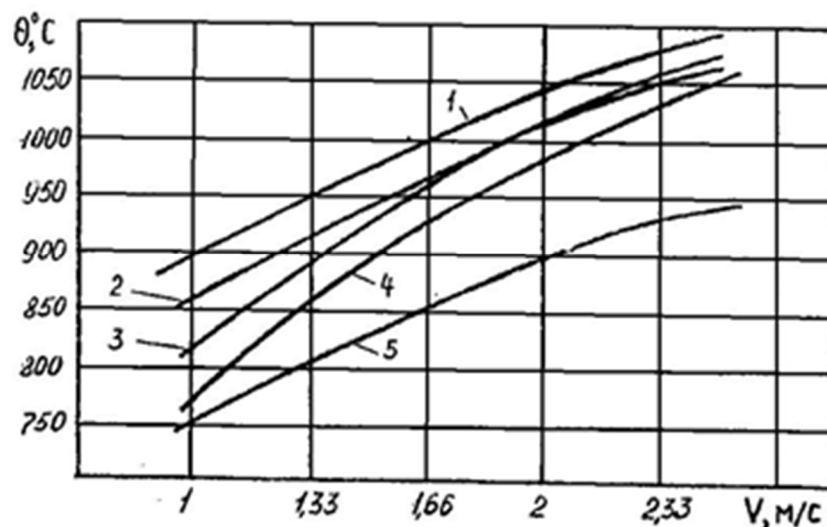


Рисунок 1.9 - Залежність температури різання від швидкості різання (сталь X18H9T-BK8); 1 - без охолодження; 2 - охолодження киснем; 3 - полив сумішшю 8% масляної емульсії з 2% сульфофрезолу; 4 - вуглекислота; 5 - 10% масляна емульсія під тиском 0,1 ... 0,15 Мпа

Найбільш ефективні ЗОТЗ при різанні в'язких, пластичних і сильно зміцнюючих при деформації металів.

При обробці чавуну і інших крихких матеріалів ЗОТЗ майже не застосовують, так як ефект від їх дії незначний.

При різанні важкооброблюваних матеріалів, що мають низьку теплопровідність, на режимах чорнової обробки твердосплавними різцями застосування ЗОТЗ не дає істотного ефекту. У зв'язку з особливостями ряду матеріалів (титанові, магнієві, берилієві сплави тощо), пов'язаними з їх високою схильністю поглинати гази в процесі обробки застосування ЗОТЗ взагалі не рекомендується через імовірність зниження фізико-механічних властивостей оброблюваних деталей [134].

Також неефективне застосування ЗОТЗ при переривчастому різанні. При прорізуванні канавок і операціях відрізки нагрів твердосплавного інструменту настільки інтенсивний, що ЗОТЗ практично випаровуються ще до того моменту, коли вони можуть досягти ріжучої кромки. Навіть, підвищивши тиск ЗОТЗ при поливі зверху або наблизивши наконечник розпилувача до передньої поверхні пластини, не вдається принципово поліпшити відведення теплоти із зони різання.

Підведення ЗОТЗ під високим тиском при направленні потоку зверху безпосередньо на передню поверхню інструменту сприяє покращенню відводу теплоти і видалення стружки, але безпосередньо в зону різання ЗОТЗ не проникають (рис. 1.10, а), що може викликати утворення в контактній ювенільних поверхонь і, як наслідок, виникнення захоплювання і прискорення дифузійних процесів. Крім того, збільшення швидкості різання при використанні ЗОТЗ призводить до появи змінних термічних напружень, які викликають виникнення мікротріщин, подальше сколювання і руйнування інструменту.

Проблема проникнення ЗОТЗ в зону різання була вирішена шляхом розробки комплексної конструкції: ріжуча пластина - державка - оснащення - верстат, в якій ЗОТЗ подається через канал в самій ріжучій пластині. При цьому ЗОТЗ потрапляє безпосередньо на передню поверхню інструменту поблизу ріжучої кромки і направляється до нижньої поверхні стружки (рис. 1.10, б), що сприяє значному поліпшенню тепловідведення, зменшення інтенсивності зношування робочих поверхонь пластини і сприятливо впливає на форму стружки.

Така система (типу JET-CUT або «Канал-Стружка» далі («КС»)) розроблена фірмою ISCAR (Ізраїль) і апробована ТОВ «ІНАТЕК +» і ВНДІ «ІНСТРУМЕНТ» стосовно до змінних ріжучих твердосплавних відрізних і канавочних пластин [72].

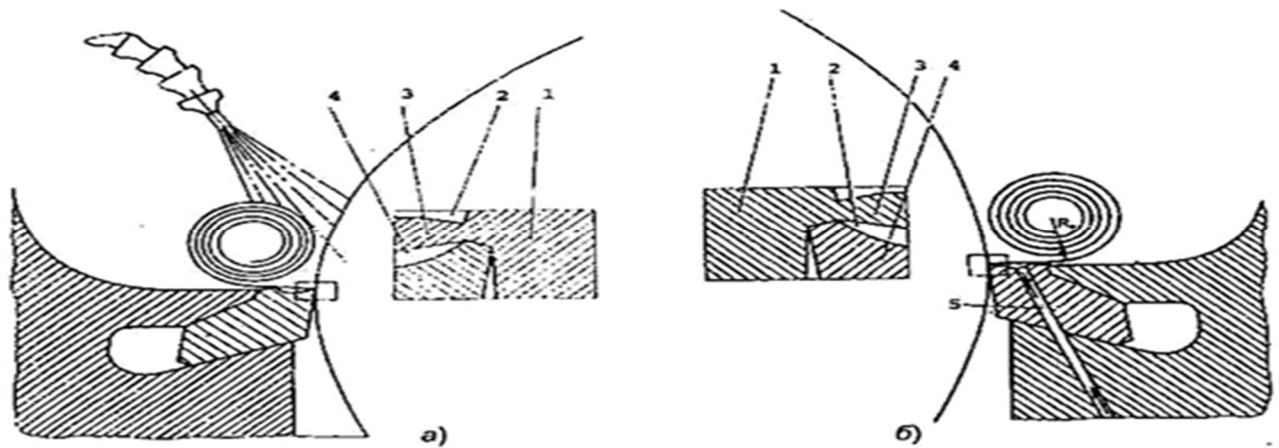


Рисунок 1.10 - Схема підведення ЗОТЗ при відрізанні і прорізанні канавок: а) при поливі зверху; б) способом «канал-стружка» (КС); 1 - оброблювана заготовка; 2 - область проникнення ЗОТЗ; 3 – стружка, що сходить; 4 - ріжуча пластина; 5 - канал для підведення ЗОТЗ

Аналогічне рішення пропонує фірма Sandvik Coromant, яка розробила токарні різці системи CoroTurn HP з внутрішніми каналами з декількома соплами для підведення ЗОТЗ під тиском до 7 МПа безпосередньо в зону різання.[144]

Необхідно також враховувати, що ЗОТЗ сприяє не тільки підвищенню ефективності технологічних процесів механічної обробки, але й створює проблему виникнення професійної патології у робітників, які мають з ними постійний контакт [18, 52, 99]. Трихлоретилен, ортофосфати можуть викликати депресію нервової системи, найсильнішими канцерогенами є нітрид діетаноламінамі, свинцеві мила і хлорований нафталін призводять до дерматитів і алергії [55, 99]. В результаті термодеструкції ЗОТЗ при металообробці концентрація фенолпохідних в робочій зоні прямо пропорційно залежить від температури в зоні різання. Найбільший вплив на температуру різання надає швидкість різання, що, як доведено дослідженнями Т.В.Поповой, призводить до зростання концентрації фенолпохідних [99]. Крім того, використання ЗОТЗ



істотно впливає на собівартість продукції за рахунок застосування додаткового обладнання, пов'язаного зі зберіганням, транспортуванням, очищенням, регенерацією і утилізацією. Так за даними [18, 134] витрати на застосування ЗОТЗ складають 12- 17% від загальних витрат на виробництво (наприклад, за даними 2009 року в США [18] затрати на ЗОТЗ для одного металорізального верстата становлять до 250 доларів в день). Загальні обсяги споживання ЗОТЗ в світовій практиці досягала за даними 2009 року: в США від 230 до 250 млн літрів на рік, в Німеччині - 105-110 млн л/рік, у Франції до 70 млн л/рік. Тому в світовій практиці металообробки виникає питання, пов'язане з відмовою від застосування ЗОТЗ і переходом на «сухе» різання з використанням нетрадиційних способів охолодження збірних інструментів, широко застосовуваних на багатоопераційних верстатах з ЧПУ [18,46,134,145].

## **1.6 Нетрадиційні методи охолодження збірних різців**

### **1.6.1 Технологія "сухого" електростатичного охолодження (СЕО) ріжучого інструменту і охолодження іонізованими розпорошеними рідинами**

Технологія "сухого" електростатичного охолодження (СЕО) ріжучого інструменту заснована на подачі в зону різання звичайного повітря, обробленого спеціальним типом малопотужного електричного розряду, і дозволяє у багатьох випадках відмовитися від застосування ЗОТЗ.

Дана технологія реалізована в установках СТРИМЕКО [31] і має ряд переваг:

- легко стикується з діючими верстатами і автоматичними лініями, а також може бути застосована у новостворених верстатах і лініях;
- продуктивність процесу обробки збільшується в 1,5 - 2 рази;
- забруднення повітря робочої зони зменшується в 1,5 - 2 рази;
- енергоспоживання верстата скорочується на 10-20%;
- відсутня необхідність очищення та миття стружки і оброблених деталей;
- поліпшує експлуатаційні якості оброблених деталей, а також їх здатність до подальшої обробки (захисні покриття, зварювання тощо).

Відзначається також позитивний вплив іонізованих і озонованих ЗОТЗ на

якість обробленої поверхні: зменшення шорсткості і зниження залишкових напружень в поверхневому шарі деталі [18,54].

В роботі [101] розглядаються перспективи застосування розпорошених рідин, частки яких електризуються. При цьому їх фізична і хімічна активність різко збільшується. Електризована рідина забезпечує зниження зносу різців та шорсткості обробленої поверхні. Крім того, заряджені частинки абсорбуються на твердих порошинках, що знаходяться в повітрі, і сприяють їх швидкому осадженню. Таким чином, в виробничих приміщеннях може бути поліпшена санітарно-гігієнічна обстановка.

Застосовувалося також вихрове охолодження, засноване на ефекті Ранка-Хілша (ефект поділу газу або рідини на дві фракції при закручуванні в циліндричній або конічній камері). На периферії утворюється закручений потік з більшою температурою, а в центрі - охолоджений потік, закручений в протилежну сторону. На Мінському тракторному заводі були проведені дослідження по впровадженню спеціально виготовленої трубки для охолодження токарних різців безпосередньо в процесі різання [3]. Ефект охолодження був досягнутий, однак, недоліками цього методу слід вважати сильні шуми, а також спеціальні вимоги до організації робочої зони (полова стружка була здатна завдати травми і пошкодити обладнання).

У світовій практиці металообробної промисловості з переходом на «сухе» різання широкого поширення набула модифікація робочих поверхонь інструменту за рахунок нанесення тонкошарових покриттів типу (Ti, Cr) N, (Ti, Mo) N, (Nb, Zr) N, (Ti, Nb, Cr) N, (Zr, Nb, Cr) N [10, 32]. За допомогою таких покриттів можна управляти властивостями інструментального матеріалу і розробити альтернативну систему різання з компенсацією основних фізико-хімічних властивостей мастильно-охолоджуючих рідин.

Однак, як вважають А.С. Верещака і О.Ю. Хаустова [18,134], це завдання надзвичайно складне і вимагає тривалого і серйозного аналізу фізичних процесів, що протікають при різанні матеріалів.

### **1.6.2 Випарне охолодження. Використання ефекту фазових переходів першого роду в системах зниження температури**

Починаючи з 50-х років минулого століття в машинобудуванні в різних технологічних системах все частіше використовується випарне охолодження, засноване на ефекті поглинання значної кількості тепла за рахунок випаровування води, яка не містить екологічно небезпечних домішок і надходить в зону нагріву через пористе середовище [1,10,11]. Випарне охолодження є ефективним способом зниження температури високотемпературних вузлів машин і механізмів. В цьому випадку теплота, що виділяється на поверхні пористого тіла, поглинається і розсіюється випарним охолоджуючим пристроєм. Відомо, що охолодження випаровуванням більш ефективно, ніж конвективне або плівкове. Питома прихована теплота пароутворення є кількість теплоти, необхідна для конвертації одиниці маси рідини в пар без зміни температури. Кожна рідина має свою теплоємність - здатність об'єкта поглинати енергію при слабкому підвищенні температури і навпаки. Наприклад, при перетворенні 1г води в пар необхідно затратити 2 861 Дж. У зв'язку з цим випарне охолодження широко використовується в металургійних печах (доменних, мартенівських, вагранках). Така система охолодження була розроблена С.М. Андоньєвим у 1972 р. [10].

Широко застосовується також система випарного охолодження електричних машин [11], яка здійснюється за рахунок виконання окремих конструктивних елементів машини з пористих матеріалів, просочених рідким охолоджуючим агентом. В процесі нагрівання деталей електричних машин охолоджуючий агент випаровується і, тим самим, забезпечує короткочасне, інтенсивне і рівномірне охолодження конструктивних елементів машини. Випарне охолодження соплових і робочих турбінних лопаток дозволило підвищити температуру робочого газу з 840<sup>0</sup>С до 1200<sup>0</sup>С і збільшити знімаєму потужність на 10%.

Таким чином деталі з пористого металу можуть використовуватися для локального охолодження механізмів. В основі цього способу охолодження лежать фізичні процеси, засновані на фазових переходах першого роду.

Фазовий перехід першого роду - перехід речовини з одного агрегатного стану

в інший, при якому стрибкоподібно змінюються щільність, внутрішня енергія та інші термодинамічні характеристики, а також виділяється або поглинається певна кількість теплоти (теплота фазового переходу) (рис. 1.11) [6].



Рисунок 1.11 - Залежність температури плавлення твердого тіла від часу

Крім пароутворення прикладом фазового переходу першого роду може служити процес плавлення (перехід речовини з твердого стану в рідке) і зворотний процес - кристалізації. При цьому під час фазового переходу зберігається двофазовий стан (наприклад, рідкий і твердий), але плавно змінюється співвідношення мас кожної фази (рис. 1.11). Ділянка зростання температури від  $0^0$  до  $T_0$  є нагрівання твердого тіла до температури  $T_0$ . Ізотермічну ділянку (пряма лінія) характеризує перехід тіла з твердого стану в рідкий і відповідає одночасному існуванню двох фаз - твердої і рідкої. Це ділянка плавлення, коли тілом поглинається виділена кількість теплоти при постійній температурі. Даний ефект, наприклад, успішно використовується для охолодження елементів радіоелектронної апаратури (РЕА) [6,68].

Крім того, останнім часом закордонні компанії анонсують можливість застосування сучасних матеріалів, що містять капсули з плавкими речовинами, при облицюванні сучасних будівель з метою часткової або повної відмови від повітряного кондиціонування традиційними способами. Подібні «фазово-перехідні» матеріали, розроблені корпорацією BASF (рис. 1.12) і застосовані компанією National Gypsum з Північної Кароліни (США), дозволяють зберігати нормальні кліматичні умови всередині приміщення.[150]

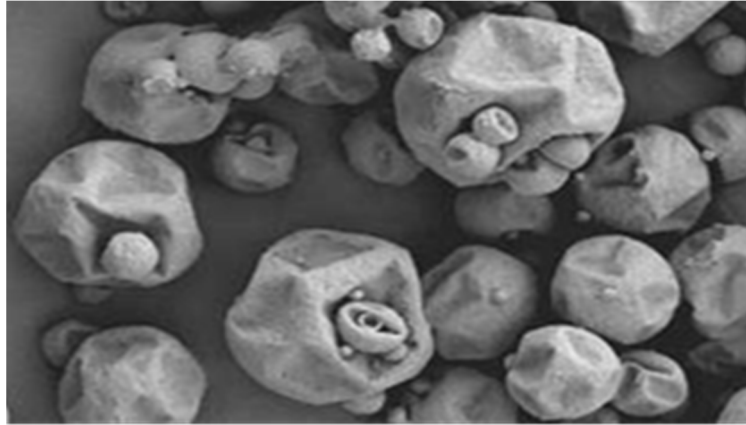


Рисунок 1.12- Акрилові мікрокапсули, заповнені парафіномісткою речовиною, пропоновані корпорацією BASF [150]

При регулюванні тепловідведення при різанні матеріалів можливість застосування фазових переходів першого роду є цілком реальним способом зниження температури різання. Слід зазначити, що кількість теплоти, що поглинається за рахунок використання фазових переходів першого роду, може бути незрівнянно вище кількості теплоти, що видаляється з зони контакту різця із заготовкою і стружкою за рахунок теплопровідності, кондуктивного теплообміну і випромінювання. Використання процесу фазових переходів першого роду успішно може бути реалізовано при передачі тепла за допомогою теплових труб [19, 26, 41, 43, 44, 108, 109, 110, 133].

Тепловими трубами (ТТ) названі випарно-конденсаційні пристрої для передачі тепла, в яких здійснюється перенесення прихованої теплоти пароутворення за рахунок випаровування рідини в зоні підведення тепла і конденсації її парів в зоні відводу, а замкнута циркуляція теплоносія підтримується дією капілярних або гравітаційних сил. В основі дії ТТ лежить замкнутий цикл зміни агрегатного стану рідини, і використовуються два фазових переходи - від рідини до пару і від пара до рідини. Теплові труби широко використовуються при вирішенні завдань тепловідведення в найрізноманітніших галузях промисловості. На рисунку 1.13 наведені деякі області застосування ТТ.



Рисунок 1.13 - Области застосування ТТ

Теплова труба являє собою герметичну тонкостінну посудину з запаяними кінцями з високо теплопровідного матеріалу, наприклад, з міді або алюмінію (рис. 1.14). У ній створено вакуум і знаходиться невелика кількість легкокипучого теплоносія (спирт, вода, лужні метали тощо).

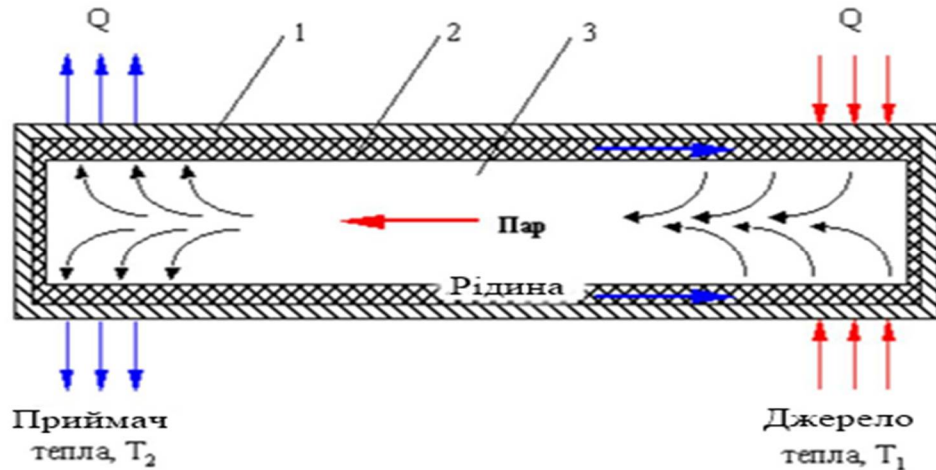


Рисунок 1.14 - Схема роботи теплової труби; 1 - герметичний тонкостінний циліндр; 2 - пористий капілярний шар; 3 - область, заповнена теплоносієм

Внутрішня поверхня судини покрита шаром капілярно-пористого матеріалу - гнітом, який насичений теплоносієм в рідкій фазі. Гнітом можуть служити будь-які пористі матеріали. Якщо один кінець ТТ підключити до джерела тепла з

температурою  $T_1$ , а протилежний до приймача тепла з температурою  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ), то ТТ буде передавати значну кількість тепла  $Q$ . Ділянка ТТ, до якого підводиться тепло є випарником, а ділянка тепла, від якого воно відводиться - конденсатором робочої рідини.

ТТ працює за принципом замкнутого випарного-конденсаційного циклу [26, 43]. Висока теплопровідна здатність ТТ досягається не тільки за рахунок циркуляції теплоносія при високій швидкості пара, а й високої теплоти пароутворення і його конденсації. Таким чином, в ТТ має місце перенесення тепла при двох протилежних один одному фазових перетвореннях теплоносія.

Класична ТТ має головну корисну функцію - передача тепла між двома розділеними в просторі точками. Основними властивостями ТТ є висока теплопровідність, малий температурний перепад по всій довжині труби, рівномірність температурного поля поверхні труби при передачі теплової енергії, а також висока ефективність [26].

Даний ефективний спосіб тепловідведення був використаний низкою авторів [18, 109, 110, 133] в конструкціях напайних різців, оснащених тепловими трубами. Надалі, подібні конструкції забезпечувалися додатковими охолоджуючими пристроями (дроселями, сільфонами, елементами Пельтьє або найпростішими радіаторами), що давало можливість регулювати температуру різання.

Аналізуючи конструкції різців, оснащених охолоджувальними пристроями, слід зазначити ряд недоліків, які обмежують область застосування пропонуваніх автономних систем охолодження.

Складність конструкцій державки для кожного напайного різця різко піднімає їх вартість. Конструкція є монолітною і не передбачає заміну ТТ на ТТ з іншими параметрами.

Проте, останнім часом в зарубіжній літературі наводяться приклади успішного використання ТТ для охолодження при металообробці. Так, наприклад, в роботах [142, 143] запропонований метод охолодження різця за допомогою ТТ, який дозволяє мінімізувати екологічну шкоду, що завдається застосуванням ЗОТЗ. Було встановлено зниження температури в контактній зоні різання в межах

15-20% при обробці матеріалів, близьких по оброблюваності до вітчизняної сталі 45, що дозволило говорити про можливість підвищення зносостійкості різального інструменту.

Крім того, можливість застосування ТТ була показана під час свердління. Фахівці Cincinnati Lamb оснастили високошвидкісне стандартне спіральне свердло тепловою трубою, що дозволило підвищити стійкість інструменту до 60% в порівнянні зі звичайним свердлом при сухому свердлуванні (рис. 1.15) [143].

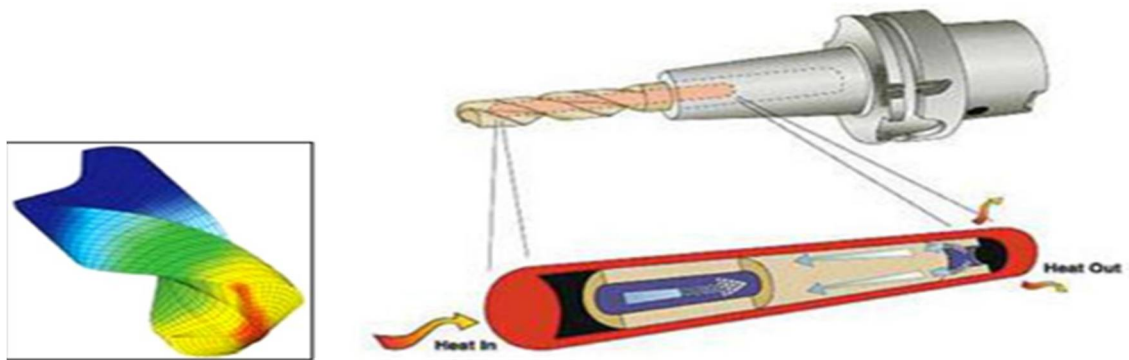


Рисунок 1.15 - Технологія застосування теплових труб при «сухому свердлуванні»

### 1.7 Мета та завдання дослідження

Мета дисертаційної роботи - підвищення зносостійкості збірних різців при чистовій обробці важкооброблюваних матеріалів при сухому різанні за рахунок використання екологічно безпечних систем, заснованих на ефекті випарного охолодження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати і розробити нові способи охолодження збірних ріжучих інструментів при сухому різанні.

2. Провести дослідження ефективності та доцільності застосування випарного охолодження відкритого типу, а також випарного охолодження закритого типу за допомогою теплових труб (ТТ) для збірних ріжучих інструментів на режимах чистового точіння.



3. На підставі теоретичного аналізу розробити принципову схему комплексної системи охолодження (КСО), що включає в себе робочу речовину, що плавиться, і знаходиться в стані фазового переходу першого роду протягом виконуваної технологічної операції.

4. Визначити умови працездатності пропонованої КСО.

5. Розробити конструкцію збірного різця з використанням КСО і визначити ефективність впливу КСО на технологічні параметри (період стійкості, розмірну стійкість і шорсткість поверхні).

6. Виконати дослідну перевірку ефективності різців нової конструкції, обґрунтувати область застосування і доцільність впровадження їх у виробництво.

## 2 ВИПАРНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ВІДКРИТОГО ТИПУ

### 2.1 Про можливості охолодження зони різання за допомогою випаровування рідини

Останнім часом в різних галузях техніки використовують принцип випарного охолодження деталей, що працюють в умовах високотемпературних навантажень (турбінні лопатки, частини літальних апаратів, деталі березнінівський печей). Тим часом, при обробці матеріалів різанням цей метод до сих пір не отримав широкого розповсюдження.

В роботі [18] відзначено, що «охолоджуючу дію МОТС стримується тим, що найбільш нагріті ділянки контакту інструменту зі стружкою і деталлю закриті від безпосереднього попадання рідини». При відомому методі тонкорозпилу охолодження МОТС в дуже невеликій кількості потрапляє в струмінь стисненого повітря і дробиться нею на найдрібніші частинки. Рухаючись з більшої швидкістю, краплі рідини стикаються в зоні різання з нагрітими і поверхнями, що труться, охолоджують і змащують їх [96, 101]. Досвід застосований-ня цього методу охолодження показав, що стійкість різального інструменту підвищується в кілька разів.

Однак основним стримуючим фактором широкого застосування методу тонкорозпилу охолодження є шкідливий техногенний вплив на навколишнє середовище, проникнення в дихальні шляхи канцерогенних продуктів термоокислительной деструкції.

У разі застосування випарного охолодження основна ідея укладається в тому, що рідина, що подається в зону різання, не проникає безпосередньо в контактні високотемпературні зони нагріву і не виконує функцію ефективного тепловідведення традиційними способами - теплопередачею і конвекцією. Вона випаровується, відбувається ендотермічний процес, при якому поглинається теплота фазового переходу - теплота випаровування, що витрачається на подолання сил зчеплення молекул в рідкій фазі. Іншими словами, молекули, володіють енергією, достатньою для подолання тяжіння сусідніх молекул,

залишають межі речовини (рідини). При цьому випаровується рідина витрачає частину своєї енергії, що призводить до ефективного теплоотводу. Важливішим фактором, що впливає на процес випаровування, є площа поверхонсті випаровується рідини. У зв'язку з цим було розглянуто можливість через трансформаційних змін стандартних конструкцій державок різців, а також самих СМП з при-трансформаційних змін пористих матеріалів, що дозволяють забезпечити як транспортування випаровується рідини якомога ближче до високотемпературної контактній зоні різця, так і збільшити ефективну площу поверхні випаровується рідини.

До групи пористих матеріалів відносяться, так звані, «потіючі» матеріали [100]. Це можуть бути:

- бронзові фільтри, що виготовляються з порошків, отриманих шляхом розпилення рідкого металу;
- пористі матеріали, що виготовляються з порошків електролітичного і карбонільного нікелю методом пресування і наступного спікання;
- фільтри, виготовлені з порошків нержавіючих сталей X17H2, X18H9, X30

При виборі холодоагенту для випарних систем охолодження при різанні важкооброблюваних матеріалів слід враховувати вартість, екологічну безпеку і температуру пароутворення. Цим вимогам повністю відповідає вода [1]. Таким чином, процес охолодження ґрунтується на еф-фект випаровування води, яка не містить екологічно небезпечних домішок і поступаючі в зону пароутворення через пористе середовище.

Очевидно, що за інших рівних умов процес випарного охолодження слід організувати так, щоб використовувати під ділянку парообразовання якомога більшу частину пористої поверхні. Однак, збільшення розмірів внутрішньої пористої вставки призводить до зниження міцності твердо Сплавний ріжучої пластини, що обмежує застосування методу лише областю тонкого чистового точіння.

Спікання пористих деталей здійснювалося з порошків, забезпечующих пористість 50-75% і проводилося в муфельній печі в азотної середовищі при

температурі 600 °С.

Метод випарного охолодження був успішно реалізований в збірних конструкції різців. Були розглянуті два варіанти: пластини, що складаються з твёрдосплавного корпусу з пористою вставкою (рис. 2.1), поміщені на пористу підкладку і пористий палець (матеріал бронза) і стандартні різці, оснащені стандартними пластинами [29].

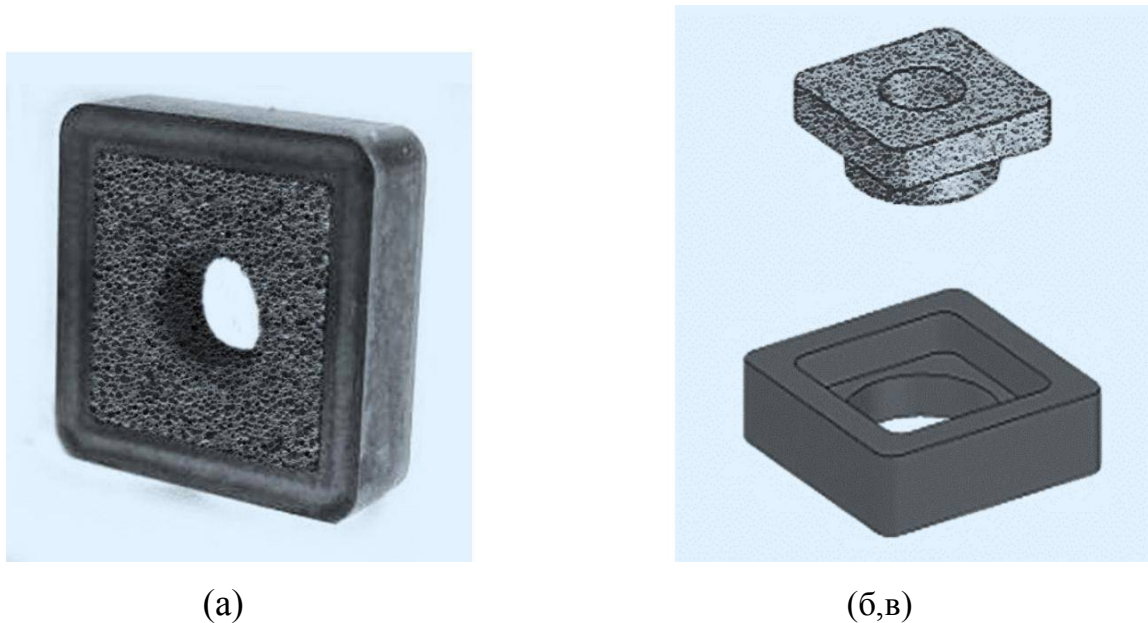


Рисунок 2.1 - Збірна змінна багатогранна пластина (а), що складається з пористої вставки (б) і твёрдосплавного корпусу (в)

## 2.2 Розрахунок кількості води, що витрачається при випарному охолодженні відкритого типу

Одним з показників оцінки практичної ефективності охолодження випаровуванням може служити величина витрати споживаної води.

Головна складова сили різання  $P_z$ , Н дорівнює

$$P_z = 10 C_p t^x S^y V^n \quad (2.1)$$

де  $t$ -глибина різання, мм;  $S$  подача, мм / об;  $V$ - швидкість різання, м / хв.

Необхідний коефіцієнт  $C_p$  і показники ступенів приймаються відповідно до [111]

Ефективна потужність, що витрачається на процес різання  $N_e$ , кВт

$$N_B = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} \quad (2.2)$$

Товщина шару, що зрізається  $a$ , мм, де  $\varphi$  - головний кут в плані

$$a = S \sin \varphi. \quad (2.3)$$

Частка тепла  $\delta$ , що надходить в ріжучий клин [10],

$$\delta = \left( \frac{4 \cdot 10^{-4}}{\frac{V \cdot a}{60}} \right) \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda} \quad \dots\dots \quad (2.4)$$

де  $\lambda_p$  - коефіцієнт теплопровідності інструментального матеріалу,  $Вт/м \cdot ^\circ C$ ;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу,  $Вт/м \cdot ^\circ C$

Кількість теплоти  $Q_p$ , Вт, що надходить в різець в одиницю часу:

$$Q_p = N_e \cdot \delta. \quad (2.5)$$

Результати розрахунків для декількох важкооброблюваних матеріалів зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Кількість теплоти, що надходить в різець в одиницю часу при обробці різних матеріалів (ВК6;  $t = 1$  мм;  $s = 0.2$  мм / об;  $v = 100$  м / хв).

матеріал	$\lambda$ , Вт / м $\cdot$ $^\circ C$	$N_e$ , кВт	$\delta$	$Q_p$ , Вт
20X3МВФ	38,5	0.918	0.033	30
20X13	26	0.890	0.05	44,5
12X18Н10Т	22	0.833	0.059	49
ВТ3-1	12	0.648	0.107	69

Як показують отримані результати (табл. 1.2), кількість теплоти, що надходить в ріжучий клин в одиницю часу, істотно залежить від теплопровідності оброблюваного матеріалу і може відрізнятися для ряду матеріалів в кілька разів. Тому інтенсивність зношування ріжучого інструменту вище для низкотеплопроводного матеріалів і в цих випадках можна говорити про ефективне застосування випарного охолодження. Очевидно, що діSSIPація виділяється при різанні теплової енергії відбувається в дві стадії: спочатку вода нагрівається до температури кипіння, потім випаровується в процесі кипіння.

Відбирається від різця теплота  $Q$  (Дж):

$$Q = m (c\Delta T + r), \quad (2.6)$$

де  $c$  – питома теплоємність води, Дж/(кг·К);

$r$  – питома теплота парообформування Дж/кг;

$m$  - маса води, кг;

$\Delta T$  - різниця температур, °C.

При відомому часу обробки однієї деталі  $\tau$  і відомій кількості теплоти  $Q_p$ , що виділяється на ріжучому клині в одиницю часу:

$$Q = Q_p \tau \quad (2.7)$$

Припускаючи, що вся надходить в різець теплота буде витрачатися на нагрівання води і пароутворення і прирівнюючи праві частини рівнянь (1.6) і (1.7), визначимо необхідну кількість води, що витрачається на обробку однієї деталі:

$$m = Q_p / \tau (c T + r). \quad (2.8)$$

Скориставшись виразом (2.7) і результатами, наведеними в роботі, визначимо кількість теплоти  $Q_p$ , Яке надходить в ріжучий клин (таблиця 2.2).

Як приклад, що характеризує витрата води при випарник-ном охолодженні відкритого типу, наведені результати розрахунків при обробці деталі типу «вал» відповідно до вираження (2.8).

Таблиця 2.2 - Кількість теплоти, що надходить в ріжучий клин при обробці (BT3-1 - BK6;  $t = 4$  мм,  $s = 0,6$  мм / об;  $\lambda_p = 54,4$  Вт / м · °С;  $\lambda = 12$  Вт / м · °С)

$V, \text{ м / хв}$	$\delta, \%$	$Q_p, \text{ Вт}$
25	12,4	183
50	8,8	241
75	7,2	284
100	6,2	318
125	5,5	348
150	5,1	374
175	4,7	398
200	4,4	420

Опрацьований матеріал - титановий сплав BT3-1 ( $\lambda = 12$  Вт / м · °С); ріжучий пластина - BK6 ( $\lambda_p = 54,4$  Вт / м · °С); діаметр заготовки  $D = 100$ мм; довжина заготовки  $L = 400$ мм. Режими різання:  $t = 4$  мм;  $s = 0,6$  мм / об;  $v = 25-200$ м / хв.

Результати розрахунку витрати води при різних швидкостях різання представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Витрата води при випарному охолодженні

$V, \text{ м / хв}$	$\tau, \text{ хв}$	$\delta, \%$	$Q_p, \text{ Вт}$	$m_l, \text{ г / хв}$
25	8,33	12,4	184	3,28
50	4,16	8,8	241	4,32
75	2,77	7,2	284	5,1
100	2,08	6,2	318	5,7
125	1,67	5,5	348	6,24
150	1,39	5,1	374	6,7
175	1,19	4,7	398	7,14
200	1,04	4,4	420	7,57

( $m_1$  - витрата води за 1 хвилину різання)

Зі збільшенням швидкості різання кількість води, необхідне для охолодження, збільшується. Це можна пояснити збільшенням кількості теплоти, що надходить в ріжучий клин, що забезпечує більш інтенсивне пароутворення.

### 2.3 Конструкції збірних різців, оснащених системою випарного охолодження відкритого типу

Були розроблені конструкції різців (рисунках 2.1 ... 2.2), в яких в якості холодоагенту використовується вода з антикорозійною добавкою (кальцінована сода в концентрації 0,5-0,6%). Вона через пористу структуру підкладки і пористого пальця крапельним способом доставляється до СМП з пористої вставкою.



Рисунок 2.1 - Різець з випарним охолодженням відкритого типу

(1 - державка, 2 - пориста підкладка, 3-пористий палець, 4 - СМП з пористої вставкою, 5 притиск-стружколом, 6 - гвинт, 7 – трубка

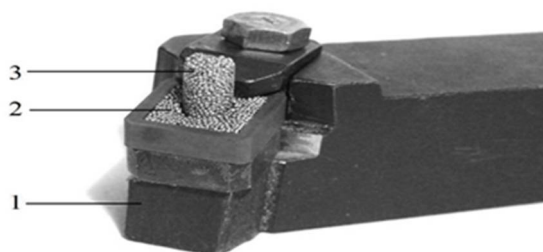


Рисунок 2.2 - Різець з випарним охолодженням відкритого типу (ріжучий пластина для наочності видалена; 1 державка; 2 - пориста під-ложка; 3 - пористий палець)



На рисунку 2.3 представлений різець в зборі, обладнаний опорною пористою підкладкою, пористою вставкою, пористим пальцем і ємністю для води, обсяг якої визначений відповідно до розрахунків (таблиця 2.2)

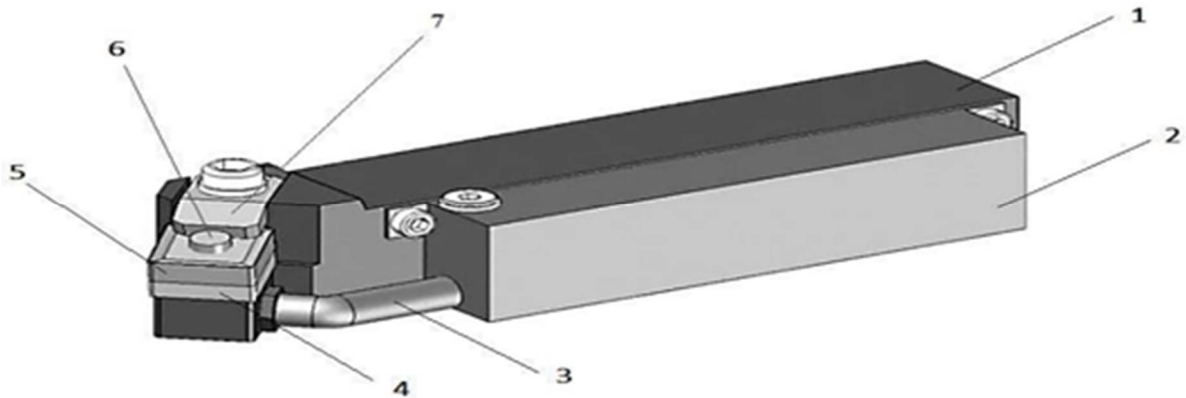


Рисунок 2.3 - Конструкція різця, обладнаного пористої пластиною (1 - державка; 2 - ємність для води; 3 - трубка; 4 - пориста підкладка; 5 ріжуча пластина з пористою вставкою; 6 пористий палець; 7 - притиск-стружколом)

Рідина (вода) заливається в ємність 2, звідки по трубці 3 вона надходить в пористу підкладку 4 і піднімається по порах пористого пальця 5, досягаючи ріжучої пластини з пористою вставкою 6 (рисунок 2.3).

#### 2.4 Експериментальне дослідження ефективності випарного охолодження збірних різців

В роботі використовувалися чотиригранні СМП марки ВК6 з геометрією  $\alpha = 10^{\circ}$ ,  $\alpha_1 = 4^{\circ}$ ,  $\gamma_{\phi} = -10^{\circ}$ ,  $\gamma = 10^{\circ}$ ,  $\phi = \phi_1 = 45^{\circ}$ ,  $\lambda = 0^{\circ}$ ,  $r = 1$  мм, відібрані по еквівалент-ним ТЕДС-характеристикам. Оброблялася сталь 110М13Л і титановий сплав ВТ3-1 на верстаті з ЧПУ 16К20Ф3. Експерименти виконувалися на режимах чистового точіння ( $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 30 \dots 100$  м / хв). Критерій зносу був обраний  $h_3 = 0,4$  мм.

Сталь 110М13Л відноситься до класу високомарганцовістий сталей і має високу зносостійкість [126]. Ця сталь характеризується антикавітаційними

властивостями, а також має високий опір зносу при одночасному впливі високого тиску, температур та динамічних ударних навантажень.

Структура сталі 110M13Л в литому стані включає аустенит і надмірно карбідну (Fe, Mn)  $3C$ . Головним достоїнством сталі є те, що в неї з подружжя зносостійкість при ударному навантаженні з високою пластичністю і в'язкістю, властивим аустеніту. Висока зносостійкість сталі пояснюється тим, що на працюючій поверхні відбувається пластична деформація, ви-викликаючи зміцнення поверхні за рахунок утворення мартенситу і виділяються з аустеніту зміцнюючих фаз.

Головним недоліком сталі 110M13Л є погана оброблюваність різанням, викликана, в тому числі, низьку теплопровідність, що призводить до підвищення температури в зоні контакту (різко знижується відведення тепла в стружку) і, отже, до активізації явищ адгезії і дифузії, інтенсивному схвалення контактних поверхонь і руйнування ріжучої частини інструменту. Крім того, карбідні включення діють на робочі поверхні інструменту подібно абразиву [86,97].

Титанові сплави класу BT3-1 широко використовуються в машинобудуванні завдяки корозійній стійкості, низькій питомій вазі ( $4.5 \text{ г / см}^3$ ) [18,95] і високим міцності [131]. Вони по питомій міцності преодять більшість жароміцних сталей при температурі до  $500^\circ \text{C}$ , що дає велику економію у вазі. Титанові сплави мають низьку теплопровідність, парамагнітні, високим коефіцієнтом тертя, підвищеної активно-стю при нагріванні, а також проявляють низький опір окисленню і мають здатність взаємодіяти з киснем і азотом повітря, яка зростає в міру підвищення температури. Поряд з окисленням має місце дифузія кисню в титан, що призводить з часом до утворення крихкого шару. Крім того, титанові сплави мають малу пластичність, усадка утвореною стружки незначна і часто буває навіть менше одиниці.

Стружка формується довгою і тонкою, довжина контакту між стружкою і різцом значно менше, ніж при різанні сталей - все це призводить до високої

контактної температури, викликаючи підвищений знос інструменту за рахунок обертання нітридів і окисних плівок, що мають абразивний дією. Це обумовлює підвищений знос інструменту і значно ускладнює різання [18,95]. За задній поверхні з'являються глибокі проточіни, по передній - поступове опускання вершини різця. При цьому внаслідок підвищеної хімічної активності титанові сплави вступають у взаємодію з твердими сплавами інструментів, ріжучі кромки яких втрачають свою міцність. Поверхні, що труться оброблюваної деталі і сходять стружки забирають про-дукти взаємодії «інструмент-деталь», в першу чергу, цементуючий кобальт. Мала теплопровідність титанових сплавів призводить до високих температур, що викликає явища захоплення і задирів [18,95,110,113]. Слідством виникнення високих температур відбувається окислення титанової стружки і оброблюваної деталі, що ускладнює подальшу утилізацію стружки [128].

Окислення обробленої поверхні деталі впливає на її технологічну спадковість і має бути враховано при проектуванні технологічних процесів [14].

При проведенні експериментальних досліджень зносостійкості СМП для якісної оцінки топографії зносу в роботі застосовувався цифровий мік-роскопія моделі WEBBERS G50s (рисунок 1.20), який призначений для створення збільшеного зображення об'єктів на екрані монітора. Обробка результатів вимірювань проводилася через додатковий інтерфейс на персональному комп'ютері (ПК).

Технічні характеристики:

- Збільшення мікроскопа - 7x - 90x;
- ZOOM-об'єктив - 0,7x - 4,5x;
- Окуляри ширококутні - WF 10x / 20; WF 20x / 10;
- Джерело світла, що проходить - галогенні лампи 12В, 15Вт;
- Джерело відбитого світла - галогенова лампа з рефлектором 12В, 15Вт;
- Камера - цифрова (8mpx);
- Візуальна насадка - бінокулярна або тринокулярна.

Переваги цифрового мікроскопа:

- можливість використання комп'ютерних методів аналізу;
- збереження проміжних і кінцевих результатів досліджень;
- можливість без додаткових трансформацій мікроскопа виробляти спостереження як візуально, так і на екрані монітора.

Таким чином, можна переглядати і записувати відеозображення розміром 640x480 пікселів і частотою до 30 кадрів в секунду в форматах BMP і JPEG. Три режиму змінних збільшень приладу з можливістю плавної під-будівництва 10x, 100-200x і 400-600x, перекривають весь необхідний для практичних потреб діапазон.



Рисунок 2.4- Мікроскоп WEBBERS G50s

Для кількісної оцінки величини зносу в роботі застосовувався інструментальний мікроскоп БМІ-1Ц. Дана методика використовувалася в усіх проведених в роботі експериментах.

Для визначення ефективності випарного охолодження відкритого типу були проведені експериментальні дослідження. Використовувалася кон-ція різця (рис. 1.19).

Результати вимірювань зносу по задній поверхності в залежності від часу представлені на рисунках 2.5 ... 2.6 (сталь 110М13Л - ВК6).

Обробка даних здійснювалася з використанням методу найменших квадратів (лінійна регресія). Крива 1 відповідає зносу стандартного різця, а крива 2 - зносу різця пропонованої конструкції.

За отриманими результатами побудована залежність "  $TV$  " в логарифмічних координатах (рис. 2.8), на підставі чого можна зробити висновок, що стійкість

різців пропонованої конструкції з випарним охолодженням відкритого типу при обробці сталі 110М13Л на чистових режимах в 2 рази вище в порівнянні з різцями без охолодження.

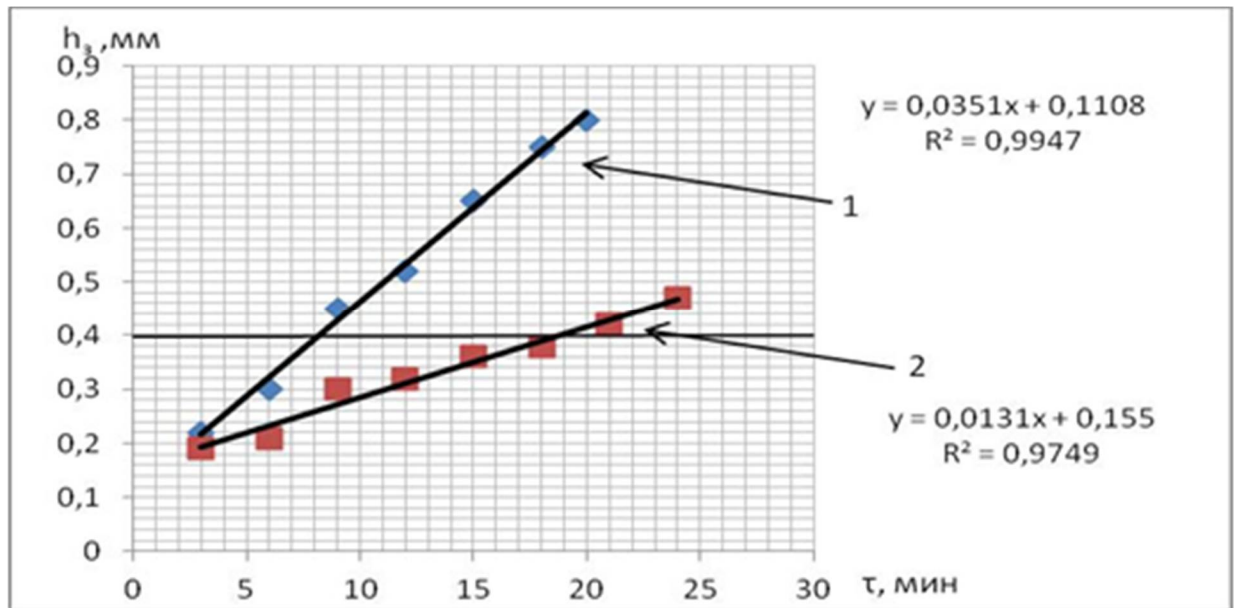


Рисунок 2.5 -залежних зносу пластин по задній поверхні (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 40$  м / х

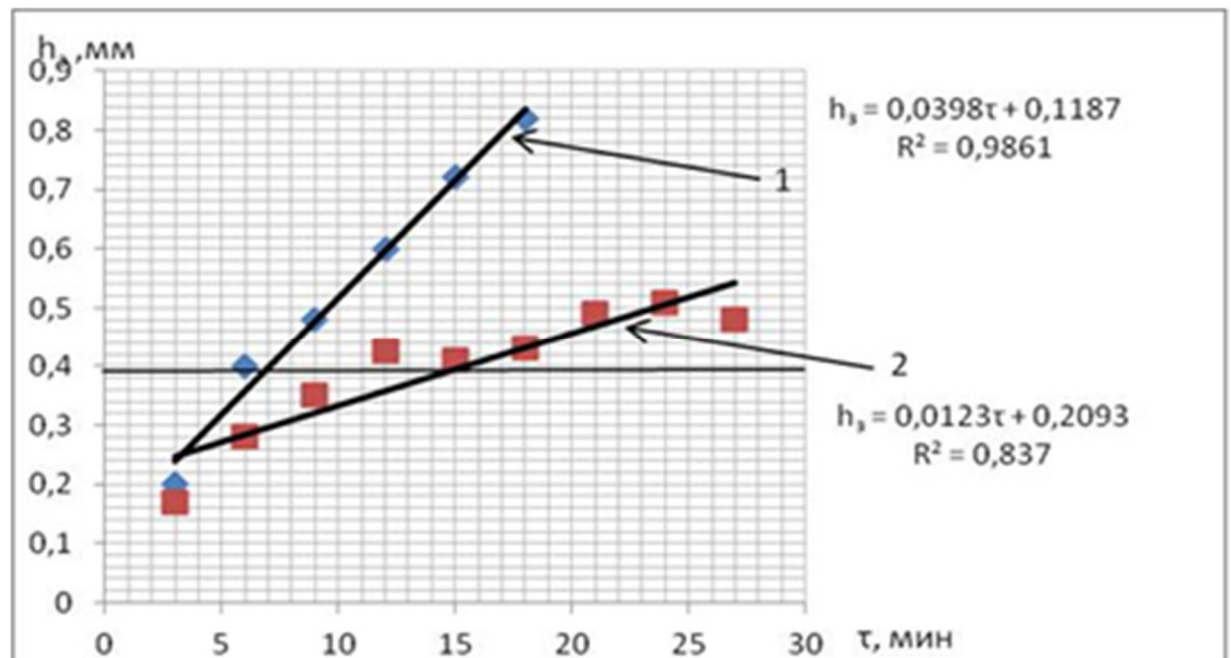


Рисунок 2.6 -Залежність зносу пластин по задній поверхні (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 52$  м / хв

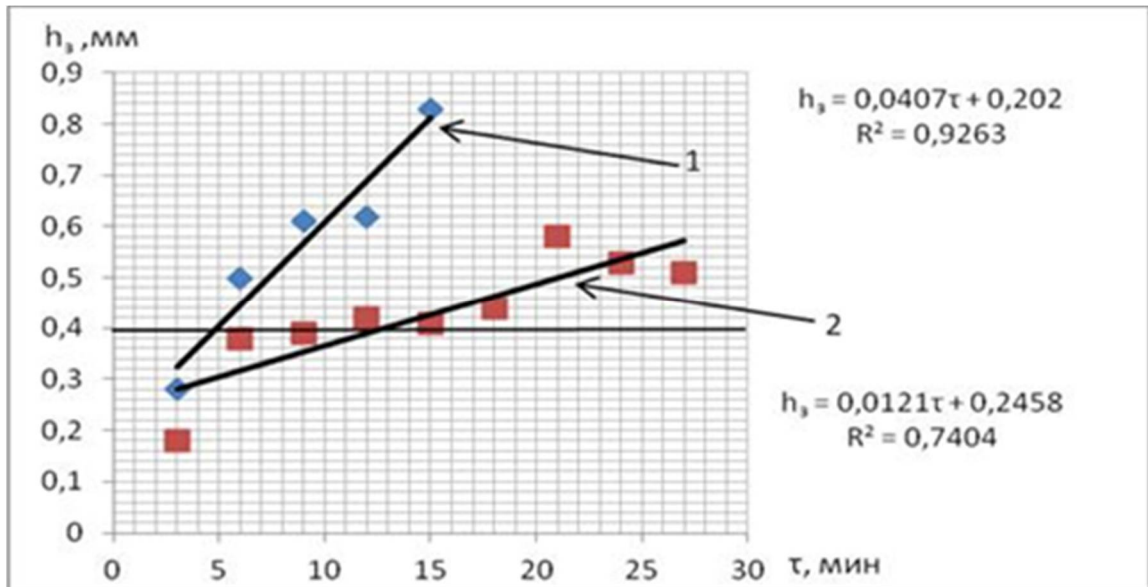


Рисунок 2.7 -Залежність зносу пластин по задній поверхні (110М13Л - ВК6;  
 $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 60$  м / хв

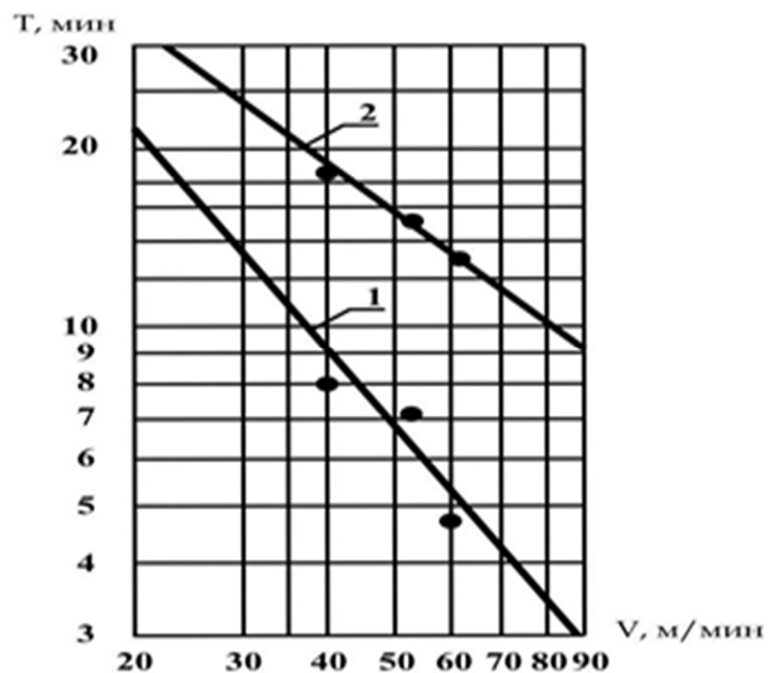


Рисунок 2.8-Залежність періоду стійкості різців від швидкості різання  
 (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об); 1-різець без охолодження; 2-різець з пористим охолодженням

На рисунках 2.9 ... 2.10 наведені фотографії динаміки зносу по задній поверхні твердосплавних пластин при роботі протягом 18 хвилин, виконані за допомогою цифрового мікроскопа Webbers G50S

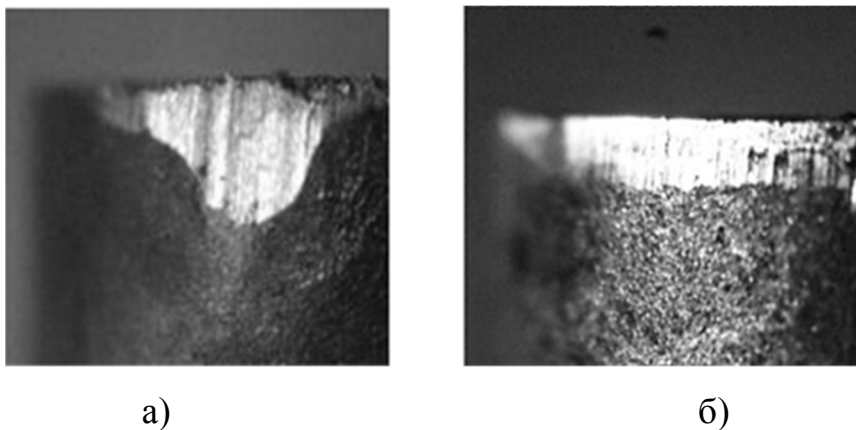


Рисунок 2.9 - Фотографії зносу (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5\text{mm}$ ,  $s = 0,1\text{ мм / об}$ ,  $v = 60\text{м / хв}$ ,  $\tau = 4\text{хв}$ ); а) без охолодження; б) з пористим охолодженням

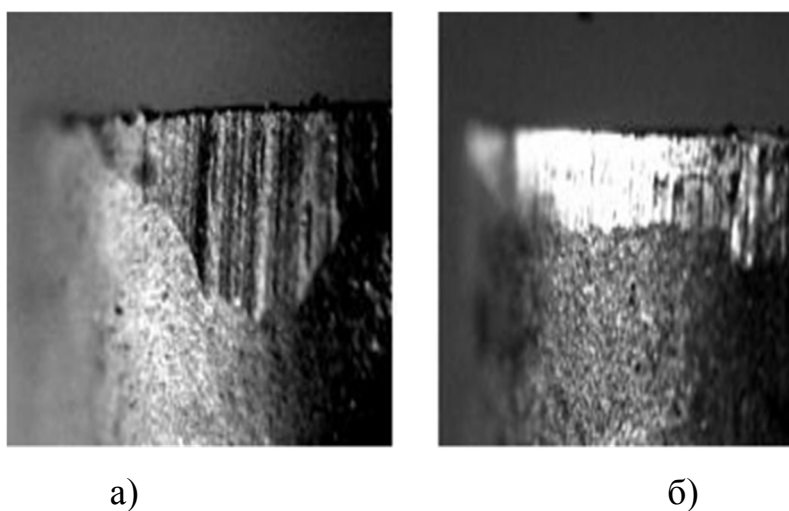


Рисунок 2.10 - Фотографії зносу (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5\text{ мм}$ ,  $s = 0,1\text{ мм / об}$ ,  $v = 60\text{м / хв}$ ,  $\tau = 8\text{ хв}$ ); а) без охолодження б) з пористим охолодженням

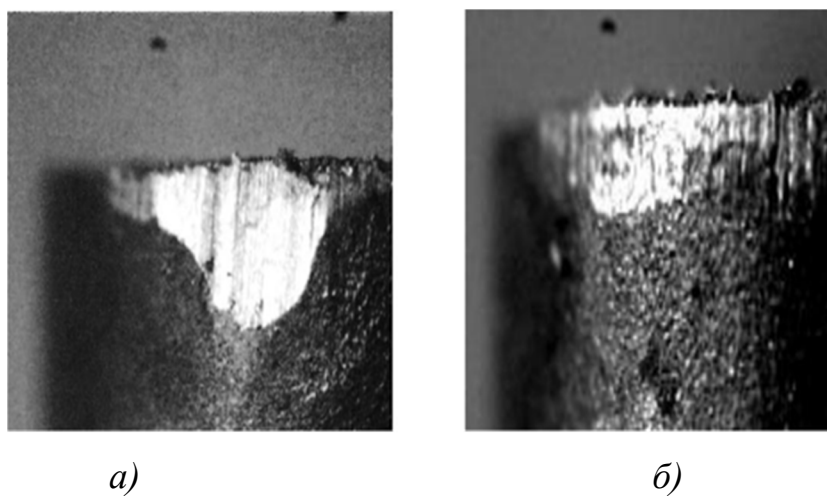
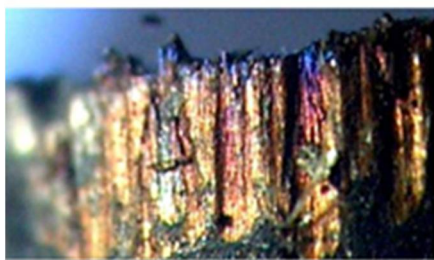


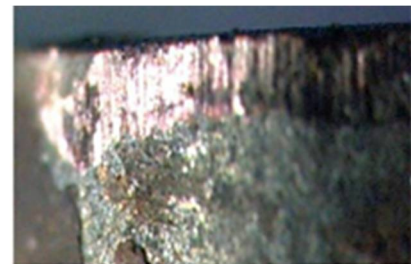
Рисунок 2.11 - Фотографії зносу (110М13Л - ВК6;  $t = 0,5\text{ мм}$ ,  $s = 0,1\text{ мм / об}$ ,  $v = 60\text{м / хв}$ ,  $\tau = 8\text{ хв}$ ); а) без охолодження б) з пористим охолодженням

Аналіз фотографій дає інформацію про характер зносу. Зі збільшенням часу обробки істотно зростає знос звичайної пластини, у якій по задній поверхні з'являються глибокі проточіни.

При обробці титанового сплаву ВТЗ-1 кольорові зображення (рисунок 2.12) зношених задніх поверхонь пластин дозволяють за кольорами побіглості судити про істотне розходження контактних температур. Зі збільшенням температури різання, а отже, і зносу у звичайних різців колір майки зносу змінюється від солом'яного до фіолетового і синього, виникають задираки, глибокі проточіни і схоплювання з оброблюваним матеріалом.



а)



б)

Рисунок 2.12 - Фотографії зносу по задній поверхні різця (ВТЗ-1-ВК6;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 52$  м / хв;  $\tau = 19$  мін); а) без охолодження; б) з пористим охолодженням



### 3 ВИПАРНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗАКРИТОГО ТИПУ

Застосування ТТ при охолодженні ріжучого інструменту розглядалося раніше при використанні напайними різців [108, 109, 110, 133]. Автори пропонують істотно змінити конструкції різців, використовуючи спеціально розраховану і індивідуально виготовлену ТТ, що поміщається в тіло державки. Це ускладнює конструкцію інструменту, ускладнює його застосування на верстатах з ЧПУ і вимагає використання нестандартного типу державки. Тому одним із завдань даної роботи було створення збірних конструкцій інструментів, що дозволяють без особливих додаткових витрат підвищити їх стійкість за допомогою серійно випускаються ТТ, сумісних зі стандартною державкою.

#### 3.1 Визначення геометрії теплової труби

Загальна кількість теплоти в зоні різання  $Q_{заг}$  дорівнює:

$$Q_{заг} = Q_{заг} + Q_{стр} + Q_{п.п} + Q_{з.п.} + Q_{окр} \quad (3.1)$$

де  $Q_{заг}$  – кількість теплоти, яка йде в заготовку;

$Q_{стр}$  - кількість теплоти, яка йде в стружку;

$Q_{п.п.}$  кількість теплоти, яка йде в різець через передню поверхність;

$Q_{з.п.}$  кількість теплоти, яка йде в різець через задню поверхність;

$Q_{окр}$  - кількість теплоти, яка йде в окружне середовище.

У випадку розміщення приймальної зони ТТ (рисунок 3.1) під опорною частиною режучої пластини, урівління теплового балансу прийме вид:

$$Q_{заг} = Q_{загТТ} + Q_{стрТТ} + Q_{п.пТТ} + Q_{з.п.ТТ} + Q_{окрТТ} + Q_{ТТ} \quad (3.2)$$

де  $Q_{ТТ}$  - кількість теплоти, яка уходить в теплову трубу та змінює розподіл теплоти в технологічній системі «інструмент-деталь-стружка».

Так як знос різця при чистової обробки визначається, в основному, зносом по задній поверхні, то в зв'язку з цим виникає питання про температуру на нижній опорній поверхні ріжучої СМП, що знаходиться в контакті з ТТ. Ісходячи з

аналізу теплового балансу (3.2) видно, що завданням зниження кількості теплоти, що йде в інструмент, є збільшення  $Q_{TT}$ .

Так як ефективність роботи теплової труби залежить від її геометричних параметрів, то, виходячи з режимів різання, необхідно визначити геометрію теплової труби.

Скориставшись методикою, викладеної в роботах [60,110,104] (рисунок 3.1), визначимо  $Q_{TT}$  - кількість теплоти, що відбирається тепловою трубою в одиницю часу в залежності від її параметрів.

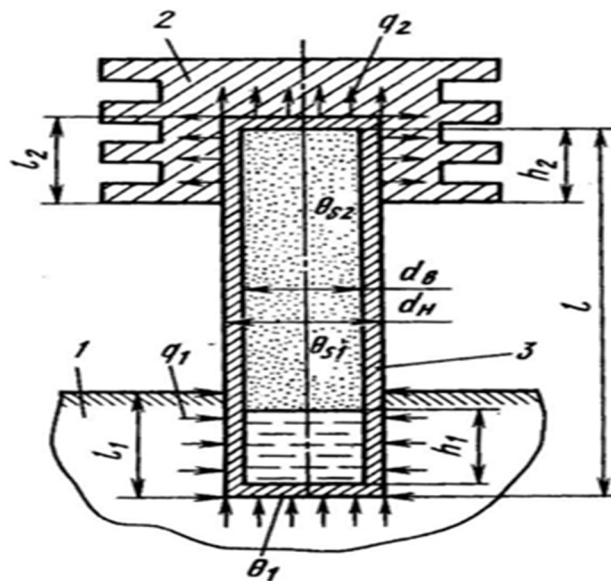


Рисунок 3.1– Схема теплової труби [110]

Середня температура внутрішньої поверхні теплової труби в зоні нагріву –  $\theta_{S1}$ ,  $^{\circ}C$  [43]

$$\theta_{S1} = \left( \frac{B \cdot S_2}{A \cdot S} \right)^{\frac{1}{m_1+1}} \cdot (\theta_H - \theta_{S2})^{\frac{0,75}{m_1+1}} + \theta_H \quad (3,3)$$

де  $\theta_{S2}$  - середня температура внутрішньої поверхні теплової труби в зоні охолодження,  $^{\circ}C$ ;

$\theta_H$  - температура насиченої води,  $^{\circ}C$ .

Критерії  $A$  і  $B$ , враховуючі теплофізичні властивості теплоносія і угол наклону теплової труби відносно горизонту

$$A = \frac{C_1 \cdot \lambda_1^{n_1} \cdot Pr^{P_1}}{\pi} \quad (3,4)$$

$$B = 1,67 \cdot \left( p_2^2 \cdot r_2 \cdot \lambda_2^3 \cdot \frac{\sin \varphi}{\mu_2 \cdot h_2} \right)^{0,25} \quad (3,5)$$

де  $C_1$ ,  $\lambda_1$ ,  $Pr$ ,  $r_1$ ,  $\rho_n$ ,  $\nu_1$ ,  $n_1$ ,  $p_1$ ,  $l^*$ ,  $m_1$ ,  $\rho_2$ ,  $r_2$ ,  $\lambda_2$ ,  $\mu_2$  - константи для води в зонах нагріву і охолодження [110];

$\varphi$  - кут нахилу теплової труби відносно горизонту, *град*;

$h_2$  - довжина зони охолодження, м.

Площі зон нагріву  $S_1$  і охолодження  $S_2$ ,  $m^2$

$$S_1 = \pi \cdot d_B \cdot (h_1 + 0.25 \cdot d_e)$$

$$S_2 = \pi \cdot d_B \cdot (h_2 + 0.25 \cdot d_e) \quad (3,6)$$

де  $d_B$  - внутрішній діаметр теплової труби, м;  $h_1$  - довжина зони нагріву, м

Коефіцієнти тепловіддачі в зонах нагріву і охолодження,  $Вт/м^0C$ :

$$\alpha_1 = A \cdot (\theta_{S1} - \theta_H)^m, \quad (3,7)$$

$$\alpha_2 = B \cdot (\theta_H - \theta_{S2})^{-0.25}. \quad (3,8)$$

Кількість тепла, віддаваного стінками теплової труби в рідину, Вт:

$$Q_{TT} = \alpha_1 \cdot S_1 \cdot (\theta_{S1} - \theta_H) \quad (3,9)$$

Середній тепловий потік в зоні нагріву,  $Вт/м^2$

$$q_{TT} = \frac{Q_{TT}}{\pi \cdot d_H \cdot l_1} \quad (3,10)$$

де  $l_1$  - глибина закладення теплової труби, м.

Коефіцієнт форми для труби  $L$ , в залежності від безрозмірної величини  $\varepsilon$ , дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \Delta}{d_h}; L = \frac{|l_n(1-\varepsilon)|}{\varepsilon} \quad (3,11)$$

де  $\Delta$  - товщина стінки теплової труби, м.

Температура наружної поверхні теплової труби в зоні нагріву,  $^{\circ}\text{C}$

$$\theta = \theta_{S1} + \frac{q_{TT} \cdot L \cdot (d_H - d_B)}{2 \cdot \lambda_{TT}} \quad (3,12)$$

де  $\lambda_{TT}$  - коефіцієнт теплопроводності матеріалу теплової труби,  $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ .

Площа внутрішньої поверхні зони охолодження  $F_B$  та поверхні радіатора теплової труби  $F_p$ ,  $\text{м}^2$ :

$$F_B = 3.14 \cdot d_B \cdot h_2 \quad (3,13)$$

$$F_p = 2 \cdot h_2 (d_H + 2 \cdot h_o + 8 \cdot h_{p1}) + n \cdot \delta \quad (3,14)$$

де  $h_o$ ,  $h_{p1}$  - ширина підстави ребра й висота ребра,  $\text{м}$ ;

$n$  - кількість ребер, *шт.*  $\delta$  - товщина ребра,  $\text{м}$ ;  $d_B$ ,  $d_H$  - внутрішній і наружний діаметр теплової труби,  $\text{м}$ .

Кількість теплоти, передаваної радіатором в навколишню среду  $Q_{\text{рад}}$ ,  $\text{Вт}$  [26, 43].

$$Q_{\text{рад}} = \frac{\tau \cdot F_B}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \frac{F_B}{F_M} + \eta_p \cdot F_p \right)} \quad (3,15)$$

де  $\tau$  - різниця температур між температурою насичення рідини всередині теплової труби і навколишньої среди,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - коефіцієнти тепловіддачі в зоні охолодження та повітря відповідно,  $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопроводності ребер радіатору,  $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ ;

$\eta_p$  - коефіцієнт ефективності ребер радіатору ( для міді  $\eta_p \approx 1$ );

$F_M$  - площа межреберних участків,  $\text{м}^2$ ;

$F_p$  - площа ребер радіатору,  $\text{м}^2$ .

Температура підстави ребер радіатору,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\theta_{\text{осн}} = \theta_{\text{окр}} + \frac{\theta_{\text{рад}}}{F_M + \eta_p \cdot F_p} \quad (3,16)$$

де  $\theta_{\text{окр}}$  - температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

Наявність ребер на стінці дозволяє збільшити поверхню її зіткнення з навколишнім середовищем, тим самим зменшити зовнішній термічний опір і збільшити тепловий потік, а температуру поверхні стінки наблизити до температури навколишнього її середовища [43].

Використовуючи вищеописану методику розрахунків, визначаємо кількість теплоти, що відбирається тепловою трубою в одиницю часу, в залежності від її параметрів.

Розрахунок виконаний в середовищі MathCAD. Результат розрахунку наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кількість теплоти, відбираємої тепловою трубою за одиницю часу, в залежності від її параметрів

$d_H$ , мм	$d_B$ , мм	$h_2$ , мм	$Q_{гт}$ , Вт
6	4	15	56
6	4	20	69
6	4	25	80
6	4	30	92
8	6	15	87
8	6	20	105
8	6	25	123
8	6	30	140
10	8	15	119
10	8	20	144
10	8	25	167
10	8	30	189
12	10	15	154
12	10	20	184

З результатів розрахунків випливає, що на ефективність теплової труби впливають, в основному, два параметра (рис. 3.2):

- внутрішній діаметр труби (пар переміщається від зони нагріву в зону конденсації по капілярній системі, яка і складає внутрішній діаметр); - довжина зони конденсації (ділянка труби, який забезпечений радіатором).

Довжина зони конденсації і діаметр труби лімітуються конструктивними розмірами державки і конструктивними особливостями верстата.

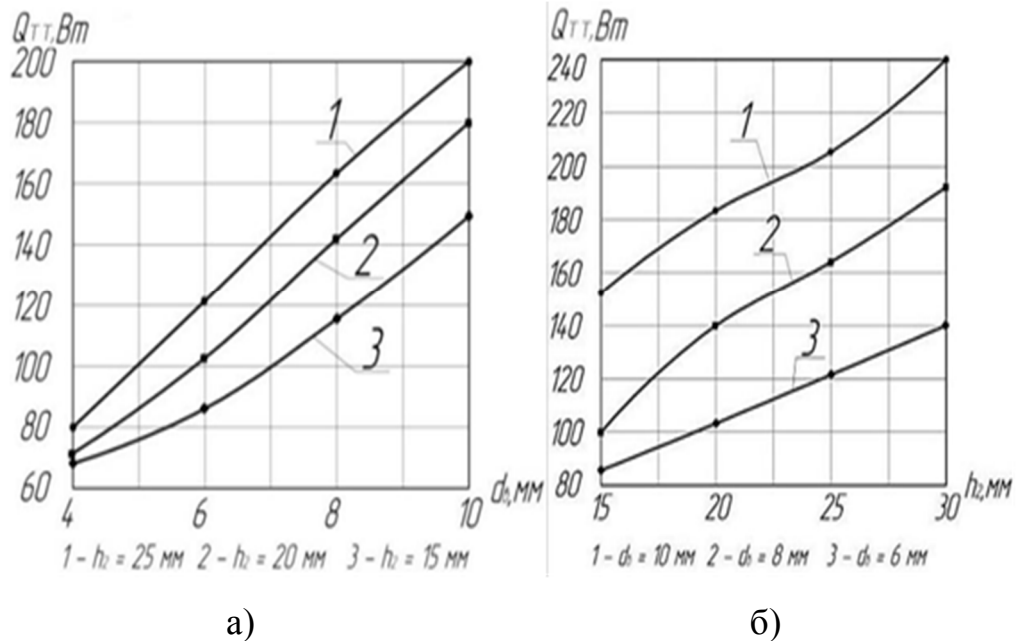


Рисунок 3.2 – Кількість теплоти, яка передається тепловою трубою в залежності від внутрішнього діаметру  $d_v$  (а) і зони конденсації  $h_2$  (б)

Знаючи кількість тепла, що минає в різучий клин (таблиця 2.2), можна зробити висновок про те, що ТТ доцільно використовувати для чистових операцій, особливо при обробці нізкотеплопроводного матеріалів. При чорнових видах обробки різцями з ТТ необхідно підвищувати коефіцієнт тепловіддачі з поверхні радіатора теплової труби. Цього можна досягти або оптимізацією топології радіатора, або застосуванням інших способів охолодження.

### 3.2 Конструкції збірних різців, оснащених автономною системою випарного охолодження закритого типу

У процесі роботи було створено ряд конструкцій збірних різців на базі стандартних державок, оснащених стандартними ТТ (застосовуваними для охолодження радіоелектронної апаратури) і кільцевими ТТ з різними

топологічними параметрами, для СМП різних типів [30,31,37]. можливість користування стандартних серійно виготовляються ТТ обґрунтовується даними, наведеними в таблиці 3.1.

На рисунках 3.3 ... 3.5 наведені конструкції різців в розібраному вигляді. На рисунку 3.3 представлена конструкція різця з прямою тепловою трубою, встановленої під ріжучою пластиною.

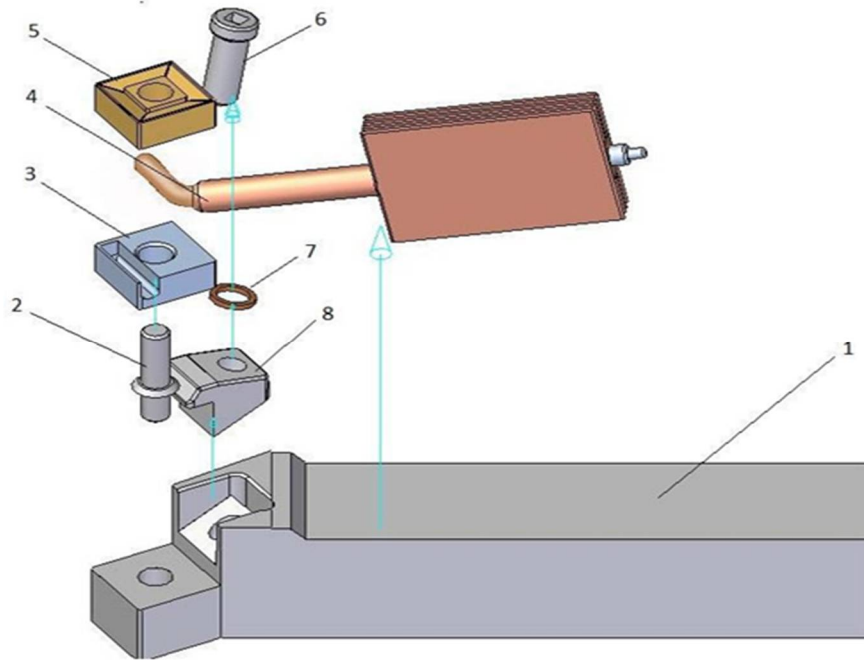


Рисунок 3.3– Конструкція різця з тепловою трубою (1 – державка; 2 – штифт; 3 – опорна пластина; 4 – тепла труба; 5 – ріжуча пластина; 6 –гвинт; 7 – шайба; 8 – прижим-стружколом)

На рисунку 3.4 різець представлений різець з кільцевої тепловою трубою, що входить в опорну пластину.

Для забезпечення більшої надійності тепла труба може бути поміщена в паз, зроблений в тілі державки, що дозволить захистити ТТ від сходять зливний стружки. У ряді випадків при обробці на підвищених режимах різання, коли зростає кількість теплоти, що надходить в ріжучий клин, доцільно при трансформаційних змін збірного різця, оснащеного двома тепловими трубами (рис. 3.6) [28].

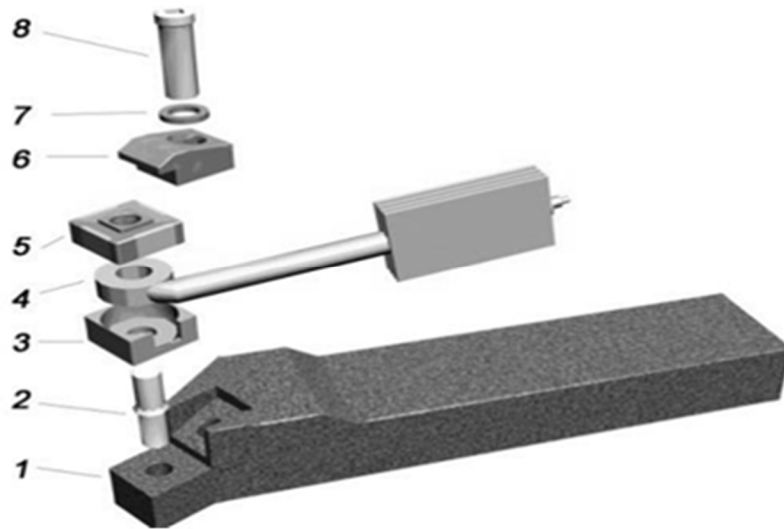


Рисунок 3.4 – Конструкція різця з кільцевою тепловою трубою (1 – державка; 2 – штифт; 3 – опорна пластина; 4 – теплова труба; 5 – ріжуча пластина; 6 – прижим-стружколом; 7 – шайба; 8 – гвинт)

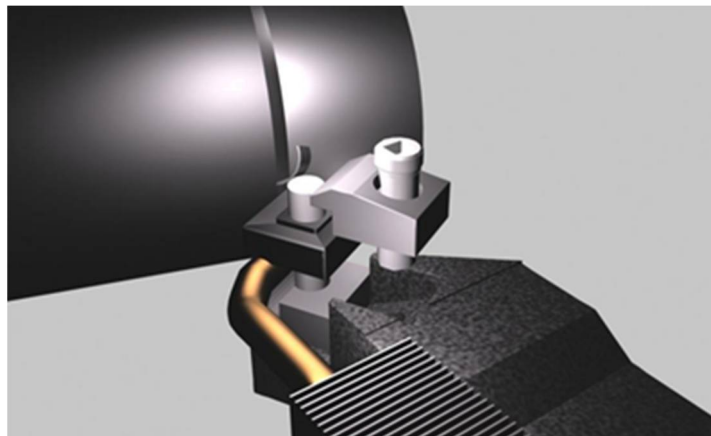


Рисунок 3.5 – Збірний різець з однією тепловою трубою (пластина не закріплена)



а)

б)

Рисунок 3.6 – Сбірний різець, оснащений двома тепловими трубами;  
а) в розібраному вигляді; б) в сборі



Експериментальна перевірка ефективності конденсації парів рідини в зоні охолодження здійснювалася за допомогою тепловізора SDS HotFind-LXT [130] (рис. 3.7), що має наступні характеристики:

- діапазон вимірювань від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+1500^{\circ}\text{C}$ ;
- мінімально розрізняти різницю температур  $0,08^{\circ}\text{C}$  (при  $30^{\circ}\text{C}$ );
- точність вимірювань  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  або  $\pm 2\%$  від значення показань;
- спектральний діапазон 7.5-14 мкм;
- фокусування тепловізора від 10 см до  $\infty$ ;
- кутове поле зору тепловізора  $24^{\circ} \times 18^{\circ}$ ;
- частота кадрів тепловізора 50Hz;
- відеокамера 640 x 480;
- дисплей ЖК-монітор 3,5 дюйма;
- коефіцієнт корекції по випромінюючої здатності від 0,01 до 1,0 (з кроком 0,01);
- робоча температура від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- габаритні розміри 211 ммx80ммx195 мм;
- маса 0,7 кг (з акумулятором).



Рисунок 3.7 – Тепловізор SDS HotFind-LXT

На рисунку 3.8 наведена теплограма, аналіз якої дозволяє судити о роботі теплової труби. Тепловізор був сфокусований в зоні конденсації (радіаторі) теплової труби.

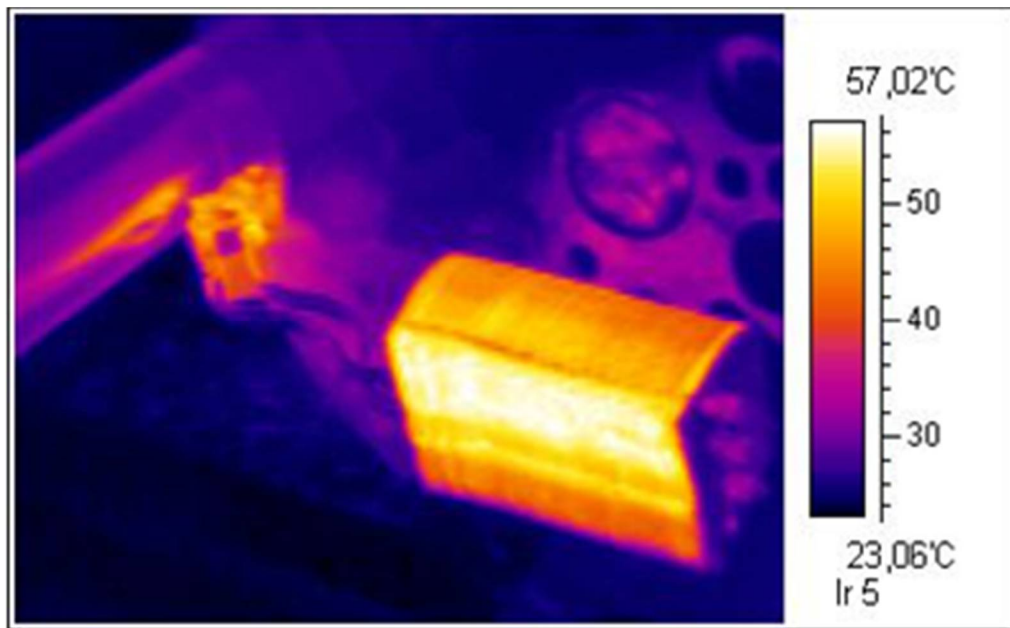


Рисунок.3.8 - Різання з ТТ ThermalTake (110Г13Л – ВК6;  $t=1\text{мм}$  ;  $s=0,2\text{мм/об}$   
 $v=44\text{ м/хв}$ ;  $\tau=9,6\text{ хв}$ )

Наочно видно, что при обрабці нізкотеплопровідної марганцовістої Сталі різцем, оснащеним тепловою трубою, температура в зоні охолодження  $T_{охл} = 50\text{°C}$ , що говорить про можливість ефективного охолодження теплоносія всередині теплової труби і переході парообразной фази в рідку, тобто про процес конденсації.

### 3.3 Дослідження впливу теплової труби на знос різців

Для експериментальної перевірки ефективності роботи збірного різця, оснащеного тепловою трубою, обрана конструкція (рисунок 3.3), де в стандартному різці зміни піддається тільки опорна пластина.

Було проведено ряд порівняльних експериментів по обробці сталі 110М13Л і титанового сплаву ВТ3-1 різцями ВК6 при різних режимах різання [28]. На малюнках 3.9 ... 3.11 представлені залежності зносу по задній поверхні від часу

при обробці сталі 110М13Л в діапазоні швидкостей 30-60 м / хв.

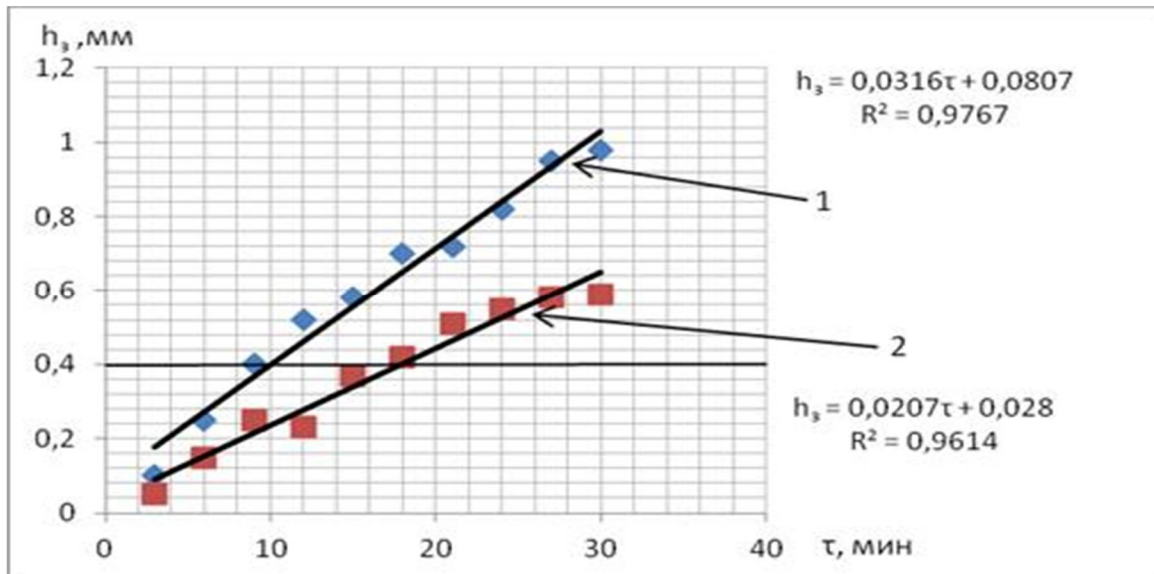


Рисунок 3.9– Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– різець з ТТ ( 110Г13Л –ВК6;  $t=0,5$ мм;  $s=0,1$ мм/об;  $v=32$  м/хв)

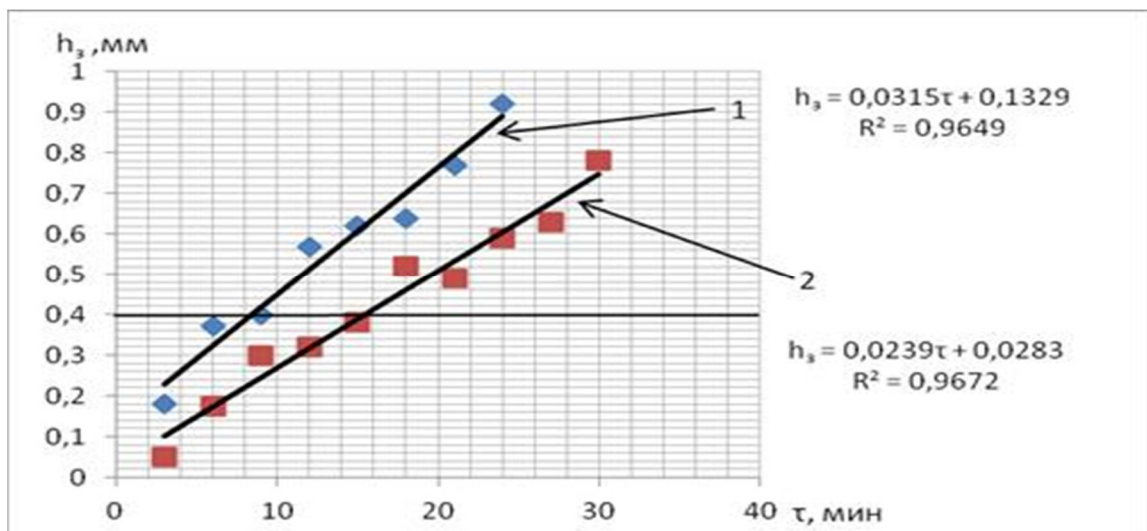


Рисунок 3.10 – Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– різець з ТТ ( 110Г13Л –ВК6;  $t=0,5$ мм;  $s=0,1$ мм/об;  $v=44$  м/хв)

По результатам проведених експериментів була побудована залежність періоду стійкості від швидкості в логорифмічних координатах (рисунок 3.12).

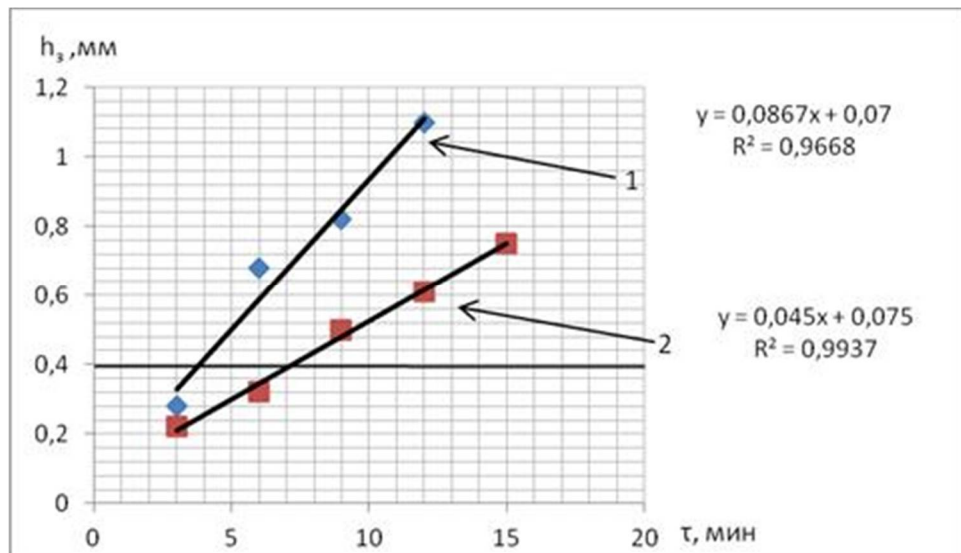


Рисунок 3.11– Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– різець з ТТ ( 110Г13Л –ВК6;  $t=0,5\text{мм}$ ;  $s=0,1\text{мм/об}$ ;  $v=60\text{ м/хв}$ )

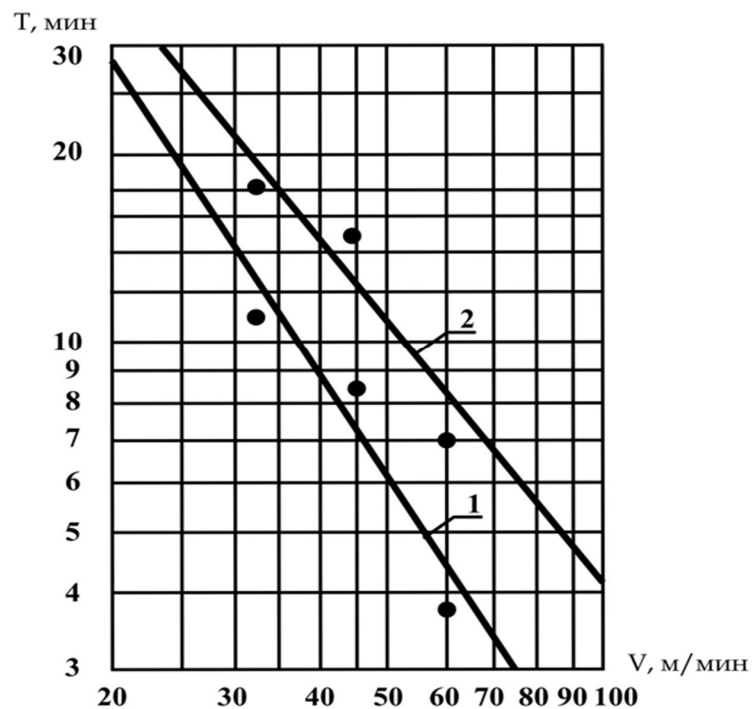
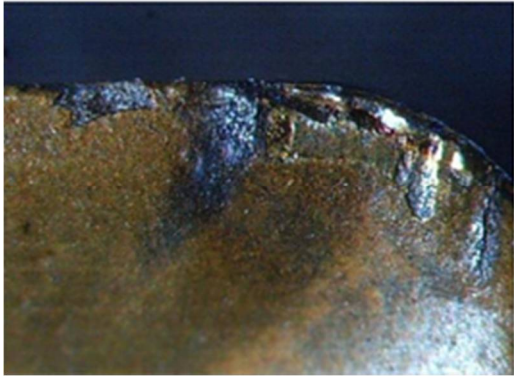


Рисунок 3.12 – Залежність перуоду стійкості різців від швидкості різання (110Г13Л–ВК6; $t=0,5\text{мм}$ ; $s=0,1\text{мм/об}$ ); 1–різецт без охолодження; 2–різець з тепловою трубою.

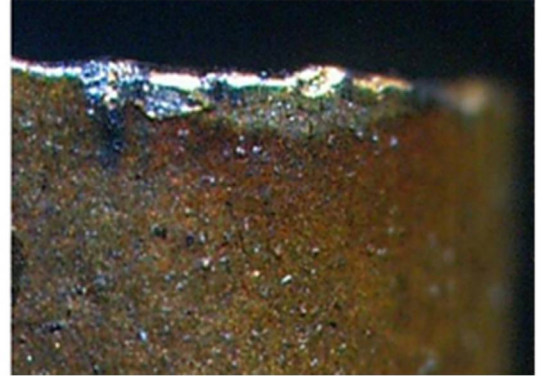
Аналіз результатів (рис. 3.12) показує, що стійкість різців, оснащених ТТ при обробці стали 110М13Л більше стійкості стандартних різців в 1,8 ... 1,9 рази

за рахунок відведення тепла із зони різання тепловою трубою.

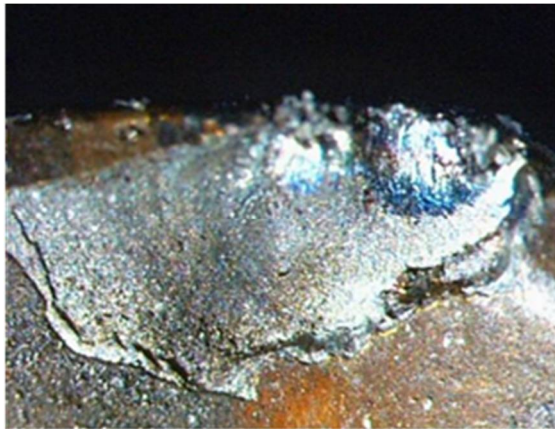
На рисунку 3.13 наведено фотографії зносу різців при обробці сталі 110М13Л - ВК6 з охолодженням тепловою трубою і без неї.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.13 – Знос різців по переднім і заднім поверхням; а) і б) при роботі з охолодженням тепловою трубою; в) і г) при роботі без охолодження; ( 110Г13Л – ВК6;  $t=0,5\text{мм}$ ;  $s=0,1\text{мм/об}$ ;  $v=44\text{ м/мин}$ ;  $\tau =19,6\text{ хв}$ )

Аналіз фотографій наочно показує відмінність у величині і характері зносу по передній і задній поверхнях різального інструменту, що говорить про перевагу роботи різця, оснащеного системою охолодження закритого типу. На передній поверхні різця без охолодження на двадцятій хвилині роботи з'являється глибока лунка і нарост, а на задній поверхні можна бачити глибокі нерівномірні проточіни.

На рисунках 3.14 ... 3.16 представлені залежності зносу по задній поверхні від часу при обробці титанового сплаву ВТ3-1.

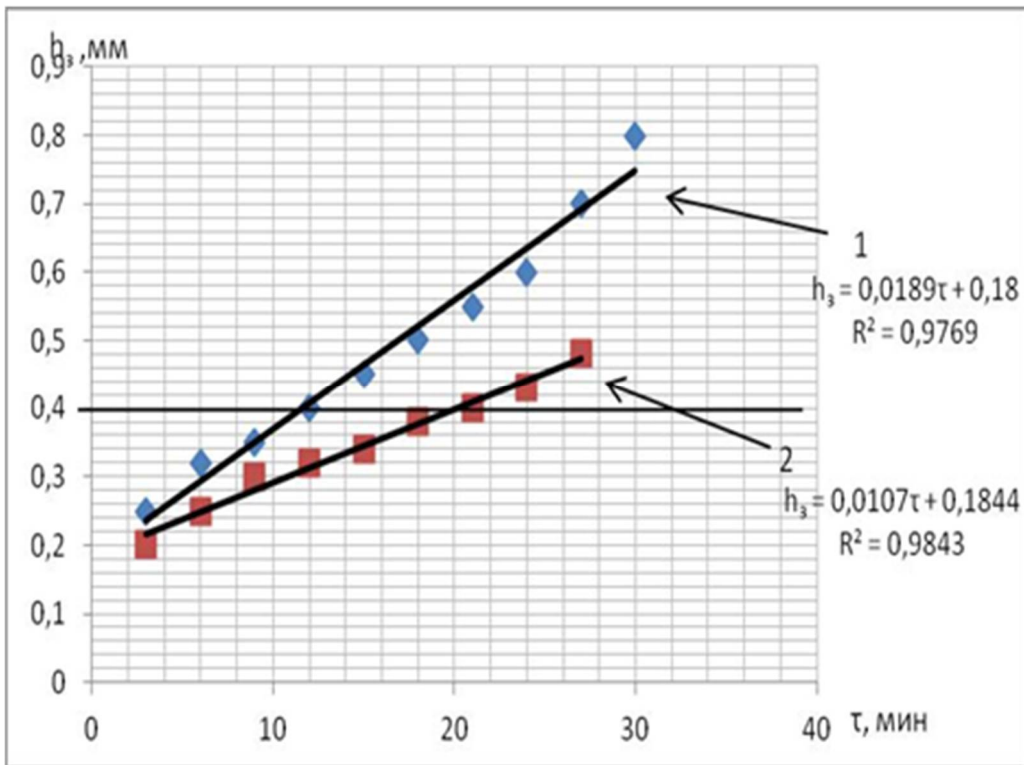


Рисунок 3.14 – Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– різець з ТТ (ВТЗ-1–ВК6;  $t=0,5$ мм;  $s=0,1$ мм/об;  $v=30$  м/хв)

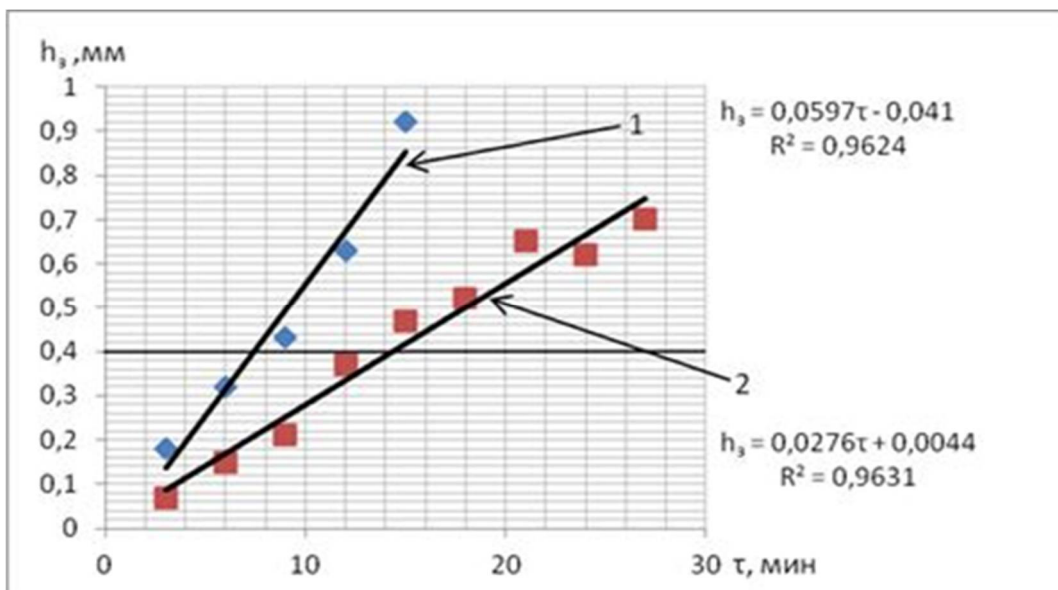


Рисунок 3.15 – Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– резец з ТТ (ВТЗ-1–ВК6;  $t=0,5$ мм;  $s=0,1$ мм/об;  $v=43$  м/хв)

На рисунку 3.17 побудована залежність періода стійкості від швидкості по результатам проведених дослідів.

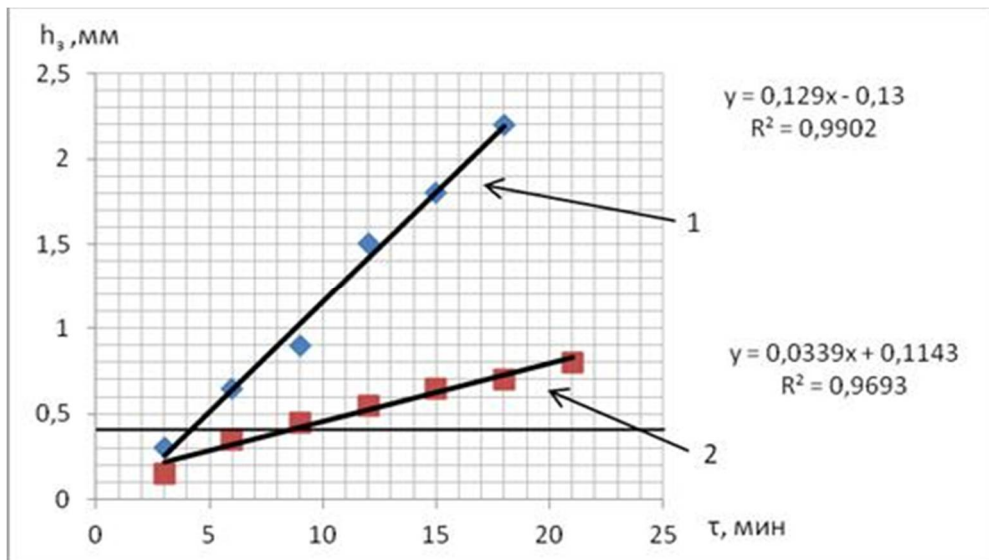


Рисунок 3.16 – Залежність зносу по задній поверхні від часу роботи різця; 1– стандартний різець; 2– різець з ТТ (ВТЗ-1–ВК6;  $t=0,5\text{мм}$ ;  $s=0,1\text{мм/об}$ ;  $v=57\text{ м/хв}$ )

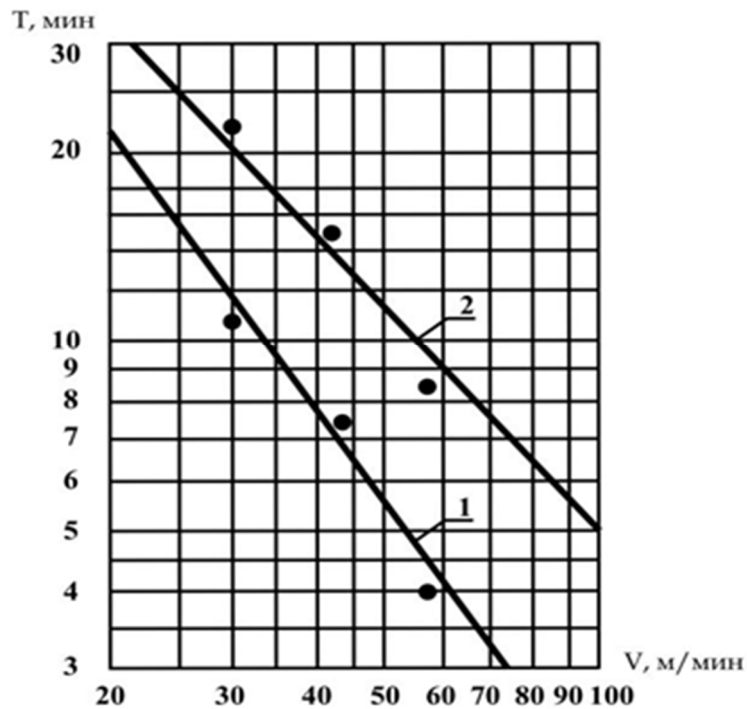


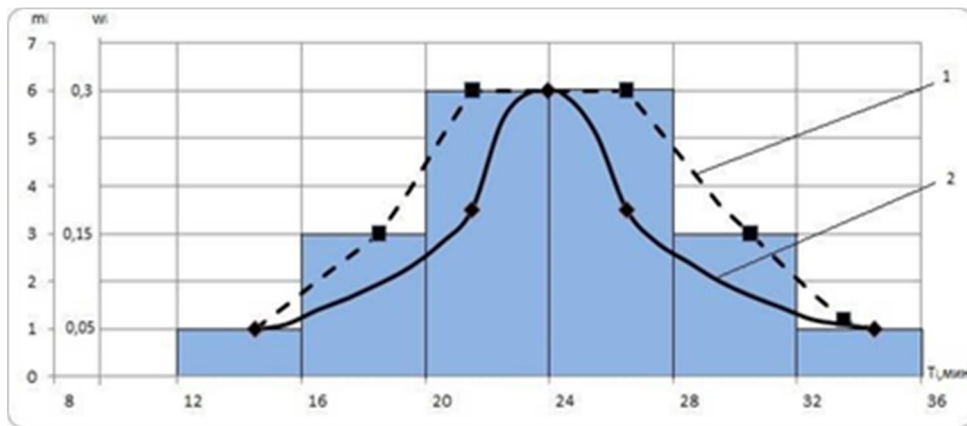
Рисунок 3.17–Залежність періода стійкості різців від швидкості різання (ВТЗ-1–ВК6;  $t=0,5\text{мм}$ ;  $s=0,1\text{мм/об}$ ); 1–різець без охолодження; 2–різець з тепловою трубою

Аналіз результатів (рис. 3.17) показує, що стійкість різців, оснащених ТТ, при обробці титанового сплаву ВТЗ-1 більше стійкості стандартних різців в 1,9 ... 2 рази за рахунок відведення тепла із зони різання тепловою трубою.

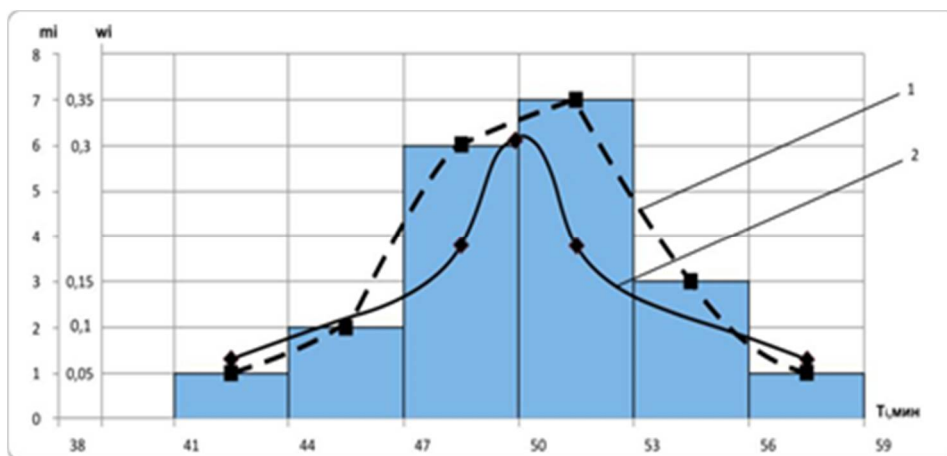
## 4 ДВОФАЗНА КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ (КСО) ЗБІРНИХ РІЗЦІВ

### 4.1 Статистична обробка результатів стійкостних випробувань

У зв'язку з тим, що знос ріжучого інструменту є випадковим процесом [116, 119], в роботі проведено порівняльні статистичні дослідження розподілу стійкості партії пластин в кількості 20 шт, попередньо відібраних термоелектричним методом (порівнювалися періоди стійкості пластин, які працюють без охолодження і пластин з КСО ) при різанні: 110М13Л - ВК6;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об .;  $v = 20$  м / хв. Емпіричний полігон наведено на малюнку 4.62.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Емпіричний полігон; 1- гістограма, 2- теоретична крива нормального розподілу стійкості пластин, які працюють без охолодження (а) і пластин з використанням КСО (б)



Порівняння статистичних показників наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Порівняння статистичних показників процесів різання (результати вимірювань з ймовірністю 0,95).

Статистичні показники	Різець без охолодження	КСВ
Наявність грубих помилок	Ні	Ні
Середньоарифметичне значення періоду стійкості, хв	24,125	50,625
Середньоарифметичне відхилення (дисперсія)	5,396	3,950
Коефіцієнт варіації	0,22	0,078
Число інтервалів m	6	6
Критерій Пірсона	0,2625	0,0719
Поле розсіювання, мин	21,0	16
Нижній поріг стійкості, хв	12	41
Верхній поріг стійкості, хв	33	57

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільш ймовірне значення стійкості при використанні КСВ в 2,1 рази перевищує стійкість різця без охолодження. Потрібно відзначити, що при цьому істотно підвищується стабільність роботи різців, так як поле розсіювання для різців без охолодження в 1,3 рази більше, ніж у різців з КСВ. Розрахунок величини критерію Пірсона показує відповідність емпіричних кривих закону нормального розподілу ( $\chi^2 > 0,05$ ).

Розрахунок величини критерію Стюдента ( $t_{табл} = 2,09 < t_{расч} = 17,271$ ) говорить про суттєвому відмінності середніх значень стійкості.

## 4.2 Статистична обробка результатів стійкосних іспитів

Варіаційний ряд стійкості різців для  $N = 20$  шт. (Різців без охолодження і різців, оснащених КСВ; критерій зносу -  $h_z = 0,4$  мм; сталь 110М13Л-ВК 6; режими різання -  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм / об;  $v = 20$  м / хв) наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Варіаційний ряд стійкості різців

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без охолодження	12	17	18	18,5	20	21	21	22	23	24
З КСВ	41	45	46	47,5	47,5	48	48,5	50	50	51
№ п/п	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Без охолодження	26	26,5	27	27	28	28,5	29	30	31	33
З КСО	52	52,5	52,5	53	53	53	54	55	56	57

Середньоарифмітична стійкість:

$$T_{cp} = \sum_{i=0}^n \frac{T_i}{N} \quad (4,1)$$

де  $N$ - кількість інструментів;

$T_i$  – стійкість  $i$ -го інструменту, хв

$T_{cp1}$  – без охолодження;

$$T_{cp1} = 482,5/20 = 24,125 \text{ хв}$$

$T_{cp2}$  – з КСО;

$$T_{cp2} = 1012,5/20 = 50,625 \text{ хв}$$

Дисперсія:

$$S = \sqrt{\sum_{i=0}^n \frac{(T_i - T_{cp})^2}{N-1}} \quad (4,2)$$

Коефіцієнт варіації:

$$V_t = \frac{S}{T_{cp}} \quad (4,3)$$

Дисперсна стійкість і коефіцієнт варіації

$$S_1 = \sqrt{\frac{553,25}{20}} - 1 = 5,396 \quad (4,4)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{297,786}{20}} - 1 = 3,95 \quad (4,5)$$

$$V_{T_1} = \frac{5,396}{24,125} = 0,22 \quad ; \quad V_{T_2} = \frac{3,95}{50,625} = 0,078 \quad (4,6)$$

де  $S_1$  і  $V_{T_1}$  – дисперсія стійкості і коефіцієнт варіації різців, працюючих без охолодження;

$S_2$  і  $V_{T_2}$  – відповідно дисперсія стійкості і коефіцієнт варіації різців, працюючих з КСО.

Таблиця 4.3 – Значення стійкості різців, працюючих без охолодження

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_i, хв$	12	17	18	18,5	20	21	21	22	23	24
$T_{cp}, хв$	24,125									
$T_i, хв -$	-12,125	-7,125	-6,125	-5,625	-4,125	-3,125	-3,125	-2,125	-1,125	-0,125
$T_{cp}, хв$ $(T_i - T_{cp})^2$	147,015	50,76	37,515	31,64	17,015	9,765	9,765	4,515	1,265	0,015
$S$	5,396									
$V$	0,22									
№ пп	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_i, хв$	26	26,5	27	27	28	28,5	29	30	31	33
$T_{cp}, хв$ $T_i, хв -$	1,875	2,375	2,875	2,875	3,875	4,375	4,875	5,875	6,875	8,875
$T_{cp}, хв$ $(T_i - T_{cp})^2$	3,515	5,640	8,265	8,265	15,015	19,015	23,765	34,515	47,265	78,765
$S$	5,396									
$V$	0,22									

Таблиця 4.4 – Значення стійкості різців, працюючих з КСО

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_i, хв$	41	45	46	47,5	47,5	48	48,5	50	50	51
$T_{cp}, хв$	50,625									
$T_i, хв - T_{cp}, хв$	-9,625	-5,625	-4,625	-3,125	-3,125	-2,625	-2,125	-0,625	-0,625	0,375
$(T_i - T_{cp})^2$	92,64	31,64	21,39	9,765	9,765	6,89	4,515	0,39	0,39	0,141
$S$	3,95									
$V$	0,078									
№ пп	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_i, хв$	52	52,5	52,5	53	53	53	54	55	56	57
$T_{cp}, хв$	50,625									
$T_i, хв - T_{cp}, хв$	1,375	1,825	1,875	2,375	2,375	2,375	3,375	4,375	5,375	6,375
$(T_i - T_{cp})^2$	1,89	3,515	3,515	5,64	5,64	5,64	11,39	19,14	28,89	40,64
$S$	3,95									
$V$	0,078									

Довірча вирогідність  $p=0,95$ .

Рівень значимості  $q=1-p$ .

По табл. 1 [110]  $q_0=2,623$  – коефіцієнт для обраних  $q$  і  $N$ .

Визначимо екстремальні значення стійкості різців:

1. Для різців, які працюють без охолодження:

$$q_1 = (T_{1max} - T_{1cp}) / S_1 = (33 - 24,125) / 5,396 = 1,65;$$

Так як  $q_1 < q_0$ , т.е.  $1,65 < 2,623$ , то  $T_{1max}$  не є грубою помилкою.

$$q'_1 = (T_{1cp} - T_{1min}) / S_1 = (24,125 - 12) / 5,396 = 2,25.$$

Так як  $q'_1 < q_0$ , т.е.  $2,25 < 2,623$ , то  $T_{1min}$  не є грубою помилкою.

2. Для різця з КСО

$$q_2 = (T_{2max} - T_{2cp}) / S_2 = (57 - 50,625) / 3,95 = 1,6.$$

Так як  $q_2 < q_0$ , т.е.  $1,6 < 2,623$ , то  $T_{2max}$  не є грубою помилкою.

Аналогічно  $q'_2 = (T_{2cp} - T_{2min}) / S_2; (50,625 - 41) / 3,95 = 2,435$

Так як  $q'_2 < q_0$ , т.е.  $2,435 < 2,623$ , то  $T_{2min}$  не є грубою помилкою.

Зона розсіювання стійкості різців без охолодження.

$$R_1 = T_{max} - T_{min}$$

$$R_1 = 33 - 12 = 21 \text{ хв}$$

Зона розсіювання стійкості різця з КСО.

$$R_2 = 57 - 41 = 16 \text{ хв.}$$

Зона розсіювання розбивається на інтервали, число яких приймається  $i=6$ . Ширина інтервалу:  $h=R/i$

$$h_1 = 21/6 = 4 \text{ мм}; h_2 = 16/6 \approx 3 \text{ мм}$$

$$w = m_i / N.$$

Будуємо емпіричний полігон і гістограму розподілу  $m_i$  и  $w_i$ , кінцеві точки з'єднуємо між собою. Визначаємо асиметрію  $A$  і ексцес  $E$

$$A = \left[ \sum_{i=1}^N (T_i - T_{cp})^3 \right] / S^3; A_1 = 21,018 / 4,9^3 = 0,0179; A_2 = 1155,8 / 3,746^3 = 21,9$$

$$E = \left[ \sum_{i=1}^N (T_i - T_{cp})^4 \right] / S^4 - 3; E_1 = 22625,034 / 4,3^4 = 47,49; E_2 = 12325,29 / 3,746^4 = 62,59$$

Таблиця 4.5 – Статистичні показники при різанні без охолодження.

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Інтервал $T_i$	12-16	16-20	20-24	24-28	28-32	32-36
Середина інтервалу $T_{im}$	14	18	22	26	30	34
Частота $m_i$	1	3	6	6	3	1
Відносна частота $W_i$	0,05	0,15	0,3	0,3	0,15	0,05
$T_{cp}$	24,125					
$S$	5,396					
$T_i - T_{cp}$	-10,125	-6,125	-2,125	1,875	5,875	9,875
$(T_i - T_{cp})^3$	-1037,97	-229,78	-9,595	6,591	202,779	962,966
$(T_i - T_{cp})^4$	10509,45	1407,42	20,39	12,359	1191,32	9509,297
$\Sigma(T_i - T_{cp})^3$	-105,005					
$\Sigma(T_i - T_{cp})^4$	22656					
Асиметрія $A$	-0,66					
Екссес $E$	-0,32					

Таблиця 4.6 – Статистичні показники при різанні з КСО.

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Інтервал $T_i$	41-44	44-47	47-50	50-53	53-56	56-59
Середина інтервалу $T_{im}$	42,5	45,5	48,5	51,5	54,5	57,5
Частота $m_i$	1	2	6	7	3	1

Продовження таблиці 4.6

Відносна частота $W_i$	0,05	0,1	0,3	0,35	0,3	0,05
$T_{cp}$	50,625					
$S$	3,95					
$T_i - T_{cp}$	-8,125	-5,125	-2,125	0,875	3,875	6,875
$(T_i - T_{cp})^3$	-536,7	-134,61	-9,506	0,67	58,19	324,95
$(T_i - T_{cp})^4$	4358	689,88	20,39	0,586	225,47	2234,04
$\Sigma(T_i - T_{cp})^3$	-8,774					
$\Sigma(T_i - T_{cp})^4$	7528,366					
Асиметрія $A$	-0,142					
Ексцес $E$	27,92					

$$A = \frac{[\sum_{i=0}^n (T_i - T_{cp})^3]}{s^3} ; \quad E = \frac{[\sum_{i=0}^n (T_i - T_{cp})^4]}{s^4} - 3 \quad (4.7)$$

$A > 0$  - асиметрія позитивна;

$E > 0$  - висота кривої знаходиться вище кривої нормального розподілу;

$M_x = T_{cp}$  – атематичне очікування (центр групування);

$M_{x1} = 23,975$ ;  $M_{x2} = 42,7$ ;

### 4.3 Вирівнювання емпіричного розподілу стійкості

Обчислюємо допоміжні величини  $t = (T_i - T_{cp})/\sigma$  і визначимо для кожного інтервалу значення  $f(t)$ .

Імовірність кожного інтервалу  $p(t) = {}_s^h f(t)$

Таблиця 4.7 – Вирівнювання емпіричного розподілу стійкості різців без охолодження

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Інтервал $T_i$	12-16	16-20	20-24	24-28	28-32	32-36
Середина інтервалу $T_{im}$	14	18	22	26	30	34
Частота $m_i$	1	3	6	6	3	1
$T_i - T_{cp}$	-10,125	-6,125	-2,125	1,875	5,875	9,875
$t = (T_i - T_{cp}) / \sigma$	-1,8	-1,135	-0,39	0,347	1,088	1,83
$f(t)$	0,0790	0,2197	0,3697	0,3755	0,2227	0,0893
$\frac{h}{s}$	0,74					
Вірогідність інтервалу $p(t) = \frac{h}{s} f(t)$	0,05	0,1559	0,273	0,277	0,164	0,066

Таблиця 4.8 – Вирівнювання емпіричного розподілу стійкості різців з КСО

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Інтервал $T_i$	41-44	44-47	47-50	50-53	53-56	56-59
Середина інтервалу $T_{im}$	42,5	45,5	48,5	51,5	54,5	57,5
Частота $m_i$	1	2	6	7	3	1
$T_i - T_{cp}$	-8,125	-5,125	-2,125	0,875	3,875	6,875
$t = (T_i - T_{cp}) / \sigma$	-2,05	-1,29	-0,53	0,22	0,98	1,74
$f(t)$	0,0488	0,1736	0,3448	0,3894	0,2468	0,0878
$\frac{h}{s}$	0,759					
$m_i' = p(t)N$ Вірогідність інтервалу $p(t) = \frac{h}{s} f(t)$	0,037	0,131	0,2617	0,2955	0,1858	0,066
Теоритична частота $m_i' = p(t)N$	0,74	2,63	5,2	5,9	3,7	1,3



#### 4.4 Визначення критерію Пірсона

Досліджувана емпірична крива знаходиться у відповідності з теоретичної, якщо ймовірність збігу більше 0,05.

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'} \quad (4.8)$$

де  $m_i$  - експериментальна частота;

$m_i'$  - теоритичга частота;

$N$  – кількість дослідів.

Таблиця 4.9 – Розрахункові дані для визначення критерію Пірсона (різці без охолодження).

№ п/п	Експериментальна частота, $m_i$	Теорітична частота, $m_i'$	$m_i - m_i'$	$(m_i - m_i')^2$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
1	1	1,16	0,16	0,0256	0,022
2	3	3,11	0,11	0,0121	0,0039
3	6	5,47	0,53	0,2809	0,051
4	6	5,4	0,6	0,36	0,067
5	3	3,29	-0,29	0,0841	0,0256
6	1	1,32	-0,32	0,1024	0,077

Число ступеней вільності  $k = n - r - 1$ ; при  $n = 6$ ;  $r = 2$ ;  $k = 6 - 2 - 1 = 3$ ;

Підсумувавши дані стовпця 6 таблиці ПЗ-8, отримаємо величину критерію Пірсона  $\chi^2 = 0,2465$ . По таблиці 3 [119] найближче значення  $p$  ( $\chi^2$ ) = 0,2625. Так як  $0,2465 > 0,05$ , емпірична крива розподілу відповідає нормальному закону. Аналогічні розрахунки проводяться для різців з КСО.

Таблиця 4.10 – Розрахункові дані для визначення критерію Пірсона (різці з КСО).

№ п/п	Експериментальна частота, $m_i$	Теорітична частота, $m_i'$	$m_i - m_i'$	$(m_i - m_i')^2$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
1	1	0,74	0,26	0,0676	0,09
2	2	2,63	-0,63	0,3969	0,151
3	6	5,2	0,8	0,64	0,12
4	7	5,9	1,1	1,21	0,20
5	3	3,7	- 0,7	0,49	0,13
6	1	1,3	-0,3	0,09	0,069

Підсумувавши дані стовпця 6 таблиці 9, отримаємо величину критерію Пірсона  $\chi^2 = 0,76$ . По таблиці 3 [119] найближче значення  $p(\chi^2) = 0,0719$ . Так як  $0,0719 > 0,05$ , емпірична крива розподілу відповідає нормальному закону.

#### 4.5 Визначення критерію Стьюдента.

Критерій Стьюдента визначається в разі, коли необхідно оцінити статистичну значущість різниці в стійкості двох партій інструментів, що працюють при різних умовах.

$$t = \frac{|T_1 - T_2|}{\sqrt{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 \cdot S_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}} \quad (4.9)$$

де  $T_1$ ,  $S_1$  і  $N_1$  - відповідно середні стійкість, дисперсія і кількість дослідів опрацьованих різців при роботі без охолодження, а  $T_2$ ,  $S_2$  і  $N_2$  - ті ж параметри для різців з КСО.

$$t = \frac{|24,125 - 50,625|}{\sqrt{(20 \cdot 5,396^2 + 20 \cdot 3,95^2)}} \cdot \sqrt{\frac{20 \cdot 20 \cdot (20 + 20 - 2)}{20 + 20}} = 17,271 \quad (4.10)$$

Так як табличне значення критерію Стьюдента  $t = 2,09$  менше розрахункового  $t = 17,271$ , то відмінність середніх значень стійкості істотно.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Основні вимоги

5.1.1. До самостійної роботи на металорізальних і заточувальних верстатах з сухими абразивним кругом допускаються особи, що пройшли медичний огляд, а також навчання і інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки, склали іспити і отримали відповідні посвідчення.

5.1.2. При перекладі на роботу з використанням нового обладнання робочий зобов'язаний ознайомитися з конструкцією, методами безпечної роботи на ньому і пройти додатковий інструктаж з охорони праці.

5.1.3. Робітники повинні працювати в спецодязі, спецвзуття, а також користуватися, при необхідності, захисними пристосуваннями (окуляри і т.п.), одяг повинен бути застебнутий на всі гудзики. Крім того, повинні працювати в головному уборі, повністю закриває волосся. Працювати на верстатах у взутті легкого типу (сандалях, босоніжках, тапочках і т.д.) забороняється.

5.1.4. Робочі верстатники повинні містити в справності і чистоті обладнання, інструмент та робоче місце, а роботу виконувати, стоячи на дерев'яних решітках.

5.1.5. Складувати матеріали і готову продукцію на стелажах і інші пристосування в спеціально відведених місцях. Забороняється розміщувати матеріали та вироби в проходах і проїздах, на підлозі поблизу робочого місця.

5.1.6. Відходи слід зберігати в спеціальних ящиках і кожну зміну прибирати.

5.1.7. Обтиральні і мастильні матеріали повинні зберігатися в щільно закритих спеціально відведених ящиках.

5.1.8. Механічні передачі металорізальних верстатів та інші обертові і рухомі частини верстатів повинні мати огорожі. Оброблювані вироби, що виступають за габарити верстатів, повинні бути огорожені стійкими запобіжними пристосуваннями.

5.1.9. На робочому місці слід зберігати тільки ті інструменти і пристосування, заготовки та готові вироби, які необхідні для виконання роботи в цю зміну.

5.1.10. Робоче місце верстатника має додатково висвітлюватися джерелом місцевого освітлення, що забезпечує хорошу видимість в зоні роботи. Працюючи при штучному освітленні, необхідно опускати рефлектор (відбивач) з лампою нижче рівня очей.

5.1.11. Забороняється допускати до управління верстатами сторонніх осіб і залишати верстати без нагляду.

5.1.12. Встановлювати і знімати оброблювані вироби, замінювати ріжучі інструменти, проводити виміри, а також прибирати стружку слід при непрацюючих приводах верстатів.

5.1.13. При обробці деталей з металу, що дає дрібну стружку, а також при роботі на великих швидкостях різання необхідно користуватися захисними екранами, встановленими на верстатах, а якщо їх немає, застосовувати захисні окуляри.

5.1.14. Забороняється видаляти стружку з верстатів руками і видувати ротом з отворів, заглиблень. Для цього необхідно користуватися пристосуваннями - гачками з екранами, щітками і магнітами.

5.1.15. Перед кожним включенням верстата переконатися, що при пуску не виникає небезпека для оточуючих.

5.1.16. Верстатник повинен знати прийоми надання першої допомоги потерпілому. При отриманні травми необхідно негайно звернутися за медичною допомогою і одночасно повідомити майстра або механіку. Майстер або особа, яка його замінює, зобов'язаний повідомити про це негайно керівникові для своєчасного складання акту про нещасний випадок, і вжиття заходів, покликаних унеможливити повторення подібних випадків.

5.1.17. Робітники, які використовують при обробці деталей на металообробних верстатах охолоджуючі або змашувальні рідини, повинні

забезпечуватися профілактичними мазями або рідинами для змазування рук.

5.1.18. Верстатник зобов'язаний:

5.1.18.1. Знати будову верстата, вміти визначати несправності.

5.1.18.2. Заготовки і деталі вагою більше 16 кг піднімати із застосуванням підйомних механізмів і використанням спеціальних захоплень,

5.1.18.3. Дотримуватися вимоги виробничої санітарії та гігієни праці.

5.1.18.4. Дотримуватися "Правила внутрішнього трудового розпорядку для робітників і службовців підприємства".

5.1.19. У випадках, не передбачених цією Інструкцією, верстатник зобов'язаний звернутися за конкретним рішенням до безпосереднього керівника робіт (механіку, майстру і т.д.).

5.1.20. Ця інструкція є обов'язковою для робітників, які працюють на металорізальних верстатах. Особи, які порушили вимоги безпеки праці, несуть відповідальність згідно з правилами внутрішнього розпорядку.

## **5.2 Вимоги безпеки перед початком роботи**

5.2.1. Перевірити наявність і справність огорожень в небезпечних місцях, а також заземлення та занулення верстатів.

5.2.2. Перевірити наявність необхідного інструменту, пристосувань, їх справність.

5.2.3. Перевірити верстати на холостому ході, при цьому переконатися в справності:

5.2.3.1. органів управління електричних кнопкових пристроїв, гальм, фіксації важелів включення і переключення, що виключають можливість самовільного перемикавання з холостого ходу на робочий;

5.2.3.2. переконатися в тому, що системи змащення й охолодження працюють безперебійно.

5.2.4. При установці ріжучого і свердлильного інструменту перевірити:

5.2.4.1. правильність заточування інструменту для обробки даного матеріалу;

5.2.4.2. міцність кріплення оправлення і фрези;

5.2.4.3. кріплення свердла в патроні і правильність центрування його з віссю шпинделя верстата. Застосовувати свердла з правильною заточкою.

5.2.5. Надійно і міцно закріплювати оброблювані матеріали і заготовки на верстатах, користуючись при цьому безпечними пристосуваннями.

5.2.6. Перед початком роботи верстатник зобов'язаний:

5.2.6.1. перевірити справність верстата, інструментів і допоміжних пристосувань;

5.2.6.2. перевірити наявність і справність огорожень, заземлюючих і занулюючих пристроїв.

### **5.3 Вимоги безпеки під час роботи**

5.3.1. Під час роботи верстата стежити за надійністю кріплення огорожувальних і запобіжних пристроїв і не знімати їх.

5.3.2. Якщо на металевих частинах верстата виявлено напруга (відчуття струму), електродвигун працює на дві фази (гуде), заземлення обірваний або виявлені інші несправності електрообладнання, негайно зупинити верстат і доповісти майстру або начальнику цеху про несправності; без його вказівок до роботи не приступати.

5.3.3. Не брати і не давати через працюючі верстати будь-які інструменти.

5.3.4. Знімати і одягати ремені на шківі тільки після повної зупинки верстатів.

5.3.5. Переміщення ременів по ступінчастим шківів і на ходу допускається тільки з застосуванням переводок.

5.3.6. При захопленні обтирального матеріалу обертовими частинами верстата або деталями не намагатися їх витягнути, а зупинити верстат і звільнити захоплені предмети, повертаючи при цьому патрон вручну, якщо це можливо.

5.3.7. Обов'язково зупинити верстат і вимкнути електродвигун:

5.3.7.1. при відході від верстата навіть на короткий час;

5.3.7.2. при тимчасове припинення роботи;

5.3.7.3. при збиранні, мастилі, чищенні верстатів;

5.3.7.4. при перерві в подачі електроенергії;

5.3.7.5. при виявленні будь-якої несправності в обладнанні;

5.3.7.6. при підтягуванні болтів, гайок і інших сполучних деталей верстата.

5.3.8. Не допускається класти на верстати інструменти, заготовки, так як вони можуть впасти і травмувати робітника.

5.3.9. Заходи безпеки на токарних верстатах:

5.3.9.1. Встановлювати на верстат тільки справний інструмент, надійно і правильно закріплювати його, щоб під час роботи він не міг вирватися.

5.3.9.2. Акуратно звертатися з твердосплавними різцями при заточуванні і процесі різання, а також охороняти різці від ударів, так як тверді сплави мають підвищену крихкість.

5.3.9.3. Різець повинен встановлюватися по центру оброблюваної деталі. Установка (загвинчування), зняття (свинчивание) патрона або планшайби з шпинделя виробляється при ручному обертанні патрона. Чи не згвинчувати патрон (планшайбу) раптовим гальмуванням шпинделя.

5.3.9.4. Не користуватися затискними пристосуваннями, якщо зношені робочі площині кулачків або губок.

5.3.9.5. При закріпленні деталей в центрах:

- протерти і змастити центрові отвори;

- не застосовувати центри зі зношеними або забитими конусами;

- стежити за тим, щоб розміри токарних центрів відповідали отворів оброблюваної деталі;

- не затягувати туго задній центр, надійно закріплювати задню бабку і піноль.

5.3.9.6. При обробці довгих і тонких деталей в центрах (більш 10-12 діаметрів), необхідно користуватися люнетом.

5.3.9.7. При обробці пруткового матеріалу кінець прутка, який виступає з шпинделя, захищати на всю довжину. Огорожа повинна бути міцним, стійким і забезпечувати безшумну роботу.

5.3.9.8. При нарізуванні різьблення плашками притримувати Клупи

супортом, а не руками.

5.3.9.9. Щоб уникнути травм через поломки інструменту необхідно дотримуватися наступне:

- включати спочатку обертання шпинделя, а потім подачу, при цьому оброблювану деталь слід привести в обертання до зіткнення її з різцем, врізання виробляти плавно і без ударів;
- перед зупинкою верстата спочатку відвести від оброблюваної деталі ріжучий інструмент, вимкнувши при цьому подачу, а потім вимкнути обертання шпинделя.

5.3.9.10. Відводити інструмент на безпечну відстань при виконанні наступних операцій;

- центруванні деталей на верстаті;
- зачистці, шліфуванні деталей наждаковим полотном;
- обпилюванню, шабровки, вимірюванні деталей. При зміні патрона і деталі відводити подалі задню бабку.

5.3.9.11. Чи не гальмувати обертання шпинделя, натискаючи рукою на обертові частини верстата або деталі.

5.3.9.12. При відрізанні важких частин деталей або заготовок притримувати відрізаний кінець деталі руками.

5.3.9.13. При обпилюванню, зачистці і шліфовці оброблюваних деталей на верстаті:

- не доторкатися руками або одягом до оброблюваної деталі;
- стояти обличчям до патрона, тримати ручку напилка лівою рукою, і не переносити праву руку за деталь;
- забороняється користуватися напилками, шаберами і іншими інструментами, що не мають дерев'яних ручок.

5.3.10. Заходи безпеки при роботі на фрезерних верстатах.

5.3.10.1. Перед включенням автоматичної подачі (самоходу) підвести фрезу без ударів до матеріалу від руки і трохи в нього врізати, потім включити самохід.



5.3.10.2. Чи не зупиняти верстат без повного виходу ріжучого інструменту з оброблюваної деталі.

5.3.10.3. Забороняється на ходу верстата:

- перевірка рукою чистоти оброблюваної поверхні деталі і гостроти різальних крайок фрези;
- видалення з ріжучої грані і з-під фрези стружки;
- вимір оброблюваних деталей;
- охолодження фрези мокрими ганчірками, притримуючи їх рукою;
- мастило та чистка верстата;
- підведення трубопроводу емульсійного охолодження до фрези і його кріплення.

5.3.10.4. При зміні фрези або після закінчення роботи, вибиваючи фрезу, притримувати її рукою збоку, а не з торця.

5.3.10.5. Збірні фрези повинні мати пристрої, що запобігають виліт вставних зубів під час роботи фрези.

5.3.10.6. Обертається головка затяжного гвинта (шомпола) у горизонтально-фрезерного верстата небезпечна, особливо при невеликих відстанях між верстатами, так як вона може захопити одяг робітника. Тому треба бути обережним, коли оминаєш працюючий верстат ззаду.

5.3.10.7. Забороняється застосовувати лещата зі зробленої рисою губок.

5.3.11. Заходи безпеки при роботі на свердлильних верстатах.

5.3.11.1. Для заміни оброблюваних виробів без зупинки верстата потрібно користуватися спеціальними пристосуваннями - поворотними столами, кондукторами, що забезпечують безпечну роботу.

5.3.11.2. Щоб уникнути захоплення обертовими частинами дреля забороняється:

- надягати ремені передач при включеному електродвигуні;
- користуватися патронами, інструментами і пристосуваннями, встановленими в шпинделі верстата і мають виступаючі частини;

- поправляти патрон і свердло, а також знімати з них стружку і торкатися до них руками під час обертання.

5.3.11.3. Свердління тонких планок, смуг виробляти із застосуванням, відповідних упорів, підкладок з дерева, або в машинних лещатах.

При свердлінні дрібних деталей необхідно утримувати їх ручними лещатами.

5.3.11.4. Щоб уникнути поломки свердла і поранення робочого осколками необхідно:

- свердло до оброблюваного виробу підводити тільки після включення станка, так, щоб воно злегка торкнулося поверхні виробу; перед свердлінням центр отвору намітити керном;

- під час свердління глибоких отворів для видалення стружки, не зупиняючи верстата, періодично виводити свердло з сверлильного отвори;

- під час свердління наскрізних отворів, коли свердло підходить до виходу, необхідно вимкнути механічну подачу і досверлівать отвір з уповільненою ручною подачею.

5.3.11.5. Видаляти стружку з просвердлених отворів необхідно гачком, щіткою або магнітом після зупинки верстата і відведення інструменту.

5.3.11.6. При обробці деталей на свердлильному верстаті не допускається:

- притримувати оброблювану деталь руками;

- закріплювати свердло або деталь під час роботи верстата;

- гальмувати верстат натиском руки на шпиндель або патрон;

- працювати в рукавицях або рукавичках;

- перевіряти пальцем вихід свердла знизу деталі;

- здувати стружку зі столу верстата.

5.3.11.7. При роботі на свердлильному верстаті з застосуванням охолоджувальної рідини слід наносити її на оброблювану деталь спеціальним пензликом.

5.3.12. Заходи безпеки при роботі на стругальних верстатах.

5.3.12.1. При роботі на верстаті встановлювати пересувні огорожі на всю довжину ходу стола.

5.3.12.2. В процесі роботи стежити за справністю кінцевих перемикачів (кулачків перемикання), що обмежують хід верстата.

5.3.12.3. Під час роботи на строгальному верстаті не допускається:

- входити в зону руху повзуна або столу;
- складувати в зоні руху повзуна або столу заготовки, готові вироби, сторонні предмети;
- вручну подавати супорт поперечно-стругального верстата під час ходу повзуна;
- проводити регулювання величини ходу столу і наладку кулачків перемикання;
- кріпити деталь в лещатах при розташуванні затискних губок паралельно ходу повзуна;
- залишати на столі верстата інструмент, деталі та ін.

5.3.13. Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах.

5.3.13.1. Установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками.

5.3.13.2. Перед установкою кола ретельно оглядається на відсутність тріщин. Користуватися кругами, що мають тріщини або вибоїни, забороняється.

5.3.13.3. Кола абразивні повинні мати штамп або наклейку про випробування - порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування. Використання кіл без відмітки про випробування забороняється. Дані про випробування кожного кола записуються в журнал випробувань кола.

5.3.13.4. У кожного загострювальної верстата вивішують табличку із зазначенням особи, відповідальної за експлуатацію верстата.

5.3.13.5. У кожного верстата вивішують табличку із зазначенням допустимої роботи окружної швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину.

5.3.13.6. Кріплення кола при установці на шпиндель дозволяється проводити тільки за допомогою двох затискних фланців однакового діаметра. Діаметр

затискних фланців повинен бути не менше  $1/3$  діаметра кола. Виступаюча частина кола під фланцями не менше 10-12 мм.

5.3.13.7. Між фланцями і кругом по обидва боки необхідно встановлювати прокладки з еластичного матеріалу (щільного картону, гуми і т.п.), товщиною від 0,1 до 1 мм в залежності від діаметру кола.

5.3.13.8. Затягування гайок шпинделя виробляється тільки гайковим ключем. Застосування зубила і молотка для затягування гайок забороняється.

5.3.13.9. Пересування випробовуваних кіл по підлозі забороняється.

5.3.13.10. Обертається абразивний коло, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захищають захисними кожухами.

5.3.13.11. Підручники повинні мати достатню за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм.

5.3.13.12. При заточуванні інструменту не ставати проти поворотного круга. Стояти дозволяється поза небезпекою обертання кола (каменю).

5.3.13.13. При роботі на верстаті підводити деталь необхідно плавно, не допускати ударів деталі про коло.

При виявленні биття круга необхідно зупинити верстат і встановити несправність.

5.3.13.14. Робота бічними (торцевими) поверхнями кругів допускається тільки в тому випадку, якщо ці кола спеціально призначені для даного виду робіт.

5.3.13.15. При заточуванні інструмент надійно тримати в руках, щоб не допустити заклинювання його між підручниками і кругом.

5.3.13.16. Під час роботи заточувальних верстатів не допускається:

- зачищати коло і стосуватися його руками;
- користуватися несправними та невипробовані колами;
- відкривати захисні кожухи кола, вала, шпинделя, шківа, ременя;
- надягати, знімати і переводити ролики;
- працювати без підручника, захисного екрана або очок, якщо верстат не

заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилю.

5.3.13.17. Час випробування кіл має бути наступне: для кіл діаметром до 400 мм-не менше 2 хвилин, при роботі з колом діаметром понад 400 мм - не менше 5 хвилин.

#### **5.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях при роботі на верстатах всіх типів**

5.4.1. У разі виявлення несправності, яка загрожує життю працюючих необхідно негайно припинити роботу і доповісти про це майстру або механіку.

5.4.2. У разі пожеж, стихійних лих, оголошення надзвичайних ситуацій необхідно негайно припинити роботу, знеструмити верстат і виконувати розпорядження керівництва.

5.4.3. При нещасному випадку необхідно зупинити обладнання, надати допомогу потерпілому, викликати швидку допомогу, доповісти керівнику.

#### **5.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи**

5.5.1. Вимкнути верстат і електродвигун.

5.5.2. Привести в порядок робоче місце: прибрати стружку з верстата, інструмент і пристосування, покласти у відведене місце, акуратно поскладати готові деталі, заготовки.

5.5.3. Використані обтиральні матеріали необхідно прибрати в спеціальні ящики.

5.5.4. Змастити труться верстата.

5.5.5. При здачі зміни повідомити змінника або керівнику про помічені несправності верстата.

## ВИСНОВКИ

1. В роботі вирішена важлива задача підвищення періоду стійкості збірних ріжучих інструментів при сухому різанні новими способами випарного охолодження, що дозволяють забезпечити зниження загальних витрат на виробництво.

2. Розроблені, виготовлені і випробувані нові конструкції збірних різців з СМП, оснащені системами випарного охолодження відкритого і закритого типу з ТТ, дають можливість при сухому різанні (сталь 110М13Л) на режимах чистового точіння ( $t = 0,5$  мм,  $s = 0, 1$  мм / об) в діапазоні швидкостей  $V = 40 \dots 60$  м / хв підвищити період стійкості інструменту до 2-х разів у разі використання системи випарного охолодження відкритого типу, а в разі застосування системи охолодження закритого типу (110М13Л і ВТЗ-1) в діапазоні швидкостей  $V = 30 \dots 60$  м / хв період стійкості інструменту підвищується в 1,8 ... 1,9 раз. Пропоновані системи охолодження можуть бути розглянуті як альтернатива традиційному застосуванню дорогих і постійно витрачаються МОТС.

3. Розроблено загальну теплову схему КСВ збірних інструментів, засновану на підтримці легкоплавкої речовини в порожнині державки різця в тривалому стані фазового переходу першого роду, який можна порівняти з основним часом виконуваної технологічної операції, що дозволяє визначити залежності для часу розплавлення робочої речовини і координати кордону фазового розділу від часу нагріву в результаті рішення «завдання Стефана» в одновимірному наближенні.

4. Сформульовано умови працездатності КСО, що визначають допустимий діапазон значень координат кордону розділу фаз легкоплавкого речовини, а також швидкість її переміщення всередині порожнини в державке різця, що дозволяють підвищити ефективність запропонованої системи охолодження. При цьому встановлено, що положення координати кордону розділу фаз залежить від оброблюваного та інструментального

матеріалів, типу легкоплавкого речовини, режимів різання і факторів, що впливають на тепловідвід з області розташування робочої речовини.

5. Як пристрій, що охолоджує зону розташування робочого речовини, запропоновано використовувати стандартні теплові труби, що дають можливість реалізувати розроблену конструкцію з мінімальними витратами.

6. На підставі розробленої теплової схеми охолодження і сформульованих умов її працездатності сконструйована і виготовлена нова конструкція збірного різця з КСО зі спільним використанням плавких робочих речовин і теплових труб. Проведена серія вимірювань розподілу температури по довжині державки різця показала здатність запропонованого методу впливати на температуру під нижньою опорною площиною ріжучої пластини, забезпечуючи її істотне зниження (Від 70 до 100 ° С) і подальшу тривалу температурну стабілізацію при застосуванні різця з КСВ. Це дає можливість впливати на продуктивність процесу різання на верстатах з ЧПУ, використовуючи як критерій при зміні швидкості різання значення температурних кривих.

7. Використання КСО дає можливість підвищити період стійкості збірних різців при сухому різанні при обробці нізкотеплопроводного важкооброблюваних матеріалів (стали 110М13Л і титанового сплаву ВТ3-1) на режимах чистового точіння ( $t = 0,5$  мм,  $s = 0,1$  мм / об) в діапазоні швидкостей  $V = 30 \dots 60$  м / хв до 2 ... 2,3 рази, а розмірну стійкість до 2,5 раз, що забезпечує зниження шорсткості обробленої поверхні до 45%.

Запропонований метод зниження температури при сухому різанні може бути застосований в технологічних системах інших видів металообробки (розточування глибоких отворів, розгортання, фрезерування тощо).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Абрамов М.М. Водопостачання: навч. для вузів / М.М. Абрамов. - 2-е вид., Перераб. і доп. М.: Стройвидав., 1974. - 480 с.
2. Аваков А.А. Фізичні основи теорії стійкості ріжучого інструменту / А.А. Аваков. - М.: Машгиз, 1960. - 308 с.
3. Азаров А.І. Багатоцільові вихрові повітроохолоджувачі: дослідження масштабів промислового використання / А.І. Азаров // Вісник МГТУ ім. Баумана. Сер. Машинобудування. Спеціальний вип. Кріогеніка, 2000. - С.93-99.
4. Акімов І.А. Аналітичне рішення задач тепломасообміну в багат шарових конструкціях для моделювання процесу виготовлення композиційних матеріалів з фазовими переходами / І.А. Акімов, В.Н. Козлов // Вісті міжнародної академії наук вищої школи.-2006. - №3 (37). - С.214-227
5. Акімов І.А. Моделювання тепломасообміну в багат шарових конструкціях при виготовленні композиційних матеріалів з фазовими переходами / І.А. Акімов, В.Н. Козлов // Вісті вузів. Сівши.- Кавк. регіон. Техн. науки.- 2006.- Додаток №11.
6. Алексєєв В.А. Охолодження радіоелектронної апаратури з використанням плавячихся речовин / В.А. Алексєєв. - М.: Енергія, 1975.- 88с.
7. Алексєєв В.А. Теплові труби для охолодження і термостатування радіоелектронної апаратури / В.А. Алексєєв, В.А. Ареф'єв.- М.: Енергія, 1979.-128 с.
8. Алексєєв В.А. Новий тип теплових акумуляторів для охолодження радіоелектронної апаратури космічних апаратів / В.А. Алексєєв, А.Е. карабін [Електронний ресурс]. - Праці МАІ. - 2011. - Вип.49. - Режим доступу: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=28050>, вільний.- Загл.с екрану. - № держ. рег. ФС77-58560. - 23.04.2015



9. Андреев В.М. Инструмент для высокопродуктивного та екологічно чистого різання / В.Н. Андреев, Г.В. Боровський, В.Г. Боровський и др М.: Машинобудування, 2010.-480с.
10. Андоні С.М. Охолодження доменних печей / С.М. Андоні, О.В. Філіп'єв, Г.А. Кудінов. - М.: Металургія, 1972. - 368 с.
11. А.с. № 187135 СРСР. Система випарного охолодження електричних машин / В.І. Лахова, В.А. Винокуров, А.В. Корицький. - №701020 / 24-7; заявл.30.12.58; опубл. 11.10.66, Бюл.№ 20. - 1с.
12. Бабічев А.П. Довідник інженера-технолога в машинобудуванні / А.П. Бабічев, І.М. Чукаріна, Т.Н. Рисева та ін. Ростов-на-Дону: Фенікс, 2006.-541с.
13. Болгарський А.В. Термодинаміка і теплопередача / А.В. Болгарський, Д.А.Мухачев, В.К. Щукін. - М.: Вища. шк., 1975. - 495 с.
14. Бржозовський, Б.М. Забезпечення надійності визначення режимів лезвійної обробки для автоматизованого верстатного обладнання: монографія / Б.М. Бржозовський, А.Л. Плотніков; Саратов. держ. техн. ун-т. - Саратов, 2001.-88с.
15. Бродников А.Ф. Розробка і дослідження мініатюрних ампул реперних точок для еталонних мір температури: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.15. -Новосибірськ, 2010. - 21с.
16. Васін С.А. Різання матеріалів: термомеханічний підхід до системи взаємозв'язків при різанні / С.А. Васін, А.С. Верещака, В.С.Кушнер: навч. для вузів.- М.: Изд-во МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2001.- 448 с.
17. Васін С.А. Проектування багатогранних пластин. Методологічні принципи / С.А. Васін, С.Я. Хлуд. - М., Машинобудування, 2006. - 352 с.
18. Верещака А.С. Різання матеріалів: навч. / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. - М.:Вища. шк., 2009.- 535 с.
19. Грібельний М.Г. Моделювання працездатності теплової труби за допомогою термоелектричних модулів Пельтьє / М.Г. Грібельний, Ю.С. Дубров,С.В. Нехорошков // Збірник праць ХІХ міжнародної наукової

конференції «Математичні методи в техніці та технологіях». / ВГТУ. -  
Вороніж, 2006. -Т.5. - С. 96-98.

20. Григор'єв С.М. Методи підвищення стійкості ріжучого інструменту:  
навч. для студентів вузів. / С.Н. Григор'єв. - М.: Машинобудування, 2009. -  
368 с.

21. Григор'єв С.М. Нанесення покриттів і поверхнева модифікація  
інструменту / С.М. Григор'єв, М.А. Волосова: навч. посібник. - М.: ВЦ  
МГТУ «Станкин», Янус-К, 2007.-324 с.

22. Григор'єв С.М. Сучасні інструментальні матеріали: навчальний  
посібник /С.Н. Григор'єв, В.А. Гречишников, А.Р. Маслов. та ін-М.:  
Видавництво. центр МГТУ «Станкин», 2011.-104 с.

23. Григор'єв С.М. Виробництво високотехнологічних деталей в  
машинобудуванні: навчальний посібник / С.М. Григор'єв, А.Р. Маслов, А.М.  
Могилевський та ін-М.:Видав. центр МГТУ «Станкин», 2011. -88с.

24. Григор'єв С.М. Оперативне управління процесом різання по  
максимальній температурі / С.М. Григор'єв, М.В. Терешин //  
Теплофизические і технологічні аспекти підвищення ефективності  
машинобудівного виробництва: тр.ІІ Міжнар. наук.-техн. конф.  
(Резніковська читання) / ТГУ.- Тольятті, 2011.- С.30-35.

25. Губа А. А. Термоелектричні пристрої для термостатування з  
використанням плавких речовин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03. -  
Махачкала, 2008. - 20с.

26. Дан П.Д., Рей Д.А. Теплові труби / пер. з англ. / П.Д. Дан, Д.А. Рей.  
- М.: Енергія, 1979.- 272 с.

27. Даніелян А.М. Різання металів і інструмент А.М.. Даніелян.- М.:  
Машгиз, 1950.-451 с.

28. Дубров Д.Ю. Підвищення ефективності процесу різання шляхом  
регулювання тепловідведення / Д.Ю. Дубров, А.С. Циновкін // Известия  
ОрелГТУ. - 2009. -№2-3. - С. 17-24.

29. Дубров Д.Ю. Транспіраційний охолодження ріжучих інструментів / Д.Ю.Дубров, В.І. Гаршин, Г.С. Миколаєва // Збірник праць XXI міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» /СГТУ. - Саратов, 2008. - Т.4. - С. 189-190.

30. Дубров Д.Ю. До питання про застосування теплових труб при точінні / Д.Ю. Дубров, Ю.С. Дубров, Г.С. Миколаєва // Інновації в науці та освіті 2008 VI Ювілей. міжнар. науч. конф., посвящ. 50-річчя перебування КДТУ на Калінінградській землі, 21 - 23 Жовтня. -Калінінград, 2008. -С. 238 - 241

31. Дубров Д.Ю., Миколаєва Г.С. Підвищення ефективності механічної обробки на основі застосування теплових труб в збірних різцях / Д.Ю. Дубров, Г.С.Миколаєва // «Всеросійська науково-технічна конференція" Нові матеріали і технології "НМТ-2008, 11-12 листопада 2008 р / МАТИ. - М., 2008. -С.10 - 11.

32. Дубров Д.Ю. Моделювання термічного опору в контактній зоні різання / Д.Ю. Дубров // Праці всеросійської науково-практичної конференції "Транспорт - 2010", квітень / РГУПС. - Ростов н / Д, 2010. - Ч.3. - С.10-12.

33. Дубров Д.Ю. Екологічно безпечна автономна система охолодження збірних різців на основі фазових переходів першого роду / Д.Ю. Дубров, А.Н. Чукарін // Вісник РГУПС. - 2011. - №2 (42) - С. 5-12.

34. Дубров Д.Ю.Комплексная система охолодження ріжучих інструментів на основі фазових переходів першого роду /Д.Ю.Дубров//Теплофізические і технологічні аспекти підвищення ефективності машинобудівного виробництва: тр. III Міжнародної науково-технічної конференції (Резніковське читання) / ТГУ.- Тольятті, 2011 року. - С.35-38.

35. Дубров Д.Ю. Підвищення ефективності обробки різанням: моногр. /С.І. Брусов, Г.І. Добровольський, Д.Ю. Дубров і ін .; під ред. А.В. Киричека - М .: Видавництво. будинок «Спектр», -2012 С. 134 - 177.

36. Дубров Ю.С. Моделювання впливу теплових потоків в збірних ріжучих інструментах на усадку стружки / Ю.С. Дубров, Г.С. Миколаєва, С.В. Нехорошков // Матеріали XVIII міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях»: зб. тр. / КДТУ. - Казань, 2005. - Т.5.- С. 108- 109.

37. Дубров Ю.С. До питання про ефективність обробки без смазуючо-охлаждаючих коштів збірними токарськими різцями / Ю.С. Дубров, С.В. Нехорошков, Г.С. Миколаєва // Збірник праць науково-практичної конференції «Сучасні інноваційні технології в сільськогосподарському машинобудуванні». - Ростов / Д, 2007. - С. 162-167.

38. Дубров Ю.С. Підвищення екологічної безпеки при металообробці / Ю.С. Дубров, В.І. Гаршин, Д.Ю. Дубров і ін. // Збірник праць п'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Дослідження, розробка і застосування високих технологій в промисловості» / СПб Держ. політехн. ун-т.- СПб.,2008.- С.425-427.

39.Дубров Ю.С. Моделювання зносу змінних багатогранних пластин підвищеної теплопровідності / Ю.С. Дубров, С.В. Нехорошков, Г.С. Миколаєва та ін.// Збірник праць XXI міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях»/ СГТУ. - Саратов, 2008. - Т.4. - С. 166 - 168.

40.Дубров Ю.С. АВС-аналіз при побудові моделі сумарної похибки обробки різанням / Ю.С. Дубров, С.В. Нехорошков, Г.С. Миколаєва та ін. // Збірник праць XXI міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці і технологіях»/ СГТУ. - Саратов, 2008. - Т.4. - С. 158 - 160.

41. Єлісеєв В.В. Що таке теплова труба В.В.. Єлісеєв, Д.Н. Сергеев.- М., Енергія, 1971.- 136 с.

42.Зайнуллін Р.Г. Математичне моделювання процесу теплообміну з фазовим переходом / Р.Г. Зайнуллин // Вісник УГАТУ.- Т.13, №2 (35) .- С.265-279.

43. Іванівський М.Н. Фізичні основи теплових труб /М.Н. Іванівський, В.П. Сорокін, І.В. Ягодкін.- М .: Атомиздат, 1978.- 256 с.
- 44.Івановскій М.Н. Технологічні основи теплових труб / М.Н. Іванівський, В.П. Сорокін, Б.А. Чулков та ін. - М.: Атомиздат, 1980.- 157 с.
45. Кащеев В.Н. Процеси в зоні фрикційного контакту металів / В.Н. Кащеев.- М .: Машинобудування, 1987. - 212 с.
46. Клокке Ф. Суха обробка основи, межі, перспективи // Повідомлення VDI 1240 «На шляху до сухій обробці - технологічний виклик» / Ф. Клокке, К. Гершвіллер. - Дюссельдорф: Изд-во VDI, 1996. - С. 1-39.
47. Клушин М.І. Різання металів / М.І. Клушін.- М.: Машгиз, 1958.-454 с.
48. Козлов А.М. Збірний торцевий абразивний інструмент для дискретного шліфування циліндричних деталей [Електронний ресурс] А.М.. Козлов. - Режимдоступу: [http://sciencebsea.narod.ru/2005/mashin\\_2005/kozlov\\_sbor.htm](http://sciencebsea.narod.ru/2005/mashin_2005/kozlov_sbor.htm).-23.04.15
49. Козлов А.М. Створення негативного зворотного зв'язку в динамічних системах з запізненням / А.М. Козлов, Е.В. Кірющенко // Вісник УГАТУ.- 2012. -Т.16, №4 (49) .- С. 90-97.
50. Козлов А.М. Вибір довжини зачищають кромки широкого різця на основі параметрів стружки / А.М. Козлов, А.Н. Кичигин // Нові матеріали і технології в машинобудуванні: сб. науч. тр. за підсумками міжнар. наук.-техн. конф.- Брянськ: БГІТА. 2007. - Вип.7. - С.70-72
51. Колесніков В.І. Теплофізичні процеси в металополімерних трибосистеми / В.І. Колесніков М .: Наука, 2003.-279 с.
52. Кошкіна Т.А. Реакція фізіологічних систем організму на хімічний вміст мастильно-охолоджуючих рідин: автореф. дис.канд., біол.наук: 03.00.13.- Тюмень, 2007. - 22с.
53. Куклін Л.Г. Підвищення міцності зносостійкості твердосплавного інструменту / Л.Г. Куклін, В.І. Сагалов, В.Б. Серебровський і ін. - Свердловськ, 1960. - 217 с.

54. Латишев В. Н. Вплив повітряного середовища, активованої коронним розрядом, на процес різання металів / В.Н. Латишев, А.Г. Наумов, Т.М. Аснос і ін. //Фізика, хімія і механіка трібосистем.-, 2003. - № 2. - С. 14-16.
55. Левицький М.П. Температура при різанні металів / М.П. Левіцький.- Журнал технічної фізики.-1952.-Т.ХХІІ, вип. 4.- С.207-217.
56. Легкоплавкие сплавы, що застосовуються в сучасній світовій промисловості [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://4108.ru/u/legkoplavkie\\_splavyi\\_-\\_vidyi\\_i\\_sostavyi\\_legkoplavkih\\_splavov,](http://4108.ru/u/legkoplavkie_splavyi_-_vidyi_i_sostavyi_legkoplavkih_splavov,вільний) вільний .- Загл. з екрана.- 23.04.15
57. Лоладзе Т.Н. Знос ріжучого інструменту / Т.М. Лоладзе. - М .: Машгиз, 1958. - 355 с.
58. Лоладзе Т.Н. Міцність і зносостійкість ріжучого інструменту /Т.Н. Лоладзе.- М.: Машинобудування, 1982.-320 с.
59. Лоладзе Т.Н. Стружкообразование при різанні металів / Т.М. Лоладзе.- М.: Машгиз, 1952.-176 с.
60. Лукс А.Л. Аналіз концепції застосування теплових труб і їх основних характеристик при формуванні модулів космічного апарату /А.Л. Лукс // Збірник тез доповідей ІІІ Міжнародної науково-технічної конференції "Фізика і технічні додатки хвильових процесів",6-12 сент.- Волгоград, 2004.- С. 57.
61. Ликов А.В. Теорія теплопровідності / А.В. Ликов.- М .: Вища. шк., 1967.- 600 с.
62. Ликов А.В. Тепломасообмін: Довідник / А.В. Ликов.- Изд.2-Є.-М., 1978.- 480 с.
63. Макаров А.Д. Знос і стійкість ріжучих інструментів / А.Д. Макаров. - М .: Машинобудування, 1966. - 263 с.
64. Малишев В.І. Нариси історії науки про різанні матеріалів: монографія В.І. Малишев.- Тольятті: ТГУ, 2011.-216с.

65. Маслов А.Р. Инструментальна оснащення для високоефективного різання: довідник / А.Р. Маслов.-3-е изд., Стереотип М.: ІТЗ, 2010.-114 с.
66. Маслов А.Р. Розвиток високоефективних технологій в машинобудуванні / А.Р. Маслов. - М.: ІТЗ, 2008.-222 с.
67. Маслов А.Р. Різання металів в сучасному машинобудуванні: довідник / А.Р. Маслов.- М.: ІТЗ, 2008.-300 с.
68. Махмудова М. М. Системи охолодження елементів радіоелектронної апаратури, що працюють в режимі повторно-короткочасних тепловиділень: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03.- Махачкала, - 2008.-19 с.
69. Меркулов А.П. Вихровий ефект і його застосування в техніці / А.П. Меркулов.- Самара: Оптима, 1997. - 184с.
70. Місила Р.А. Про міцність і стійкість різців з укороченими задніми поверхнями / Р.А. Місила // Праці ТДВ, сер. А. №306. - Таллінн, 1971. - 130 с.
71. Можаяев С.С. Швидкісне та силове точіння сталей підвищеної міцності / С.С. Можаяев, Т.Г. Саромотіна.-М.: Оборонгиз, 1957.-275 с.
72. Музикант Я.А. Прорізання канавок і відрізання на токарних верстатах з подачеюМОР в зону різання / Я.А. Музикант // Вісник МГТУ «Станкин» .- 2008.- №2 (2) .- С. 49-54.
73. Нехорошков С.В. Модель теплових і термоелектричних процесів в збірному різці / С.В. Нехорошков, Г.С. Миколаєва, Ю.С. Дубров // Збірник праць ХІХ міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях»/ ВГТУ. - Воронеж, 2006. - Т. 5 .- С. 99-100.
74. Нехорошков С.В. Модель теплових потоків при різанні пластинами підвищеної теплопровідності / С.В. Нехорошков [Електронний ресурс] .- "Досліджено в Росії", - 2006.-133.-Режим доступу: <Http://Zhurnal.Ape.Relarn.Ru/Articles/2006/ /133.Pdf>, свободний.-Загл. з екрана.- 17.11.12.

75. Нехорошков С.В. Експериментальні дослідження температурного подовження збірних токарних різців / С.В. Нехорошков, Ю.С. Дубров, Г.С. Миколаєва // Вісник ДГТУ.- 2007.- Т.7, №4 (35) .- С. 475-479.

76. Нехорошков С.В. Комп'ютерне моделювання міцності твердосплавних ріжучих пластин підвищеної теплопровідності / С.В. Нехорошков // Збірник праць XX міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці і технологіях ». / ЯГТУ. - Ярославль, 2007. - Т.4.- С. 55-56.

77. Нехорошков С.В. Експериментальні дослідження працездатності твердосплавних пластин підвищеної теплопровідності / С.В. Нехорошков, Ю.С. Дубров, Г.С. Миколаєва // Збірник праць XX міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях / ЯГТУ. - Ярославль, - Т.4.- 2007. - С. 53-55.

78. Нехорошков С.В. Збірні різці з пластинами підвищеної теплопровідності / С.В. Нехорошков // СТІН.- 2008.- №8.- С. 17-20.

79. Нехорошков С.В. Про вплив коефіцієнта теплопровідності інструментального матеріалу на усадку стружки / С.В. Нехорошков, Ю.С. Дубров, Г.С. Миколаєва // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 26 - 29 січня / Зростання. держ. акад. с.-г. машиностроєння.- Ростов н / Д, 2008. С. 143-145.

80. Нехорошков С.В. Визначення температури на контактній поверхні ріжучого інструменту дилатометричним методом / С.В. Нехорошков, Д.Ю. Дубров, А.С. Циновкін // Збірник праць XXI міжнародної наукової конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» / СГТУ. - Саратов, 2008. - Т.4.- С. 219 - 220.

81. Миколаєва Г.С. Різці з укороченою задньою поверхнею / Г.С. Миколаєва. - Машиностроитель.-1966. - №6. - С. 8

82. Миколаєва Г.С. Непереточувані пластини підвищеної теплопровідності / Г.С. Миколаєва, Ю.С. Дубров, М.М. Якушев та ін. // Праці



науково-теоретичної конференції професорсько-викладацького складу «Транспорт 2003» / РГУПС. - Ростов н / Д, 2003. - Ч.1.- С. 126-127.

83. Миколаєва Г.С. Підвищення надійності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва / Г.С. Миколаєва, Ю.С. Дубров, С.В. Нехорошков // Ювілейний збірник науково-методичних праць викладачів і студентів факультету «Дорожньо-будівельні машини», присвячений 50-річчю факультету / РГУПС. - Ростов н / Д, 2004. - С. 67-68.

84. Миколаєва Г.С. Застосування закону Парето при оцінці систематичних похибок обробки збірними різцями / Г.С. Миколаєва, С.В. Нехорошков, Ю.С. Дубров // Праці всеросійської науково-практичної конференції «Транспорт 2006» / РГУПС. - Ростов н / Д, 2006. - С. 24-26.

85. Ординарців І.А. Довідник інструментальника / І. А. Ординарців, Г. В. Філіппов, А. Н. Шевченко та ін .; під заг. ред. І. А. Ордінарцева. - Л .: Машинобудування, 1987. - 846 с.

86. ОСТ5.9689-77. Галузевий стандарт Обробка механічна високомарганцовістий сталей. Геометрія ріжучого інструменту та режими різання. -Л .: 1978.- 73 с.

87. Остафьев В. А. Розрахунок динамічної міцності ріжучого інструменту / В. А. Остафьев. М .: Машинобудування, 1979. - 168 с.

88. Павлов Б.Н. Чисельна реалізація фронтів моделі промерзання водонасичених середовищ з урахуванням залежності температури фазового переходу від тиску і концентрації / Б.М. Павлов, Е.Е. Петров // Інженерно-фізичний журнал 1999.- Т. 72, №1.- С.72-78

89. Панкін А.В Обробка металів різанням / А.В. Панкін.-М.: Машгиз, 1961.- 522с.

90. Пат. 2390401 Російська Федерація, МПК В23Р 15/28. Спосіб відведення тепла від контактних поверхонь ріжучого інструменту / Р.Г. Ахмаров, Л.Ш. Шустер, М.Ш. Мігранов і ін. - № 2008139354/02; заявл. 02.10.2008; опубл.27.05.2010, Бюл.№ 15.- 4с.

91. Пат. на корисну модель 99363 Російська Федерація, МПК В23В 27/10 Ріжучий інструмент / В.Л. Гапонов, В.І. Гаршин, Д.Ю. Дубров і ін. - № 2010129134/02; заявл. 13.07.10; опубл. 20.11.10, Бюл. № 32.

92. Пат. на корисну модель 104106 Російська Федерація МПК В23В 27/10 Ріжуча пластина / В.Л. Гапонов, В.І. Гаршин, Ю.С. Дубров і ін. - № 2009127266/02; заявл. 15.07.09; опубл. 10.05.11, Бюл. № 13.

93. Пат. на корисну модель 111787 Російська Федерація МПК В23В 27/10 Ріжучий інструмент / В.Л. Гапонов, В.І. Гаршин, Д.Ю. Дубров і ін. - № 201113853/02; заявл. 28.07.11; опубл. 27.12.11, Бюл. № 36.

94. Плотніков, А.Л. Управління режимами різання на токарних верстатах з ЧПУ: монографія / А.Л. Плотніков, А.О. Таубе; ВолгГТУ.- Волгоград: РПК "Політехнік", 2003.-184с.

95. Подураев В.Н. Обробка різанням жароміцних і нержавіючих матеріалів / В.Н. Подураев.- М.: Вища. шк., 1965. - 518с.

96. Подураев В.Н. Технологія фізико-хімічних методів обробки / В.Н. Подураев. - М.: Машинобудування, 1985. - 264 с.

97. Полянчиков Ю.Н. Особливості процесу обробки різанням важкооброблюваних сталей / Ю.М. Полянчиков, В.В. Іванов, С. В. Іванов та ін. // Вісті ВГТУ.-2006.- №2. - С.52-53.

98. Попов В.М. Теплообмін в зоні контакту рознімних і нероз'ємних з'єднань / В.М. Попов. - М., Енергія, 1971. - С. 155.

99. Попова Т.В. Дослідження забрудненої повітряного середовища при металообробці / Т.В. Попова // Безпека життєдіяльності.-2006.- №6.- с. 19-21.

100. Пористі матеріали і можливості їх застосування в промисловості [Електронний ресурс] .- Режим доступу: [http://www.depo-portal.ru/clause\\_64.htm](http://www.depo-portal.ru/clause_64.htm), вільний. - Загл. з екрана.- 10.12.18

101. Проскуряков, Ю. Г. тонкорозпилену охолодження ріжучих інструментів / Ю. Г. Проскуряков, В. Н. Петров М.: Машгиз, 1962. - 112 с.

102. Профілограф-профілометр «Абрис - ПМ7.4» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.mtpk-lomo.ru/goods/instrumentation/alan\\_abris/abris\\_pm72](http://www.mtpk-lomo.ru/goods/instrumentation/alan_abris/abris_pm72), свободний.- Загл. з екрана.- 3.09.18
103. Розвиток науки про різанні металлов.- М .: Машинобудування, 1967.- 416 с.
104. Розрахунок радіатора [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://skr.radioman.ru/thermal/radiator.php>, вільний. - Загл. з екрана. - 23.04.15
105. Резніков А.Н. Теплообмін при різанні і охолодження інструментів / О.М. Резніков. - М .: Машгиз, 1963. - 200 с.
106. Резніков А. Н. Теплофизика резанія.- М .: Машинобудування, 1969.- 288 с.
107. Резніков А.Н. Теплофизика процесів механічної обробки матеріалів / А.Н. Резніков. - М .: Машинобудування, 1981. - 279 с.
108. Резніков А. Н. Різці з автономною системою охолодження О.М.. Резніков, Н.І. Живоглядів // Верстати і інструмент.-1989 №6, С. 40-41.
109. Резніков А. Н. Вплив автономного охолодження на температуру і стійкість ріжучих інструментів / О.М. Резніков, Н.І. Живоглядів // Верстати і інструмент -1989. - №4, -С.18-20.
110. Резніков А.Н. Теплові процеси в технологічних системах / О.М. Резніков, Л.А. Резніков. - М .: Машинобудування, 1990. - 288 с.
111. Режими різання важкооброблюваних матеріалів: довідник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохів, В.І. Захаров і ін. - М .: Машинобудування, 1986. - 240с.
112. Різальний інструмент для автоматів і напівавтоматів / під ред. А.Н. Резнікова.- Куйбишев: Куйбишевське кн. вид-во, 1961. -154с.
113. Різка і обробка титану [Електронний ресурс] .- Режим доступу: <http://www.evek.org/reference/rezka-i-obrabotka-titana.html>, свободний.- Загл. з екрана.- 3.10.18.

114. Розенберг А.М. До теорії процесу різання металів / А.М. Розенберг, А.Н. Єрьомін // Верстати і інструмент .- 1949.- №10.- С. 7-12.
115. Розенберг Ю.А. Різання матеріалів: навч. для вузів / Ю.А. Розенберг.- Курган: Изд-во ВАТ "Поліграфічний комбінат" Зауралля, 2007.- 294 с.
116. Романовський В.І. Математична статистика В.І. Романовській.-М .: Гонти НКТ СРСР, 1938.-527с.
117. Рижкин А.А. Синергетика зношування інструментальних ріжучих матеріалів (трибоелектричних аспекті) / А.А. Рижкин; ДДТУ. - Ростов н / Д, 2004. -323 с.
118. Рижкин А.А. Теплофізичні процеси при зношуванні інструментальних ріжучих матеріалів / А.А. Рижкин; ДДТУ. - Ростов н / Д, 2005. - 311 с.
119. Рижкин А.А. Основи теорії надійності: навч. посібник / А.А. Рижкин, Б.Н. Слюсар, К.Г. Шучев; ДДТУ. - Ростов н / Д, 2002. - 574 с.
120. Рикалін М.М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні / Н.Н.Рикалін.-М .:Мащгіз, 1951.-296 с.
121. Сайт інформаційної підтримки програмного пакета математичного моделювання «ELCUT» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.tor.ru>, вільний, - Загл. з екрана.- 23.08.18.
122. Сілін С.С. Метод подібності при різанні металів / С.С. Сілін. - М .: Машинобудування, 1979. - 152 с.
123. Синопальников В.А. Надійність і діагностика технологічних систем: навч. / В.А. Синопальников, С.Н. Григор'єв.- М .: ВЦ МГТУ «Станкин» Янус-К, 2003. 331с.
124. Довідник технолога-машинобудівника / під ред. А.Г. Косилової і Р.К. Мещерякова. - М .: Машинобудування, 1985. - т.1.- 656 с.
125. Довідник технолога-машинобудівника / Под ред. А.Г. Косилової і Р.К. Мещерякова. - М .: Машинобудування, 1985. -Т2.- 496 с.

126. Сталь 110Г13Л - хімічний склад, властивості, твердість [Електронний ресурс] .- Режим доступу: [http://s-metall.com.ua/index/stal\\_110g13l/0-93](http://s-metall.com.ua/index/stal_110g13l/0-93), вільний.- Загл. з екрана.- 5.11.18

127. Старков В.К. Фізика і оптимізація різання матеріалів / В.К. Старков.- М.: Машинобудування, 2009 - 640 с.

128. Старов В.Н. Використання методу декомпозиції при обліку технологічної спадковості складного технічного об'єкта. Забезпечення якості продукції на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва: межвуз. зб. наук. тр. / В.М. Старов, Н.М. Кременецький, А.В. Гуров і ін.; Воронежський держ. техн. ун-т.- Воронеж: 2014.- Вип.13.- С.18-21

129. Стенлі Г. Фазові переходи і критичні явища / Г. Стенлі. - М.: Світ, 1973.-425с.

130. Тепловизор SDS HotFind-D [Електронний ресурс] .- Режим доступу: <http://www.temon.ru/teplovizor-sds-hotfind-d.html>, вільний. - Загл. з екрану. - 1.09.18.

131. Титан і титанові сплави, що деформуються (по ГОСТ 19807-91) [Електронний ресурс] .- Режим доступу: <http://cncnc.ru/documentation/spravconstr/html/tom1/pages/chapter2/ckm261.html>, вільний.- Загл. з екрана.- 23.07.18.

132. Установка сухого електростатичного охолодження зони різання при механічній обробці металів "СТРИМЕКО" [Електронний ресурс] .- Режим доступу: <http://www.ideasandmoney.ru/Ntrr/Details/136714>, свободний.- Загл. з екрана.- 23.08.18

133. Харитоненко В.Д. Дослідження оброблюваності титанових сплавів і конструкційних сталей інструментами з внутрішнім охолодженням: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / В.Д. Харитоненко. - Брянськ, - 1975.- 17с.

134. Хаустова О.Ю. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту і якості оброблених поверхонь при сухому різанні різних

конструкційних матеріалів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / О. Ю. Хаустова. - М., 2004. - 26 с.

135. Худобин Л.В. Мазильно-холодильні технологічні засоби: Довідник / Л.В. Худобін, А.П. Бабичев, Е.М. Булижев і др.-М.: Машинобудування, 2006. – 544 с.

136. Циновкін А.С. Різці підвищеної теплопровідності / А.С. Циновкін, Ю.С. Дубров. - СТІН.- 2011.- №8.-С.16-22.

137. Циновкін А.С. До питання про підвищення зносостійкості збірних різців шляхом збільшення градієнта температур / А.С. Циновкін, Д.Ю. Дубров, Ю.С. Дубров // Фундаментальні та прикладні проблеми техніки і технології.- 2010.- № 2 (280) .- С.66-72.

138. Чичинадзе А.В. Тертя, знос і мастило (трибологія і триботехніка): / А.В. Чичинадзе, Е.М. Берлінер, Е.Д. Браун та ін .; під заг. ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Машинобудування, 2003. - 576 с.

139. Шликов Ю.П. Контактний теплообмін. Теплопередача між дотичними металевими поверхнями / Ю.П. Шликов, Е.А. Ганін М.; Л., Госенергоіздат, 1963.-144с.

140. Ящеріцин П.І. Теорія різання. Фізичні та теплові процеси в технологічних системах / П.І. Ящеріцин, М.Н. Єрьомін, Т. Е. Фельдштейн. - Мн.: Вища. шк., 1990.-512 с.

141. Canter N. The Possibilities and Limitations of DRY MASHINING / N.Canter // Tribology & Lubrication Technology.- 2009.-№3.- P.40-44.

142. Chiou R.Y. Investigation of Embedded Heat Pipes in Cutting Tools for Dry Machining NSF Grant Number: DMI-0342088 Institution: Drexel University [Електронний ресурс] .- Режим доступу: <http://www.ndia.org/Divisions/Divisions/Manufacturing/Documents/019A/1Hazelrigg%20resentation.pdf>, вільний, - Загл. з екрана.-23.08.18