

Запорізький національний технічний університет
Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра Металорізальних верстатів та інструментів
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Проектування та дослідження ріжучого інструменту для
високопродуктивної обробки деталі "Хрестовина"»

Виконав: студент VI курсу, групи М-213
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(Металорізальні верстати та системи)
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кіщенко В.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник М.С. Комочкін
(прізвище та ініціали)

Рецензент П.В. Гіцушко
(прізвище та ініціали)

2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металургійських верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр
 Спеціальність Металургійські верстати та системи
 (код і назва)
 Напрямок підготовки 133 Галузь машинобудування
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри І.В. Грив
І.В. Грив
 "11" "12" 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Кіщенко Вікторії Андріївни
 (прізвище, ім'я, по батькові)
 Тема проекту (роботи) Проектування та розроблення
інструменту для високоефективної
обробки деталей "Крестовина"
 Рівень проекту (роботи) Кваліфікація М.С.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 Затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" листопада 2018 року № 346
 Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2018р.
 Вихідні дані до проекту (роботи) Креслення "Деталі. Крестовина",
вимога пропозиція випуску n = 500 000 шт

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Оціню літератури; 2. Забезпечення точності і шорсткості при обробці деталей; 3. Розроблення вибору швидкості обертання та температурної поєд; 4. Проектування інструментальної головки; 5. Вибір праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Робоче креслення деталей "Крестовина", сшаровані креслення інструментальної головки, надроби на точарні праці

7. Дата видачі завдання 03 вересня 2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент

Киченко В
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Комочийи М.с
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується безперервним збільшенням швидкостей робочих процесів, підвищенням фізичних параметрів - тисків, температур, великими потужностями, зосередженими в одному агрегаті, і автоматизацією. Це призводить до того, що все більш зростають вимоги до якості виготовлення деталей і їх точності. Від механо-складального циклу виробництва залежить остаточне формоутворення деталей і правильна сборка машин. Тому разом з роботою над підвищенням продуктивності процесів виробництва, питання про підвищення якості продукції, що випускається, займає центральне місце.

Шляхи розвитку сучасного машинобудування дуже різноманітні і на нинішньому етапі швидкого руху вперед науки і техніки важко передбачити, що принесе завтрашній день. Проте вже зараз можна досить точно встановити основні напрями розвитку машинобудування.

Йде безперервне збільшення потужностей машин, що спричиняє за собою послідовне укрупнення агрегатів. Другим напрямом, що грає вирішальну роль в сучасному машинобудуванні, необхідно визнати високі швидкості і зростання числа обертів. Вже не є фантазією механізми, що дають 100000 обертів за хвилину. І, нарешті, повна автоматизація і доведення участі людини у виробничому процесі до мінімуму визначають третій напрям в розвитку машинобудування.

У світлі вказаних шляхів розвитку машинобудування проблема якості поверхневого шару деталей машин набуває великого значення. Для зменшення об'єму і ваги сучасних машин машинобудівники повинні знаходити шляхи застосування якісніших легованих сталей, а також вивчати вплив якості поверхні на термін служби машини – на тертя, знос, міцність, мастило та ін.

Знання конструкторами ступеня впливу якості поверхневого шару на окремі чинники, що відбиваються на експлуатаційних властивостях машини, скоротили б випадки необгрунтованого вибору найбільш чистих і точних

посадок поверхонь, зайвих запасів міцності і т.д. Знання конструкторами мікрогеометрії, яка встановлюється між суміжними деталями, що рухаються, при експлуатації машини, різко скоротило б пригоночні роботи, оскільки отримання необхідної мікрогеометрії шляхом механічної обробки більш економічне.

Великий вплив якості поверхневого шару на цілий ряд найважливіших експлуатаційних властивостей виробів робить задачу встановлення і практичного досягнення оптимальної якості поверхневого шару найбільш важливою, складною, первинною і відповідальною проблемою сучасного машинобудування.

Мета роботи - дослідження особливостей високошвидкісної обробки хрестовини і проектування інструментальної головки. Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати огляд літератури по особливостях високошвидкісної обробки матеріалів.
2. На основі рекомендацій виробників ріжучого інструменту для високошвидкісної обробки розрахувати режими різання на попередню і остаточну обробку деталі.
3. Провести теоретичні дослідження впливу швидкості різання на температурні поля у виробі.
4. Розробити конструкцію спеціальної інструментальної головки для високошвидкісної обробки хрестовини, вибрати матеріал ріжучої частини інструменту, спосіб кріплення ріжучих пластин та розрахувати кути їх установки.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Нові технології обробки матеріалів в загартованому стані

Тверда обробка, тобто обробка матеріалів в твердому стані після термообробки давно перестала бути чимось незвичайним. Під технологію твердої обробки перебудовані численні технологічні ланцюжки в автомобільній і інших областях промисловості. Твердою називають обробку деталей з твердістю вище 47 HRC. Основним технологічним рішенням для цієї обробки завжди було шліфування, тому основним завданням твердої обробки стала заміна шліфування лезвійною обробкою. Найбільше поширення отримало тверде точіння, за ним йде тверде фрезерування, тверде свердління і протягування.

Метою заміни шліфування твердою обробкою є підвищення економічності. Зняття матеріалу при твердому точінні в три рази менше, ніж при шліфуванні. Вартість токарного верстата також приблизно в три рази нижче, ніж шліфувального. Точність обробки ідентична при твердому точінні і шліфуванні, а час обробки - значно (іноді в три рази) нижче. Важливу роль грає той факт, що тверде точіння має набагато більш високу гнучкість - можлива обробка складнопрофільних деталей, тоді як на шліфувальному верстаті така обробка вимагає заміни кругів і підналадки верстата. Нарешті, утилізація стружки простіша і дешевша, ніж шліфувального шламу. В результаті, тверде точіння практично завжди на 30-50% економічніше за шліфування.

Обмеженням для повсюдного використання твердого точіння є необхідність застосування верстата, що має достатню жорсткість і вібростійку. Зусилля, що виникають при твердому точінні, мають бути адекватно сприйняті верстатом.

Високошвидкісна ж обробка нині є найбільш обговорюваною і найбільш багатообіцяючою технологією обробки матеріалів. У цю технологію вже зараз вкладені значні капіталовкладення. Основна мета - скоротити витрати на обробку, обслуговування, поліпшити якість.

Високошвидкісну обробку можна віднести до групи технологічних методів виготовлення шляхом обробки різцями з певною геометрією. За основним принципом вона не відрізняється від традиційної обробки матеріалів різанням - тільки швидкості різання вищі. Проте є сфери застосування, де не досягаються дуже високі швидкості. Тоді говорять про перехідну область між високошвидкісною і звичайною обробкою.

До недавнього часу однією з головних причин обмеження швидкості різання і продуктивності обробки був ріжучий інструмент. Проте в ході досліджень і регулярних відкриттів в цій області з'ясувалося, що стримуючий чинник, пов'язаний з обмеженими можливостями інструменту порівняно з устаткуванням, долається.

Стійкість інструменту обумовлена матеріалом ріжучого інструменту, якістю поверхневого покриття, точністю і особливостями геометрії. Тому характеристики ріжучого інструменту для HSC можуть бути систематизовані наступним чином:

1. При високошвидкісній обробці або при обробці загартованого матеріалу допустиме застосування тільки інструменту з твердого сплаву.

2. Інструмент для HSC наділений здатністю чинити опір високим механічним і тепловим діям. Він виготовлений з дрібнозернистих карбідів (розмір часток карбіду - від 1 до 0,4 мікрона) з покриттям на основі карбіду титану. Ця комбінація – найкраща для забезпечення зносостійкості, опору високій температурі, низького коефіцієнта тертя і захисту від тертя стружкою.

3. У інструменту для HSC точніша геометрія, ніж у звичайного ріжучого інструменту. Значення допусків на діаметр (близько 0,02 мм) і на радіус різальної кромки (0,01 мм) удвічі менше, ніж допуски для звичайного інструменту.

Можна виділити три галузі промисловості, де найефективніше застосовується високошвидкісна обробка. Таке ділення пов'язане із специфічними вимогами, що пред'являються цими галузями, до процесу обробки.

Перша галузь – це авіакосмічна промисловість, де обробляються довгомірні деталі з алюмінію, що частенько містять тонкі стінки.

Друга галузь – це виробництво ливарних форм, пресс-форм і штампів. У цій категорії промисловості ведеться обробка виробів з твердих і важко оброблюваних матеріалів з високою швидкістю і високою точністю. На цьому виробництві ведеться обробка наступних деталей.

Третя галузь – це виробництво, яке має справу з обробкою алюмінію, для виробництва автомобільних компонентів, комп'ютерних комплектуючих невеликого розміру і медичних інструментів. Виробництво потребує швидкого зняття металу, оскільки увесь технологічний процес включає в себе велику кількість операцій.

Найпершою сферою застосування високошвидкісної обробки була авіакосмічна промисловість, але з розробкою нових верстатів і інструменту для ВШО вартість процесу обробки знизилася. Це привело до ширшого розповсюдження ВШО в промисловості.

Основні відмінності високошвидкісної обробки від звичайної:

- збільшення швидкості різання;
- збільшення подачі;
- зменшення перерізу стружки;
- скорочення до мінімуму температури на ріжучій кромці;
- зменшення зусиль різання;
- зменшення зносу інструменту.

Потенціал високошвидкісної обробки визначається наступними її особливостями:

- велике питоме зняття матеріалу в одиницю часу;
- хороша якість обробки;
- зменшення зусиль різання, за рахунок цього можливість обробки тонкостінних деталей;
- зменшення утворення задирок;
- менше порушення цілісності верхніх шарів

Зона високошвидкісної обробки різна для різних матеріалів. Для титану вона знаходиться на швидкостях різання від 300 до 1200 м/хв, для сталі – від 300

до 1700 м/хв, а для алюмінію високошвидкісною вважається зона від 2500 до 6500 м/хв.

Високошвидкісна обробка базується на скороченні кількості тепла, що виникає при обробці різанням, яке послабляє інструмент. При звичайній обробці із зростанням швидкості різання і зменшенням товщини стружки підвищується температура оброблюваної заготовки, стружки і інструменту. Але якщо збільшити швидкість різання в 5-10 разів, то температура ріжучих кромок змінюється трохи. Причина цього полягає в тому, що швидкість різання перевищує швидкість теплопровідності оброблюваного матеріалу. Інструмент "випереджає" поширення тепла: основна доля тепла, що утворюється в зоні контакту, відводиться із стружкою і в основний метал заготовки і інструменту фактично не поступає. За рахунок цього значно збільшується стійкість інструменту. Дослідження, проведені під час високошвидкісної обробки з правильно підібраними параметрами, показали, що 75% призведеного тепло відводиться із стружкою, 20% через інструмент і 5% через оброблювану деталь.

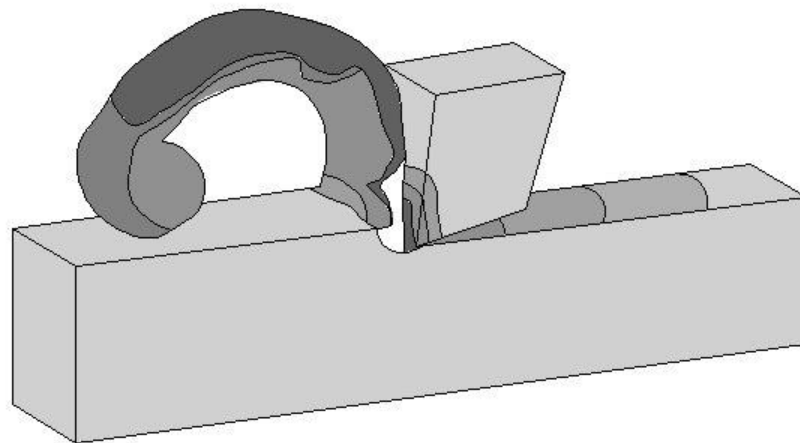


Рисунок 1.1 - Розподіл температури в зоні різання при HSM.

Перевага отримується також за рахунок обробки в надкритичному діапазоні коливань: при високих частотах обертання, які використовуються при HSC, значно перевищуються частоти власних коливань деталі, інструменту і компонентів верстата. Одночасно з цим, завдяки невеликим поперечним перерізам зрізу, сили різання невеликі, що сприятливо позначається на точності обробки. Крім того – висока якість отримуваної поверхні, відсутність дроблення при різанні, можливість обробки тонкостінних виробів.

Нині на практиці широко використовується технологія, де на усіх операціях лезвійної обробки застосовується високошвидкісна обробка. Технологія високошвидкісної обробки дозволяє відразу вести обробку загартованої заготовки. Послідовність операцій наступна:

1. заготовка (після термічної обробки);
2. чорнова лезвійна обробка (ВШО);
3. напівчистова лезвійна обробка (ВШО);
4. чистова лезвійна обробка (ВШО);
5. поліровка.

При використанні цієї технології послідовність операцій скорочується, в порівнянні з традиційною технологією, і час до отримання готового виробу на 30–40% менше.

Високошвидкісна обробка забезпечує шорсткість поверхні $Ra < 0,07$ мкм і точність форми оброблюваної поверхні в межах 0,02 мм.

Можна говорити про те, що головний ефект високошвидкісної обробки полягає не лише в скороченні машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, але і в загальному спрощенні виробничого процесу і в підвищенні якості обробки.

1.2 Основні теорії високошвидкісної обробки

Процес високошвидкісного фрезерування почав вивчати у кінці 20-х років ХХ століття К. Саломон. Він вивчав ефекти особливо високошвидкісного різання.

При випробуваннях він досяг 16500 м/хв при круговому полотні пили. Зі своїх дослідів К.Саломон зробив висновок, що під час переходу через певну швидкість різання, при подальшому її збільшенні, температура ріжучого леза не підвищується, а навпаки, знижується (рис 1.2). Гранична швидкість, починаючи з якої відбувається зниження температури, залежить від ряду чинників і, передусім, від властивостей оброблюваного матеріалу.

Точці a відповідає критична швидкість V_a , вище за яку робота неможлива. Ця неможливість поширюється на усю область швидкостей від V_a до V_b , відповідній точці b . За другою критичною швидкістю V_b обробка стає можливою внаслідок пониження температури леза [3].

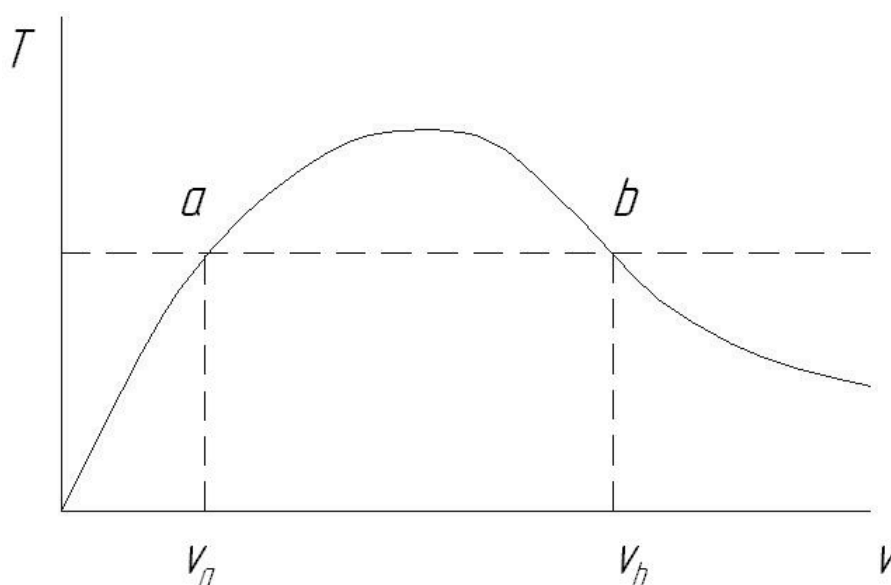


Рисунок 1.2 - Залежність температури різального леза від швидкості різання (К.Саломон)

Саломон вважав, що у функції $T = f(V)$ (де T – температура на кінці різця і V – швидкість різання), при збільшенні V , температура T підвищується, потім підвищення йде менш інтенсивно, де T досягає максимуму і при подальшому підвищенні V температура знижується. Якщо провести пряму ab , паралельно осі v ,

так, щоб точка a відповідала допустимій температурі на кінчику різця, то така температура може бути, на думку Саломона, при двох швидкостях V_a і V_b . Фізичною передумовою цієї гіпотези були результати досліджень природи руйнування зразків при механічних випробуваннях з високими швидкостями. Зразки з пластичної сталі при вантаженні зі швидкостями понад 50 м/с, руйнувалися крихко без слідів пластичної деформації. Таким чином, було встановлено, що поняття "крихкість" і "пластичність" – умовні, і чим вище швидкість деформації, тим більше властивості пластичного матеріалу наближаються до властивостей матеріалу крихкого. Виходячи з цього, Саломон вважав, що якщо основним джерелом теплоутворення при різанні є робота, що витрачається на пластичну деформацію зрізуваного шару при переводі його в стружку, то зі збільшенням швидкості різання, оброблюваний матеріал стає як би "крихким" і кількість тепла, що виділилася, при стружко утворенні зменшуватиметься.

Проте дослідження по надшвидкісному "дряпанню" абразивними зернами показують, що навіть при швидкостях різання 12000 м/хв мають місце значні пластичні деформації, що призводять до отримання "зливних стружок".

Таким чином, зона "високошвидкісного різання" (для чавуну/сталі $V_b \approx 45000$ м/хв), вказана на "кривій Саломона", при сучасному розвитку станко-інструментальної промисловості досягнута бути не може і різання відбувається в зоні докритичних швидкостей V_a .

Серія експериментальних робіт по обробці різцем сталі на великих швидкостях була проведена у ряді лабораторій колишнього СРСР після публікації В.Д. Кузнєцовим теоретичних передумов про можливість надшвидкісного різання металів. З теоретичних передумов В.Д. Кузнєцова витікало, що з підвищенням швидкості різання, тобто з підвищенням швидкості навантаження, що додається, границя текучості металу наближається до межі міцності і метал стає крихкішим. Але при обробці крихкого матеріалу зменшується відносна величина роботи

пластичної деформації. Це призводить у свою чергу до пониження виділення тепла, і температура на різці знижується.

Дослідна перевірка цих положень була проведена В.Н. Швецовим [4] на швидкостях до 2200 м/хв; вона показала, що очікуваного безперервного зниження пластичної деформації при зростанні швидкості не спостерігається; при швидкості близько 2000 м/хв різці дуже швидко виходили з ладу, і різання припинялося.

1.3 Особливості фізики процесу різання при збільшенні швидкості обробки

В порівнянні з традиційними методами обробки процес ВШО характеризується змінами в утворенні і видаленні стружки. До принципових особливостей процесу необхідно віднести істотне зменшення часу контакту стружки з передньою поверхнею ріжучого клину, зниження характеристик тертя, сил різання і, як наслідок, менша деформація матеріалу поверхневого шару виробу. Зменшення часу контакту стружки з передньою поверхнею інструменту і зниження тертя зменшують усадку стружки і ступінь деформації в зоні зсуву. Зменшується об'єм матеріалу, що пластично деформується, кількість тепла, що виділяється, і різко зростає його доля, що йде в стружку. У результаті створюються умови, в яких формується високоякісний поверхневий шар виробу.

Більшість видів сталей, сплавів, міді, алюмінію відноситься до пластичних матеріалів при обробці яких стружка утворюється по механізму сдвигових деформацій в зоні умовної площини зсуву. Чавуни, графіт і ряд інших матеріалів при обробці різанням дають стружку надлому, що утворюється по механізмах відриву.

У зоні різання можна виділити три окремі процеси, що відбуваються одночасно:

- пластичні деформації зрізаного шару і подальше його зрушення в умовній площині зрушення;
- тертя стружки по передній поверхні інструменту;

-тертя поверхні різання і обробленої поверхні по задніх основною і допоміжним поверхням.

Пластична деформація в зоні зсуву залежить від впливу температурного і швидкісного чинників. Зі збільшенням температури опір деформації знижується, а зі збільшенням швидкості деформації – зростає. Таким чином, вид стружки що знімається з високими швидкостями істотно відрізняється від звичайної зливної стружки. Відмінність ця проявляється в тому, що в такій стружці мало деформовані елементи стружки пов'язані між собою найтоншими шарами, що отримали високі міри деформації.

Тертя по передній поверхні. Зі збільшенням швидкості різання, коефіцієнт тертя, як відношення дотичних напруг до нормальних, має тенденцію до постійного зниження. У ряді робіт відзначається, що на контактній стороні стружки може утворитися особливий рідкий шар, який означає, що оброблюваний матеріал досягає температур плавління. За рахунок такого зниження тертя по передній поверхні зменшується тиск стружки і збільшується її вигин (зниження тиску стружки призводить до збільшення кута зсуву і до зменшення деформуючих зусиль).

Тертя по задній поверхні. У високошвидкісному різанні знос по задній поверхні є основним видом зносу інструменту. Він залежить від швидкості різання і подачі. Оскільки зі збільшенням швидкості, як правило, знижується товщина зрізу, то цим цілком можна пояснити концентрацію вогнища зношування на задній поверхні у ріжучої кромки. Підвищення швидкості різання призводить до скорочення терміну служби інструменту.

Досліди А.М. Розенберга, Калашникова і Судовцева [5], проведені в інтервалі швидкостей до 6000 м/хв, показали, що у разі обробки сталі, усадка стружки різко убуває до швидкості 300 м/хв і потім залишається майже постійною до швидкості 6000 м/хв.

Таким чином, був зроблений висновок, що з підвищенням швидкості різання коефіцієнт усадки стружки зменшується (рис 1.2).

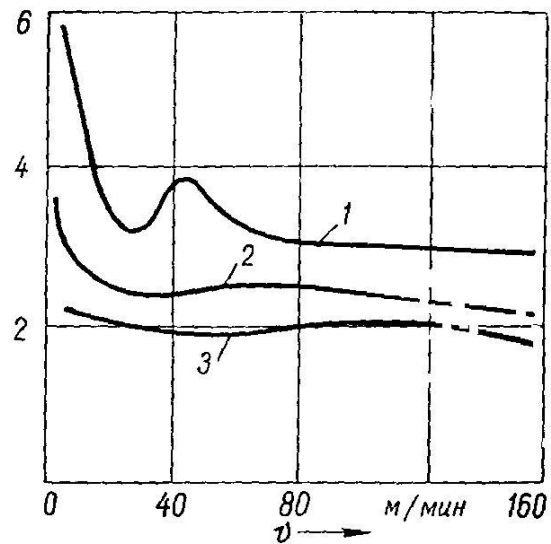


Рисунок 1.2 - Залежність коефіцієнта усадки стружки від швидкості різання.

Це пов'язано з тим, що при збільшенні швидкості різання (більше 100 м/хв) в прирізцевій зоні під дією високої температури граничний шар металу сильно розм'якшується і виконує роль твердої мастильної речовини. У цих умовах коефіцієнт тертя на передній поверхні знижується (рис 1.3).

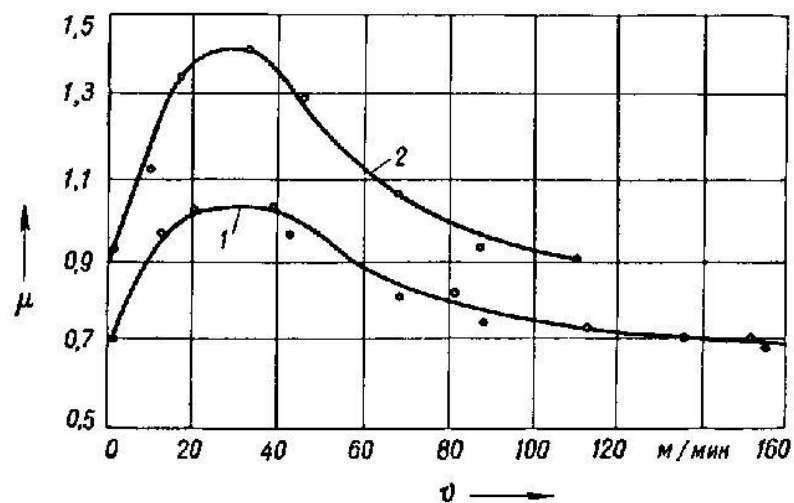


Рисунок 1.3 - Залежність коефіцієнта тертя по передній поверхні від швидкості різання.

Зниження сил тертя призводить до зниження сил різання (рис.1.4). Складний характер кривих $P_z = f(V)$ пояснюється появою наросту на передній поверхні леза інструменту. Мінімальні значення сили на кривих $P_z = f(V)$ відповідає максимально можливому наросту. При малій швидкості різання, коли наріст не утворюється, сила різання максимальна. У діапазоні швидкостей, де є максимальне наростоутворення, сила різання і укорочення стружки зменшуються, оскільки зі збільшенням розмірів наросту зростає дійсний передній кут інструменту. У міру подальшого підвищення швидкості різання висота наросту, а отже, і дійсний передній кут зменшуються. Одночасно з цим зростають коефіцієнт укорочення стружки і сили різання. Як вже відзначалося, робота на високих швидкостях різання призводить до значного підвищення температури різання, внаслідок чого зменшується коефіцієнт тертя, а отже, і сила різання.

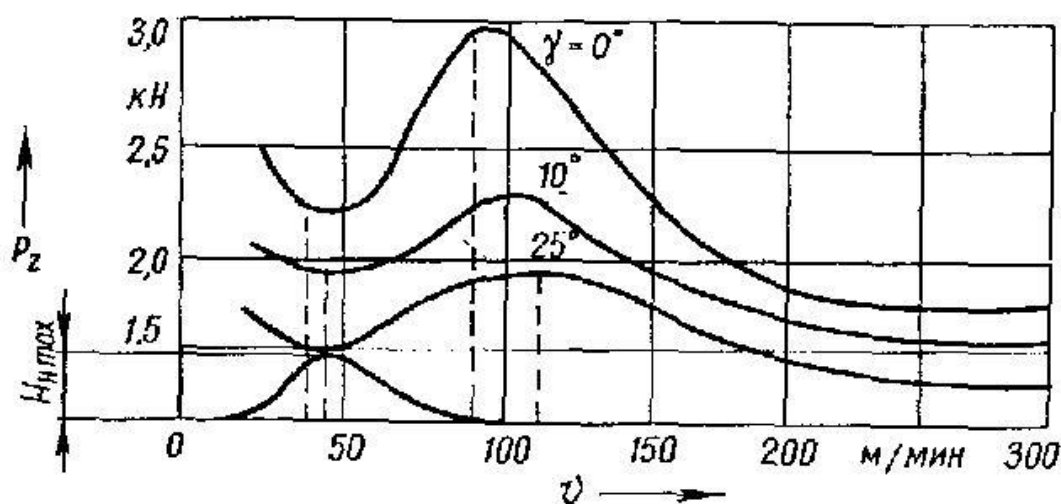


Рисунок 1.4 - Залежність сили різання від швидкості різання і переднього кута інструменту

Мінімуми і максимуми кривих $P_z = f(V)$ тим рельєфніше, чим менше передній кут. Це пов'язано з тим, що більший наріст може утворитися (і утворення його інтенсивніше) при менших передніх кутах інструменту.

Зниження сил різання пов'язане з процесом утворення і видалення стружки. Умови різання по-різному впливають на деформаційні і контактні процеси в зоні різання. Цей вплив може бути безпосереднім і непрямим. Наприклад, зміна переднього кута інструменту призводить до збільшення або зменшення середньої контактної напруги на передній поверхні інструменту, що викликає зміну середнього коефіцієнта і кута тертя. Останнє робить вплив на кут дії, зміну кута зсуву і роботи стружкоутворення.

Параметри процесу різання діляться на внутрішні і зовнішні (рис 1.5).

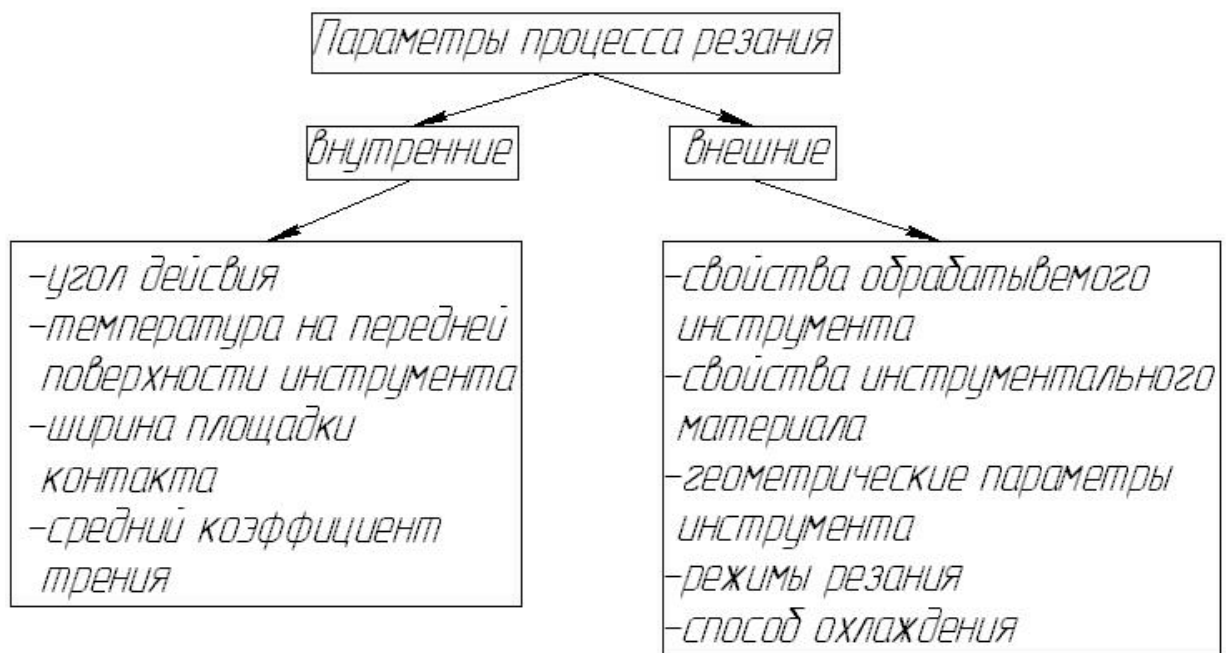


Рисунок 1.5 - Параметры процессу різання

Безпосередній і найбільш сильний вплив на процес різання робить кут дії, передній кут інструменту, швидкість різання і властивості оброблюваного інструменту. Вплив інших чинників на процес різання непрямий.

Від кута зрушення β (рис 1.6) залежить коефіцієнт укорочення стружки, відносний зсув і робота стружкоутворення.

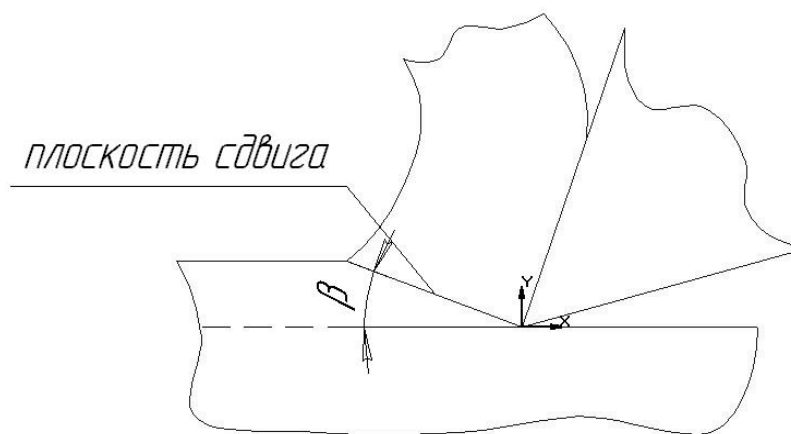


Рисунок 1.6 - Схема стружкоутворення при різанні

Кут γ безпосередньо впливає на процес стружкоутворення. Зі зменшенням переднього кута збільшується кут між векторами швидкостей різання V і стружки V_c . При цьому змінюється напрям руху зрізуваного шару (рис 1.7), зменшується кут зсуву і збільшується міра деформації зрізуваного шару (рис 1.8).

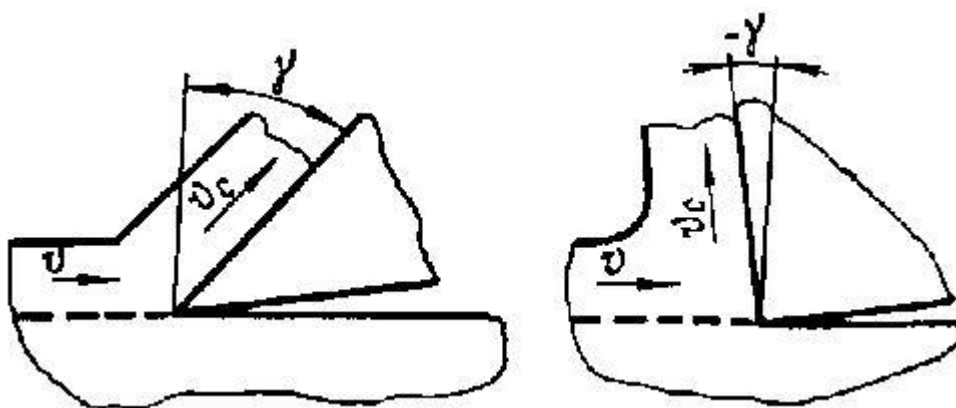


Рисунок 1.7 - Напрямок сходу стружки залежно від переднього кута

При обробці металів без утворення наросту непрямий вплив переднього кута інструменту на процес формування стружки пов'язаний тільки зі зміною кута дії, внаслідок зміни орієнтації передньої поверхні і середнього коефіцієнта тертя. Зі зменшенням γ кут дії збільшується внаслідок зміни положення передньої поверхні і зменшується через зменшення середнього коефіцієнта тертя.

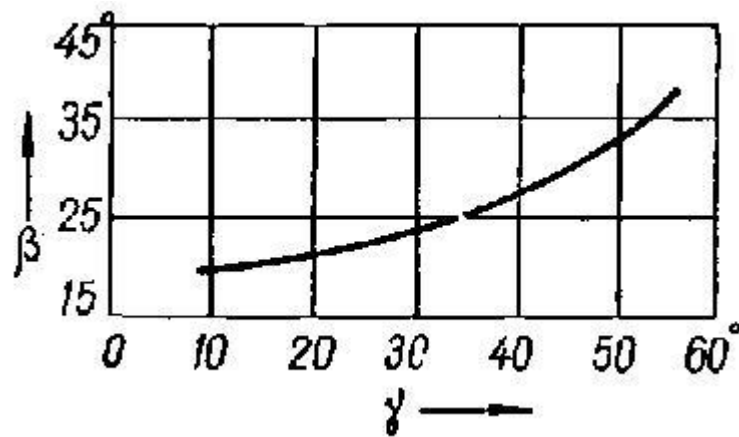


Рисунок 1.8 - Залежність кута зрушення від переднього кута

Безпосередній вплив швидкості різання на процес стружкоутворення виражається в зміні кута зсуву. При малих швидкостях зона первинної деформації АОВ (рис 1.9) має порівняно великі розміри.

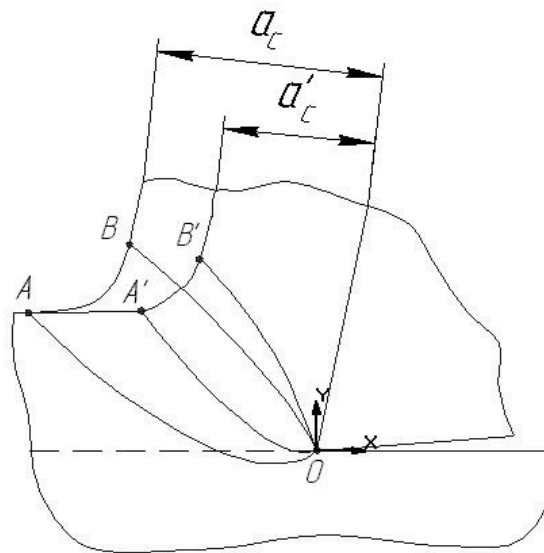


Рисунок 1.9 - Вплив швидкості різання на положення зони первинних деформацій

Зі збільшенням швидкості різання зрізуваний шар дуже швидко проходить через поле напруги, і пластичні деформації не встигають виникнути на нижній межі ОА зони деформації. В результаті зона деформації зміщується в положення ОА', а верхня – в положення ОВ', тобто зона первинної деформації А'ОВ' стає вже і

зміщується за годинниковою стрілкою. Це призводить до збільшення кута і зменшення ступеня деформації зрізаного шару (рис 1.10).

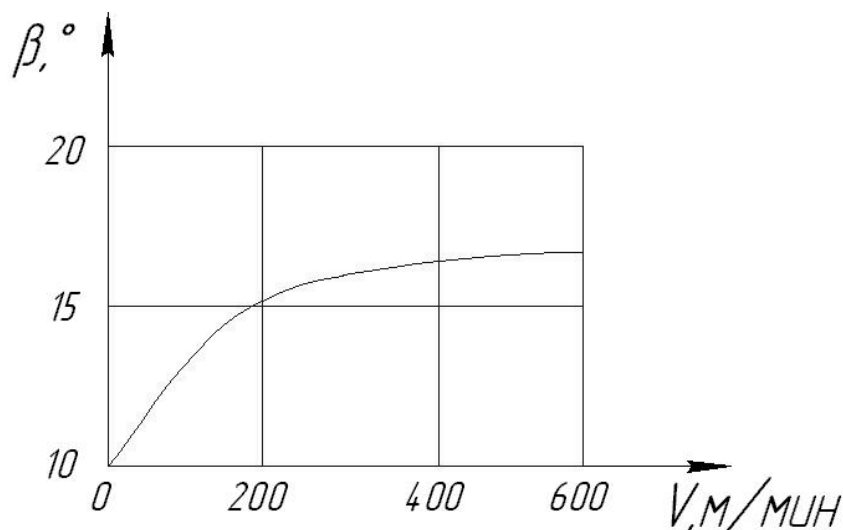


Рисунок 1.10 - Вплив швидкості різання на кут зсуву

Непрямий вплив V на процес стружкоутворення проявляється в її впливі на кут дії за рахунок зміни середнього коефіцієнта тертя і дійсного переднього кута у разі утворення наросту. Середній коефіцієнт тертя змінюється зі зміною швидкості різання внаслідок того, що при цьому змінюються середня нормальна контактна напруга і температура різання, що впливає на опір зсуву в контактному шарі стружки. Таким чином, при роботі без утворення наросту збільшення швидкості різання полегшує процес стружкоутворення, зменшує відносний зсув і питому роботу стружкоутворення.

Температурна залежність від швидкості може бути представлена залежністю $\theta = C \cdot V^x$. Причому зі збільшенням швидкості різання темп збільшення температури різання знижується і в границі прагне до температури плавлення оброблюваного матеріалу. Ні в одній з розглянутих статей, в яких вимірювали температуру різання, не відмічено її зниження з підвищенням швидкості різання. Значення сил різання зі збільшенням швидкості різання зменшуються і, досягнувши певного рівня, не змінюються. І тільки на дуже високих

швидкостях спостерігається деяке збільшення сил різання, пов'язане зі зростанням інерційних сил від неурівноваженості інструменту і стружки, що сходить.

Таким чином, залежності $\theta = f(V)$ і $\theta = f(P_z)$ дозволяють однозначно стверджувати, що збільшення швидкості різання в області її високих значень призводить до зростання кількості тепла, що виділяється при знятті стружки, яка легко розраховується по формулі :

$$Q = \frac{P_z \cdot V}{E},$$

де Q - кількість тепла, що виділилася при різанні;

P_z - головна складова сили різання;

V - швидкість різання;

E - механічний еквівалент теплоти.

Проте, не дивлячись на загальне зростання теплоутворення, зі збільшенням швидкості різання відбувається перерозподіл тепла, що йде в стружку, оброблювану деталь і інструмент. На рис. 1.11 можна бачити, що зі збільшенням швидкості різання доля тепла того, що йде із стружкою росте, а що йде в деталь і інструмент - зменшується.

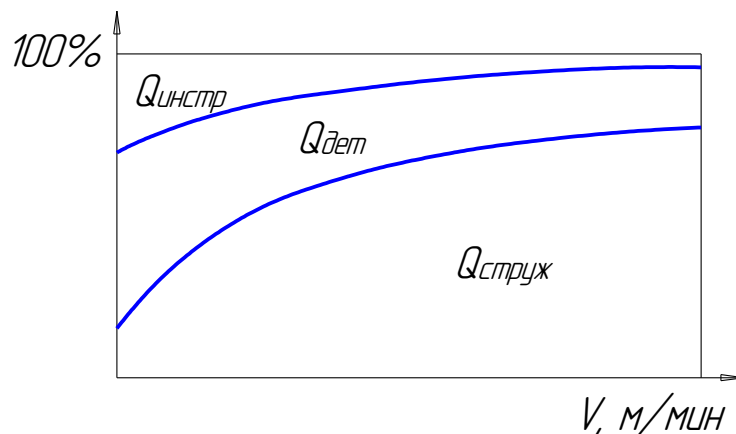


Рисунок 1.11 - Вплив швидкості різання на розподіл тепла між стружкою, деталлю і інструментом

Це явище пояснюється тим, що при високих швидкостях різання швидкість руху ріжучої кромки по лінії зрізу (рис. 6) може значно перевершувати швидкість поширення тепла з області первинних пластичних деформацій в зоні стружкоутворення $Q_{\text{деф}}$. Таким чином, тепло не встигає перетнути лінію зрізу і, залишаючись в зрізуваному шарі, відводиться разом із стружкою.

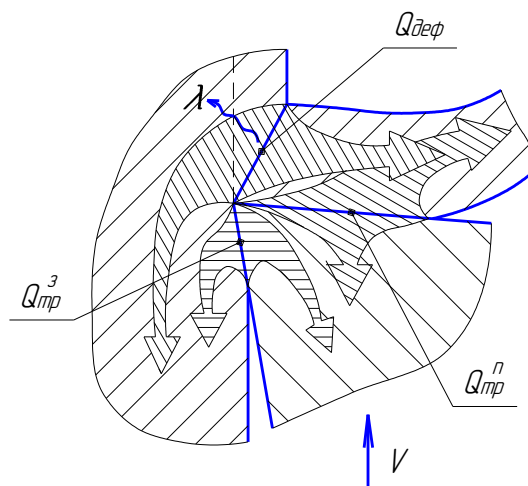


Рисунок 1.12 - Схема розподілу тепла між стружкою і деталлю

Тут необхідно відмітити наступне, не дивлячись на зниження долі тепла, що переходить в ріжучий інструмент, загальна його кількість збільшується. Тому, з підвищенням швидкості різання теплові умови експлуатації інструменту стають жорсткішими. Стійкість інструменту при ВШО є серйозною проблемою, а величина допустимого зносу інструменту стає значно менше.

На рисунку 1.13 показаний вплив підвищення швидкості різання на основні параметри процесу.

Оскільки, опір деформації збільшується зі збільшенням швидкості різання, особливо у високоміцних матеріалах, то механічна сила тиску на ріжучу кромку може бути понижена за рахунок зниження величини подачі. Тому з метою досягнення тривалого терміну роботи інструменту, чим вище швидкість різання, тим меншою має бути подача.

Підсумувавши вище сказане необхідно підкреслити, що зміни в процесі стружкоутворення і в її видаленні є головним аспектом високошвидкісного

фрезерування. Діапазон такого характерного стружкоутворення, залежить від використовуваних матеріалів і виду інструменту, а так само термообробки деталі, матеріалу ріжучого інструменту, якості різання, і, можливо, покриття інструменту. Рисунок 1.14 представляє порівняльну характеристику швидкостей різання, для різних видів матеріалу, при звичайній і високошвидкісній обробці.

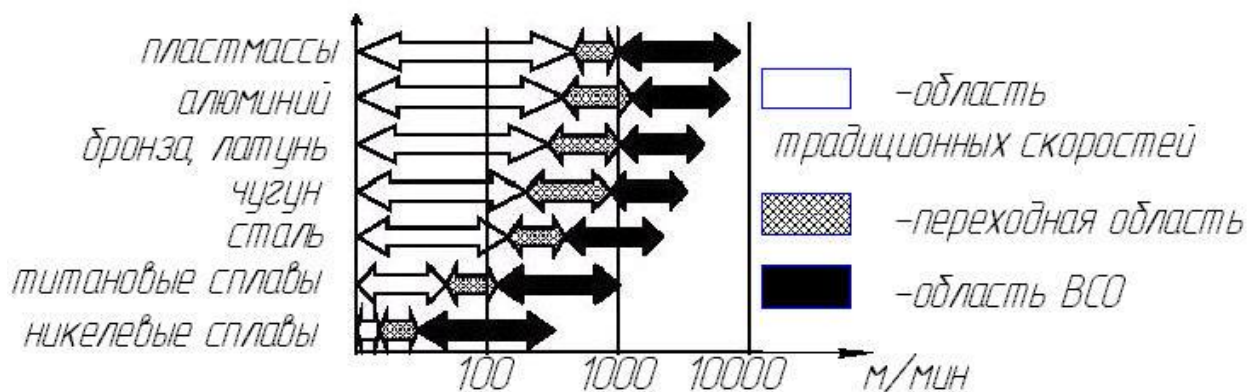


Рисунок 1.14 - Швидкість різання для різних матеріалів при швидкісній обробці

1.4 Умови ефективного застосування високошвидкісної обробки

Високошвидкісна обробка вимагає правильного вибору усіх складових чинників, що беруть участь в процесі : верстат, ріжучий інструмент, режими різання, допоміжний інструмент з системою закріплення інструменту. Зневага хоч би одним з цих чинників здатне звести нанівець усі переваги цієї технології.

Шпиндель верстата для високошвидкісної обробки повинен мати великий регульований діапазон швидкостей з достатнім крутним моментом, в усьому діапазоні. Він має бути встановлений в спеціальних підшипниках, призначених для особливо високих швидкостей обертання (керамічних або електромагнітних). Електрошпинделі для високошвидкісної обробки залежно від виду оброблюваних матеріалів і виконуваних технологічних операцій можна розділити на три групи:

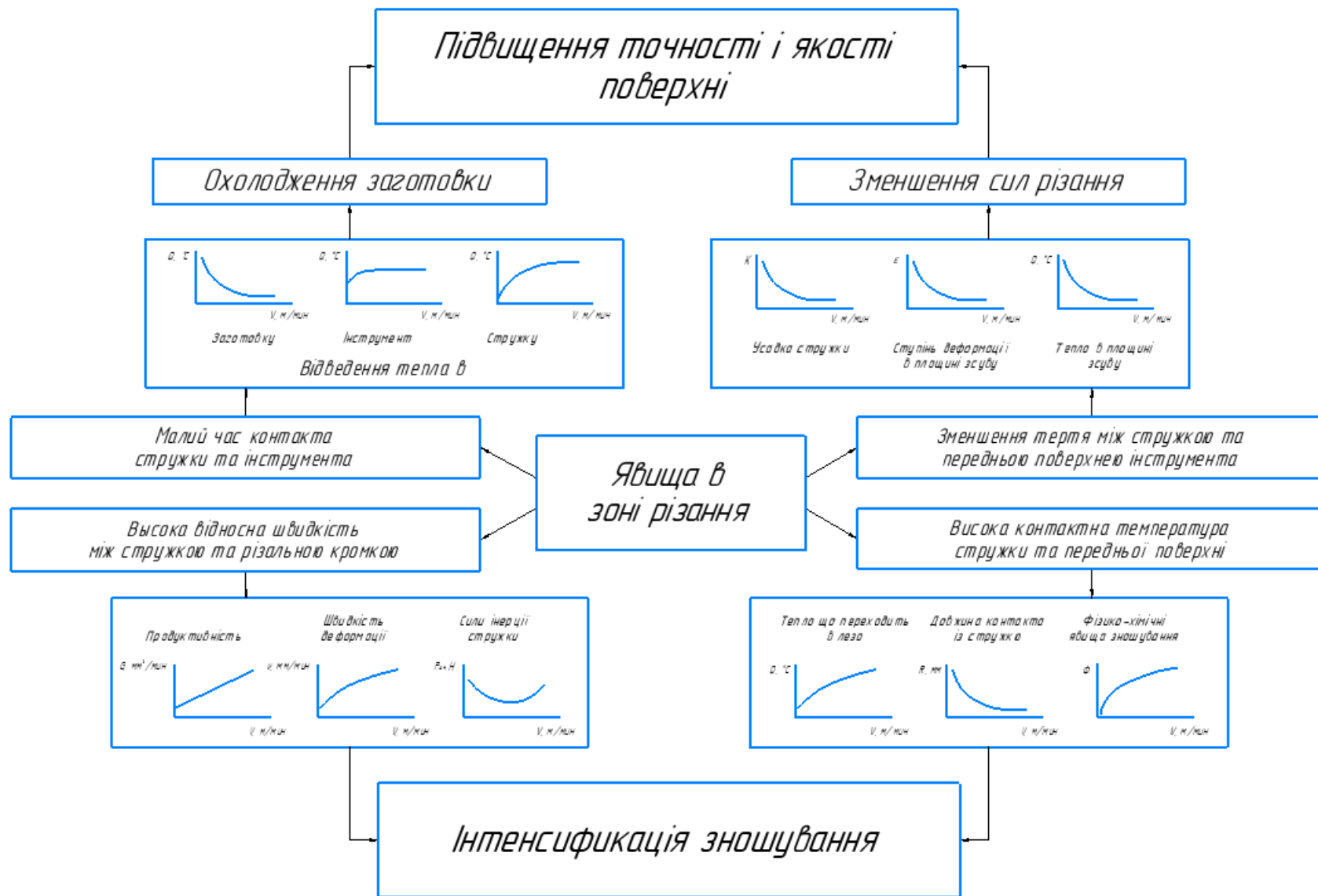


Рисунок 1.13 – Вплив підвищення швидкості різання на основні параметри процесу

1. Надвисокошвидкісні електрошпинделі з частотою обертання 40000-60000 (90000) об/хв, радіальним зусиллям обробки 200-300Н. Основною сферою їх застосування є аерокосмічна промисловість, а також оборонний комплекс (авіаційна промисловість і ракетобудування). Оброблюваним матеріалом зазвичай є легкі алюмінієві сплави. В якості опор можуть використовуватися радіально-упорні шарикопідшипники, електромагнітні підшипники, аеростатичні підшипники.

2. Високошвидкісні електрошпиндели з частотою обертання 20000-40000 об/хв, радіальним зусиллям обробки 500-800Н.

3. Електрошпинделі підвищеної частоти обертання 6000-10000 об/хв, радіальним зусиллям обробки 1000-1500Н. Сфера застосування – обробка чавуну і сталі. В якості опор можуть використовуватися радіально-упорні шарикопідшипники, роликові підшипники з конічними роликами, гідростатичні підшипники.

Основними виробниками електрошпинделей для високошвидкісної обробки є: GMN (ФРН), FAG (ФРН), Fortuna (ФРН), Gamfior (Італія), Omlat (Італія), Kikinda (Югославія)

Ряд виробників верстатів випускає такі електрошпинделі для власних потреб, наприклад, фірма Deckel (ФРН) робить електрошпинделі типу PA100A для фрезерно-свердильної обробки алюмінієвих і інших легких сплавів, волоконно-посилених пластиків, графіту, сірого чавуну і сталей з максимальною частотою обертання 24000 об/хв, потужністю 4-6 кВт, діаметром 100 мм. В цих електрошпинделях застосовують для змащування підшипникових опор так зване мастило "уприскування з охолодженням" (примусове змазування зі штучним теплообміном), що дозволяє підвищити значення параметру швидкохідності до 1.8-2 млн. (мм*об/хв). Примусове охолодження зазвичай застосовується для передньої підшипникової опори і обмоток статора. Задні опори є гідростатичною системою, що має осьову рухливість, що дозволяє регулювати осьовий попередній натяг підшипників кочення. У шпиндельних вузлах як опори найчастіше використовуються радіально-упорні шарикопідшипники з кутом контакту 12°- 15°. Шпиндельні вузли включають системи датчиків: контролю температури (наприклад, температури зовнішніх кілець

підшипників передньої опори), контролю частоти обертання (для зворотного зв'язку за швидкістю), контролю вібрацій, контролю радіального навантаження на шпиндель від сил різання.

Швидкості подач 40-60 м/хв, швидкість швидких переміщень – до 90 м/хв. Верстати відпрацьовують малі переміщення (від 5 до 20 мкм) і мають підвищену жорсткість і температурну компенсацію. Саме прогрес в області верстатобудування дозволив здійснити ВШО.

Наступний чинник – ріжучий і допоміжний інструмент. Інструменти для високошвидкісної обробки так само відрізняються від звичайних ріжучих інструментів і до них пред'являються наступні вимоги: вони мають бути розраховані на дуже високі швидкості, тобто мають бути абсолютно симетричними, з мінімальним допуском на знос; геометрія ріжучої кромки повинна брати до уваги різницю в умовах формування стружки, особливо при обробці легких металів.

Основна вимога до інструментів для високошвидкісної обробки – це достатня зносостійкість для використання при високошвидкісному різанні, тобто конкретна зносостійкість і твердість. Особливо під час обробки сталі. Ця властивість інструменту виносить ухвалу на користь економічної ефективності використання інструментів для високошвидкісної обробки. Під час звичайної обробки, основу механічного навантаження на інструмент складають сили різання. При застосуванні технології високошвидкісної обробки виникають додаткові відцентрові сили, внаслідок чого висувуються більш високі вимоги до того, що збалансувало маси, наприклад за рахунок повної симетричності конструкції інструменту і до безпеки інструменту, особливо до інструменту із замінюваними ріжучими вставками. З цієї причини допуск на радіальний знос має бути встановлений як можна меншим, щоб гарантувати рівномірне навантаження на усі ріжучі кромки, що також зменшує неурівноваженість напруги сил різання.

Інші вимоги до інструменту для високошвидкісної обробки включають високу міцність і зменшення концентраторів напруги. Міцність інструменту досягається за рахунок оптимізації конструкції основної частини інструменту.

У збірних інструментах, особливо необхідно враховувати їх механічні властивості. Ріжучі пластини, основи і гвинти, повинні забезпечувати надійне кріплення навіть під дією дуже високих відцентрових сил. Концентрація напруги, занадто маленькі зони створення стружки, а також занадто великі обертальний і радіальний знос – ось ті проблеми, які треба вирішувати при роботі інструменту.

Украв важливо звернути увагу на системи допоміжного інструменту, які забезпечують кріплення ріжучого. У зв'язку зі зниженням сил різання в процесі ВШО на перший план виходять інші чинники, такі як величина биття інструменту, вібрації. Наприклад, подвоєння швидкості різання збільшує відцентрові сили більш ніж в 4 рази, і ці сили стають сумірні з силами різання. Биття інструменту сильно впливає на знос. Це підтверджують дані експериментів (рис 1.16), де визначена практично лінійна залежність зносу від биття при високих швидкостях різання.

Таким чином, ВШО вимагає особливої уваги до балансування інструменту. Для цього можуть використовуватися спеціальні патрони з можливістю балансування або збалансовані оправки для термозатиску.

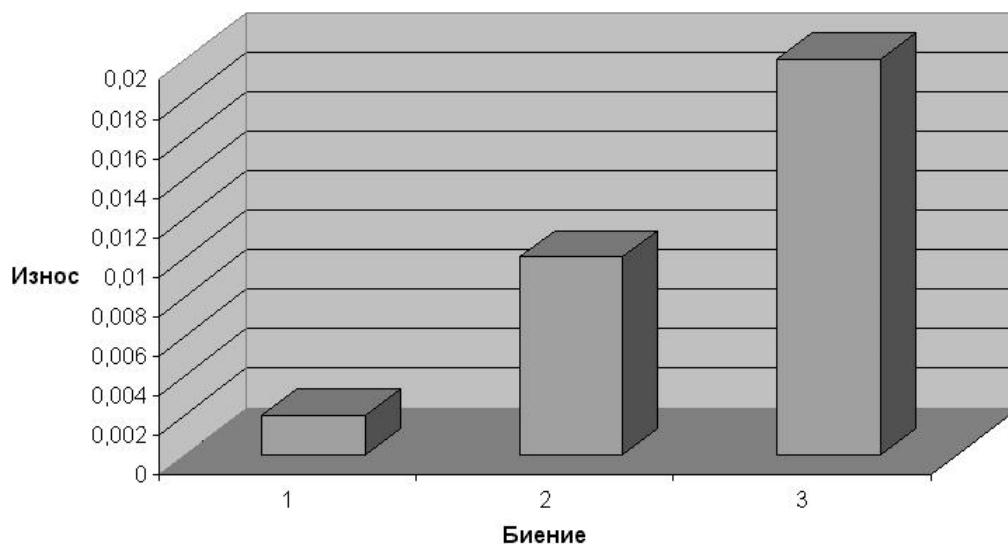


Рисунок 1.16 - Вплив биття на знос інструменту

Останніми роками швидко росте виробництво і застосування лезвійних ріжучих інструментів з синтетичних надтвердих матеріалів: полікристалічних алмазів

(PCD) і кубічного нітриду бору (PCBN). Це пояснюється істотним розширенням областей використання таких інструментів за рахунок наступних чинників:

а) автоматизація процесів різання і впровадження високошвидкісного і надшвидкісного різання зі швидкостями до 10000 м/хв;

б) збільшення об'ємів використання новітніх важкооброблюваних неметалічних композиційних матеріалів, а також спеціальних сплавів в автомобільній та ін. галузях;

в) впровадження екологічно чистих процесів обробки без застосування мастильно-охолоджувальних рідин (МОР).

Обробка чорних і кольорових металів із швидкістю різання до 5000 м/хв і вище на сучасних високошвидкісних верстатах можлива при створенні спеціального інструменту і нових інструментальних матеріалів, які за своїми характеристиками перевершують традиційні тверді сплави і швидкоріжучі сталі. До якісно нових інструментальних матеріалів, що мають відповідні тепло- і фізико-механічні характеристики, відносяться синтетичні надтверді матеріали (СТМ) на основі полікристалічних алмазів (PCD), кубічного нітриду бору (PCBN) і керамічні на основі Al_2O_3 і Si_3N_4 .

Висока твердість і зносостійкість СТМ при температурі 1000-1200°C дозволяє досягати таких швидкостей різання які на порядок вище тих, що допускаються для твердого сплаву. Проте нижчі, в порівнянні з останніми, характеристики міцності обмежували до недавнього часу застосування СТМ при напівчистовій і чистовій обробці чавуну і сталі, особливо при безперервному точінні.

Вдосконалення технології виробництва СТМ дозволило використати їх не лише для напівчистої, але в деяких випадках і для чорної обробки. Полікристалічні СТМ, а також СТМ на основі Al_2O_3 , армовані ниткоподібними кристалами SiC, що випускаються нині, в кількості до 30-40%, мають досить високі характеристики міцності.

Сфера застосування інструменту, оснащеного полікристалічними СТМ на основі PCBN – чистова і напівчистова обробка сірих, високоміцних і вибілених чавунів і загартованих сталей в умовах автоматизованого виробництва. Як показали

дослідження, інтенсивність його зносу незначна навіть при напівчистовому фрезеруванні сірого чавуну із швидкістю різання $V=1000$ м/хв. Обмежує сферу застосування цих матеріалів для високошвидкісної обробки їх низька стійкість до термоудару.

З урахуванням того, що ВСО ставить завдання забезпечення високої якості оброблюваної поверхні, додаткову увагу слід приділити підбору режимів різання, з точки зору знаходження зон, де відсутні вібрації.

Практично для кожної комбінації системи ВПД (верстат–пристрій–інструмент–деталь) доведеться знаходити стабільні зони, і у зв'язку з відсутністю відпрацьованих рекомендацій їх доведеться експериментальним шляхом шукати безпосередньо на верстаті.

Цікавий ефект збільшення стійкості інструменту при ВШО спостерігається при порівнянні способів охолодження. Як було визначено в ході досліджень, найбільша стійкість спостерігається при використанні обдування. Оскільки тепло концентрується в стружці, її потрібно швидко видалити із зони різання. Низька стійкість інструменту при охолодженні пояснюється головним чином викришуванням, що обумовлено циклічними термічними навантаженнями на ріжучу кромку інструменту. Постійне теплове навантаження, навіть на відносно високих температурах, краще, ніж циклічне навантаження.

1.5 Висновки

Високошвидкісне різання – це не просто механообробка з високою швидкістю різання. Це процес, коли операції обробки (від чорнової до фінішної, і далі – до суперфінішної) виконуються дуже специфічними методами на спеціальному обладнанні. Високошвидкісна обробка не повинна вважатися такою ж простою як обробка на високих швидкостях. Вирішальним чинником є те, що в цій області швидкостей різання, які перевищують в 5-10 разів швидкості звичайної обробки, значно змінюються умови утворення стружки. В стороні від позитивних аспектів, таких як підвищення швидкостей різання і пониження нагріву робочої поверхні, так

само повинні братися до уваги негативні аспекти, такі як високий рівень зносу інструменту. Проте, найголовніше це те, що високошвидкісна обробка вважається залежним, відносним, комплексним процесом в оточенні численних впливаючих чинників. Основний інтерес представляє високі вимоги до якості виконуваних робіт, які мають вирішальне значення для економічності використання високошвидкісної обробки.

Високошвидкісна обробка, повинна служити для цільового використання, оскільки пріоритети можуть бути різними: з одного боку, в обробці легких металів (чи в роботі з неproblemними матеріалами) час різання може значно збільшитися і тому продуктивність може значно скоротитися; з іншого боку, при виробництві інструменту і штампів, точність розмірів і якість поверхні може бути поліпшена при тій же продуктивності, що зрештою, призводить до економії на зменшенні витрат на остаточні методи обробки. Крім того, технологія високошвидкісної обробки дозволяє обробляти проблематичні деталі, передусім, такі як філігранні частини з тонкими стінками і чутливі до вібрації або крихкі деталі. У обробці проблематичних матеріалів, таких як тверді сплави і сталі ті, що піддалися термообробці, сплави на основі титану і нікелю, високошвидкісна обробка може збільшити економічні показники, оскільки витрати на додатковий інструмент, менше витрат в результаті зменшення продуктивності.

2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ І ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЮ ГОЛОВКОЮ

2.1 Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу

Для розгляду в магістерській роботі пропонується деталь – «Хрестовина». Матеріал оброблюваної деталі – сталь 18ХГТ.

Ця сталь застосовується для виготовлення покращуваних або цементованих деталей відповідального призначення, від яких потрібна підвищена міцність і в'язкість серцевини, плюс висока поверхнева твердість. Деталі, виконані із сталі 18ХГТ можуть працювати під дією ударних навантажень.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71

C	0,17-0,23	Домішки, не більше	
Si	0,17-0,37	P	0,035
Mn	0,80-1,10	S	0,035
Cr	1,00-1,30	Cu	0,30
Ti	0,03-0,09	Ni	0,30

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 18ХГТ

Нормалізація 880-950°C. Гартування 870°C, масло. Відпуск 200°C повітря або вода.			
$\sigma_{0,2} = 880 \text{ МПа}$	$\sigma_p = 980 \text{ МПа}$	$\delta = 9\%$	$\psi = 50\%$
Нормалізація 930-960°C. Цементация 930-950°C. Гартування 825-840°C, масло. Відпуск 180-200°C.			

Продовження таблиці 2.2

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	переріз	НВ (HRC)
360	640	-	157-207
800	1000	50	Серц. 285, пов-ня (57-63)
Цементация 920-950°C, в повітря. Гартування 820-860°C, масло. Відпуск 180-200°C повітря			
$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	переріз	НВ (HRC)
930	1180	20	Серц. 341, пов-ня (53-63)
780	980	60	Серц. 240-300, пов-ня (57-63)

Оброблюваність різанням після нормалізації НВ 156-159 $\sigma_B = 530$ МПа $K_v = 1.1$ при обробці твердим сплавом.

2.2 Оцінка технологічності деталі

В цьому розділі приведена якісна оцінка ознак технологічності конструкції деталі «Хрестовина»:

1. Оброблюваність матеріалу і можливість отримання необхідної шорсткості поверхні. Оброблюваний матеріал – сталь 18ХГТ. Оброблюваність задовільна. Можливість отримання необхідної шорсткості поверхнь – без особливих ускладнень.

2. Поверхні, що використовуються в якості установчих технологічних баз – прості – циліндричні, не вимагають застосування робочих пристроїв зі складною конфігурацією.

6. Немає необхідності у використанні спеціального вимірювального інструменту.

Кількісна технологічність деталі оцінюється по ряду показників :

1. Коефіцієнт використання матеріалу :

$$K_{\text{вм}} = \frac{q}{Q} = \frac{0.240}{0.438} = 0.55, \quad (2.1)$$

де q – маса деталі, кг;

Q – маса заготовки, кг.

Таблиця 2.3 – Показники точності і якості оброблюваних поверхонь деталі

№ п/п	Розмір	Квалітет точності	Клас шорсткості	Уніфікація поверхні
1	$\varnothing 16_{-0,011}$	h6	9 (Ra=0,2)	+
2	$\varnothing 18_{-0,043}$	h9	6 (Ra=1,6)	+
3	$15 \pm 0,0055$	js6	9 (Ra=0,2)	+
4	$23 \pm 0,026$	js9	6 (Ra=1,6)	+
5	$80 \pm 0,095$	js11	6 (Ra=1,6)	+
6	$\varnothing 8^{+0,09}$	H11	6 (Ra=1,6)	+
7	M5	7H	7 (Ra=0,8)	+

2. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі :

$$K_{\text{уэ}} = \frac{q_{\text{уэ}}}{Q_9} = \frac{7}{7} = 1, \quad (2.2)$$

де $q_{\text{уэ}}$ – кількість уніфікованих елементів деталі;

Q_{Σ} – загальна кількість елементів деталі.

3. Коефіцієнт точності обробки :

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{CP}} = 1 - \frac{1}{8,4} = 0,88, \quad (2.3)$$

де A_{CP} – середній квалітет точності, розраховується за формулою:

$$A_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_i}{n} = \frac{6 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 9 \cdot 2 + 11 \cdot 1}{7} = 8,4,$$

де K_i – квалітет і-того розміру;

n – кількість розмірів.

4. Коефіцієнт шорсткості :

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{CP}} = 1 - \frac{1}{7} = 0,86, \quad (2.4)$$

де B_{CP} – середня висота мікронерівностей, мкм, розраховується за формулою:

$$B_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} III_i}{n} = \frac{6 \cdot 4 + 7 \cdot 1 + 9 \cdot 2}{7} = 7 \text{ мкм} \quad (2.5)$$

де III_i – шорсткість і-тої поверхні, мкм;

n – кількість поверхонь.

З приведених ознак і показників технологічності деталь можна вважати технологічною за показниками якості, точності і уніфікації поверхонь.

2.3 Забезпечення точності і шорсткості поверхні хрестовини при високошвидкісному точінні

2.3.1 Технологічна схема обробки деталі

При використанні традиційної технології технологічний процес обробки деталі «Хрестовина» включає наступні операції:

1. Штампування;

2. Токарна:

Точити зовнішні поверхні;

3. Свердлильна:

Свердлити отвори і нарізати різьбу під масельничку;

4. Термічна;

5. Круглошліфувальна.

На етапі попередньої обробки деталі на токарному верстаті з ЧПУ потрібні як мінімум два інструменти – різець для контурного точіння або упорний різець, центровочне свердло. Крім того, деталь необхідно обробити з чотирьох сторін, отже, в циклі обробки однієї хрестовини буде вироблено чотири закріплення деталі і двократну зміну інструменту для обробки з кожного боку. Це значно збільшує допоміжний час на обробку і призводить до зниження точності, оскільки при кожному перевстановленні деталі виникають додаткові погрішності.

В якості остаточної обробки робочих поверхонь деталі після гартування, застосовується шліфування на круглошліфувальному верстаті. Ця операція так само вимагає перевстановлення деталі під час обробки. З метою вирішення питання доцільності заміни процесу шліфування точінням були виконані деякі дослідження процесу точіння різцями зі вставками з твердого сплаву [8].

Дослідженням якості поверхні спеціальних валів в умовах виробництва було встановлено наявність у ряді випадків в поверхневих шарах структурних змін, прижогов і тріщин шліфувального походження. На шліфованих поверхнях особливо незадовільними є фізико-механічні властивості і напруга. Дослідження характеру розподілу мікротвердості поверхні по глибині при попередньому і остаточному шліфуванні показали, що, залежно від умов ведення процесу, в поверхневих шарах зустрічаються ділянки вторинного гартування і відпуску.

На операціях попереднього і остаточного шліфування визначена тангенціальна залишкова напруга. Аналіз кривих (рис.2.2) показує, що макронапруги в поверхневих шарах глибиною від 30 мкм до 70 мкм - розтягуючі, а в глибинніших шарах переходять в ті, що стискають (не більше 5 кгс/мм²). Виникнення розтягуючої напруги при шліфуванні пояснюється переважаючою дією теплового чинника. Ця напруга негативно позначається на працездатності валів, працюючих в режимі циклічного вантаження.

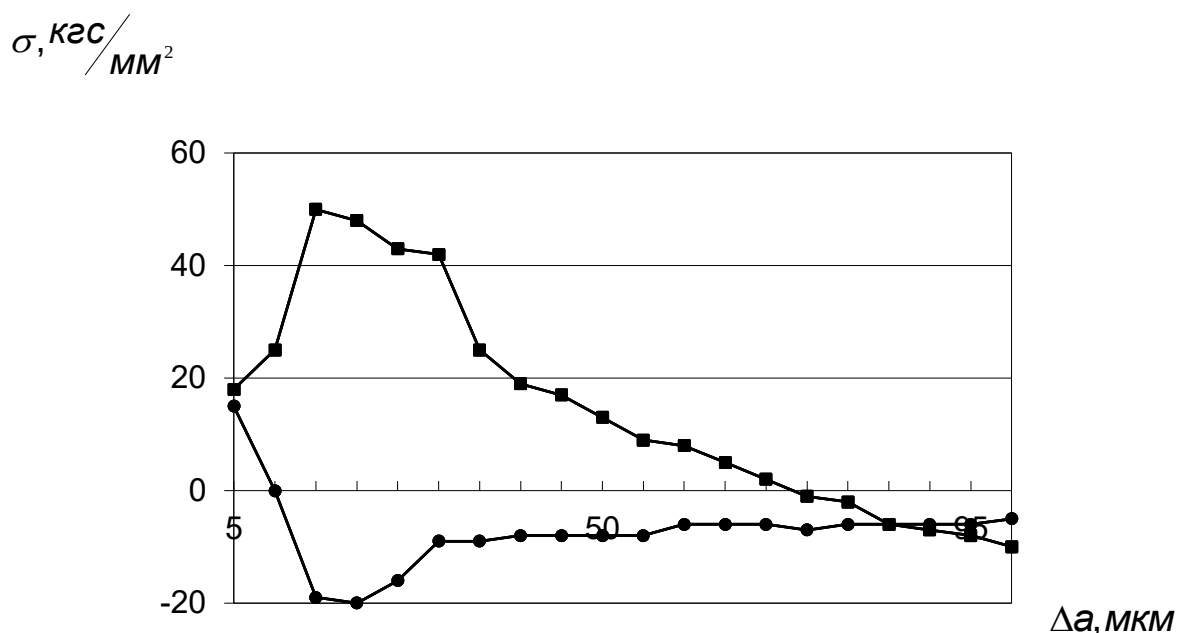


Рисунок 2.2 – Зміна залишкових макронапруг в поверхневому шарі загартованої сталі 45ХНМФА після остаточного шліфування (а) і точіння (б).

Епюри напруги поверхонь оброблених точінням і шліфуванням, мають деякі відмінності. Залежно від режимів точіння, на поверхні глибиною в межах 5-15 мкм виникають розтягуючі напруження, які в глибинних шарах переходять у стискаючі.

Встановлено, що процес точіння валів із загартованих сталей різцями з твердосплавними вставками забезпечує, в порівнянні з шліфуванням, сприятливіші фізико-механічні властивості і формує напружений стан поверхневих шарів з переважанням стискаючої напруги. Виключається поява прижогів і тріщин на поверхні обробленої абразивом.

Із застосуванням технології високошвидкісної обробки технологічний процес виготовлення деталі матиме вигляд:

1. Штампування;

2. Токарна (ВШО) :

Точити зовнішні поверхні;

3. Свердлильна:

Свердлити отвори і нарізати різьбу під масельничку;

4. Термічна;

5. Токарна (ВШО).

Проектування спеціального ріжучого інструменту для одночасної обробки двох зовнішніх діаметрів 1 і 2 (див. рис 2.1), центровочного отвору 6, торця 4 і зняття фаски 3 дозволить зменшити довжину робочих переміщень інструменту, замінивши послідовну обробку поверхонь паралельною. При цьому машинний час обробки деталі значно зменшується. Оскільки найдовшим переходом є обточування зовнішнього діаметру 2, то час на виконання усіх інших переходів укладається в нього. Для забезпечення багатоінструментальної обробки необхідно встановити чотири багатогранні непереточувані пластини і центровочне свердло в корпус інструментальної головки, витримавши розміри оброблюваних поверхонь.

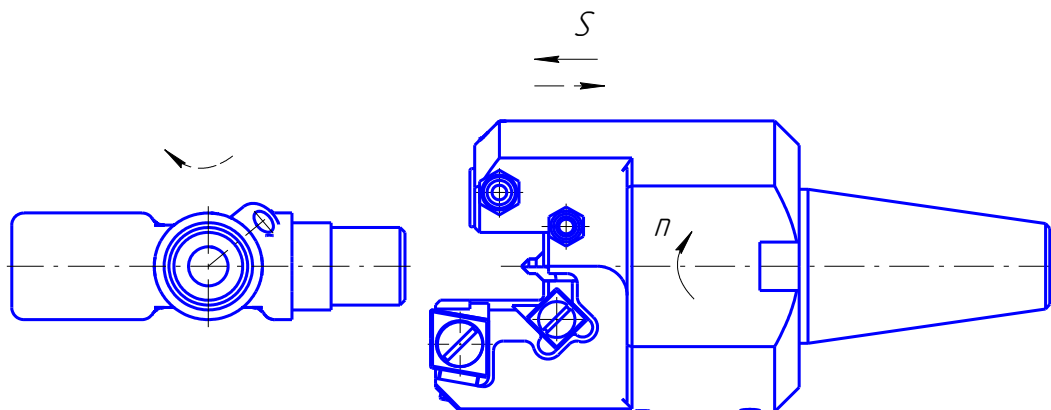


Рисунок 2.3 - Схема обробки деталі

Закріпивши інструмент в шпинделі верстата і надавши йому осьове переміщення із швидкістю подачі, можна забезпечити обробку усіх поверхонь деталі за один робочий хід.

Проектування спеціального поворотного пристрою для кріплення і обробки хрестовини з усіх чотирьох сторін забезпечить підвищення точності обробки внаслідок зменшення погрішностей, викликаних перезакріпленням деталі.

Виходячи з приведеного вище, можна стверджувати, що розробка спеціального ріжучого інструменту, що дозволяє обробити усі поверхні одного валика деталі за один робочий хід і поворотного пристрою для закріплення і обробки хрестовини з усіх чотирьох сторін дозволять скоротити час обробки деталі за рахунок зменшення як основного, так і допоміжного часів. А заміна шліфувальної операції на тверде точіння забезпечить кращу якість поверхневого шару робочих поверхонь хрестовини, що спричиняє за собою підвищення експлуатаційних характеристик деталі при її роботі в вузлі.

2.3.2 Розрахунок режимів різання

Для розрахунку приводів верстата необхідно визначити сили різання, потужність різання і момент на шпинделі. Максимальні сили різання виникатимуть при чорновій обробці деталі. При багатоінструментальній обробці розрахунок режимів різання ведеться для кожного інструменту.

2.3.2.1 Попередня обробка

Початкові дані для розрахунку:

Матеріал заготовки – сталь 18ХГТ 270...300 НВ.

Матеріал ріжучої частини – твердий сплав на основі карбіду титану зі зносостійким покриттям на основі TiAlN. Передній кут різання – $\gamma=10^\circ$, задній кут – $\alpha=7^\circ$, головний кут в плані – $\varphi=90^\circ$, кут нахилу ріжучої кромки – $\lambda=0^\circ$, радіус при вершині різця $r=0,4\text{мм}$.

Схема розташування ріжучих пластин приведена на рисунку 2.4.

1-й різець:

Глибина різання визначається по формулі:

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_1}{2} = \frac{22 - 18}{2} = 2, \text{ мм} \quad (2.7)$$

де $D_{\text{заг}}$ - діаметр заготовки;

D_1 - діаметр деталі.

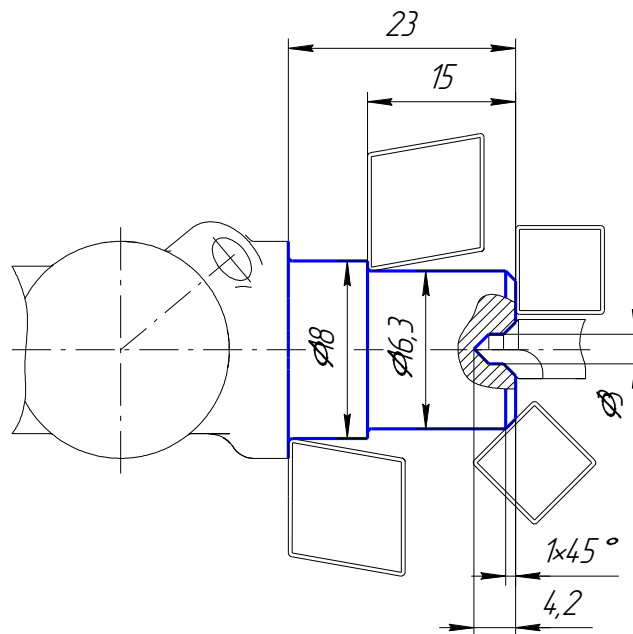


Рисунок 2.4 - Схема різання

Подача при чорновій обробці визначається виходячи з вимог забезпечення максимальної продуктивності. Оскільки поверхня деталі після чорнової обробки піддаватиметься термообробці, вона повинна мати по можливості мінімальні порушення в поверхневому шарі. Призначена шорсткість $Ra=1.6\text{мкм}$ забезпечується подачею $S_o = 0.14 \text{ мм/об.}$

Керуючись порівняльною характеристикою швидкостей різання для різних матеріалів розглянутої в 1.2 (рис 1.12), а так само рекомендаціями виробників

твердосплавних багатогранних непереточуваних пластин, призначаємо швидкість різання для обробки сталі. Швидкість знаходиться в межах 330 м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 330}{3.14 \cdot 22} = 4774 \text{ об/хв,} \quad (2.8)$$

де V - швидкість різання, м/хв;

D - діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Дійсна швидкість різання при безступінчатому регулюванні частоти обертання шпинделя $V_o = V = 330$ м/хв.

Сила різання визначається по формулі:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.9)$$

де P_z - головна складова сили різання, Н;

t - глибина різання, мм;

S_o - подача, мм/об;

V - швидкість різання, м/хв;

x, y, n - показники ступенів;

K_{mp} - поправочний коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, величини головного кута в плані, переднього кута, кута нахилу ріжучої кромки, радіус при вершині різця (вибирається по таблиці.9 [10]).

$$K_p = K_{mp} \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r = 1.22 \cdot 0.89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.87 = 0.945 \quad (2.10)$$

Значення коефіцієнта C_p і показників ступенів у формулі, визначення сили різання при точінні визначаються по таб. 41 [10]: $x=1$; $y=0.75$; $n=-0.15$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0.14^{0.75} \cdot 330^{-0.15} \cdot 0.945 = 544 \text{ Н}$$

Потужність різання визначається по формулі:

$$N_1 = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{544 \cdot 330}{1020 \cdot 60} = 2.9 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

2-й різець:

Глибина різання визначається по формулі (2.7) :

$$t = \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{18 - 16.3}{2} = 0.85 \text{ мм}$$

де D_1 - діаметр деталі після обробки першим різцем;

D_2 - діаметр деталі після обробки другим різцем.

Подача $S_o = 0.14$ мм/об, оскільки обидва різці встановлені в корпусі інструментальної головки.

Дійсна швидкість різання при $n = 4774$ об/хв визначається по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 18 \cdot 4774}{1000} = 270 \text{ м/хв.} \quad (2.12)$$

Силу різання визначаємо за формулою (2.9). Значення коефіцієнта C_p і показників ступенів у формулі ті ж :

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0.85^1 \cdot 0.14^{0.75} \cdot 270^{-0.15} \cdot 0.945 = 238 \text{ Н}$$

Потужність різання визначається по формулі (2.11) :

$$N_2 = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{238 \cdot 270}{1020 \cdot 60} = 1,25 \text{ кВт}$$

Свердлення центровочного отвору :

Глибина різання визначається по формулі:

$$t = \frac{D_{\text{св}}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ мм} \quad (2.13)$$

де $D_{\text{св}}$ - діаметр свердла;

Подача $S_o = 0.14$ мм/об, оскільки свердло встановлене в корпусі інструментальної головки.

Дійсна швидкість різання при $n = 4774$ об/хв визначається за формулою (2.12)

$$:V = \frac{\pi \cdot D_{\text{св}} \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 3 \cdot 4774}{1000} = 45 \text{ м/хв.}$$

Момент і осьову силу різання визначаємо по формулах:

$$M_{\text{св}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (2.14)$$

$$P_o = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.15)$$

Значення коефіцієнтів C_M , C_P та показників ступенів в формулах визначаються за табл. 32 [10]: $C_M=0,012$; $C_P=42$; $q_M=2,2$; $q_P=1,2$; $y_M=0.8$; $y_P=0.75$; $K_P=0,77$:

$$M_{\text{св}} = 10 \cdot 0,012 \cdot 3^2 \cdot 0,14^{0,8} \cdot 0,77 = 0,17, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_o = 10 \cdot 42 \cdot 3^{1,2} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 0,77 = 277, \text{ Н}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_2 = \frac{M_{\text{св}} \cdot n}{9750} = \frac{0,17 \cdot 4774}{9750} = 0,1 \text{ кВт}, \quad (2.16)$$

Сумарна потужність різання:

$$N_{\Sigma} = \sum N_i = N_1 + N_2 + N_3 = 2,9 + 1,25 + 0,1 = 4,25 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

Сумарна сила різання:

$$P_{\Sigma} = \sum P_{Zi} = P_{Z1} + P_{Z2} = 544 + 238 = 782 \text{ Н} \quad (2.18)$$

Визначимо крутний момент, який виникає на шпинделі під дією сил різання :

$$M_{кр} = \sum M_i = \sum \frac{P_{zi} \cdot D_i}{2 \cdot 100} \quad (2.19)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент;

P_{zi} - окружна складова сили різання, Н;

D_i - діаметр прикладання сили, мм;

$$M_{кр} = \sum \frac{P_{zi} \cdot D_i}{2 \cdot 100} + M_{св} = \frac{544 \cdot 22}{2 \cdot 100} + \frac{238 \cdot 18}{2 \cdot 100} + 0.17 = 81.43 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.3.2.2 Остаточна обробка

Початкові дані для розрахунку:

Матеріал заготовки – сталь 18ХГТ 50...55 HRC.

Матеріал ріжучої частини – чорна кераміка на основі карбіду титану зі зносостійким покриттям на основі TiAlN. Передній кут різання – $\gamma = -7^\circ$, задній кут – $\alpha = 7^\circ$, головний кут в плані – $\varphi = 90^\circ$, кут нахилу ріжучої кромки – $\lambda = 0^\circ$, радіус при вершині різця $r = 0.4 \text{ мм}$.

Схема різання приведена на рисунку 2.5.

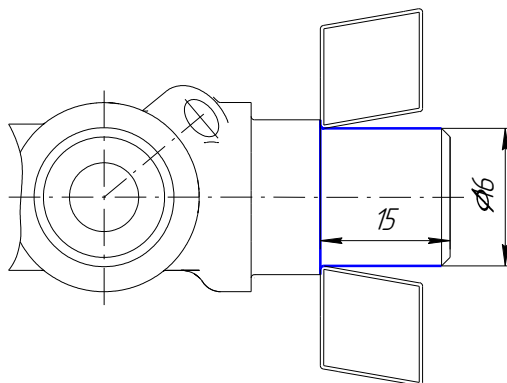


Рисунок 2.5 - Схема різання

Глибина різання визначається за формулою (2.7):

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_1}{2} = \frac{16.3 - 16}{2} = 0.15 \text{ мм},$$

де $D_{\text{заг}}$ - діаметр заготовки;

D_1 - діаметр деталі.

Припуск під остаточну обробку розподілимо між двома ріжучими кромками для забезпечення збалансованої роботи ріжучого інструменту при різанні на високих швидкостях.

$$t_1 = t_2 = \frac{t}{2} = \frac{0.15}{2} = 0.075 \text{ мм}.$$

Подача для чистової обробки визначається виходячи з вимог забезпечення необхідної якості обробленої поверхні і її шорсткості. Призначена шорсткість $Ra=0.2\text{мкм}$ забезпечується подачею $S_o = 0.05$ мм/об. Керуючись порівняльною характеристикою швидкостей різання для різних матеріалів розглянутої в 1.2 (рис 1.12), а так само рекомендаціями виробників твердосплавних багатогранних непереточуваних пластин, призначаємо швидкість різання для обробки сталі. Швидкість знаходиться в межах 235 м/хв. Визначаємо частоту обертання шпинделя по формулі (2.8):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 235}{3.14 \cdot 16.3} = 4570 \text{ об/хв}.$$

Дійсна швидкість різання при безступінчатому регулюванні частоти обертання шпинделя $V_o = V = 235\text{м/хв}$.

Сила різання визначається по формулі (2.9) Значення коефіцієнта C_p і показників m і n у формулі визначення сили різання при точінні визначаються по таблиці. 41 [10]: $x=1$; $y=0.75$; $n=-0.15$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot (2 \cdot 0.075)^1 \cdot 0.05^{0.75} \cdot 235^{-0.15} \cdot 1.18 = 24.8 \text{ Н},$$

де $K_p = K_{mP} \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r = 1.22 \cdot 0.89 \cdot 1.25 \cdot 1 \cdot 0.87 = 1.18$ (за формулою (2.10)).

Потужність різання визначається за формулою (2.11):

$$N_1 = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{24.8 \cdot 235}{1020 \cdot 60} = 0.1 \text{ кВт}.$$

Визначимо крутний момент, який виникає на шпинделі під дією сил різання за формулою (2.19):

$$M_{кр} = \sum \frac{P_{zi} \cdot D_i}{2 \cdot 100} = \frac{24.8 \cdot 16}{2 \cdot 100} = 1.98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.4 Висновки

В результаті оцінки технологічності, деталь можна вважати технологічною за показниками якості, точності і уніфікації поверхонь. Розроблені схеми обробки, розраховані режими різання для операцій чорнової і чистової обробки деталі. Отримані значення максимальної частоти обертання шпинделя, величина сил різання, момент, що діє на шпиндель і потужність різання.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ У ВИРОБІ

3.1 Теплові потоки у виробі, стружці і інструменті.

Розглянемо джерела виникнення і можливі шляхи поширення теплоти при різанні будь-якого матеріалу без штучного охолодження виробу і інструменту.

Аналіз теплофізичної обстановки розпочинають з розгляду теплообміну в зоні різання при роботі простим ріжучим клином (рис. 3.1, а), оскільки інструмент будь-якої форми і складності складається з системи простих ріжучих клинів.

У вузькій області поблизу площини зсуву ON виникає джерело теплоти, еквівалентне роботі пластичної деформації. Теплота цього джерела розподіляється між стружкою (Q_{oc}) і виробом (Q_{ou}). Стружка проходячи повз контактний майданчик з передньою поверхнею інструменту, віддає останньому частину отриманої нею теплоти. Ця теплота у вигляді потоку Q''_{oc} може передаватися через інструмент у виріб, оскільки існує теплообмін між задньою поверхнею різця і поверхнею різання.

Частина теплоти деформації Q_{ou} , потрапивши у виріб, рухається повз контактний майданчик на задній поверхні різця. Від цієї частини теплоти відгалужується деяка частина, яка передається інструменту у вигляді потоку Q''_{ou} , а у вигляді потоку Q'_{ou} передається стружці через інструмент.

Теплота, що виникає в результаті тертя на передній поверхні інструменту, у вигляді потоку Q'_{mn} йде в стружку, а інша частина потоку – в різець, при чому потік Q''_{mn} рухається в тіло інструменту, а потік Q'''_{mn} через задню поверхню ріжучого клину – у виріб. Частина теплоти тертя з потоку Q'_{mn} могла б через поверхню зсуву передаватися виробу. Проте при вживаних зазвичай швидкостях різання це практично нездійснено.

Теплота від третього джерела тертя на задній поверхні різця розподіляється між виробом (Q'''_{mz}), різцем (Q''_{mz}) і стружкою (Q'_{mz}).

$$Q'''_{m3} = Q_{m3} - Q'_{m3} - Q''_{m3} ; \quad (3.3)$$

де Q_{m3} - повна кількість теплоти, що утворюється в результаті тертя між поверхнею різання і задньою поверхнею інструменту;

$Q_{\partial u}$ - повна кількість теплоти, що утворюється в результаті роботи пластичної деформації у виробі.

Підставляючи значення $Q'''_{\partial u}$ і Q'''_{m3} у вираз (3.1) отримаємо:

$$Q_u = Q_{\partial u} + Q_{m3} - (Q'_{\partial u} + Q''_{\partial u} + Q'_{m3} + Q''_{m3} - Q'''_{mn} - Q'''_{\partial c}) ; \quad (3.4)$$

Тоді:

$$Q_u = Q_{\partial u} + Q_{m3} - Q_3 ; \quad (3.5)$$

Таким чином, тепловий режим виробу можна вивчити, розглядаючи вплив лише трьох джерел з боку зони різання : $Q_{\partial u}$ - частини теплоти деформації, що йде у виріб; Q_{m3} - теплоти, що виникає в результаті тертя між виробом і інструментом; Q_3 - підсумкового потоку, теплообміну, що виникає в результаті, на майданчику контакту поверхні різання із задньою поверхнею інструменту.

Розглядаючи баланс теплоти в стружці, отримуємо:

$$Q_c = Q_{\partial c} + Q_{mn} - Q_n ; \quad (3.6)$$

$$\text{Тут} \quad Q_n = Q'''_{mn} + Q'''_{\partial c} + Q''_{\partial c} + Q'''_{\partial c} - Q'_{\partial u} - Q'_{m3} ; \quad (3.7)$$

підсумковий потік, що виникає між дотичними тілами на майданчику контакту стружки з передньою поверхнею інструменту. Отже, температурне поле в стружці можна представити як результат накладення полів, що виникають від двох джерел теплоти $Q_{\partial c}$ і Q_{mn} і одного стоку Q_n .

Температурне поле в інструменті можна описати, користуючись виразом:

$$Q_p = Q_n + Q_3; \quad (3.8)$$

На рисунку 8.1, **б** дана схема, в якій враховано приведення окремих потоків теплоти до підсумкових потоків Q_3 і Q_n . На цій схемі потоки Q_3 і Q_n відносяться не лише до інструменту, але відповідно до виробу і стружки.

3.2 Розрахункові формули для визначення температурних полів у виробі

Температурне поле у виробі. Формула для розрахунку температури у будь-якій точці виробу структурно виглядає таким чином:

$$\theta_u(x_1, y_1) = (1 + c)\theta_{du}(x_1, y_1) + \theta_{mz}(x_1, y_1) - \theta_{pu}(x_1, y_1) \quad (3.9)$$

де θ_{du} , θ_{mz} , θ_{pu} - зміни температури, викликані відповідно теплотою деформації, теплотою тертя на контактному майданчику "різець-виріб" і теплообміном різця з виробом.

Координати точок, розташованих у виробі, розглядаємо в системі X_1OY_1 (див. рис. 3.2), нехтуючи нахилом ділянки λ_3 через малість кута α .

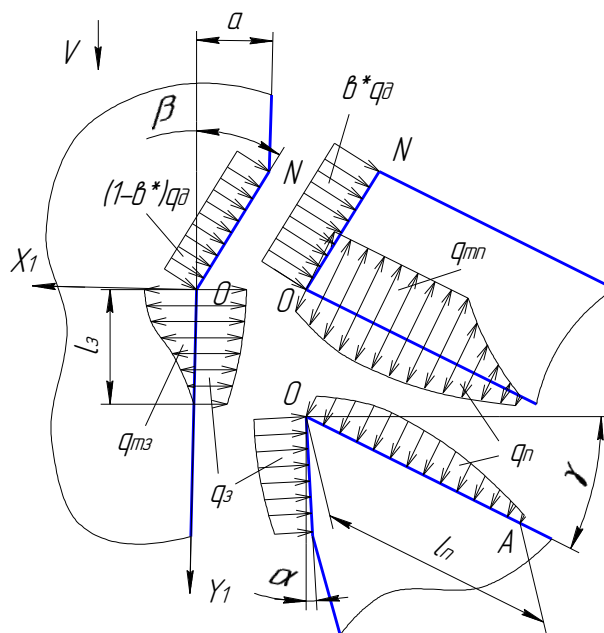


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема різця, стружка, виріб

У формулу входить також коефіцієнт c , що враховує підігрівання поверхневих шарів матеріалу, з яких утворюється стружка. Залежно від розмірів виробу, швидкості його обертання і властивостей оброблюваного матеріалу, шар матеріалу, з якого в даний момент формується стружка, збереже ту або іншу частину теплоти, що потрапила у виріб під час попередніх його оборотів.

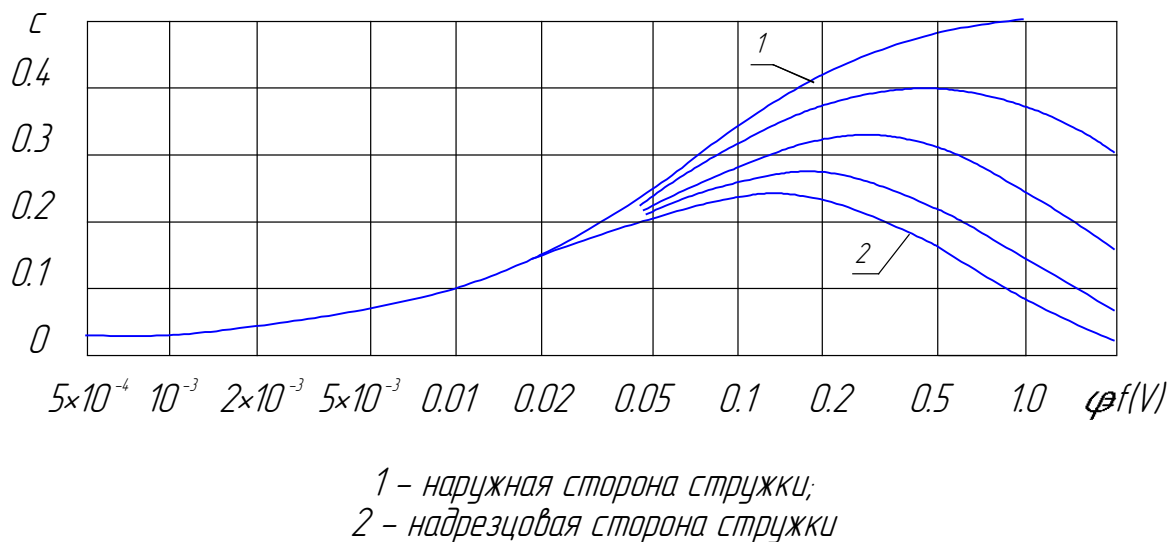


Рисунок 3.3 - Значення коефіцієнта c , що враховує перенесення теплоти в стружку через один оборот виробу

Значення c , отримані на базі аналізу температурного поля у виробі, приведені на рис. 8.3. Вони дані залежно від безрозмірної ординати $\chi = \frac{y_1}{a_1}$ і безрозмірного критерію

$$\varphi = 1,33 \cdot 10^{-2} \frac{Va^2}{\omega d}, \quad (3.10)$$

де d – діаметр виробу, мм;

ω – коефіцієнт температуропровідності матеріалу виробу, $\text{см}^2/\text{сек}$.

Додатковий нагрів стружки залежить від діаметру виробу, режиму різання і температуропровідності оброблюваного матеріалу. При малих швидкостях різання і товщині зрізу, а також при обробці деталей великого розміру додатковий нагрів

стружки виявляється невеликим, оскільки теплота деформації значною мірою устигає піти в глиб виробу. Підігрів по перерізу стружки розподілений рівномірно, лінії графіку для усіх значень χ співпадають. При високих швидкостях обертання, малої температуропровідності оброблюваного матеріалу, великих перерізах зрізу і малих розмірах виробу додаткове підігрівання стружки стає нерівномірним. Зовнішні шари стружки підігріваються все сильніше. В них может виникнути додаткова температура до $0,5 \theta_o$. До внутрішніх же шарів виробу, а з ними і до внутрішніх шарів стружки, за один оборот частина теплоти деформації, що йде в деталь, не устигає дійти. У зв'язку з цим внутрішні шари стружки виявляються підігрітими менше, ніж зовнішні. Вони нагріваються тим менше, чим коротше час одного обороту виробу і чим менше теплопровідність оброблюваного матеріалу.

Для розрахунку температури, викликаной теплотою деформації можна скористатися формулами, що відносяться до плоского швидкорухаючогося джерела, нахиленого до напрямку руху під кутом β . Підставивши в них інтенсивність джерела $q = (1 - b^*)q_o$ і привівши інші величини, що входять в ці вирази, у відповідність з розрахунковою схемою отримаємо:

$$\theta_{ou}(x_1, y_1) = \theta_o T_u \quad (3.11)$$

де T_u - безрозмірна функція, що описує закон розподілу у виробі температур, які визвані теплотою деформації.

Функція T_u для точок, які розташовані на поверхні різання, приведена на рис.

3.4 в залежності від безрозмірного критерію $\frac{l_3}{a} \tan \beta$.

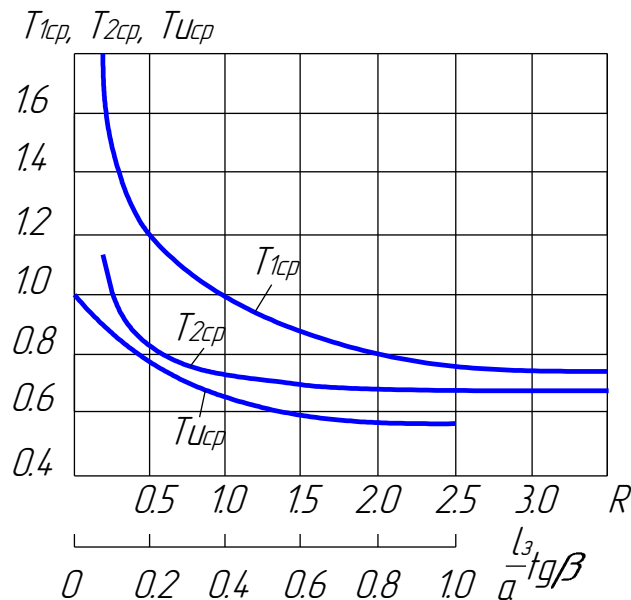


Рисунок 3.4 – Середнє значення функції T

Підвищення температури, викликане теплотою деформації виражається залежністю :

$$\theta_o = 0,6 \frac{\omega k}{\lambda V} b^* q_o, \quad (3.12)$$

де k - коефіцієнт усадки стружки;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу виробу, кал/см·сек·°З;

V - швидкість різання, м/мін;

$b^* = \frac{1}{1 + 1.33 \frac{k \sqrt{\sin \beta}}{\sqrt{Pe_o}}}$ - коефіцієнт співвідношення теплоти деформації в стружці та

в виробі,

Тут $Pe_o = \frac{1}{6} \cdot \frac{V \cdot a}{\omega}$ - безрозмірний критерій Пекле для джерела, еквівалентного теплоті деформації.

Співвідношення, приведені для плоского швидкокоруючогося джерела, можна використати і для визначення температури $\theta_{pu}(x_1, y_1)$, оскільки ми прийняли, що

інтенсивність теплообміну між виробом і інструментом розподілена по майданчику завдовжки l_3 рівномірно. З урахуванням прийнятих умов:

$$\theta_{pu}(x_1, y_1) = 0,276 \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} q_3 \sqrt{\frac{l}{V}} \tau_1(\psi_1, \nu_1), \quad (3.13)$$

Виведемо розрахункове рівняння для температури $\theta_{m3}(x_1, y_1)$, викликаною тертям виробу об задню поверхню інструменту. Інтенсивність цього джерела теплоти розподілена за експоненціальним законом. Отже, досить перейти до розмірності V (м/хв.) і l_3 (мм), щоб застосувавши вираження для смугового швидкорухаючого джерела, написати:

$$\theta_{m3}(x_1, y_1) = 0,122 \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} q_1 \sqrt{\frac{l}{V}} \tau_3(\psi_1, \nu_1), \quad (3.14)$$

Підставивши значення температур, викликаних відповідно теплотою деформації, теплотою тертя на контактному майданчику "різець-виріб" і теплообміном різця з виробом у формулу (3.9) знайдемо середню температуру на майданчику контакту "різець-виріб":

$$\theta_{иср} \approx (1+c)\theta_o T_{иср} + 0,1 \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \sqrt{\frac{l_3}{V}} (q_1 - 1,82q_3) \quad (3.15)$$

3.3 Визначення інтенсивності теплових потоків в зоні різання

Виходячи з рекомендованих швидкостей різання (див. розділ 1.3) розрахуємо теплові потоки і температури в зоні різання.

Початкові дані: оброблюваний матеріал – сталь 18ХГТ, $\sigma_s = 99,9$ кг/мм²;
 $\omega = 0,066$ см²/сек; $\lambda = 0,08$ кал/см·сек·°С; діаметр виробу $d = 16$ мм.

Ріжучий інструмент – головка інструментальна оснащена керамічними багатограними непереточуваними пластинами, $\lambda_p = 0,01$ кал/см·сек·°С; $\gamma = -7^\circ$; $\alpha = 7^\circ$;
 $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$.

Режими різання: $V=250$ м/хв.; $t=0.075$ мм; $S=0.05$ мм/об.

Сили різання: $P_Z=1,23$ кг; $P_Y=0,91$ кг; $P_X=1,78$ кг;

$$P_N = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2} = 1,999 \text{ кг.}$$

Контактні площини: $l_n=0,0375$ мм, $l_3=0,01$ мм.

Усадка стружки $k=1,8$; найбільша товщина загальмованого шару $\Delta=0,001$ мм.

Розміри перерізу зрізу:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{0.075}{\sin 90^\circ} = 0.075 \text{ мм,} \quad (3.16)$$

$$a = S \cdot \sin \varphi = 0.05 \cdot \sin 90^\circ = 0.05 \text{ мм.} \quad (3.17)$$

Сили на задній поверхні різця:

$$F_{m3} \approx N_3 = 0,252 \cdot \sigma_\epsilon \cdot b \cdot l_3 = 0,252 \cdot 99,9 \cdot 0,075 \cdot 0,01 = 0,019 \text{ кг} \quad (3.18)$$

Інтенсивність теплового потоку:

Від сил тертя на над різцевої сторони стружки розраховується за формулою:

$$q_o = 6,25 \frac{P_{No} \cdot \cos \gamma + P_{Zo} \cdot \sin \gamma}{b \cdot l_n} \cdot \frac{V}{k} \quad (3.19)$$

$$q_o = 6,25 \frac{1,98 \cdot \cos(-7) + 1,211 \cdot \sin(-7)}{0,075 \cdot 0,0375} \cdot \frac{250}{1,8} = 561 \cdot 10^3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек.}$$

Від тертя на задній поверхні різця:

$$q_1 = 1,95 \cdot \sigma_\epsilon \cdot V = 1,95 \cdot 99,9 \cdot 250 = 48,7 \cdot 10^3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек.} \quad (3.20)$$

Інтенсивність потоку, що представляє теплоту деформації:

$$q_o = 3,9 \frac{V \sin \beta}{a \cdot b \cdot k} (P_{Zo} (k - \sin \gamma) - P_{No} \cdot \cos \gamma), \quad (3.21)$$

$$\text{де } \sin \beta = \frac{\cos \gamma}{\sqrt{k^2 - 2k \cdot \sin \gamma + 1}} = \frac{\cos(-7)}{\sqrt{1,8^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot \sin(-7) + 1}} = 0,4588, \text{ звідки}$$

$$\beta = \arcsin 0,4588 = 27,314^\circ - \text{кут зсуву.}$$

Тоді

$$q_o = 3,9 \frac{250 \cdot \sin 27,314}{0,05 \cdot 0,075 \cdot 1,8} (1,211(1,8 - \sin(-7)) - 1,98 \cdot \cos(-7)) = 24 \cdot 10^3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек.}$$

Безрозмірні критерії Пекле розраховуються за формулою:

$$Pe_o = \frac{1}{6} \cdot \frac{V \cdot a}{\omega} = \frac{1}{6} \cdot \frac{250 \cdot 0,05}{0,066} = 31,57,$$

$$Pe_o = \frac{1}{6} \cdot \frac{V \cdot l_n}{k \cdot \omega} = \frac{1}{6} \cdot \frac{250 \cdot 0,0375}{1,8 \cdot 0,066} = 13,15.$$

Відносна кількість теплоти деформації, що відходить зі стружкою розраховується за формулою:

$$b^* = \frac{1}{1 + 1,33 \frac{k \sqrt{\sin \beta}}{\sqrt{Pe_o}}} = \frac{1}{1 + 1,33 \frac{1,8 \sqrt{\sin 27,314}}{\sqrt{31,57}}} = 0,69 \quad (3.22)$$

Безрозмірний критерій, формула (3.10):

$$\varphi = 1,33 \cdot 10^{-2} \frac{Va^2}{\omega d} = 1,33 \cdot 10^{-2} \frac{250 \cdot 0,05^2}{0,066 \cdot 16} = 0,05.$$

Коефіцієнт, що враховує перенос теплоти поверхні різання в стружку для над різцевої зони стружки (див. рис. 3.3, крива 2) має значення $c=0,2$.

Безрозмірний критерій:

$$R = \frac{1}{6} \cdot \frac{k \cdot V \cdot a^2}{\omega \cdot l_n} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1,8 \cdot 250 \cdot 0,05^2}{0,066 \cdot 0,0375} = 7,58 > 3.$$

$$T_{1cp} = 0,725; T_{2cp} = 0,666.$$

Температура деформації розраховується за формулою (3.12):

$$\theta_o = 0,6 \frac{\omega k}{\lambda V} b * q_o = 0,6 \frac{0,066 \cdot 1,8}{0,08 \cdot 250} 0,69 \cdot 24 \cdot 10^3 = 27^\circ C.$$

Середня температура на контактній поверхні стружки:

$$\theta_{ср} = 0,195 \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \sqrt{\frac{k \cdot l_n}{V}} (q_o \cdot T_{1cp} - 1,41 q_n \cdot T_{2cp}) + (1 + c) \theta_o \quad (3.23)$$

$$\theta_{ср} = 0,195 \frac{\sqrt{0,066}}{0,08} \sqrt{\frac{1,8 \cdot 0,0375}{250}} (516 \cdot 10^3 \cdot 0,725 - 1,41 \cdot q_n \cdot 0,666) + (1 + 0,2) \cdot 27.$$

Безрозмірний критерій та коефіцієнт (див. рис. 3.4):

$$\frac{l_3}{a} tg \beta = \frac{0,01}{0,05} tg 27,314 = 0,103; T_{иср} = 0,86.$$

Середня температура на контактній поверхні виробу розраховується по формулі (3.15):

$$\theta_{иср} \approx (1 + 0,2) \cdot 27 \cdot 0,86 + 0,1 \frac{\sqrt{0,066}}{0,08} \sqrt{\frac{0,01}{250}} (48,7 \cdot 10^3 - 1,82 q_3).$$

Безрозмірні величини:

$$\eta_1 = \frac{b}{l_n} = \frac{0,075}{0,0375} = 2, \quad \eta_2 = \frac{b}{l_3} = \frac{0,075}{0,01} = 7,5.$$

$$\frac{l_n}{l_3} = \frac{0,375}{0,01} = 3,75; \quad \frac{l_3}{l_n} = \frac{0,01}{0,0375} = 0,267; \quad B\left(\frac{l_n}{l_3}\right) = 1; \quad B\left(\frac{l_3}{l_n}\right) = 2,58.$$

Коефіцієнти M и G при куті при вершині різця $\beta=80^\circ$:

$$M_1=0,14; M_2=0,28; G(\eta_1)=0,048; G(\eta_2)=0,095.$$

Безрозмірні функції:

$$N_1 = B\left(\frac{l_3}{l_n}\right) \cdot G(\eta_1) = 2,58 \cdot 0,048 = 0,124;$$

$$N_2 = B \left(\frac{l_n}{l_3} \right) \cdot G(\eta_2) = 1 \cdot 0,095 = 0,095.$$

Середня температура на контактному майданчику:

передньої поверхні різця:

$$\theta_{ncp} = \frac{q_n \cdot l_n}{\lambda_p} M_1 + \frac{q_3 \cdot l_3}{\lambda_p} N_2 = \frac{q_n \cdot 0,0375}{0,01} 0,14 + \frac{q_3 \cdot 0,01}{0,01} 0,095. \quad (3.24)$$

задньої поверхні різця:

$$\theta_{зср} = \frac{q_n \cdot l_n}{\lambda_p} N_1 + \frac{q_3 \cdot l_3}{\lambda_p} M_2 = \frac{q_n \cdot 0,0375}{0,01} 0,124 + \frac{q_3 \cdot 0,01}{0,01} 0,28 \quad (3.25)$$

Підставив значення в систему рівнянь (3.26) знаходимо величини q_n і q_3 .

$$\begin{cases} \theta_{иср} = \theta_{зср} \\ \theta_{ncp} = \theta_{ссп} - \frac{q_n \Delta}{40\lambda} \end{cases} \quad (3.26)$$

$$\begin{cases} 154,235 - 0,0037q_3 = 0,465q_n + 0,28q_3 \\ 0,525q_n + 0,095q_3 = 4249,37 - 0,0097q_n - \frac{q_n \cdot 0,001}{40 \cdot 0,08} \end{cases}$$

$$q_n = 11,6 \cdot 10^3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек}, \quad q_3 = -20,7 \cdot 10^3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек}.$$

Тоді значення середніх температур на контактних поверхнях:

контактна площа на передній поверхні різця:

$$\theta_{ncp} = 1082,11 - 0,01 \cdot 11611,14 = 966^\circ\text{C};$$

контактна поверхня стружки:

$$\theta_{ссп} = 1082,11 - 0,0078 \cdot 11611,14 = 992^\circ\text{C};$$

контактна площа задньої поверхні різця з виробом:

$$\theta_{иср} = \theta_{зср} = 108,49 - 0,0037 \cdot 20673,8 = 32^\circ\text{C}.$$

3.4 Швидкість різання за відсутності теплообміну інструменту і деталі

На рис. 3.5 показана загальна схема зміни підсумкових потоків теплообміну залежно від швидкості різання. При малих швидкостях різання теплові потоки q_n і q_3 спрямовані від обох контактних майданчиків в тіло інструменту, тобто $q_n > 0$ і $q_3 > 0$. Це пояснюється тим, що різець стикається з поверхнею стружки і виробу, температура яких миттєво підвищується з початком різання. У зв'язку з інтенсивним тепловідводом в тіло інструменту температура на його контактних поверхнях в цей час виявляється нижчою, ніж при різанні, що встановилося. Проте теплота, що поступає в інструмент збоку обох майданчиків, починає прогрівати ріжучий клин. У зв'язку з цим через короткий проміжок часу, тривалість якого залежить від інтенсивності властивостей інструментального матеріалу (точка А), тепловий потік q_3 змінює свій напрям, звертаючись у бік виробу ($q_3 < 0$).

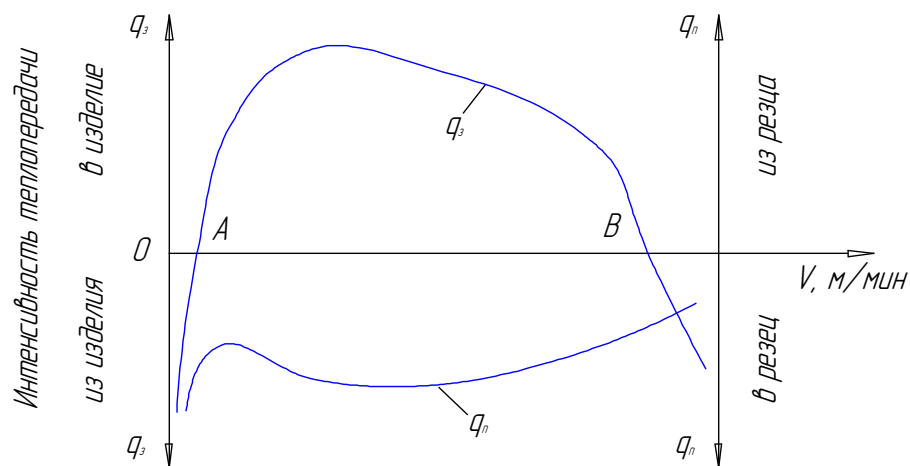


Рисунок 3.5 – Схема зміни підсумкового потоку теплообміну на контактному майданчику інструмент – деталь

Надалі на деякий період часу теплові потоки q_n і q_3 стабілізуються за величиною і напрямом. Потім, у міру зносу задньої поверхні теплота, викликана тертям задньої поверхні інструменту об виріб, росте. Зростають і складові Q''_{m3} і Q'_{m3} у формулі кількості теплоти, що передається через майданчик контакту по задній поверхні інструменту ($Q_3 = Q'_{du} + Q''_{du} + Q'_{m3} + Q''_{m3} - Q'''_{mn} - Q'''_{dc}$), потік Q_3 з області значень $Q_3 < 0$

прагне наблизитися до області значень $Q_3 > 0$. Тому, хоча напрям цього потоку все ще продовжує зберігатися (з різця у виріб) інтенсивність його q_3 знижується за абсолютною величиною. Зменшення абсолютного значення q_3 тим значніше, чим більше швидкості різання і тертя по задній поверхні інструменту. Зниження інтенсивності тепловіддачі з різця у виріб спочатку мало позначається на тепловідводі від контактної майданчика "різець-стружка" (q_n). Більше того, при зносі по задній поверхні близько 0,05-0,15 мм, незважаючи на деяке зменшення інтенсивності тепловідводу q_3 , загальну кількість теплоти, що віддається різцем виробу $Q_3 = q_3 \cdot b \cdot l_3$ зростає внаслідок збільшення довжини контактної майданчика l_3 . Це дещо посилює інтенсивність тепловідводу з боку стружки в інструмент.

Подальше зростання швидкості і температури на задній поверхні інструменту, що супроводжується зниженням інтенсивності стоку q_3 , призводить до того, що в різці накопичується все більша кількість теплоти. Інтенсивність віддачі теплоти стружкою в різець q_n , хоча і повільно, але знижується, і, як випливає з вираження (3.23), температура його передньої поверхні зростає. При деякому значенні швидкості різання тепловіддача у виріб стає рівною нулю. Це означає, що потоки теплоти з боку задньої поверхні в різець і з боку різця у виріб урівноважуються (точка D).

З подальшим зростанням зносу тепловий потік q_3 знову міняє свій напрям – теплота не відводиться з різця у виріб, а поступає в інструмент. Цей вступ при великому зносі виявляється настільки великим, що гальмує передачу теплоти різцю від контактної поверхні "різець-стружка", інтенсивність q_n падає, температура передньої поверхні різця підвищується.

До задачі високошвидкісної обробки входить забезпечення такої швидкості різання при якій не відбувається нагрівання оброблюваної деталі а стійкість інструменту зберігається. У характерній точці D інтенсивність теплового потоку $q_3 = 0$. Це означає, що не відбувається перенесення тепла через задню поверхню інструменту (немає додаткового нагріву інструменту частиною теплоти деформації, що залишається в деталі, але так само немає і додаткового нагріву деталі теплотою тертя по передній поверхні інструменту і теплотою деформації, що залишається від попереднього обороту інструменту). Підтримка подібного балансу дозволить

зберегти температурний режим обробки деталі в необхідних межах. Для цього необхідно визначити швидкість різання при якій інтенсивність додаткового теплового потоку по задній поверхні q_3 дорівнюватиме нулю.

Величину швидкості різання, при якій потік $q_3=0$, можемо в першому наближенні розрахувати, користуючись формулою (3.15). Стосовно розглянутого варіанту обробки, підставивши числові значення величин, що входять, маємо:

$$\theta_{иср} \approx (1+c) \cdot 0,6 \frac{\omega k}{\lambda V} \cdot \frac{1}{1+1.33 \frac{k \sqrt{\sin \beta}}{\sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{Va}{\omega}}}} \cdot 3.9 \frac{V \sin \beta}{abk} \times$$

$$\times (P_{zo}(k - \sin \gamma) - P_{No} \cdot \cos \gamma) T_{иср} + 0,195 \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \sqrt{\frac{l_3}{V}} \sigma_{\epsilon} \cdot V \quad (3.27)$$

Вираз (3.27) є квадратним рівнянням відносно величини V , розв'язуючи яке, отримуємо шукане значення швидкості різання, що відповідає моменту зміни напрямку теплового потоку q_3 . $V=234$ м/хв. (точка В, див. рис. 3.5).

3.5 Висновки

Аналіз розподілу теплоти при обробці матеріалів різанням дозволяє підібрати оптимальні режими різання для кожного конкретного випадку. Зниження температури виробу при обробці можливо за рахунок зменшення кількості тепла в області деформації з переважним відводом його із зони різання із стружкою. Крім того, додаткове джерело тепла, що виникає в наслідок теплообміну через майданчик контакту інструменту і виробу, так само можливо звести до мінімуму при збільшенні швидкості різання і зниженні кількості тепла того, що залишається у виробі від попереднього обороту.

Зниження температури деталі при її обробці дозволить підвищити точність обробки за рахунок усунення теплових деформацій виробу, а так само поліпшити якість поверхневого шару внаслідок відсутності розміцнення матеріалу і збереження його механічних характеристик після обробки.

4 ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ

4.1 Вибір аналогів та їх порівняння

Об'єктом дослідження є спеціальний різальний інструмент для комбінованої обробки зовнішніх поверхонь деталей типу тіл обертання.

Метою роботи є порівняти існуючі конструкції інструментальних голівок, описати їх 5-7 критеріям, вибрати і оптимізувати вибрану конструкцію.

В ході дослідницької роботи був проведений аналіз існуючих конструкцій інструментальних голівок (таблиця 4.1), складена їх порівняльна характеристика.

Таблиця 4.1 – Вибрані аналоги

№	Назва	Джерело інформації	Краткий опис
1	Зовнішня розгортка MAPAL	www.mapal.com/ru/skachat/katalogi-on-lain/reaming-fine-boring	Зовнішня розгортка для обробки зовнішнього діаметру валів з високою точністю
2	Інструментальна головка ITTEDI	http://www.ittedi.com/en/products/tools-with-adjustable-blade-and-guiding-pads#prettyPhoto	Інструментальна головка для комбінованої обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь
3	Різцева головка MAPAL	Каталог фірми MAPAL	Інструментальна головка для комбінованої обробки ступінчастих валів

4.1.1 Зовнішня розгортка MAPAL.

Зовнішня розгортка MAPAL (рисунок 4.1) дозволяє обробляти зовнішні діаметри валів. Може застосовуватися на оброблювальних центрах, автоматичних токарних верстатах і інших верстатах. Точність обробки до мікрона.

Принцип роботи зовнішніх розгорток полягає у використанні направляючих пластин для поглинання і підтримки зусиль різання, щоб заготовка не відхилялася від

дії згинаючих моментів. Це важливо при обробці довгих і тонких деталей. Залежно від форми корпусу також за допомогою інструментів для зовнішнього розгортання MAPAL можуть бути оброблені не лише циліндричні, але і конічні зовнішні поверхні. Для безперервного і безпечного процесу обробки змащувально-охолоджуюча рідина подається безпосередньо на різальну і направляючі пластини.



Рисунок 4.1 - Зовнішня розгортка MAPAL

Таблиця 4.2 – Переваги та недоліки конструкції

Переваги	Недоліки
- Висока розмірна точність, центрування, якість поверхні обробки; - Малі габарити; - Застосування змінних непереточуваних пластин.	- Малі межі регулювання діаметрів обробки; - Можливість обробки тільки одного діаметру вала; - Обмежений діапазон діаметрів і довжин обробки; - Висока вартість.

4.1.2 Інструментальна голівка ITTEDI

Інструментальна голівка ITTEDI є спеціальним комбінованим інструментальним блоком з набором різальних пластин для обробки зовнішньої циліндричної поверхні з одночасним підрізуванням торця, а також центральною вставкою для розточування центрального ступінчастого отвору.



Рисунок 4.2 - Инструментальная головка ITTEDI

Таблица 4.3 - Переваги та недоліки конструкції

Переваги	Недоліки
- Можливість комбінованої обробки як зовнішніх так і внутрішніх поверхонь; - Застосування змінних непереточуваних пластин; - Уніфікований хвостовик.	- Малі межі регулювання діаметрів обробки; - Збільшені габарити; - Велика вага; - Нежорстка конструкція; - Висока вартість.

4.1.3 Різцева головка MAPAL

Різцева головка MAPAL складається із робочої частини і хвостовика HSK. На робочій частині розміщені різцеві вставки для обробки кількох діаметрів ступінчастого вала та підрізання торців. Регулювання діаметрів обробки здійснюється за допомогою гвинтів.

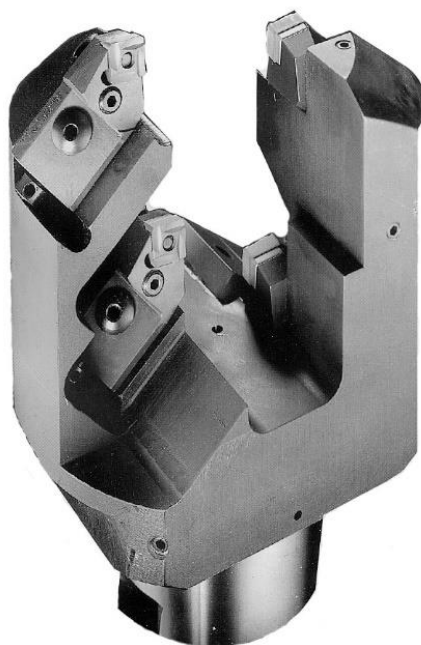


Рисунок 4.3 - Різцева головка MAPAL

Таблиця 4.4 - Переваги та недоліки конструкції

Переваги	Недоліки
- Можливість комбінованої обробки зовнішніх поверхонь; - Збільшені межі регулювання діаметрів обробки; - Застосування змінних непереточуваних пластин.	- Неможливість обробки внутрішніх поверхонь; - Застосування різцевих вставок великих габаритів; - Відсутність індивідуального подання СОЖ до кожного різця. - Відсутність можливості обробки центрального отвору

Проаналізувавши переваги і недоліки усіх порівнюваних конструкцій, в якості аналога обираємо різцеву головку MAPAL. Ця різцева головка має значні переваги в порівнянні з іншими. Недоліків же можливо позбутися доробкою конструкції.

4.2 Опис конструкції спроектованої інструментальної головки

В умовах масового виробництва для обробки деталі «Хрестовина» (див. рис. 3.1) доцільно застосувати спеціальну інструментальну головку, представлену на рисунку 4.4.

Інструментальна головка є сталевим корпусом поз.1 зі сформованими посадочними гніздами для установки багатограних непереточуваних пластин. У разі попередньої обробки використовуються дві твердосплавні пластини ромбічної форми (поз. 2) з кутом при вершині $\varepsilon = 80^\circ$. Вони забезпечують обробку зовнішніх поверхонь деталі (діаметрів 1 і 2, торців 3 і 4). Дві квадратні твердосплавні пластини (поз. 3) формують фаску 5 і торець 6.

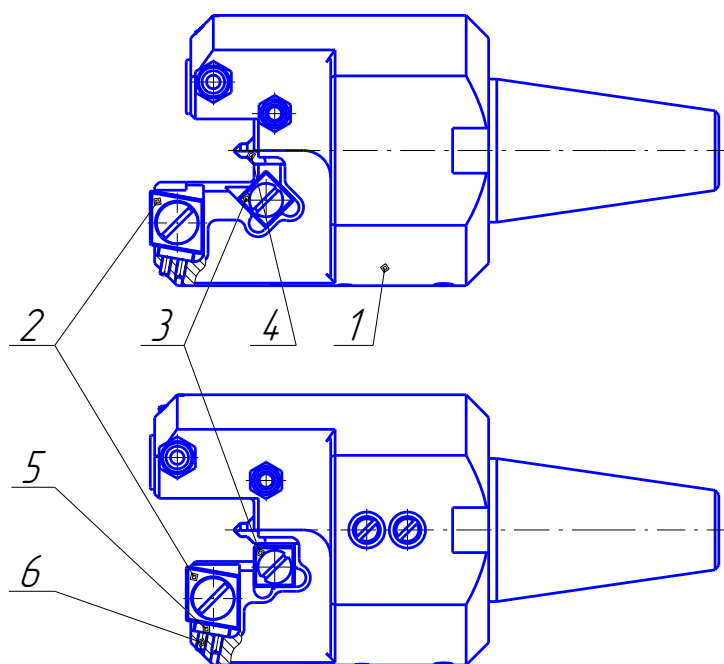


Рисунок 4.4 – Спеціальна інструментальна головка для попередньої обробки деталі «Хрестовина»

Для забезпечення збалансованості інструментальної головки і більш рівномірної її роботи при високих частотах обертання, твердосплавні пластини розташовуються двома парами з двох сторін відносно вісі деталі поверненими один відносно одного на кут 180° . Це дає можливість при обертанні інструментальної головки забезпечити процес зняття стружки. Порядок розташування пластин у напрямі осі інструментальної головки відповідає черговості діаметральних поверхонь (в порядку їх зменшення), обробці яких вони відповідають.

У центральній частині корпусу встановлено центровочне свердло (поз. 4), закріплене гвинтами з регулюванням довжини вильоту за допомогою клину, виконаного на зовнішній поверхні свердла.

У інструментальній головці призначеній для остаточної обробки (рисунок 4.5) використовуються дві багатогранні непереточувані пластини ромбічної форми (поз. 2)

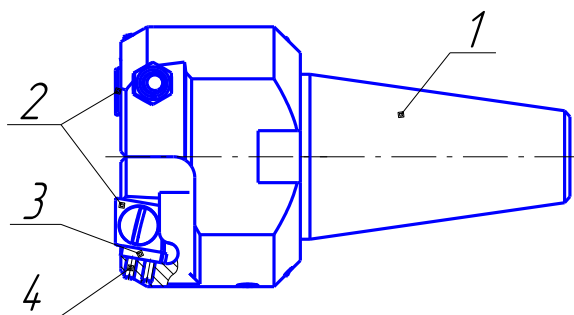


Рисунок 4.5 – Спеціальна інструментальна головка для остаточної обробки Хрестовини

Ріжучі пластини встановлюються на опорні поверхні, сформовані в корпусі головки (поз.1). Кути нахилу опорних поверхонь при цьому повинні забезпечувати необхідну геометрію ріжучих кромek.

Оскільки допуск на діаметр вписаного кола ріжучої пластини більше допуску на оброблювані поверхні, отже при установці пластин в корпусі інструментальної головки необхідно робити їх підналадку на необхідний оброблюваний розмір деталі. Крім того, процес різання неминуче супроводжується зносом ріжучої частини інструменту. Величина зносу так само є складовою частиною погрішності обробки

деталі. Для регулювання положення непереточуваної пластини в радіальному напрямі і для компенсації збільшення розміру обробленої поверхні внаслідок зносу інструменту в конструкції інструменту передбачені компенсаційні пластини (поз. 3). Регулювання положення компенсаційних пластин здійснюється за допомогою гвинтів (поз.4).

Хвостова частина інструментальної головки виконана у формі конуса для установки і закріплення інструменту в шпинделі верстата. Передача крутного моменту, від шпинделя здійснюється торцевою шпонкою пази для якої так само передбачені в корпусі.

Для подання МОТС в зону різання в корпусі інструменту просвердлена мережа каналів, що підводять її.

4.3 Спосіб кріплення багатограних непереточуваних пластин в корпусі інструменту

Конструкції інструментів, оснащених багатограними пластинами, відрізняються великою різноманітністю способів кріплення. Розглянемо два варіанти кріплення.

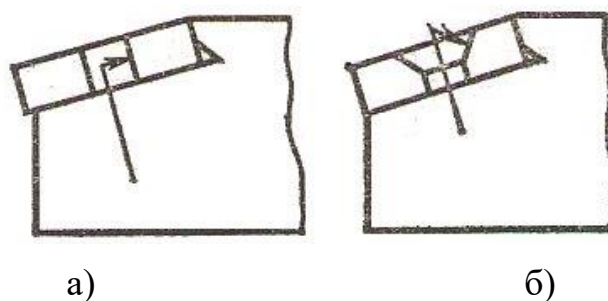


Рисунок 4.6 – Схеми кріплення багатограних пластин в корпусі інструменту.

Притиск важелем за отвір (див. рис. 4.6 а).

Ця схема передбачає застосування поворотного елемента (важеля, штифта, що коливається), що забезпечує притиск пластини до бічних базових поверхонь закритого паза державки, і застосовується для пластин з отвором, забезпечуючи

високу точність базування, проте не гарантує точного прилягання опорної поверхні пластини до опорної поверхні на державці. Відсутність проміжку між опорними поверхнями пластини і корпусу забезпечується прижимом пластини при затягуванні кріплення.

Переваги:

- можливість використання як односторонніх, так і двосторонніх пластин;
- найбільш жорстка конструкція;
- можливість роботи в умовах чорнового, напівчистового і чистового точіння в широких діапазонах подач;
- робота в несприятливих умовах і при переривчастому різанні.

Недоліки:

- складність конструкції корпусу;
- опорна площа похилої для пластини без задніх кутів.

Рекомендована виробником геометрія ріжучих кромek для цієї схеми кріплення пластин : чорнова обробка: $\alpha = 7^\circ$, $\gamma = 15^\circ$; чистова обробка загартованої сталі : $\alpha = 7^\circ$, $\gamma = 11^\circ \dots - 7^\circ$.

Кріплення гвинтом (див. рис. 4.6 б).

Схема передбачає застосування пластин з конічним отвором, які кріплять гвинтами з конічною головкою. Вісь гвинта зрушена на 0,15 мм відносно отвору пластини, забезпечуючи тим самим прижим її до опорної і бічних сторін закритого пазу. Таке кріплення застосовується також на кінцевих фрезах і розточувальному інструменті. Рекомендується для зовнішньої обробки жорстких деталей малих розмірів.

Задній кут $\alpha=7^\circ$ і геометрія передньої поверхні, спеціально розроблені для кожної області застосування, дозволяють забезпечити найбільшу продуктивність у своїй області при невеликих зусиллях різання. Понижена схильність до вібрацій сприяє підвищенню чистоти обробки і точності. Геометрія передньої поверхні пластини гарантує надійне стружкодробління при оптимальних режимах різання, що так само сприяє підвищенню продуктивності обробки.

Переваги:

- компактність корпусу, простота конструкції;
- відмінне стружкодробління при низьких подачах і невеликій глибині різання;
- горизонтальна опорна площа за рахунок наявності задніх кутів пластини;
- низькі сили і плавний процес різання дозволяє практично виключити вібрації.

Недоліки:

- можливість застосування при невисоких навантаженнях.

Рекомендована виробником геометрія : чорнова обробка: $\alpha = 7^\circ$, $\gamma = 18^\circ$;

чистова обробка загартованої сталі : $\alpha = 7^\circ$, $\gamma = 6^\circ$.

Складність отримання пазів в корпусах, а також необхідність збільшення довговічності корпусу мають необхідність застосування проміжного елементу – підкладок, в які встановлюють пластини.

Після проведеного аналізу схем кріплення непереточуваних пластин в корпусі інструменту, проаналізувавши переваги і недоліки кожної схеми кріплення; при проектуванні інструментальної головки приймаємо схему кріплення гвинтом, яка дозволить спростити конструкцію корпусу інструменту, понизити навантаження на шпindel верстата і зменшити вірогідність виникнення вібрацій при різанні.

4.4 Розрахунок кутів установки пластини для отримання необхідної геометрії

Як і в звичайних інструментах, геометрія інструментів для високошвидкісної обробки залежить від оброблюваного матеріалу. При цьому діє основне правило: чим вище міцність оброблюваного матеріалу і чим крихкіше ріжучий матеріал, тим міцнішим має бути ріжучий клин інструменту. При високошвидкісній обробці температурні навантаження на інструмент особливо високі. Часто повинні оброблятися деталі із сталей що пройшли температурну обробку. Отже, потрібно застосування твердих, жароміцніших, і відповідно, крихкіших ріжучих матеріалів. З цієї причини, в інструментах для високошвидкісної обробки сталей, використовують масивніший ріжучий клин. Але, оскільки, при більш високих швидкостях різання

виділяється більше тепла в результаті тертя в зоні контакту з обробленою поверхнею, то задній кут не має бути зменшений, що привело б до підвищення температури. Таким чином, збільшення міцності клину повинне забезпечуватися за рахунок зменшення переднього кута різання. У інструментах з високоміцних ріжучих матеріалів це призводить до використання негативних передніх кутів різання. Особливі вимоги висуваються формі інструментів для високошвидкісної обробки. В першу чергу, для кращого збалансування маси необхідна повна симетричність конструкції відносно вісі обертання. Це стосується не лише ріжучої частини, але також, і хвостової частині інструменту.

Так само важливо забезпечити максимальну міцність інструменту. Оскільки при високошвидкісній обробці використовуються невеликі подачі, то довжина ріжучих кромок може бути зменшена, що значно підвищує міцність інструменту. Передня частина ріжучих кромок також схильна до великої дії. Вона повинна витримувати найбільш високу напругу і найвищі температури. Для того, щоб уникнути її миттєвого напруження застосовують ріжучі кромки з певним радіусом або просто закруглені.

Для обробки сталі, використовуються багатогранні непереточувані пластини з дрібнозернистого спеченого карбіду різної форми і розмірів.



Рисунок 4.7 – Форми багатогранних непереточуваних пластин

Рекомендована виробником геометрія забезпечує оптимальні умови різання залежно від умов обробки. Величини передніх і задніх кутів змінюються в широких межах: передній кут – від -6° до -10° , задній кут – від 8° до 25° .

Форма передньої поверхні пластин так само вибирається залежно від умов різання і формування стружки. Для кожної форми передньої поверхні багатогранних непереточуваних пластин виробниками розроблені діаграми зон стійкого

стружкоутворення при різних варіантах поєднання глибини різання і подачі. Це дозволяє вибрати пластину для обробки, забезпечивши оптимальні умови різання.

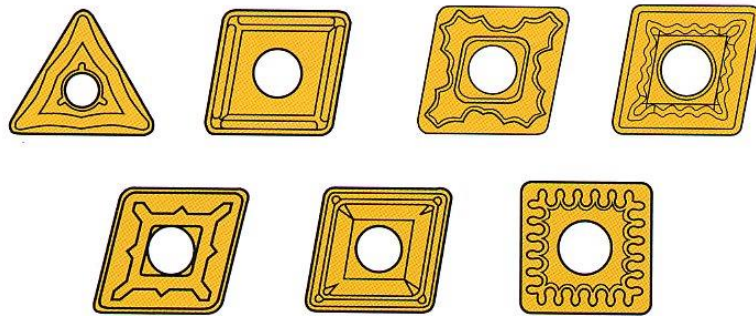


Рисунок 4.8 – Форми передніх поверхонь багатогранних непереточуваних пластин

Вибрана для чистової обробки пластина не має задніх кутів. Отже необхідно розрахувати кути нахилу опорної поверхні пластини при установці на яку головний задній кут пластини дорівнюватиме $\alpha=7^\circ$, а допоміжний задній кут $\alpha_1=1^\circ$. При чистовій обробці деталі, різання відбувається двома пластинами, встановленими навпроти і поверненими на кут 180° . Форма і розміри вибраної пластини для чистової обробки деталі представлена на рис. 4.8.

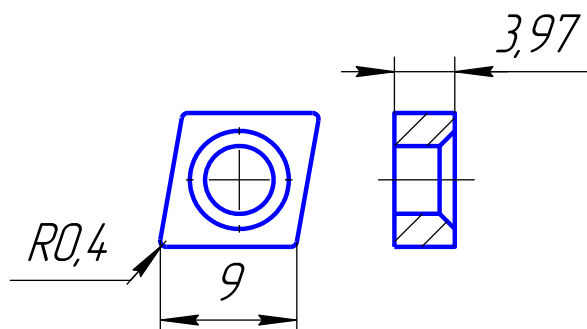


Рисунок 4.9 – Форма і розміри обраної пластини для чистової обробки деталі

Схема для розрахунку кутів установки пластини представлена на рисунку 4.9. При цьому пластини, що оброблюють зовнішні шийки встановлюються під

однаковими кутами на відповідні діаметри. Розрахунок кутів установки пластин приведений нижче.

Положення площини NN відносно головної ріжучої кромки визначається кутом β , що розраховується по формулі:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varepsilon} = \frac{\operatorname{tg} 7 \cdot \sin 80}{\operatorname{tg} 1 + \operatorname{tg} 7 \cdot \cos 80} = 3.18, \quad (4.1)$$

де $\varepsilon = 80^\circ$ - кут при вершині пластини.

Тоді $\beta = \arctg 3.18 = 72.22^\circ$.

Кут нахилу пластини розраховується за формулою:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} 7}{\sin 72.22} = 0.129, \quad (4.2)$$

Звідси $\mu = \arctg 0.129 = 7.35^\circ$.

Задання кутів β і μ необхідно для фрезерування пазів під пластини.

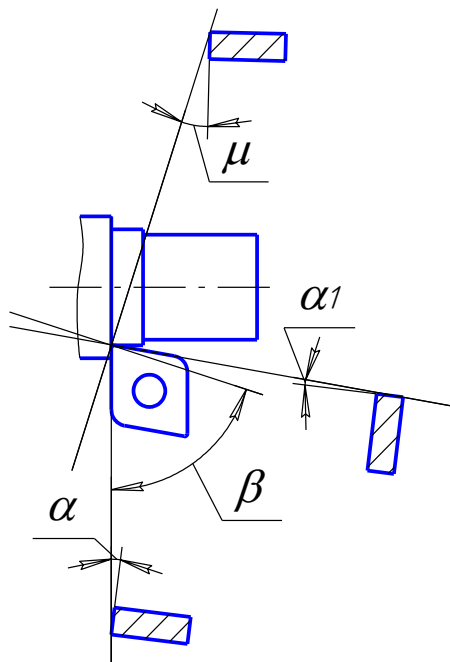


Рисунок 4.10 – Схема для розрахунку кутів установки пластини

4.5 Вибір матеріалу і виду зносостійкого покриття багатограних непереточуваних пласти

Через особливо високі навантаження при високошвидкісній обробці вимоги до ріжучого інструменту значно вище, ніж при звичайних методах обробки. Ці вимоги можна забезпечити виключно за рахунок ріжучих матеріалів. Можливість впливати на зносостійкість інструменту зміною його геометрії порівняно незначна. З цієї причини вибір відповідного ріжучого матеріалу грає визначальну роль. В першу чергу, ріжучі матеріали для високошвидкісної обробки повинні витримувати високі температури і бути твердими. Температура, в зоні різання безперервно зростає з підвищенням швидкості різання. При обробці зі швидкістю різання 800 м/хв. виділяється приблизно 750°C на поверхні стружки, а при швидкості 1600 м/хв. температура складає вже 1150°C. До того ж, тенденція до використання жорсткої обробки матеріалів, зі збільшенням сил різання, також висуває більш високі вимоги до твердості матеріалів. Чим більше різниці між твердостями оброблюваного і ріжучого матеріалу, тим триваліше термін служби інструменту.

З точки зору цих вимог, природно, при високошвидкісній обробці не можуть застосовуватися швидкоріжучі сталі. Використовується дрібнозернистий твердий сплав на основі вольфраму і металокераміки, а також новітні ріжучі матеріали, такі як кераміка CBN (кубічний нітрид бору) і PCD (полікристалічні алмази) (рис 4.11)

Провідними інструментальними фірмами розробляються нові дрібнодисперсні сплави, здатні працювати надійно на високих швидкостях.

Тверді сплави також постійно розвиваються, при чому міняється як структура самого сплаву, так і склад покриттів. В області структури основною тенденцією є зменшення зерна твердосплавного порошку. За минулі декілька років розмір зерна твердого сплаву зменшився більш ніж в п'ять разів.

В результаті зменшення зерна (рис. 4.12) істотно підвищуються технологічні властивості твердого сплаву, в першу чергу твердість і вигиниста міцність (в'язкість сплаву). Підвищення вигинистої міцності підвищує міцність ріжучої кромки, в результаті зменшується знос, викликаний викришуванням (рис.4.13). Іншим

наслідком зменшення розміру зерна є можливість отримання гострішої кромки з меншим кутом ріжучого клину і меншим радіусом скруглення. В результаті зменшуються зусилля різання і температури в зоні контакту. При температурі близько 600°C підвищується твердість сплаву, що скорочує абразивний знос.

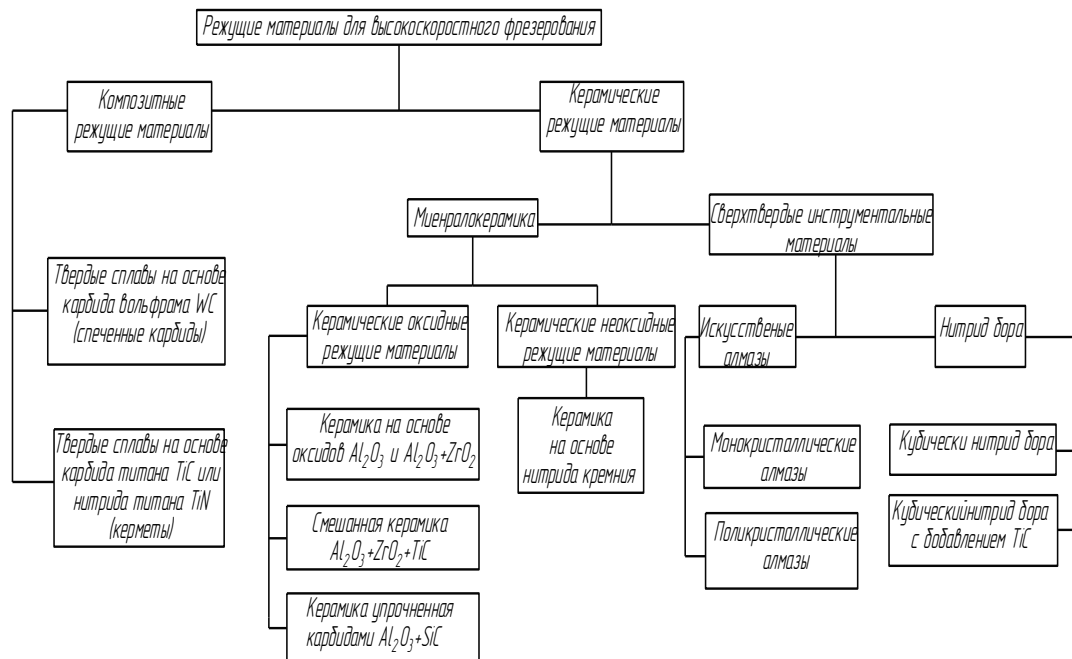


Рисунок 4.11 – Класифікація ріжучих матеріалів для високошвидкісної обробки

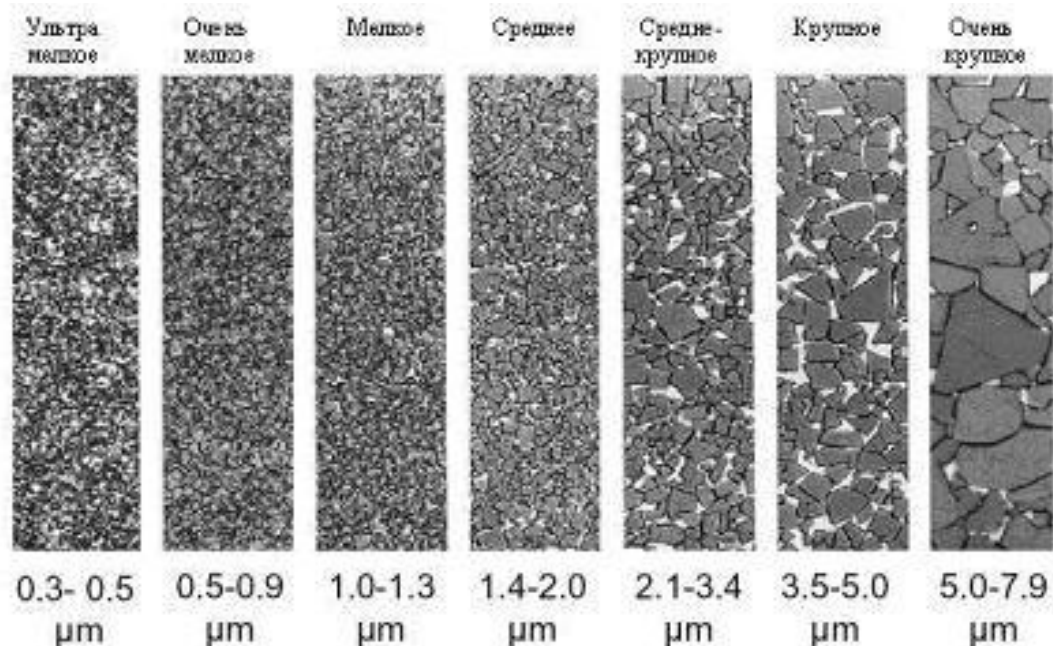


Рисунок 4.12 – Розмір зерна твердого сплаву

Зі зменшенням розміру зерна знижується теплопровідність твердого сплаву і збільшується кількість тепла, що йде в стружку. Завдяки можливості змінити геометрію клину можна понизити дію механізму зносу, викликаного температурою – налипання матеріалу і дифузії.

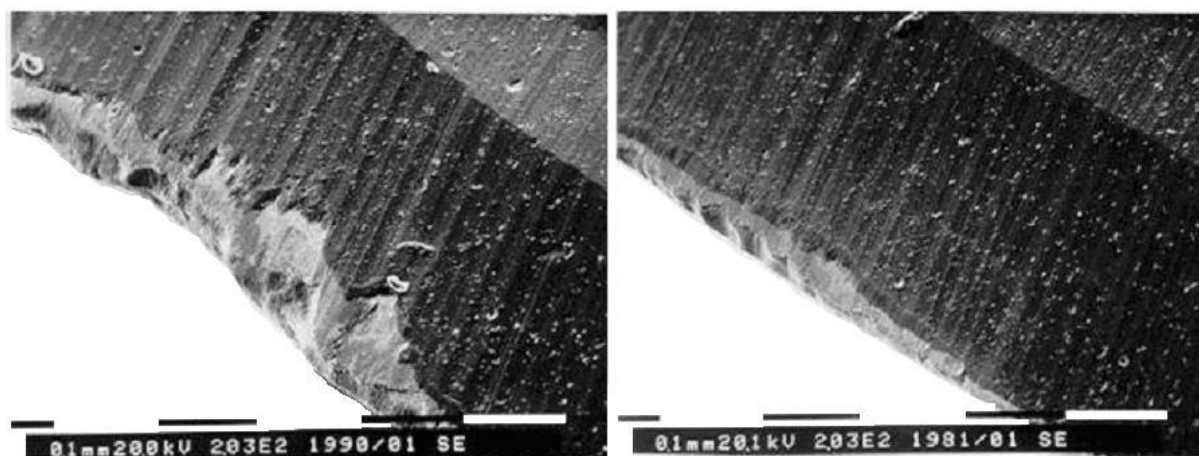


Рисунок 4.13 – Знос ультрадрібнозернистого сплаву при твердому фрезеруванні

Сьогодні основну долю твердих сплавів, що знаходяться в застосуванні, складають дрібні і найдрібніші сплави з розміром зерна 1,3-0,8 мкм.

Приведені вище властивості ультра дрібнозернистих сплавів роблять їх застосування особливо привабливим в тих областях, де через високі зусилля різання і температур потрібна гостра кромка. На рис. 4.13 показана різниця в стійкості дрібнозернистого і ультра дрібнозернистого сплаву в умовах твердого точіння.

4.5.1 Тверді сплави на основі карбіду вольфраму

Тверді сплави на основі карбіду вольфраму, це композитні матеріали, створені за технологією порошкової металургії. Вони складаються з твердих карбідів, впроваджених в металеву з'єднуючу фазу. Задача з'єднуючої фази, полягає в об'єднанні крихких карбідів в суцільне тіло, в той час, коли карбіди надають жароміцність і зносостійкість. Як з'єднуючий метал (з'єднуюча фаза), в основному,

використовується кобальт. Як карбідні частки (включення) використовується карбід вольфраму, але також використовуються карбіди титану, танталу і ніобію.

З початку використовувалися двофазні спечені тверді сплави, виготовлені на основі карбіду вольфраму і кобальту. Карбід вольфраму досить добре розчиняється в кобальті, результатом чого є високе внутрішнє зчеплення і міцність ріжучої кромки, таким чином, сприятлива сила зчеплення спеченого карбіду ґрунтувалася на зчепленні чистого карбіду вольфраму і кобальту. У той же час, близькість цих спечених карбідів досталі має свої недоліки, оскільки при температурі вище 700°C карбід вольфраму розкладається на вольфрам і вуглець в зоні контакту стружки з поверхнею інструменту, що призводить до сильного зносу у вигляді воронки. З цієї причини в якості твердих часток були додані інші карбіди, що і привело до створення трифазних (трикомпонентних) спечених твердих сплавів. Особливо карбід титану, який менш в'язкий, але має більшу жароміцність і твердість, а також карбіди танталу і ніобію, які витриваліші до температури, чим карбідвольфраму, значно підвищили показники при обробці сталі.

Зміною карбідних включень в загальному з'єднуючому металі можна максимізувати тільки один з двох параметрів – в'язкість або твердість. Хоча зменшенням зерна до $0.6\text{--}0.9\text{ мкм}$ можливо одночасно підвищити як в'язкість, так і твердість. Відповідно, в порівнянні зі звичайними видами, дрібнозернисті спечені тверді сплави забезпечують як більш високу зносостійкість, так і більш високу стійкість до руйнування. Таким чином, завдяки ефекту зміни розміру зерна, інструмент з дрібнозернистого спеченого карбіду має особливу міцність ріжучої кромки і низьку тенденцію до стирання. З цієї причини, дрібнозернисті спечені тверді сплави задовільняють вимогам, що пред'являються до ріжучих матеріалів, які використовуються при високошвидкісній обробці у поєднанні з максимальною безпекою і необхідним ступенем в'язкості. Подальше зменшення розміру зерна карбіду до наддрібних ($0,5\text{...}0,6\text{ мкм}$), вже не має такого ефекту, і призводить тільки до незначного покращення цих якостей.

4.5.2 Металокерамічні матеріали

За своєю структурою, кермет є спеченим карбідом з частками твердого матеріалу на основі титану, і з'єднуючого метала на основі нікелю. Класифікація твердого матеріалу на основі титану відносно керамічних матеріалів стало основою введення терміну кермет (металокераміка), який відображає сукупність кераміки і металу. В порівнянні з класичними вольфрам-карбід-кобальтовими твердими матеріалами, в металокераміці використовуються як твердий матеріал, карбід титану, карбон-нітрид титану ($Ti(C, N)$), нітрид титану (TiN) і карбід молібдену, в якості з'єднуючого металу застосовується суміш нікелю та кобальту.

Металокераміка має меншу в'язкість, ніж дрібнозернисті спечені тверді сплави, але завдяки своїй високій жароміцності вона краще витримує високі швидкості різання при обробці сталей і чавунів, чим спечені тверді сплави. У той же час, хоча в'язкість металокераміки і дозволяє робити чорнове точіння матеріалів при невисоких силах різання, використання їх для чистової обробки, як матеріалів для монолітних інструментів, дуже обмежене.

Тверді матеріали, включені до складу металокераміки, мають ядерну структуру. Тверде ядро, що складається з $Ti(C, N)$ захищено від з'єднуючої фази шаром, насиченим молібденом. Таким чином, ці сплави нечутливі до зростання зерна під час процесу спікання, отже, створюється високостабільна дрібнозерниста структура.

Окрім основних компонентів TiC , TiN і Mo_2C , металокераміка також містить карбід вольфраму, і, як правило, карбід ванадію. Завдяки цьому багатокомпонентному складу, властивості металокераміки можна змінювати (оптимізувати) для окремих частих випадків. Домішки цих численних додаткових компонентів не впливають на мікроструктуру компонентів. Але іноді карбіди вольфраму і ванадію, а також і молібдену виходять із зони частки твердого матеріалу, і тоді частина вольфраму і молібдену контактує зі з'єднуючим матеріалом. Висока хімічна стабільність TiC , відповідно і $TiCN$ дозволяє застосовувати різноманітні сплави в з'єднуючій фазі. Створенням змішаних кристалів (полікристалів) з

металами, які мають високу температуру плавлення, такими як Mo, W і Ti можна підвищити жароміцність з'єднуючої фази.

Враховуючи її властивості, металокераміка займає проміжне місце між твердими сплавами і керамічними ріжучими матеріалами. Грунтуючись на їх структурі, металокераміка повинна класифікуватися як спечені тверді сплави, але через її багатокомпонентність, металокераміка має значно більшу жароміцність, що дозволяє її використання при більш високих швидкостях різання. У той же час, в порівнянні з керамічними ріжучими матеріалами вона має значно більшу в'язкість.

Металокераміка виділяється своєю стійкістю до абразивного зносу і низькою схильністю до стирання. До того ж, металокераміка має високу стійкість до окислення і низьку схильність до дифузії. В порівнянні зі спеченими твердими сплавами, ці якості забезпечують низький знос інструменту. Висока міцність кромки забезпечує її заточування і гарантує високу якість поверхні упродовж тривалого періоду роботи інструменту.

В першу чергу металокераміка використовується при обробці чавунів для лиття і сталей (у тому числі загартованих і високолегованих).

4.5.3 Керамічні ріжучі матеріали

Застосування ріжучої кераміки також давно стало звичним явищем. Розвиток тут йде у напрямі розширення сфер застосування. Традиційно кераміка застосовувалася для обробки чавунів і обробки загартованих сталей в сприятливих умовах. Сучасна кераміка дозволяє обробляти тверді матеріали в несприятливих умовах (наприклад, при переривчастому різанні).

Керамічні ріжучі матеріали – це спечені композитні матеріали, які можна класифікувати по двох основних типах : кераміка на основі оксиду алюмінію і кераміка на основі силікону-нітриду. У свою чергу, кераміку на основі оксиду алюмінію (Al_2O_3) можна класифікувати по трьох групах: чиста, змішана, і зміцнена оксидна кераміка.

Спочатку керамічні ріжучі матеріали були створені з чистого оксиду алюмінію, який має високу твердість, але в той же час і підвищеною крихкістю, відповідно, практично непридатний. В результаті подальшого розвитку, в першу чергу, були створені оксиди алюмінію з невеликою долею оксиду цирконію, який значно поліпшив їх властивості.

Окрім оксиду алюмінію, змішана кераміка містить металеву фазу, яка складається з карбіду титану і нітриду титану. Завдяки цьому, змішані види кераміки мають кращі властивості теплопровідності і міцності на згин.

Зміцнена кераміка – це оксиди алюмінію з включенням кристалічних волокон діаметром 1мкм і завдовжки 20мкм. За рахунок цих добавок, які складають близько 30% значн опідвищується міцність на згин, жароміцність та зносостійкість.

У кераміці на основі нітриду сіліцію, первинним був Si_3N_4 . Завдяки своїй структурі (голчастої форми), навідміну від ядерної структури у кераміки на основі оксиду алюмінію, ці види особливо виділяються своєю більш високою в'язкістю і кращою стійкістю до різких перепадів температур. В результаті застосування віскеризованої ("армованої") кераміки можна скоротити час обробки в 4 рази. Подібний прорив можливий завдяки оптимізації ріжучої кераміки. Приклад структури віскеризованої кераміки представлений на рис. 4.14.

Загалом, керамічні ріжучі матеріали мають більш високу твердість і температурну витривалість, чим спечені тверді сплави, але, в той же час, вони значною мірою крихкіші, а також спостерігається невисока хімічна стійкість компонентів. Через її недостатню в'язкось керамічні ріжучі матеріали не можуть бути використані при обробці з перервним різанням.

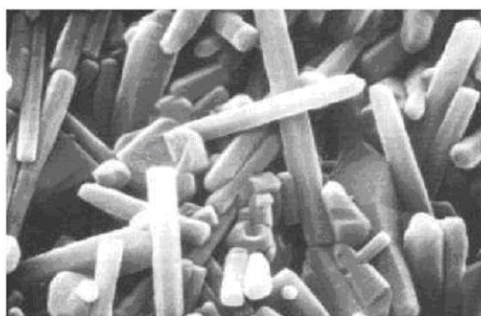


Рисунок 4.14 – Структура віскеризованої кераміки

Основні сфери застосування керамічних ріжучих матеріалів – це обробка сірого ковкого чавуну, жароміцних сплавів, сталей що пройшли термічну обробку, зернистих ливарних чавунів.

4.5.4 Кубічний нітрид бору

Кубічний нітрид бору ((P)CBN) – це особливо твердий ріжучий матеріал, твердіше за який тільки алмаз. Структури цих двох ріжучих матеріалів дуже схожі і складаються з фази твердого матеріалу з монокристалами (монокристалічний кубічний нітрид бору, відповідно полікристалічний алмаз) і керамічної або металевої зв'язуючої фази. У кубічному нітриді бору зв'язуюча фаза складається з нітридів і боридів алюмінію і титану. Вольфрам нікель і залізо використовується в металевій зв'язуючій фазі.

Кубічний нітрид бору має чудові показники, завдяки своїй особливій твердості і високій жароміцності що досягає екстремальних температур (до 2000°C), високої абразивної зносостійкості, і хорошої загальної хімічної стабільності, але все таки має більшу в'язкість, ніж керамічні матеріали. На властивості кубічного нітриду бору можна впливати за рахунок зміни розміру зерна, типу і складу зв'язуючої фази. Кубічний нітрид бору може використовуватися при обробці загартованих сталей, жароміцних сплавів, чавунів. Оброблювані матеріали не мають бути нижче певної твердості (приблизно 48 HRC), оскільки при обробці м'яких матеріалів кубічний нітрид бору особливо швидко зношується.

4.5.5 Полікристалічні алмази (PCD)

Загалом, полікристалічні алмази мають таку ж гетерогенну структуру, як і кубічний нітрид бору, і спікаються з великої кількості маленьких, штучно вирощених кристалів зі зв'язуючим матеріалом під високим тиском і високою температурою. Як зв'язуюча фаза використовується як карбід кремнію (керамічна), так і вольфрам або кобальт.

Алмаз - це найтвердіший з усіх відомих матеріалів і в той же час має чудову стійкість до абразивного зносу. Але через свою хімічну однорідність із залізом, полікристалічні алмази не можуть бути використані для обробки сталей. На додаток, температура в зоні відведення стружки не повинна перевищувати 600°C, інакше, вуглець окислюється. У поєднанні з їх високою крихкістю, сфера застосування полікристалічних алмазів дуже обмежена.

Полікристалічні алмази є чудовим ріжучим матеріалом для обробки абразивних не металічних сплавів (AlSi сплави і багато інших), а також абразивні не метали, такі як зміцнені волокном пластмаси, синтетичні смоли, графіт і часткова деревина.

Нижче приведена порівняльна таблиця основних характеристик надтвердих матеріалів і вольфрамокобальтового сплаву, розроблених в АТ "ВНИИинструмент".

Таблиця 4.4 – Основні характеристики ріжучих матеріалів для високошвидкісної обробки

Матеріал	Полікристалічний СТМ на основі		Вольфрамо-кобальтовий твердий сплав
	PCBN	PCD	
Твердість HV, ГПа	40 – 45	70 – 100	17 – 19
Модуль Юнга, ГПа	700 – 800	800 – 900	400 – 600
Границя міцності при згині, МПа	600 – 800	800 – 1100	1400 – 2000
Границя міцності при розтягу, МПа	400 – 500	1000 – 1300	1400 – 1700

Продовження таблиці 4.4

Границя міцності при стиску, ГПа	2,5 – 5,0	7 – 8	4 – 5
Коефіцієнт тріщиностійкості, МПа*м	6,5 – 8,5	-	10 – 17
Робота при зломі, Дж/м ²	130 – 160	-	220
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К)	50 – 100	70 – 150	100
Коефіцієнт лінійного подовження, 10 ⁻⁶ /К	5 – 7	3,5 – 5,0	5 – 6
Середній коефіцієнт стійкості до термоудару	15	25	65
Жароміцність, °С	1000-1200	700-750	800-900

4.5.6 Покриття ріжучого інструменту

Зносостійкість ріжучих матеріалів великою мірою залежить від їх твердості. За рахунок різних технологічних процесів вакуумного покриття навіть тонкий шар може забезпечити необхідну твердість матеріалів інструменту зі складною геометрією.

Загалом, технологічні процеси покриття розділяються на фізичні методи і хімічні методи напилення. При фізичних методах напилення основу міцності напиленого шару складають металеві компоненти, в той час, коли при хімічних методах, основою є хімічні реакції різних газів. Крім того процеси розрізняються

різними температурними режимами: при хімічних методах напилення використовуються температури близько 1000°C , у той час коли при фізичних методах напилення використовуються температури від 450°C до 500°C . Більше того, хімічні методи напилення застосовуються для нанесення товстого шару покриття (від 3 до 15 мкм), чим при фізичних методах напилення (від 1,5 до 4 мкм).

Хімічні методи напилення використовуються в основному для покриття ріжучих вставок виготовлених із спеченого твердого сплаву і металокераміки. Інструмент, виготовлений з надвисокошвидкісних ріжучих сталей, інструмент зі складним профілем, а також інструмент з дуже гострими ріжучими кромками, в основному покривається за допомогою фізичних методів напилення, оскільки високі температури при хімічних методах напилення можуть пошкодити основний (нижній) шар, а напилений товстий шар, міг би стати причиною неприпустимого закруглення ріжучої кромки.

У зоні контакту інструменту і матеріалу відбуваються різні процеси, які призводять до різних видів зносу. Найбільш значимими є процеси абразивного зносу, стирання, окислення, а також дифузія.

Знос інструменту залежить від типу процесу різання, умов різання і оброблюваного матеріалу. Відмінності полягають в тому, чи піддається ріжуча кромка механічним, термічним або змішаним навантаженням. До типів зносу, викликаних механічними навантаженнями, відноситься абразивний знос, стирання, а також поломка ріжучої кромки. Знос, що викликається термічними навантаженнями – процес дифузії, невеликі тріщини і пластична деформація.

Перелічені вище механізми зносу можуть бути класифіковані відповідно до їх дії на поверхню інструменту і інструмент в цілому. Процеси зносу в результаті абразивного зносу, стирання або дифузії мало залежать від особливостей поверхні, тоді як пластична деформація ріжучої кромки і утворення тріщин в основному залежить від властивостей ріжучого матеріалу. Ця класифікація є вирішальною для оцінки доцільності заходів по захисту від зносу.

Задача полягає у виборі відповідного твердого матеріалу покриття для того, щоб зменшити особливості саме цього виду зносу. Окрім звичайного впливу на

поверхню шар твердого матеріалу призводить до зменшення сил різання і температурного навантаження, що також позитивно впливає на стійкість до утворення тріщин і знос в процесі дифузії.

Абразивний знос виникає внаслідок процесів мікрорізання, коли тверді фракції (такі як цементит, карбід хрому) або домішки оксидів (такі як оксид алюмінію) оброблюваного матеріалу проникають в поверхню інструменту (дряпають її). Для того, щоб зменшити абразивний знос, необхідно забезпечити як можна більшу різницю в твердості між поверхнею інструменту і абразивно-активними частками оброблюваного матеріалу.

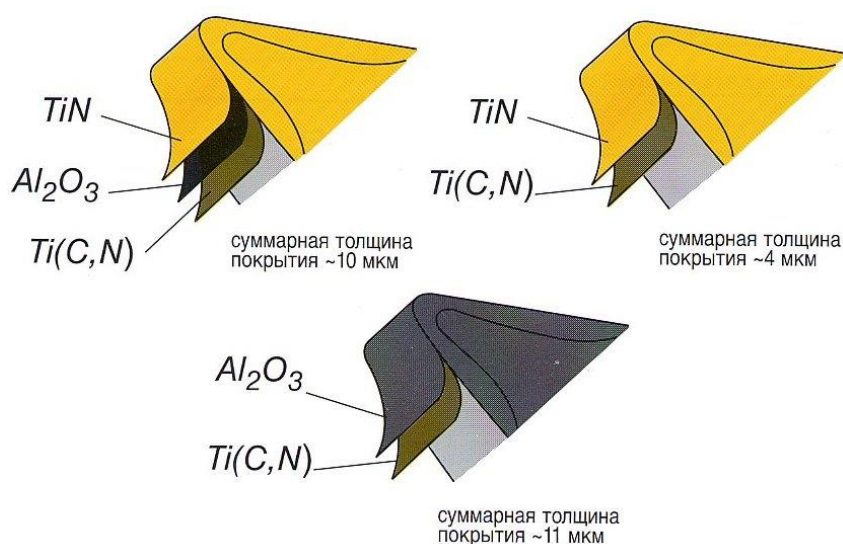


Рисунок 4.15 – Склад та товщина зносостійких покриттів

За наявності зв'язуючого матеріалу, стирання і твердість шару впливають, в першу чергу, на зносостійкість. Якщо сили тертя перевищують зв'язуючі сили – частки шару відриваються. Більше того, невеликий коефіцієнт тертя між покриттям і оброблюваним матеріалом може значно зменшити стирання.

Низька теплопровідність покриття призводить до того, що велика частина теплоти, що виникла в процесі обробки, видаляється разом із стружкою, таким чином, краще захищаючи ріжучий матеріал від передчасного виходу із зони допустимих температур окислення (спечені ріжучі матеріали). Теплопровідність є вирішальним чинником, коли в процесі різання створюються особливо високі температури.

На основі вищеперелічених показників можна скласти вимоги до покриття ріжучого інструменту :

- висока твердість;
- низька теплопровідність;
- висока стійкість до окислення;
- висока жароміцність;
- низька схильність до адгезії;
- висока стійкість до абразивного зносу.

Покриття з твердих матеріалів на основі TiN, TiCN, а також TiAlN зарекомендували себе як зносостійкі покриття на ріжучих інструментах.

Окрім цих трикомпонентних покриттів вже розроблено нове чотирьохкомпонентне твердосплавне покриття TiAlCN на основі двох і трикомпонентних покриттів TiCN і TiAlN. Це дозволило поєднати кращі якості покриттів TiCN (твердість) і TiAlN (стійкість до окислення) (рис 4.16).

Завдяки цим показникам покриття TiAlCN є універсальним у використанні (обробка твердих матеріалів, із застосуванням Вольфрамо-кобальтовий твердий сплав МОТС або без) і дає можливість найбільшою мірою використати якості зносостійкості при високих температурах і великих навантаженнях.

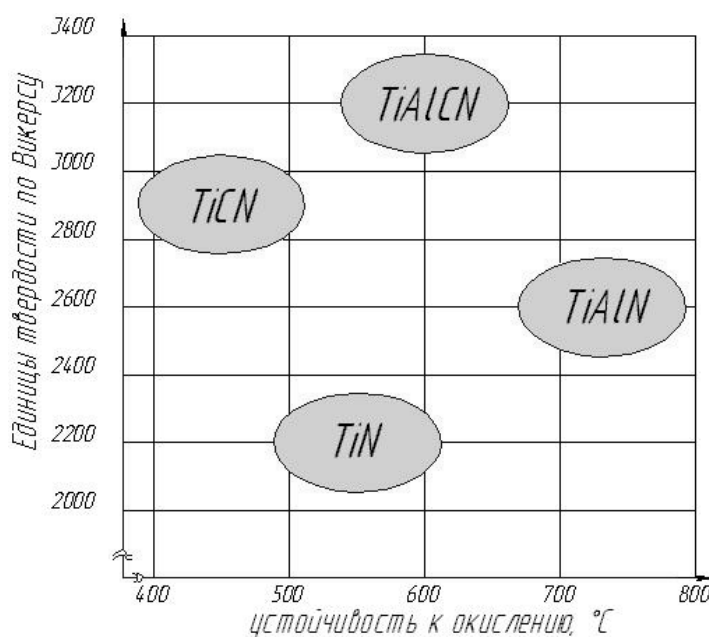


Рисунок 4.16 – Порівняння твердості та стійкості до окислення покриттів ріжучого інструменту

На рис. 4.17 показаний вплив складу покриття на його властивості при сухій обробці сталі 45.

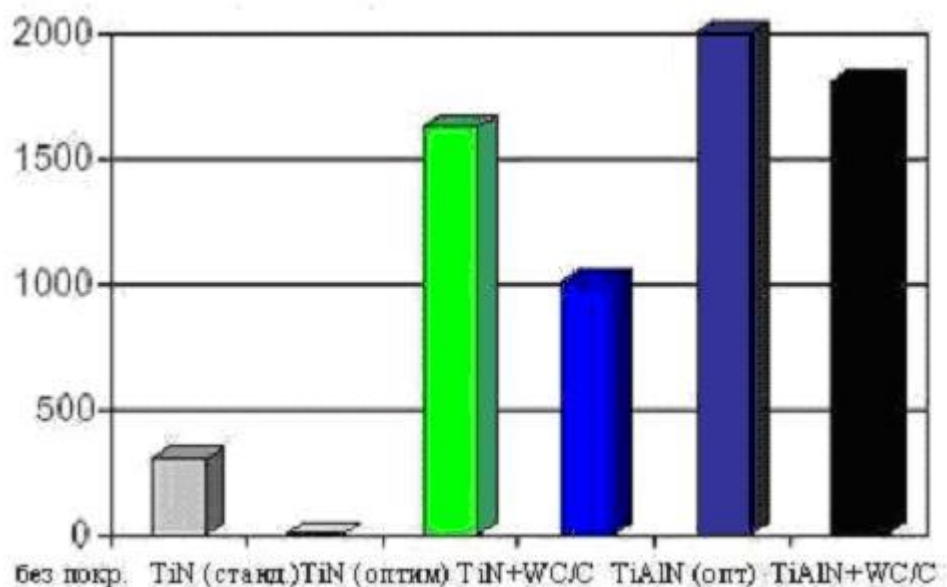


Рисунок 4.17 – Вплив покриття на стійкість при сухій обробці

4.6 Вібрації і заходи боротьби з ними

В процесі обробки металів різанням сили, що діють на інструмент непостійні за своєю величиною. Ці зміни сил при різанні викликають вібрації, які негативно впливають на точність і чистоту обробки, на стійкість інструменту і стан верстата, обмежують підвищення режимів різання і призводять до браку при чистовій обробці.

Вібрації, крім того, є результатом пружних деформацій верстата, інструменту, пристрою, деталі, зазорів в підшипниках шпинделя верстата і напрямних столу. Вібрації викликаються так само змінною величиною площі перерізу стружки (при нерівномірному припуску).

Вібрації виникають і в наступних випадках, коли:

- оброблювана поверхня має різну твердість;
- є невідновжені деталі в шпиндельній бабці;
- невідновжений інструмент;
- вибрана неправильна геометрія інструменту;
- вибрані неправильні режими обробки;

- інструмент під дією сили різання має прогин.

На верстатах, встановлених на масивних фундаментах, спостерігаються зазвичай вібрації двох видів :

1. Вібрації характеризуються великим кроком вібраційних слідів на поверхні різання, що виникає досить часто і що супроводжуються глухим звуком, що деренчить. Крок хвиль на обробленій поверхні при цьому дорівнює 3...10 мм. Вібрації цього виду викликають поломку різців оснащених пластинками з твердого сплаву.

2. Вібрації характеризуються малим кроком вібраційних слідів на поверхні різання, що виникає рідко і що супроводжуються звуками високого тону, що нагадує писк. Крок хвиль при цьому коливається в межах 0,5...1,5 мм. Такі вібрації зазвичай не викликають поломки різців, проте знижують їх стійкість і погіршують якість обробленої поверхні, що не допустимо при чистовій обробці.

Щоб попередити появу вібрацій, необхідно перед усім створити як можна більшу жорсткість системи верстат-деталь-допоміжний інструмент-ріжучий інструмент. З цією метою рекомендуються наступні заходи:

- встановлювати деталь, по можливості, ближче до шпиндельної бабки;
- прагнути до того, щоб при установці деталі на столі верстата або на плиті число підставок, підкладок і інших установочних пристроїв було найменшим;
- закріплювати деталь на верстаті так, щоб найбільше число кріпильних пристроїв було встановлене в тих місцях оброблюваної деталі, які в процесі обробки сприймають найбільші сили різання;
- гранично обмежувати число шайб, що встановлюються під затискну гайку при закріпленні деталі;
- не застосовувати по можливості перехідних втулок;
- не допускати биття інструменту понад 0,02...0,04 мм;
- прагнути того, щоб виліт різця при обробці був мінімальним, тобто не перевищував збільшеного учетверо діаметру стержня різця;
- застосовувати різці зі збільшеним перерізом;

- при установці інструменту в конічне гніздо шпинделя необхідно переконатися у відсутності забоїв на посадочних поверхнях;

- радіальне биття інструменту не повинне перевищувати 0,04...0,07 мм.

Для боротьби з вібраціями шляхом вибору геометрії ріжучих граней інструменту необхідно :

- застосовувати різці з великими головними кутами в плані (75-90°);

- уникати застосування інструментів з великими негативними кутами;

- уникати застосування ріжучих інструментів з великим радіусом закруглення у вершини;

- передбачати збільшені задні кути різців при чистовому і швидкісному розточуванні;

- підвищувати чистоту поверхні робочої грані інструментів з ціллю зменшення тертя;

- враховувати, що при багаторізцевому розточуванні застосування різців з різними кутами забезпечує дещо спокійніше різання, ніж з різцями з однаковими кутами.

4.7 Балансування інструменту

Попри те, що у рамках вхідного контролю якості балансування інструментів для високошвидкісної обробки перевірена, проте, нерідко виникають протиріччя з даними, що вказуються виробником згідно з протоколом випробувань. Тому здається, що при вимозі якості балансування G2, 5 переходять межу відтворюваності. У рамках дослідження була перевірена техніка, що відноситься до цієї проблеми, і практика вимірів. Результати перевірки стали основою для формулювання реальних вимог до якості балансування інструментів.

Необхідність скорочення часу обробки і розвиток нових ріжучих матеріалів стали однією з головних причин значного прискорення частоти обертання інструментів. Нині вона знаходиться в інтервалі 15000-40000 хв⁻¹. Конструктивно обумовлена асиметрія інструментів, а також квадратична залежність між частотою

обертання шпинделя і відцентровою силою, що створює дисбаланс, роблять використання ріжучих інструментів, що невідбалансували, і інструментальних патронів ризикованим, в якихось випадках у зв'язку з виникненням необхідності ремонту дорожчим і призводить в результаті до недостатньо високої якості поверхні і недотримання допусків.

В принципі балансування стає раціональним вже при середніх частотах обертання, а при більш високих (у інтервалі 10000-20000 хв⁻¹) балансування в одній площині просто потрібне. При подальшому підвищенні частоти обертання вона перетворюється на обов'язкову операцію, причому, якщо необхідно добитися оптимальної якості поверхні заготовки, максимально можливої стійкості інструментів і підвищення терміну служби шпинделя, потрібне балансування навіть в двох площинах. Відмітимо як приклад, що дисбаланс величиною 150 гмм при частоті обертання інструменту 30000 хв⁻¹ призводить до виникнення на шпинделі верстата відцентрової сили величиною 1500 Н.

Ситуація з балансуванням високошвидкісних інструментів

З приводу інших вимог до балансування або її якості існують різні підходи. У рамках проекту "Балансування" германського Комітету з промислового виробництва були розроблені єдині вимоги до балансування, причому в їх основу були покладені 2 тези:

- якісніше балансування інструменту внаслідок обумовлених його запресуванням погрішностей в патроні стає нераціональною.
- може бути виключене критичне вібромеханічне навантаження на систему інструмент-шпиндель.

Вимоги до балансування, отримані в результаті дотримання двох цих тез, підходять для того, щоб зберігати на постійному рівні динамічні навантаження на шпиндельні опори. Основою цих вимог є визначені в рекомендаціях VDI 2056 дійсні граничні значення допустимих коливань опор. У результаті було рекомендовано прийняти якість балансування G16, що є компромісом між необхідним захистом шпинделя і балансуванням, проведення якого раціональне з урахуванням як технічних, так і економічних розрахунків. Якщо врахувати ще і масу інструменту, то

тоді отримаємо допустимий залишковий ексцентриситет, який перевищує допуск на зміну інструментів. В той же час як позитивний чинник слід розглядати виконання вимог (G40) забезпечення безпеки інструментів (E DIN EN ISO 15641).

Дослідження показали, що для різних балансувальних верстатів і для вибраних з практики еталонних інструментів результати вимірювань класу точності балансування мають значний розкид. Об'єктами вимірювань точності балансування стали 8 інструментів і інструментальних оправок з інструментами, що охоплюють значний діапазон мас, розмірів і довжин вильоту інструментів (табл. 3.1). Фактичний залишковий дисбаланс вимірюваних об'єктів був невідомий, оскільки він досить малий для того, щоб визначити розкид результатів вимірювань.

Розглянувши діапазон розкиду виміряних значень в усіх балансувальних машин, для різних частот обертання отримаємо значення, що істотно розрізняються між собою. Так, при частоті обертання, 15000 хв^{-1} у двох з восьми вимірюваних об'єктів розкид значень знаходиться нижче класу точності балансування G6,3, тоді як при частоті 24000 хв^{-1} цей розкид завжди більше допустимого дисбалансу при класі точності G6,3 у одного об'єкту. У табл. 4.5 розрахункових допустимих значень дисбалансу порівнюються з його виміряними значеннями при різних вимогах до балансування. В середньому для усіх вимірюваних об'єктів заміряний дисбаланс знаходиться вище допустимого при класі точності балансування G2,5.

Результати досліджень показують, що клас точності балансування G2,5, який задається в технічних вимогах на інструменти, вже не є надійно відтворним при вимірах. Навіть клас точності G6,3, що призначається, надійно не досягається на практиці для усіх частот обертання.

Таким чином, призначення класу точності балансування G2,5, яке вимагалось раніше для забезпечення безпеки машин, вже втратило сенс і незважаючи на існуючі протоколи вимірів внаслідок отриманого розкиду результатів вимірювань фактично ніколи не реалізується. Чи досить для високошвидкісної обробки пропонованого по новітніх нормах класу точності G16, слід оцінювати в кожному конкретному випадку.

Таблиця 4.5 – Перелік інструментів, використаних для вимірювання дисбалансу

Найменування об'єкту, що балансується	Маса, г.
Цільний твердосплавний інструмент D 16 мм, запресований в хвостовик типу HSK63	1224
Цільний твердосплавний інструмент D 25 мм., запресований в хвостовик типу HSK63	2154
Моноблочний інструмент D 32 мм, запресований в хвостовик типу HSK63	870
Моноблочний інструмент D 63 мм, запресований в хвостовик типу HSK63	1474
Інструментальна оправка з хвостовиком HSK63 (патрон для запресовки)	1372
Інструментальна оправка з хвостовиком HSK100 і з макетом інструменту (D 20 x116 мм)	(3918 /252) 4170
Гідравлічний розтискний патрон з хвостовиком HSK63 і інструментом D 16 мм	(1292/50/238) 1580
Гідравлічний розтискний патрон з хвостовиком HSK63 і інструментом D 20 мм	(1292/364) 1656

На рисунку 4.18 приведена діаграма для визначення величини допустимого дисбалансу, в залежності від частоти обертання.

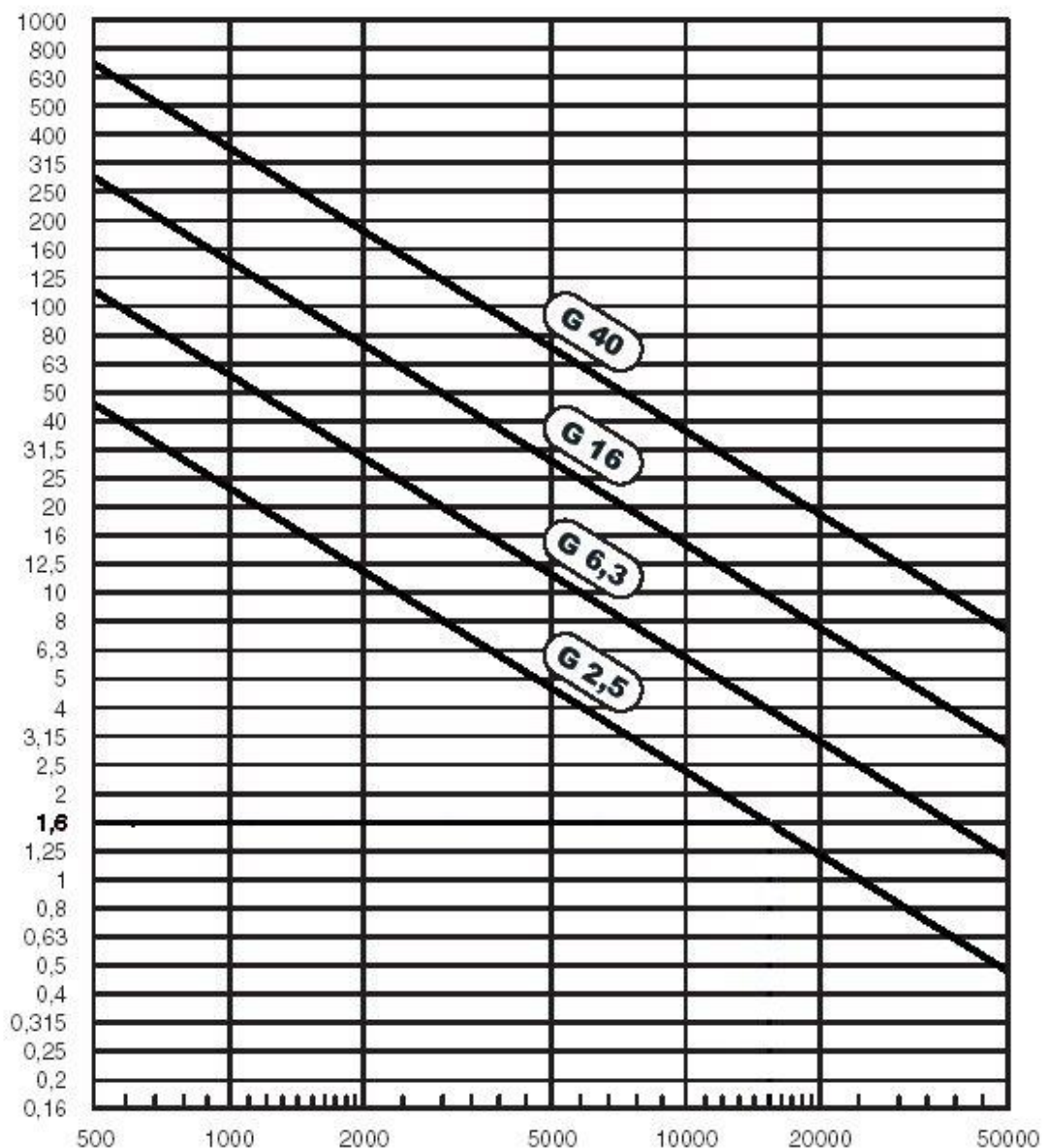


Рисунок 4.18 – Діаграма для визначення величини допустимого дисбалансу, в залежності від частоти обертання.

В нашому випадку інструментальна головка для чорнової обробки деталі масою $m=1,157$ кг, обертається з частотою $n=4774$ хв⁻¹. Для класу точності балансування G6,3 допустима величина відносного дисбалансу $e=11$ мкм. Остаточно допустимий дисбаланс інструментальної головки розраховується за формулою:

$$U = e \cdot m = 11 \cdot 1,157 = 12.73 \text{ гмм.}$$

Аналогічно розраховуємо допустимий дисбаланс інструментальної головки для чистової обробки деталі масою $m=0,516$ кг, що обертається з частотою $n=4570$ хв⁻¹. Для класу точності балансування G6,3 допустима величина остаточного дисбалансу $e=12,5$ мкм.

$$U = e \cdot m = 12,5 \cdot 0,516 = 6,45 \text{ гмм.}$$

Таким чином, при обробці з дуже великим зняттям стружки (обробці корпусних деталей з легких сплавів або при обдиранні, коли ведеться обробка інструментів і штампів), класу якості балансування G16 буде, мабуть, досить. Враховуючи, зрозуміло, що внаслідок значного об'єму стружки, що знімається, і високої потужності, що витрачається на різання, навантаженнями на шпиндельні опори від зусиль різання нехтувати не можна, додаткове навантаження на шпиндель від зусиль, що виникають при дисбалансі, не стане переважаючою. Отже, в діапазоні частот обертання (15000-24000 хв⁻¹), що досягаються при обробці, клас точності балансування в інтервалі G6,3 - G8,0 буде цілком достатнім.

При реалізації задач чистової обробки з високими вимогами до якості отримуваної поверхні і допусків необхідно по можливості звести до мінімуму деформації на вершині інструменту, викликані силами, що діють за наявності дисбалансу. Клас точності балансування G6, 3 відповідає, наприклад, при частоті обертання інструменту 10000хв⁻¹ допустимому зміщенню його центру на 6 мкм, а при 20000 хв⁻¹ – на 3мкм. Тому тут безумовно необхідно вимагати і забезпечувати дотримання що найменше класу точності G6,3. При фінішній обробці не виключена необхідність і більш високих класів точності балансування. У такому разі балансування інструментів і інструментальних оправок необхідно робити в шпинделі після їх заміни.

4.8 Вибір способу охолодження інструменту

В процесі різання теплові явища відіграють важливу роль. Саме вони визначають температуру в зоні різання, яка надає прямий вплив на характер

утворення стружки, наріст, усадку стружки, сили різання і мікроструктуру поверхневого шару. Ще істотніше впливає температура різання на інтенсивність зносу інструменту і період його стійкості. При підвищенні швидкості різання росте температура ріжучої кромки інструменту і зменшується його стійкість.

Встановлено, що чим нижче теплопровідність оброблюваного матеріалу, тим більше теплоти йде в інструмент.

У міру збільшення швидкості різання значно росте відносна кількість теплоти, що йде в стружку. По дослідях С.С. Можаяєва при швидкості $v=400\dots500$ м/хв теплота розподіляється так: $Q_c=97\dots98\%$, а $Q_i=1\%$.

М.П.Левицкий і В.Клейн теоретично розглянули питання про температуру ріжучої кромки різця залежно від різних чинників [11]. На основі своїх розрахунків М.Левицкий побудував графік залежності температури різання від швидкості різання (рис 4.19)

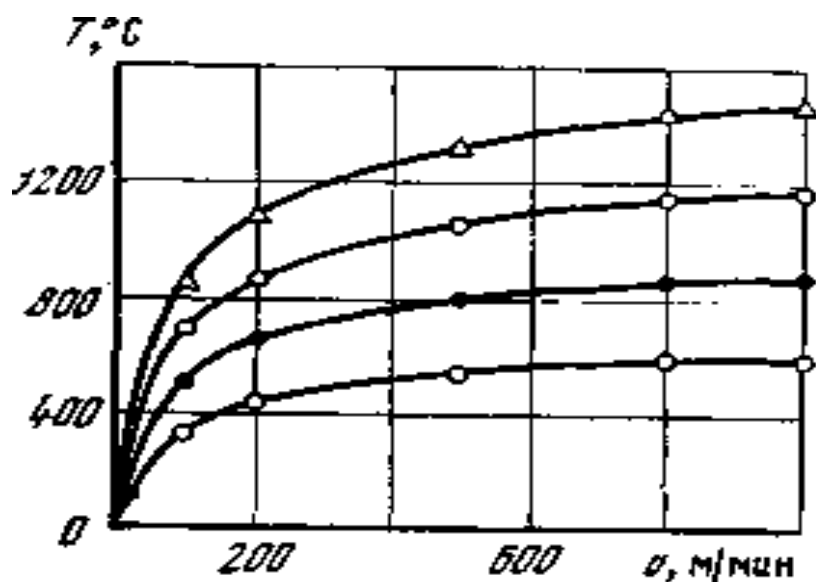


Рисунок 4.19 – Залежність температури різання від швидкості різання

Узявши за основу цю залежність, можна визначити, що при високошвидкісному різанні загартованої сталі зі швидкістю близько 300 м/хв температура, що виділилася при різанні досягне межі близько 800 °C. Але ефект застосування високошвидкісної обробки полягає в перерозподілі температури різання. Велика частина температури (біля 95% або 750°C) відводиться разом із

стружкою, біля 4% переходить в ріжучий інструмент і порядку 1% передається в оброблювану деталь.

У зв'язку з тим, що температура різання досить висока, вона майже уся концентрується в стружці і головна вимога – це забезпечити відведення стружки із зони різання. Тому що тепло, яке зосереджене в стружці, передаватиметься в деталь і робочі органи верстата, що може викликати теплові деформації деталі і органів верстата. Цього необхідно уникнути, так як при високошвидкісному різанні висуваються особливо жорсткі вимоги до температури робочих органів.

У сучасному машинобудуванні підвищення ефективності процесів обробки нерозривно пов'язане з використанням ефективних мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ МОТС. Застосовуються МОТС на масляних і водо-емульсійних основах з різними присадками поверхнево активних речовин (ЗОР), використання яких позитивно впливає на продуктивність обробки деталей і якість їх поверхневого шару.

Нині у світовій практиці витрачається досить велика кількість різних типів МОТС. Досить вказати, що в таких країнах як США, СРСР, Німеччина, Франція їх витрата складає відповідно до 220, 209,110 і 80 млн л/рік. В той же час, застосування МОТС вимагає використання спеціальних очисних споруд, необхідних для їх утилізації, організацію їх приготування, транспортування, регенерації, а також необхідність знежирення стружки і оброблених поверхонь, що істотно впливає на вартісні показники виробничих процесів виготовлення деталей. Витрати на рідку МОТС (МОР), з урахуванням їх впливу на довкілля і утилізацію, складають іноді до 30% загальних витрат на металообробку, що значно перевищує витрати на ріжучий інструмент. При цьому слід вказати на одне з важливих обставин застосування МОТС, особливо на масляній основі – їх вплив надзвичайно шкідливий для здоров'я людини. В результаті попадання МОТС в зону різання, повітряне середовище, що оточує її, забруднюється хімічними речовинами типу масляних аерозолів, що негативно впливає на здоров'я людини, викликаючи різні захворювання.

У зв'язку з цим у багатьох індустріально розвинених країнах за останні роки посилюються екологічні вимоги по застосуванню МОТС в металообробці, приділяється велика увага екологічній нешкідливій технології виробництва.

Рішення екологічних проблем сучасного виробництва йде шляхом застосування екологічно чистих виробничих технологій, що знижують рівень шумового, теплового, світлового і інших дій технологічного процесу на довкілля. За останні роки проводяться дослідження по заміні традиційних МОТС на масляній і водоемульсивних основах при металообробці на чистіші технології з використанням МОТС, що мінімізують шкідливу дію на довкілля, модифікації МОТС, що містять нетоксичні елементи з аналогічними фізичними ефектами, застосування твердих мастил на органічній основі, створення систем, що мінімізують кількість МОТС, які подаються в зону різання, або процеси з повною відмовою від застосування МОТС, які є прикладом "сухого різання", а також які використовують комбіновані методи дії на зону різання, забезпечуючи ефекти охолодження зони різання і зменшення тертя в зоні контакту «оброблюваний матеріал – інструмент».

Виробники інструменту рекомендують застосовувати такі види охолодження : обдув або застосування розпиленої МОТС. Деякі виробники інструменту в характеристиках інструменту вказують, що інструмент може застосовуватися для сухої обробки.

Починаючи з 1995 року, в спеціальній літературі дуже багато говорилося про обробку без застосування МОР (суху обробку) або про обробку з мінімальним змазуванням. Сьогодні напрям таких публікацій змінився – від теоретичних обґрунтувань до опису результатів практичного застосування. Дійсно, ряд світових автомобільних концернів впровадили відповідні технології, сьогодні суха обробка перейшла з розряду екзотики в розряд стандартних рішень.

Теоретичною основою для впровадження сухої обробки послужив той факт, що з теорії і практики різання відоме, що мастильно-охолоджувальна рідина не зменшує температуру в зоні безпосереднього контакту стружки з інструментом. Більше того, при сучасному стані технології, застосування МОР у багатьох випадках є чинником, що обмежує продуктивність. Збільшення швидкості різання при

використанні МОР приводить до виникнення змінних термічних навантажень (кромка нагрівається в зоні контакту із заготовкою і, виходячи із зони різання, потрапляє під "холодний душ" МОР). Подібні змінні термічні навантаження викликають явище, що дістало назву термошоку. Термошок призводить до виникнення мікротріщин в інструментальному матеріалі, які потім призводять до викришування або поломки. Підвищення швидкості різання збільшує небезпеку термошока. Тобто, це означає, що застосування МОР обмежує можливості високошвидкісної обробки.

Застосування сухої обробки вимагає відповідних змін в конструкції і умовах застосування інструменту. Необхідною умовою застосування інструменту в умовах сухої обробки є оптимізація мікро- і макрогеометрії, підбір марок твердого сплаву і, що особливо важливо, зносостійких покриттів.

Одним з різновидів прикладу використання "сухого різання" замість традиційних МОТС є екологічно чисті електронно-іонні технології, ґрунтовані на подачі в зону різання іонізованого і озонованого повітря.

Фізико-хімічний механізм дії іонізованих газових середовищ (ІГС) обумовлений зміною умов взаємодії контактних поверхонь ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом, що проявляється в зниженні зношування ріжучих поверхонь інструменту. В процесі різання активні в хімічному відношенні поверхні інструменту і стружки вступають в хімічну реакцію з компонентами ІГС, внаслідок чого утворюються захисні плівки, які екранують адгезію між ювенільними поверхнями оброблюваного і інструментального матеріалів. Захисні властивості утворених плівок виявляються в тих випадках, коли вони витримують питомі навантаження, не руйнуються і блокують адгезійні зв'язки. Як відомо, газова атмосфера найбільш сприятлива з точки зору прискорення хімічних реакцій і утворення захисних плівок. Активніша, в порівнянні з МОР, проникаюча здатність газового середовища призводить до полегшення пластичної деформування в зоні основних пластичних деформацій і дискретного контакту оброблюваного і інструментального матеріалів, що, у свою чергу, і обумовлює зменшення внутрішніх напружень в обробленому поверхневому шарі.

Спостерігається зниження сил різання R_x , R_y , R_z на 10-30%, при цьому традиційне їх співвідношення зберігається. Разом зі зниженням сил різання, знижується ступінь деформації, виражена коефіцієнтом усадки стружки, і, як наслідок, шорсткість обробленої поверхні в межах 15-30%.

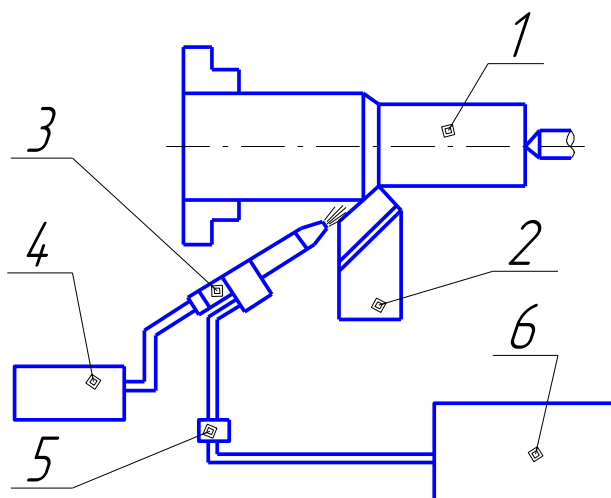


Рисунок 4.20 – Схема подачі ІГС в зону різання: 1 – заготовка, 2 – інструмент, 3 – плазматрон-сопло, 4 – система живлення плазматрону, 5 – регулятор тиску газового середовища, 6 – компресор.

Проведені порівняльні стійкісні випробування твердосплавного інструменту, у тому числі з покриттям при точінні сталі 45, жароміцного сплаву ВЖ-98 і титанового сплаву Втя- 20 в різних умовах: насухо, з використанням як МОТС "Росойл-500" і подачею в зону різання іонізованого повітря (ІГС), здійснюваною за схемою, приведеною на рис. 4.20.

Як видно з проведених випробувань твердосплавних пластин при точінні сталі 45 (рис. 4.218), застосування ІГС, що подається в зону різання, забезпечило зниження інтенсивності зносу пластин Т14К8 і, як наслідок, підвищення стійкості інструменту в 2-2,5 рази в порівнянні із застосуванням МОТС у вигляді емульсії "Росойл-500" і роботою насухо.

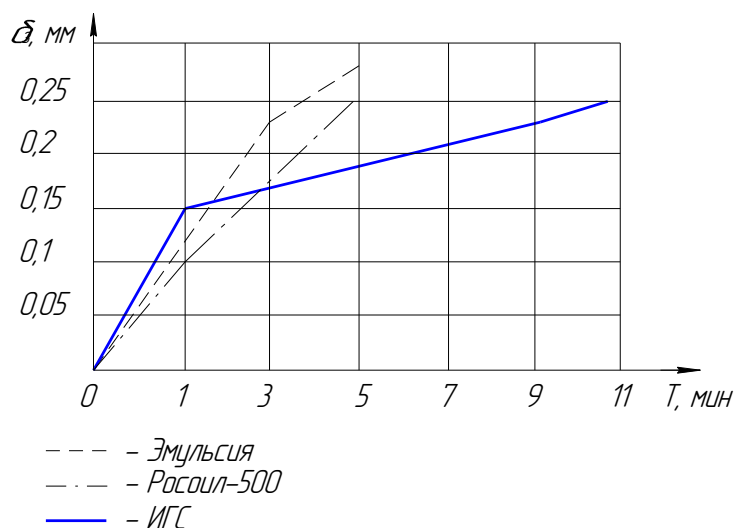


Рисунок 4.21 – Знос твердосплавних пластин при різноманітних МОРС

Як показали проведені спостереження, використання ІГС надає істотний вплив не лише на процес зношування інструменту, але і на процес стружкоутворення, змінюючи тип стружки від зливної до стружки сколювання або елементної. Це дуже сприятливо позначається на відведенні стружки із зони різання, що особливо важливо для роботи інструменту в автоматизованому виробництві.

Таким чином, результати проведених досліджень показують, що використання ІГС, що полягає в подачі в зону різання повітря, іонізованого і озонованого коронним розрядом, є дуже перспективним в рішенні завдань підвищення ефективності роботи інструменту, заміни шкідливих МОР і створення екологічно чистих виробництв в металообробці.

При переході на суху обробку споживач отримує ряд переваг. До основних переваг можна віднести: підвищення ефективності обробки, поліпшення умов праці.

Підвищення ефективності обробки досягається за рахунок: збільшення режимів різання, збільшення стійкості інструментів, скорочення витрат на підготовку МОР і на підтримку відповідних систем.

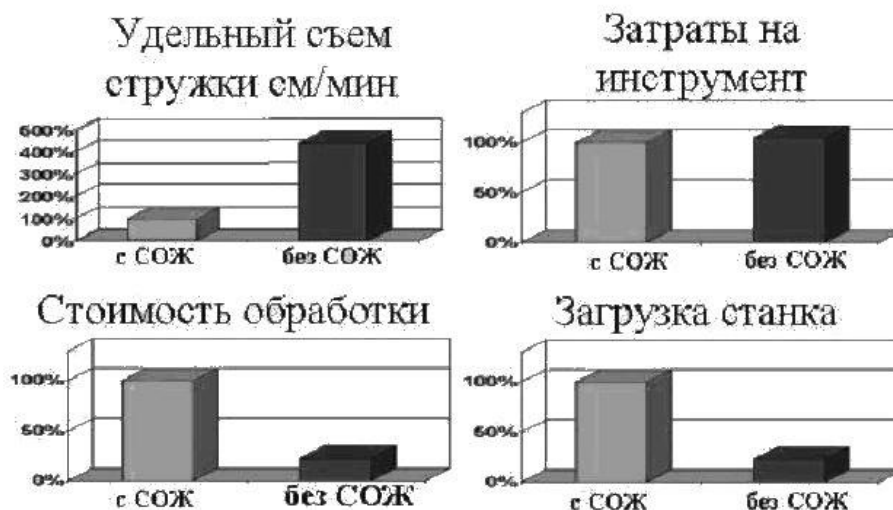


Рисунок 4.22 – Переваги обробки без МОР

При оптимально підібраній геометрії, марці твердого сплаву, виді зносостійкого покриття і режимах обробки стійкість інструменту для сухої обробки істотно (до двох разів) перевершує стійкість інструменту при обробці з МОР. Вже згадувана можливість підвищення режимів обробки дозволяє говорити про багатократне підвищення економічності обробки.

Вказані переваги обробки без МОР – збільшення стійкості інструменту і підвищення продуктивності – цілком адекватно підходять до сучасних умов.

Застосування МОР також створює ряд додаткових труднощів, до яких ми вже звикли і їх не помічаємо. Сюди відносяться питання, пов'язані з наявністю в МОР найдрібнішої стружки, що призводить до погіршення обробки і скорочення стійкості інструментів. МОР призводить до корозії деталей і вживаного обладнання. Баки МОР збільшують площу, що займає обладнання.

Цілком очевидно, що виключення з процесу виробництва МОР істотно покращує умови праці. В першу чергу це стосується зниження ризику шкірних захворювань, що у свою чергу призводить до скорочення втрат на заміну і переміщення працівників замість хворих. Відсутність МОР також підвищує чистоту робочого місця через відсутність залишкових слідів МОР на деталях і в місцях

складування. Обробка без МОР також вирішує проблему спостереження за процесом – не потрібні додаткові пристрої очищення скла робочої зони верстатів.

Не на останньому місці стоїть також питання захисту довкілля. Ця тема давно актуальна в Європі і стає актуальною і для України. У Європі діє більше 10000 законів і актів про охорону довкілля, що у тому числі регламентують питання відходів механообробки.

При проектуванні високошвидкісного спеціального верстата застосовуватиметься комбінована система охолодження і відведення стружки. Принцип дії цієї системи полягає в тому, що зона різання обдуватиметься повітрям. Це дозволить охолодити стружку і видалити її із зони різання.

4.9 Дослідження температурного поля та деформацій корпусу інструментальної головки засобами програмного комплексу ANSYS

Багато завдань, з якими доводиться нині стикатися дослідникам і інженерам, не піддаються аналітичному рішенню або вимагають величезних витрат на експериментальну реалізацію. Часто єдиною можливістю швидкого і ефективного аналізу інженерної проблеми є комп'ютерне моделювання. Прогрес в розробці чисельних методів дозволив істотно розширити круг завдань, доступних аналізу. Отримані на основі цих методів результати використовуються практично в усіх галузях науки і техніки.

У аналізі конструкцій знаходить своє найбільш важливе застосування метод скінченних елементів. Причому в конструкційному аналізі під конструкціями розуміються мости, будівлі, корпуси морських суден, вузли літаків, деталі машин, інструменти - словом, будь-які інженерні конструкції.

Первинними змінними, які обчислюються в ході конструкційного аналізу, є переміщення. Надалі, виходячи з вичислених переміщень у вузлах сітки, визначаються і інші важливі параметри - такі як напругу, пружна або пластична деформація і ін.

Програма ANSYS є комп'ютерною системою для проектування і виконання пов'язаного міждисциплінарного аналізу методом скінченних елементів. Вона використовується на етапі проектування, щоб з'ясувати, як виконується проектна розробка поводитиметься в експлуатаційному режимі навантаження. Також програму ANSYS можна використати для оптимізації геометрії, описаної в параметричному виді.

Програма ANSYS працює в середовищі усіх популярних операційних систем (WindowsXX, UNIX) і на усіх поширених комп'ютерних платформах: від PC до суперкомп'ютерів. Особливістю програми є файлова сумісність продуктів сімейства ANSYS для усіх використовуваних платформ. Багатоцільова спрямованість програми (реалізація в ній засобів для розрахунку відгуку системи на дії різної фізичної природи) дозволяє використати одну і ту ж сіткову модель для вирішення таких міждисциплінарних завдань, як міцність при тепловому навантаженні, взаємодію потоку з конструкцією та ін. Модель, створена на PC, може використовуватися на суперкомп'ютері і робочій станції. Це забезпечує усім користувачам програми зручні можливості для вирішення широкого кола інженерних завдань.

Програма пропонує широкий перелік розрахункових засобів, які враховують різноманітні конструктивні нелінійності; дають можливість вирішити найзагальніший випадок контактного завдання для поверхонь; допускають наявність великих деформацій і кутів повороту; дозволяють виконати оптимізацію і аналіз впливу електромагнітних полів, отримати рішення завдань гідрогазодинаміки і інше - включаючи параметричне моделювання, адаптивну перебудову сітки.

ANSYS має засоби зв'язку з усіма CAD- системами за допомогою імпорту файлів у власних форматах CAD, в стандартних і універсальних графічних форматах. Є також версії ANSYS, інтегровані з усіма основними CAD- системами (включаючи Pro-Engineer, CADDs, Unigraphics, AutoCAD та інші), де розрахункова технологія ANSYS застосовується для аналізу і оптимізації проектних розробок.

В даній роботі проведено аналіз теплової поведінки корпусу спеціальної інструментальної головки для чистової обробки деталі «Хрестовина»; виконано розрахунки температурного поля і температурних деформацій моделі з використанням численних методів; проведено структурний аналіз.

Аналіз виконано в наступній послідовності:

1. В графічному редакторі КОМПАС - 3D побудовано геометричну 3-D модель корпусу інструментальної головки (рисунок 4.23).

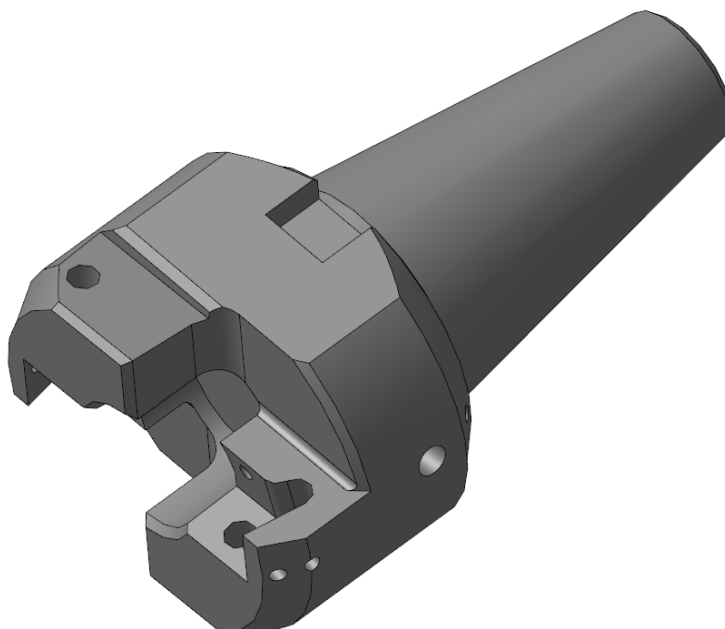


Рисунок 4.23 - 3-D модель корпусу інструментальної головки

Для спрощення розбиття даної моделі на скінченні елементи із розрахунку було виключено систему отворів для подачі ЗОР, та різьбові отвори гвинтів для кріплення і регулювання ріжучих пластин.

2. Імпортовано геометричну модель до програмного комплексу методу скінчених елементів ANSYS.

Імпорт моделі було здійснено за допомогою формату *.x_t (Parasolid). Можливості графічного редактора КОМПАС - 3D дозволяють експортувати дані в цьому форматі. Імпортована модель представлена на рисунку 4.24.

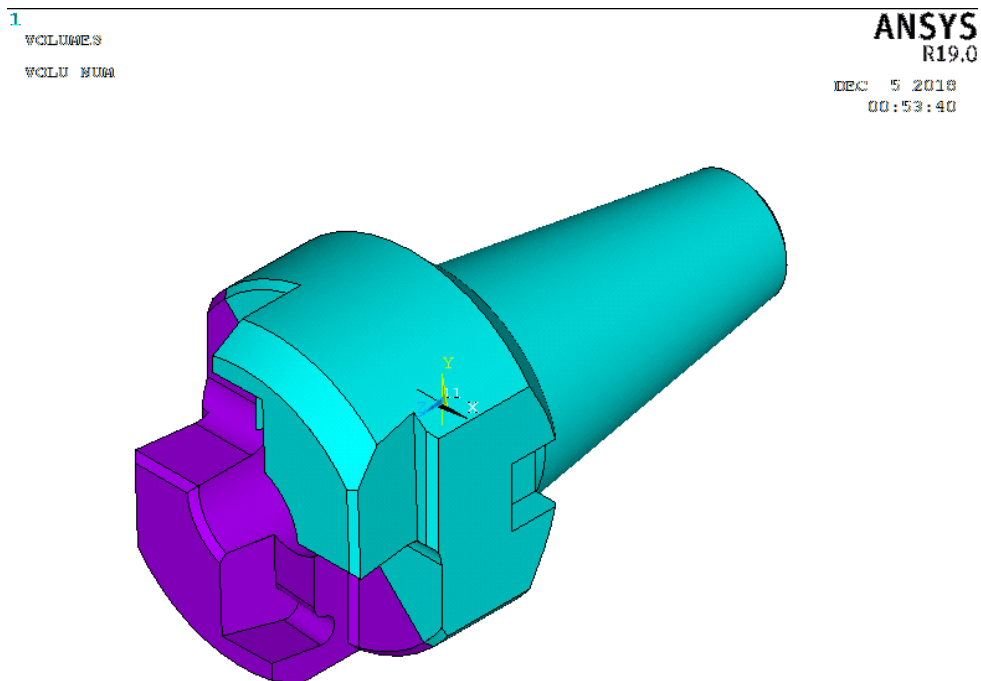


Рисунок 4.24 - Імпортована модель інструментальної головки

3. Задано вид аналізу, властивості матеріалу, встановлено тип скінченного елемента для виконання теплового та структурного аналізу.

Для виконання теплового та структурного аналізів в настройках обираємо вид аналізу «thermal» та «structural». Призначаємо тип скінченного елемента SOLID70, та SOLID185.

Призначені властивості матеріалу (сталь 40X) наведені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Властивості матеріалу

Показник	Значення						
Щільність (DENS)	7800 кг/м ³						
При температурі °C	20	100	200	300	400	500	600
Показник							
Модуль пружності, мПа (EX)	2.04E11	1.9E11	1.73E11	1.55E11	1.37E11	1.19E11	1.01E11
Питома теплоємність Дж/кг°C (C)	482	496	513	532	555	583	620
Коефіцієнт теплопровідності Вт/м°C (KXX)	41	40	38	36	34	33	31
Коефіцієнт теплового розширення °C ⁻¹ (ALPX)	1.2E-5	1.34E-5	1.33E-5	1.4E-5	1.48E-5	1.48E-5	1.48E-5

4. Виконано розбивку геометричної моделі на елементи (рисунок 4.25).

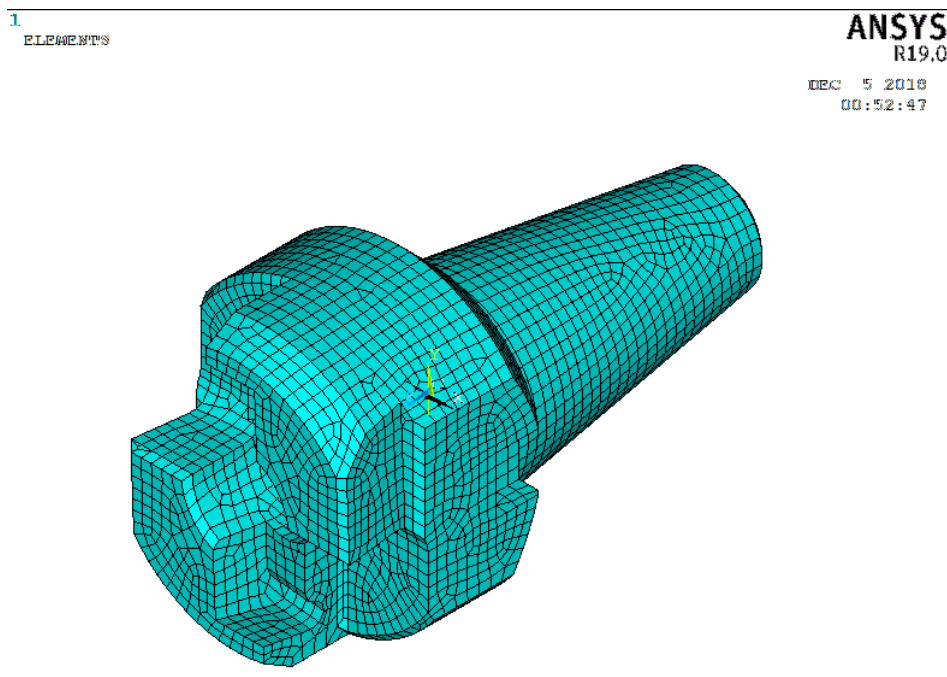


Рисунок 4.25 - Модель інструментальної головки, с сіткою елементів

Результатом генерації сітки є 16244 вузла у 75705 елементах розміром 2мм.

5. Прикладено температурні навантаження, виконано розрахунок температурного поля, проглянуто та збережено результати розрахунку.

В якості температурного навантаження задано температуру опорних поверхонь ріжучих пластин, отриману із розрахунку температури в зоні різання. $T=500^{\circ}\text{C}$. Крім того задано поверхні конвекції з температурою навколишнього середовища $T=20^{\circ}\text{C}$. На рисунку 4.26 візуально представлено розподіл температур по об'єму тіла корпусу. Бачимо зміну температури від 490°C на опорних поверхнях до 50°C у найвіддаленішого торця корпусу.

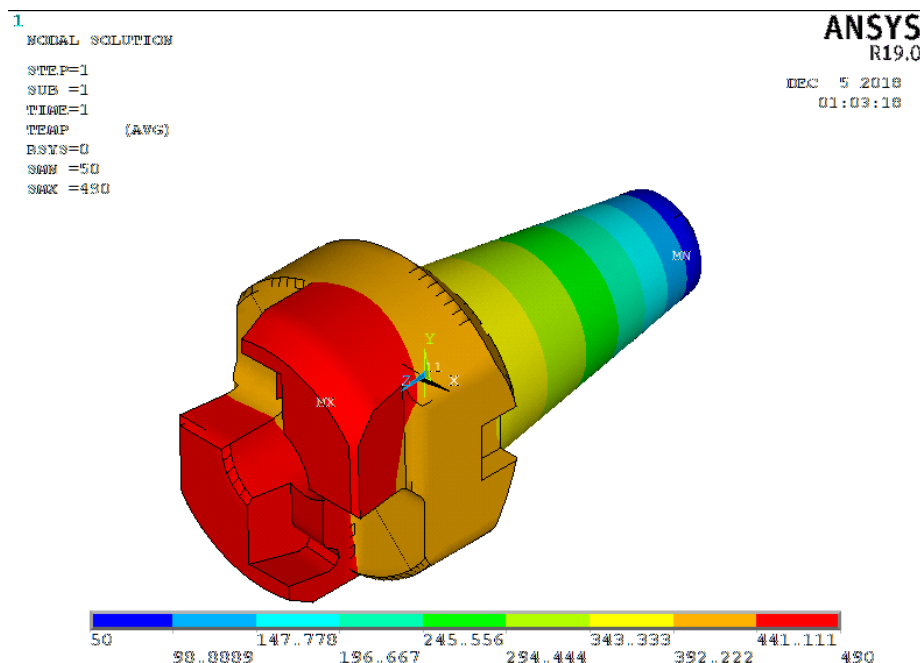


Рисунок 4.26 – Результат розрахунку температурного поля

Отримане температурне поле буде нами використано в подальшому розрахунку корпусу на міцність. Для цього файл результату теплового розрахунку підгружаємо в якості накладеного навантаження (рисунок 4.27).

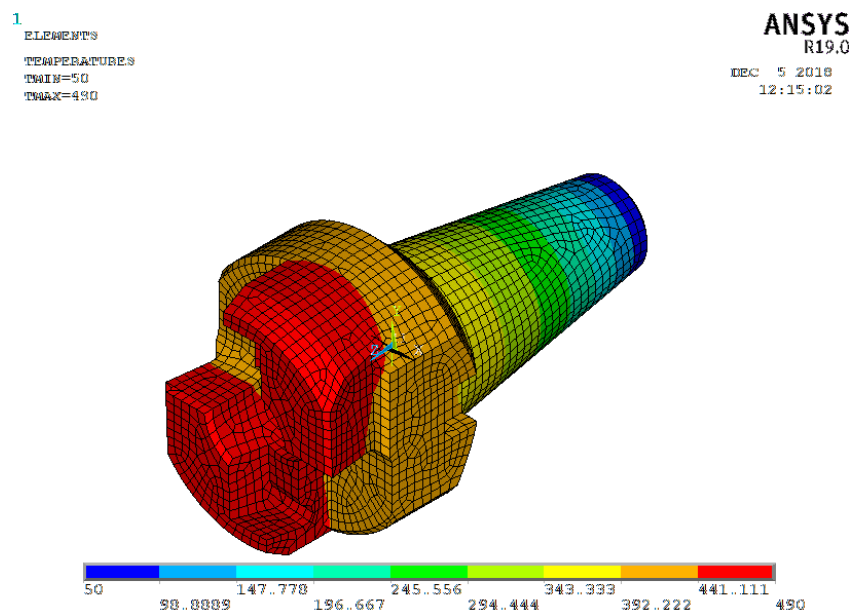


Рисунок 4.27 – Температурне поле в структурному розрахунку.

6. Змінено вид аналізу з термічного на структурний, замінено теплові елементи на сумісні структурні.

7. Прикладено навантаження для виконання розрахунку температурних деформацій, виконано розрахунок температурних деформацій.

В якості навантажень до опорних полщадок корпусу прикладаємо сили, еквівалентні силам різання $P_z=12,3$ Н, а до відповідних бічних поверхонь шпонкових пазів прикладаємо навантаження, еквівалентні моменту на шпинделі $M_{\text{шп}}=19,19$ Нм. Додатково враховуємо вплив відцентрових сил від частоти обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=4976$ хв⁻¹. Крім того призначаємо місце закріплення корпусу в шпинделі верстата – поверхню конуса хвостовика – визначивши його нульовим переміщенням. Результат структурного аналізу представлено на рисунку 4.28.

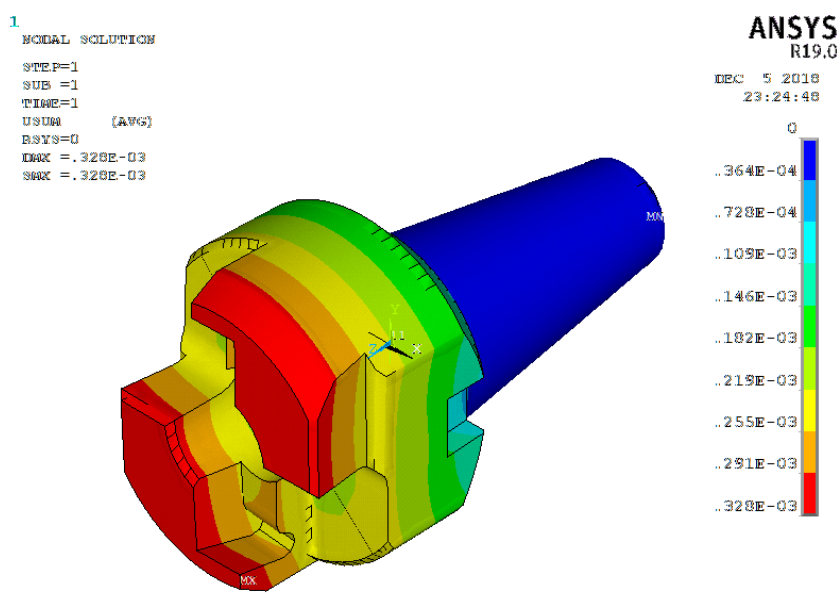


Рисунок 4.28 – Розрахункові переміщення вузлів за результатом аналізу

8. Проаналізовано картину розподілення напружень по об'єму моделі (рисунок 4.29)

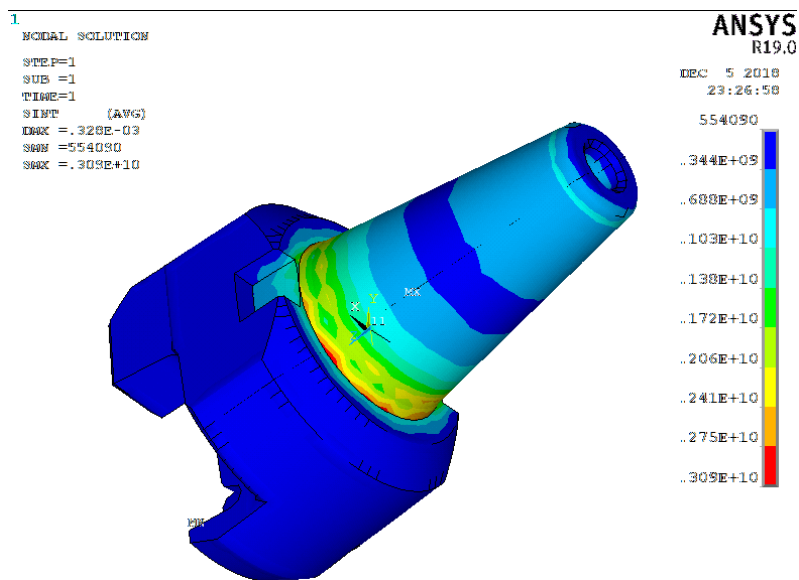


Рисунок 4.29 – Розрахункові напруження в конструкції.

За розподілом напружень видно, що найбільш навантаженим є місце переходу від хвостовика до робочої частини інструментальної головки. При введених параметрах навантажень максимальні напруження в небезпечному перерізі становлять $\sigma = 3090$ Па. Розрахунок коефіцієнту запасу міцності ($K=0,4$) дозволяє зробити висновок, що за таких умов навантаження розглянута конструкція корпусу інструментальної головки не є довговічною.

4.10 Висновки

В ході конструювання інструментальної головки були вивчені аналоги зрубіжних виробників, а так само експериментальні зразки, вживані на виробництві. Прототипом для проекрованої прийнята інструментальна головка німецької фірми "Maral" (рис. 4.3).

В роботі спроектовані дві спеціальні інструментальні головки для попередньої і остаточної обробки деталі "Хрестовина". Тривимірні моделі інструментів і деталей, що входять в них, розроблені в системі "Компас-3D". Так само розроблені складальні креслення спроектованого інструменту.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема дипломного проекту – «Проектування та дослідження ріжучого інструменту для високопродуктивної обробки деталі "Хрестовина"», передбачає проведення досліджень та розрахунків у приміщенні дослідницької лабораторії обладнаному персональними комп'ютерами (далі– ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі– ВДТ), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії гігієни праці для приміщення лабораторії обладнаного ПК з ВДТ, а також заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту, у відповідності з методичними вказівками.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні дослідницької лабораторії обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електорообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;
- механічне травмування в наслідок погіршення уваги персоналу при переміщенні в лабораторії, коридорах, сходах;
- механічне травмування в наслідок нераціональної організації робочих місць;
- ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу;

- надмірні нервово-психічні навантаження при виконанні роботи в умовах дефіциту інформації та часу, може призвести до погіршення емоційного стану, а в подальшому до захворювань загального характеру;

- недостатня фізична активність, що пов'язана з постійним виконанням роботи сидячи, недотриманням режиму чергування роботи та перерв, сприяє зниженню працездатності, а при систематичній безперервній роботі призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів;

- негативний вплив електромагнітних, в тому числі і рентгенівських випромінювань при використанні моніторів ПК з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршень зору, зниження імунітету;

- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

- незадовільні параметри мікроклімату робочого місця, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, які можуть викликати загальні захворювання;

- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, у разі не якісного навчання населення або його відсутності, призводять до паніки та загибелі людей.

5.2 Заходи з охорони праці

5.2.1 Заходи по забезпеченню безпеки

У приміщенні дослідницької лабораторії застосовується широке різноманіття електроприладів: 4 персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, факси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо.

Відповідні вимоги ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» поширюються на всі підприємства, установи, організації, юридичні особи незалежно від форми власності, відомчої належності, видів діяльності, які здійснюють розробку, виробництво і застосування ПК з ВДТ у тому числі, які мають робочі місця обладнані ПК або виконують ремонт обслуговування та налагодження ПК.

Для виключення травматизму відстань між робочими столами становить не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів – не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» площа на одне робоче місце не менше 6 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 .

Приміщення дослідницької лабораторії за ступенем небезпеки ураження електрострумом, згідно «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ») характеризується як приміщення «без підвищеної небезпеки» (відсутній струмопровідний пил, струмопровідні поверхні, не струмопровідні поли, температура не більше 25°C , вологість не більше 60%).

У приміщенні дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції.

По способу захисту людини від ураження електричним струмом, у приміщенні дослідницької лабораторії обладнаному ПК з ВДТ, згідно НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности». ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до I класу, оскільки мають подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення,

що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом. II клас захисту – освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: «ПУЕ» величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення дослідницької лабораторії – 4 Ом;

Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» у користувачів ПК і обслуговуючого персоналу 2-га кваліфікаційна група з електробезпеки, яка надається особам, які мають елементарні технічні знання з електроустаткування, усвідомлюють небезпеки впливу електричного струму та наближення до струмоведучих частин, знають основні заходи забезпечення безпеки при роботі з електроустаткуванням та правила надання першої допомоги постраждалим.

Для виключення небезпек для людини в робочій зоні приміщення дослідницької лабораторії, обладнаній ПК з ВДТ, експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до вимог «ПУЕ», НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС», ДСТУ 7237:2011 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту», НПАОП 40.1-1.07-01 «Правила експлуатації електрозахисних засобів» або ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Приміщення дослідницької лабораторії обладнане ПК з ВДТ і його обладнання має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції відповідно вимог «ПУЕ», НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ», ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Ергономічні вимоги до моніторів, їх технічні характеристики (розмір екрана, роздільна здатність, зернистість зображення, значення частот вертикальної та горизонтальної розгортки, смуга пропускання відеосигналу, можливості регулювання, мікропроцесорне управління, динамічне фокусування, наявність інварової маски та розмагнічування, антивідблискове покриття, захист від електростатичних та електромагнітних полів, система управління

енергоспоживанням) враховано згідно вимог розділу «Мінімальні вимоги по охороні праці» директиви ЕС90/270 ЕЕС.

Символи на екрані чіткі і добре розрізняються, зображення без блимання, яскравість та контрастність легко регулюються, екран вільний від відблисків і відбиття, випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів. Застосування плоских екранів зменшує спотворення зображення, на екрані утворюється менше відблисків від відбитого світла. Для підвищення якості зображення, для зменшення відблисків, а також запобігання накопичення статичного заряду передбачається застосування моніторів, на поверхні екрана якого, на переднє скло ЕПТ нанесено спеціальні покриття.

5.2.2 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для приміщення дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за №472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»), ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Метеорологічні умови в приміщенні дослідницької лабораторії – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи в приміщенні лабораторії,

належать до категорії Іб– легка фізична робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату та трьохкратний повітряобмін за годину досягається оснащенням приміщень пристроями кондиціонування, вентиляції та дезодорації повітря, системами опалювання згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ВДТ відповідають вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становить: $n+ = 1500-30000$ (шт. на 1см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1см^3). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечуються за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачено природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах не менше, ніж 90% номінальної.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН

3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Рівні вібрації під час виконання робіт з ПК у приміщенні дослідницької лабораторії не перевищують допустимих значень, визначених в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

Метою забезпечення захисту користувачів ПК від впливу іонізуючих випромінювань і від неіонізуючих електромагнітних полів і випромінювання моніторів, відповідно до вимог МРПІІ, НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та електромагнітного випромінювань.

Розрахунок приміщення (лабораторії) оснащеного відеодисплейними терміналами.

1. Приміщення, що обладнане ПК з ВДТ і розміщені робочі місця з ПК, спроектовано і організовано згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

2. Приміщення категорій А і Б (ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та

пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», а також виробництва з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт не передбачається.

3. Виробничі приміщення, в яких розташовані ЕОМ, не межують з приміщеннями, де рівні шуму та вібрації перевищують норму (механічні цехи, майстерні тощо).

4. Робоча кімната, де розташовані комп'ютери знаходиться на другому поверсі, т.б. відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» враховано, що неприпустимим є розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Площу приміщення, в якому розташовують відеотермінали, визначено згідно з чинними нормативними документами з розрахунку, що для забезпечення виробничого процесу необхідним є застосування 4 комп'ютерів.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.
- площа на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом - не менше 6,0 м².
- об'єм - не менше 20,0 м³, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Врахуємо також розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-

обчислювальних машин» рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкращим є розмістити комп'ютеризовані робочі місця в два ряди вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

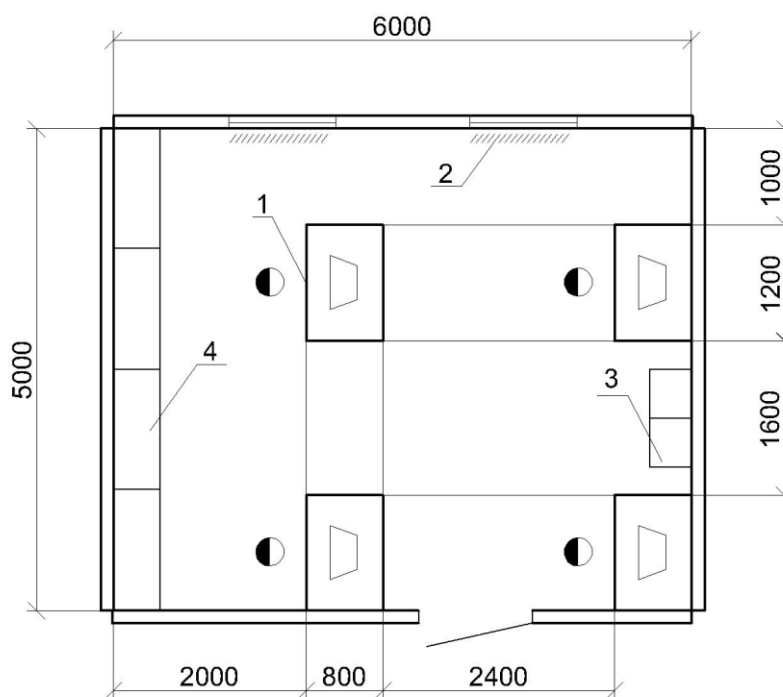


Рисунок 5.1 – План виробничого приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями

1 – комп'ютеризоване робоче місце з ВДТ; 2 – сонцезахисні жалюзі; 3 – шафи для зберігання дискет та програмного забезпечення; 4 – шафи для зберігання документації та фахової літератури.

Таким чином, оскільки площа приміщення становить $S_{\text{пр}}=30,0 \text{ м}^2$, а площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними

дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, то в даному приміщенні можна розмістити щонайбільше чотири комп'ютеризованих робочих місця. Такої кількості достатньо для технічного переоснащення виробництва.

Перевіримо, чи відповідає це число нормативу щодо мінімального об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ ($V_{P.M.Min} = 20 \text{ м}^3$), згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». Якщо висота приміщення 4 метра, об'єм приміщення становить 120 м^3 , а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце – $V_{P.M.} = 30 \text{ м}^3$. Таким чином норматив щодо об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ виконується.

У відповідності ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Для запобігання кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг необхідно передбачити перерви в роботі та виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу. Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ДСТУ ISO 9241-5-2004 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 5. Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози» дає можливість не тільки уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

Таким чином, передбачені для приміщення дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці забезпечують безпечні та комфортні умови праці персоналу.

5.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.3.1 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки для приміщення дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.)

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» приміщення дослідницької лабораторії відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення дослідницької лабораторії – II.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із приміщення обладнаного ПК з ВДТ та два евакуаційних виходи. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» не обмежується.

Приміщення дослідницької лабораторії, в якому розташовуються

електрообчислювальні матеріали, різноманітне устаткування, належить до пожежанебезпечної зони, класу П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677 приміщення (лабораторія) оснащено переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Для адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

Враховуючи пожежну небезпеку приміщення дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3).

5.3.2 Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях

Згідно вимог «Кодексу цивільного захисту (далі – ЦЗ) України» навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях (далі – НС) здійснюється:

- за місцем роботи – працюючого населення;
- за місцем навчання – дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- за місцем проживання – непрацюючого населення.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

- працюючого та непрацюючого населення – на Державну службу України з НС (далі – ДСНС України), Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

- дітей дошкільного віку, учнів та студентів – на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням з ДСНС України.

Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачається набуття знань у сфері цивільного захисту.

Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Громадські організації та позашкільні навчальні заклади здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів.

Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час

проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту.

Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається ДСНС України.

Для отримання працівниками відомостей про конкретні дії у надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей виробничої діяльності суб'єкта господарювання у кожному суб'єкті господарювання обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту.

Особи під час прийняття на роботу та працівники щороку за місцем роботи проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, мають попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема з пожежної безпеки, забороняється.

Програми навчання з питань пожежної безпеки погоджуються з ДСНС України.

Культура безпеки життєдіяльності населення – це сукупність цінностей, стандартів, моральних норм і норм поведінки, спрямованих на підтримання самодисципліни як способу підвищення рівня безпеки.

Популяризація культури безпеки життєдіяльності серед дітей та молоді організовується і здійснюється центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, спільно з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, громадськими організаціями

шляхом:

- проведення шкільних, районних (міських), обласних та всеукраїнських змагань з безпеки життєдіяльності;
- проведення навчально-тренувальних зборів і польових таборів;
- участі команд – переможниць у заходах міжнародного рівня з цих питань.

Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та правилам пожежної безпеки є обов'язковим і здійснюється під час навчально-виховного процесу за рахунок коштів, передбачених на фінансування навчальних закладів.

Навчання дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та запобігання пожежам від дитячих пустощів з вогнем проводиться шляхом формування у них поведінки, відповідної віку дитини, щодо власного захисту та рятування.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки у побуті та громадських місцях та має право отримувати від органів державної влади, органів місцевого самоврядування, через засоби масової інформації іншу наочну продукцію, відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких або у зоні можливого ураження від яких може опинитися місце проживання непрацюючих громадян, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних такими надзвичайними ситуаціями.

Передбачений комплекс заходів з пожежної безпеки і цивільного захисту, щодо навчання працюючого та непрацюючого населення основним нормам поведінки та діям у надзвичайних ситуаціях, підвищує стійкість роботи об'єкта та забезпечує безпеку персоналу в умовах пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуті особливості високошвидкісної обробки деталі «Хрестовина».

1. Виконаний огляд літератури по основах теорії високошвидкісної обробки з визначенням позитивних і негативних явищ при підвищенні швидкості різання.

2. Виконаний аналіз умов ефективного застосування високошвидкісної обробки і взаємозв'язків чинників, які впливають на процес різання: верстат, ріжучий інструмент, інструментальний матеріал, умови різання, деталь.

3. Розглянута методика визначення інтенсивності теплових потоків в зоні різання і розраховані середні температури на контактних поверхнях інструменту, стружки і виробу. Визначена оптимальна швидкість різання, що забезпечує необхідну якість обробки деталі. $V=234$ м/хв.

4. Спроектовані спеціальні інструментальні головки для попередньої і остаточної обробки деталі. Розраховані кути установки багатогранних пластин, вибраний спосіб їх кріплення в корпусі інструменту. Визначений допустимий дисбаланс інструментальних головок ($U=12.73$ гмм - для попередньої, $U=6,45$ гмм - для остаточної обробки). Розроблені складальні креслення інструменту.

5. Визначені заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії гігієни праці для приміщення лабораторії обладнаного ПК з ВДТ, а також заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теория резания. Физические основы и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов / П.И.Ящерицын, М.Л.Еременко, Е.Э.Фельдштейн. – Мн.:Выш. шк., 1990. – 512с.:ил.
2. Воронин А.Ю., Современные системы управления высокоскоростным фрезерованием – М.: Машиностроение, 1985. 124 с.,ил.
3. Железнов Г.С. Определение среднего коэффициента трения при резании металлов //СТИН. – 1999. - №3. –С.25–29.
4. Швецов В.Н. Опыты по обработке металлов на сверхвысоких скоростях. – ЖТФ, 1941, №11.
5. Розенберг А.М., Калашников К.Ф., Судовцев А.Ф. К вопросу об обработке металлов на сверхвысоких скоростях. – Газ. «Красное знамя», Томск, 1940, 4 мая.
6. Хает Г.Л. Прочность режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1975. 92 с.
7. Методичні вказівки до курсового проектування з технології авіадвигунів./ Укл.: В.К. Яценко. – Запоріжжя: ЗДТУ, 1999. 103 с.
8. Режимы резания металокерамическими инструментами. Точение и фрезерование. /Под ред. Д.В. Михайлова.- М. МАШГИЗ 1958. 52 с.
9. Обработка деталей машин на расточных станках. Под ред. А.Н. Оглоблина. М-Л. 1958. 224 с.
10. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с.,ил.
11. Ю.М. Ермаков. Выбор оптимальной скорости резания на основе стойкостной зависимости для режущего инструмента. ВНИИТЭМР. Обзорная информация. Выпуск 1. М. 1986. 63 с.
12. Резников А.Н. Теплообмен при резании и охлаждение инструментов. – М.: Машиностроение, 1963. 199 с. ил.

13. Теплофизика резания, Резников А.Н. – М.: Машиностроение, 1969. 288 с. ил.
14. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. 279 с. ил.
15. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Справочник конструктора-инструментальщика. – М.: Машиностроение, 1975.
16. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
17. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
18. Справочник инструментальщика. Под редакцией И.А. Ординарцева – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
19. Башков В.М., Кацев П.Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. – М.: Машиностроение, 1985.
20. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
21. Верешака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. 75 с.
22. Боровский Г.В. Инструментальные материалы и специальный инструмент для высокоскоростного резания // СТИН. – 1998. - №8. – с. 26-29.
23. Поатпов В.А., Айзеншток Г.И. Высокоскоростная обработка. – М.: Машиностроение, 1986.
24. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках/ А.А. Гильман, Л.А. Брахман, Д.И. Батищев, Л.К. Матяева. – М.: МАШГИЗ, 1972.
25. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.: Машиностроение, 1986.
26. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник /В.С.Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др. – М.: МАШГИЗ, 1988.
27. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982.