

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій

**для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,
денної та заочної форм навчання**

Краматорськ – Тернопіль
ДДМА
2023

УДК 621.9.06

Спеціальні розділи механічної обробки матеріалів: *конспект лекцій [для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», денної та заочної форм навчання]* / [уклад.: Я.В.Васильченко]. – Краматорськ; Тернопіль : ДДМА, 2023. – 119 с.

Конспект містить лекційний матеріал курсу «Спеціальні розділи механічної обробки матеріалів», у якому розглянуті основні фактори, які діють при різанні, шляхи підвищення ефективності важкого металорізального обладнання, мастильно-охолоджувальні середовища, оброблюваність різанням та шляхи покращення, фактори надійності різального інструменту, зношування і руйнування різального інструменту.

Для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Укладач:

Я.В.Васильченко, проф.

Відп. за випуск

Я. В. Васильченко, проф.

1 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМООБУМОВЛЕНІСТЬ ОСНОВНИХ ЯВИЩ ПРОЦЕСУ ЛЕЗОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ

1.1 Складність явищ процесу різання

Різні фактори, які діють при різанні, по різному впливають на процеси деформування і контактні явища в зоні різання. Одні фактори безпосередньо впливають на процес утворення стружки, інші – побічно, через ті фактори, які впливають безпосередньо. Побічно впливають майже всі фактори, при чому цей вплив в більшості випадків викликають низку взаємопов'язаних явищ, що і обумовлює кінець кінцем дію фактора, який впливає безпосередньо. Наприклад, зміна величини переднього кута збільшує або зменшує середні контактні нормальні напруження на передній поверхні, що призводить до зміни середнього значення коефіцієнту тертя. Останнє впливає на кут дії, зміна якого викликає зміну кута зсуву і роботи утворення стружки.

Дія будь-якого фактора через ланцюг взаємозв'язаних факторів може підсилюватись або послабляти в залежності від того, чи існує двохсторонній взаємний вплив факторів один на одного і чи співпадають або не співпадають результати активної та реактивної дій. Наприклад, збільшення середнього значення коефіцієнту тертя супроводжується збільшенням ширини площадки контакту стружки з передньою поверхнею, яке призводить до зменшення середньої величини контактних нормальних напружень. При наявності двох ділянок тертя це викличе ще значніше збільшення середнього значення коефіцієнта тертя.

Фактори, які діють при різанні, можна розділити на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх факторів відносяться властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, геометричні параметри інструменту, параметри режиму різання, властивості мастильно-охолоджувальної рідини. До внутрішніх факторів можна віднести кут дії, температуру на передній поверхні леза, середнє значення коефіцієнту тертя, ширину площадки контакту стружки з передньою поверхнею, дійсний передній кут з урахуванням наросту і таке інше.

Безпосередній вплив на процес утворення стружки при прямокутному різанні оказують тільки чотири фактора: кут дії, передній кут інструменту, швидкість різання та властивості оброблюваного матеріалу. Всі останні фактори впливають побічно. Розглянемо вплив деяких факторів, які діють найбільш сильно.

Вплив кута дії. Найважливішою характеристикою процесу утворення стружки є кут зсуву θ , від величини якого залежить коефіцієнт укорочення стружки, відносний зсув і робота утворення стружки. Все те, що збільшує кут зсуву, зменшує ступінь деформації зрізуваного шару та роботу утворення стружки. Використовуючи умову рівноваги інструмента, К.А.Зворикін теоретично здобув рівняння для визначення кут зсуву в залежності від переднього кута та кута тертя φ' на передній поверхні:

$$2\theta + \varphi' - \gamma = C,$$

де C – постійна величина.

Якщо врахувати, що $\varphi' - \gamma = \omega$, то рівняння прийме вигляд $2\theta + \omega = C$.

Таким чином, кут зсуву безпосередньо залежить від кута дії, зменшуючись при збільшенні останнього.

Механізм цієї залежності наступний. При збільшенні кута дії кут зсуву зменшується, що призводить до збільшення ступеню деформування зрізуваного шару та роботи стружкоутворення. При цьому вектор рівнодіючої стружкоутворення повертається проти годинникової стрілки, що призводить до повороту в тому ж напрямку осей головних напружень і відповідному зменшенню кута зсуву.

Вплив переднього кута. Безпосередній вплив переднього кута на процес утворення стружки (рис. 1.1) полягає в зміні напрямку переміщення стружки в просторі. При зменшенні переднього кута збільшується кут між векторами швидкостей різання V і стружки V_c і частинка зрізуваного шару при перетворенні його в стружку більш суттєво змінює свій напрямок свого руху. Оскільки зміна напрямку руху частинок пов'язане із зсувом по умовній площині

зсуву, то зменшення переднього кута повинне збільшити інтенсивність зсувного процесу, тобто зменшити кут зсуву.

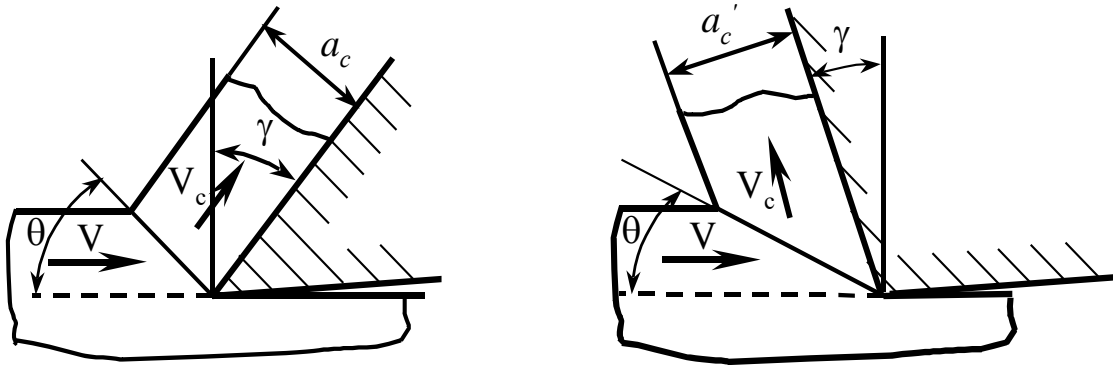


Рисунок 1.1 – Вплив переднього кута на кут зсуву при постійному куті дії (вільне різання сталі 20Х; $\omega = 0$)

Коли наріст відсутній, побічний вплив переднього кута на процес утворення стружки пов'язаний тільки зі зміною кута дії. Вплив переднього кута на кут дії іде за двома напрямками: за рахунок зміни орієнтації передньої поверхні та за рахунок зміни середньої величини коефіцієнта тертя. При зменшенні переднього кута кут дії збільшується внаслідок зміни положення передньої поверхні і зменшується внаслідок зменшення середньої величини коефіцієнту тертя. Перша дія є переважаючою, тому кут дії та передній кут знаходяться в протилежній залежності. Завдяки співпаданню безпосередньої та побічної дій переднього кута на процес утворення стружки, вплив переднього кута на поздовжній коефіцієнт укорочення стружки, відносний зсув та роботу утворення стружки надто сильний. Тому ці параметри збільшуються при зменшенні переднього кута.

В зоні швидкостей різання, при яких наріст має найбільшу висоту, вплив переднього кута на процес утворення стружки менш помітний. Чим менший передній кут, тим більша висота наросту і більший фактичний передній кут.

Таким чином, зменшення номінального переднього кута компенсується збільшенням фактичного переднього кута.

Вплив швидкості різання. Безпосередній вплив швидкості різання на процес утворення стружки полягає в зміні кута зсуву. Кут зсуву зростає при збільшенні швидкості різання, що пов'язане з запізнюванням пластичної деформації. При невеликій швидкості різання зона пластичної деформації OAB (рис. 1.2) має відносно великі розміри. При великій швидкості різання зрізуваний шар настільки швидко проходить через поле напружень, що пластичні деформації не встигають пройти на межі OA зони деформації, проходять правіше від неї: там, де діють значно більші напруження. Внаслідок цього нижня межа OA переміщується в положення OA' . Теж саме відбувається і на верхній межі OB зони деформації, але, оскільки правіше від неї напруження зменшуються, то частинки зрізуваного шару продовжують деформуватись на малій відстані від межі OB . Внаслідок цього верхня межа переміщується на значно меншу відстань, порівняно з нижньою; зона первинної деформації $OA'B'$ стає вужчою та повертається за напрямком годинникової стрілки. Зменшення розмірів та поворот зони викликають збільшення кута зсуву і зменшення ступеню деформування зрізуваного шару.

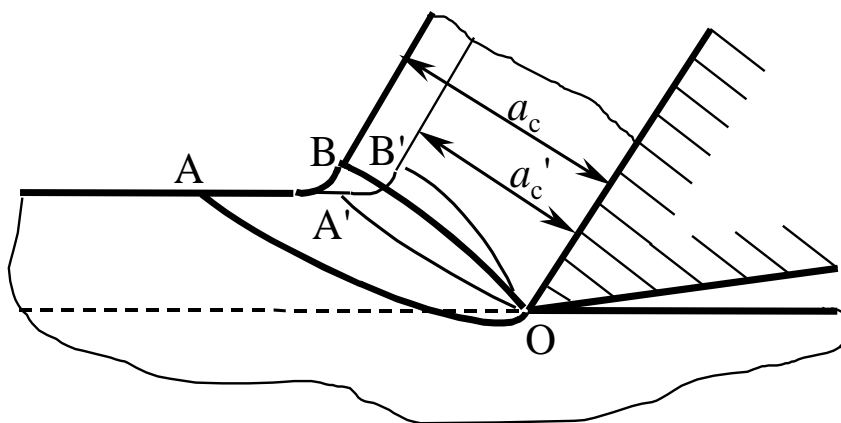


Рисунок 1.2 – Вплив швидкості різання на кут зсуву
при постійному куті дії (вільне різання міді: $\gamma = 20^\circ$; $\omega = 23^\circ 30'$)

Побічний вплив швидкості різання на процес утворення стружки проявляється в її впливі на кут дії за рахунок зміни середньої величини коефіцієнту тертя, а якщо оброблюваний матеріал схильний до утворення наросту, то і за рахунок зміни фактичного переднього кута. Зміна середньої величини коефіцієнту тертя при зміні швидкості різання пов'язана як з впливом її на середні величини нормальних контактних напружень, так і зі зміною температури на передній поверхні, яка впливає на опір зсуву в шарі стружки, що контактує. При різанні матеріалів, не схильних до утворення наросту, збільшення швидкості різання безперервно поліпшує процес утворення стружки, зменшуючи відносний зсув і питому роботу утворення стружки.

Вплив механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Безпосередній вплив на процес утворення стружки механічних властивостей оброблюваного матеріалу полягає в збільшенні кута зсуву, пов'язаного із збільшенням опору зсуву матеріалу в зоні утворення стружки при постійних передньому куті та куті дії. Відповідно до цього зменшується ступінь деформації зрізаного шару.

Якщо наріст при різанні відсутній, то побічний вплив властивостей оброблюваного матеріалу на процес стружкоутворення проявляється в зміні кута дії внаслідок зміни середнього значення коефіцієнта тертя. При постійній температурі на передній поверхні середня величина коефіцієнта тертя для різних оброблюваних матеріалів змінюється відносно мало, тому що при збільшенні опору матеріалу пластичній деформації одночасно збільшуються як дотичні, так і нормальні контактні напруження. При постійній швидкості різання із збільшенням опору матеріалу пластичним деформаціям середня величина коефіцієнта тертя зменшується, що зменшує коефіцієнт укорочення стружки та відносний зсув. При наявності наросту побічний вплив оброблюваного матеріалу на процес стружкоутворення доповнюється впливом наросту через зміну фактичного переднього кута.

Вплив товщини зрізаного шару. Товщина зрізаного шару впливає на процес стружкоутворення тільки побічно. Якщо наріст відсутній, то вплив товщини зрізаного шару пов'язаний із зміною середньої величини

коефіцієнту тертя, яка внаслідок збільшення середніх нормальних контактних напружень на передній поверхні зменшується при збільшенні товщини зрізуваного шару. Тому, чим товстіший зрізуваний шар, тим менший відносний зсув і питома робота стружкоутворення. При наявності наросту товщина зрізуваного шару додатково впливає через зміну фактичного переднього кута інструмента.

Між процесами в зоні первинної деформації і на передній поверхні інструмента існує тісний та взаємообумовлений зв'язок. Будь-яка зміна умов тертя в межах площадки контакту впливає на протікання деформаційних процесів і характер стружкоутворення. Навпаки, зміна умов стружкоутворення через зміну температури та швидкості стружки впливає на контактні явища на передній поверхні. Таким чином, будь-яка зміна напруженого стану в одній із зон викликає відповідну зміну напруженого стану в другій зоні. Якщо за будь-яких причин зміниться середній коефіцієнт тертя на передній поверхні, то із-за зміни напруженого стану в зоні контакту стружки зміниться величина сили стружкоутворення R і моменту M (рис. 1.3), з якими інструмент діє на стружку.

Для збереження рівноваги повинна змінитися величина сили R_c і моменту M_c , з якими зрізуваний шар діє на стружку, але це змінить напружений і деформований стан в зоні первинної деформації. Зміна деформованого стану в зоні I викличе зміну температури і контактних напружень в зоні тертя і, як наслідок, зміну напруженого стану і таке інше. В процесі різання за рахунок саморегулювання в зонах I і II встановлюється такий напружений стан, при якому виконується умова рівноваги стружки.

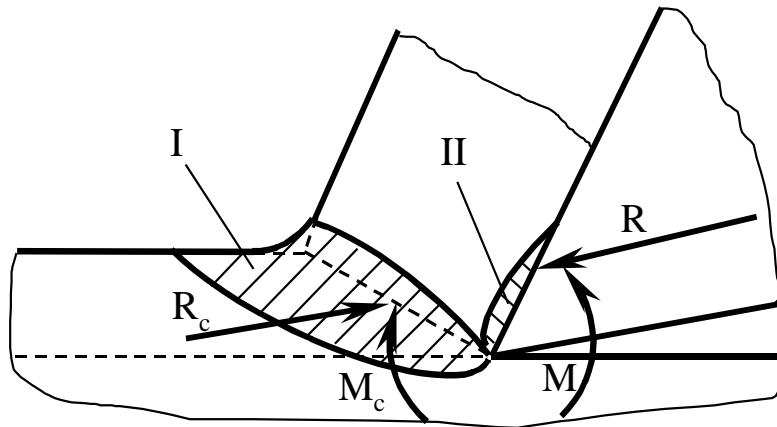


Рисунок 1.3 – Сили і моменти, які діють на стружку

1.2 Різання як процес взаємодії елементів технологічної системи зі складними імовірнісними діями

Процес різання являє собою складний комплекс фізико-хімічних явищ. Умови здійснення процесу різання визначаються кінематичною схемою різання (вона характеризує елементи зрізуваного шару, а також умови його видалення) пружними та пластичними деформаціями оброблюваного матеріалу, його руйнуванням в зоні різання, тертям, тепловими явищами, хімічними, електричними та магнітними явищами і іншими факторами.

На структурній схемі оброблення (рис. 1.4) показаний взаємозв'язок між вихідними первинними параметрами (факторами стану): матеріал, форма і розміри обробленої поверхні, якість і точність оброблення; верстат Vm , пристрій Pr , інструмент In , схема оброблення Sx , режим оброблення $Rж$, технологічне середовище Tc і вторинними параметрами, які визначають результати виконання механічного оброблення. До них відносяться експлуатаційні характеристики деталі, в тому числі точність оброблення $Tч$ і якість поверхні $Яп$, стійкість $Ст$ і міцність $Мц$ інструмента, продуктивність $Пр$ і економічність оброблення $Ек$.

Первинні параметри задають конструктор в вигляді креслення деталі та технолог: дані про заготовку, включаючи спосіб її виготовлення; величину

припуску, що вилучається; спосіб оброблення, тип, потужність, точність і жорсткість верстата, пристрій, схему налагодження операції, конструкцію інструмента, режими оброблення, вид і спосіб підводу технологічного середовища.

Вторинні параметри характеризуються технологічними показниками. Вони визначаються як результат дії процесу різання, яке здійснюється при заданій системі ВПД, на деталь. До них відносяться: експлуатаційні характеристики деталі, в тому числі досягнута точність оброблення та якість поверхні; стійкість і міцність інструменту; довговічність верстата та пристрою. Ці параметри в значній мірі визначають досягнуту продуктивність та економічність.

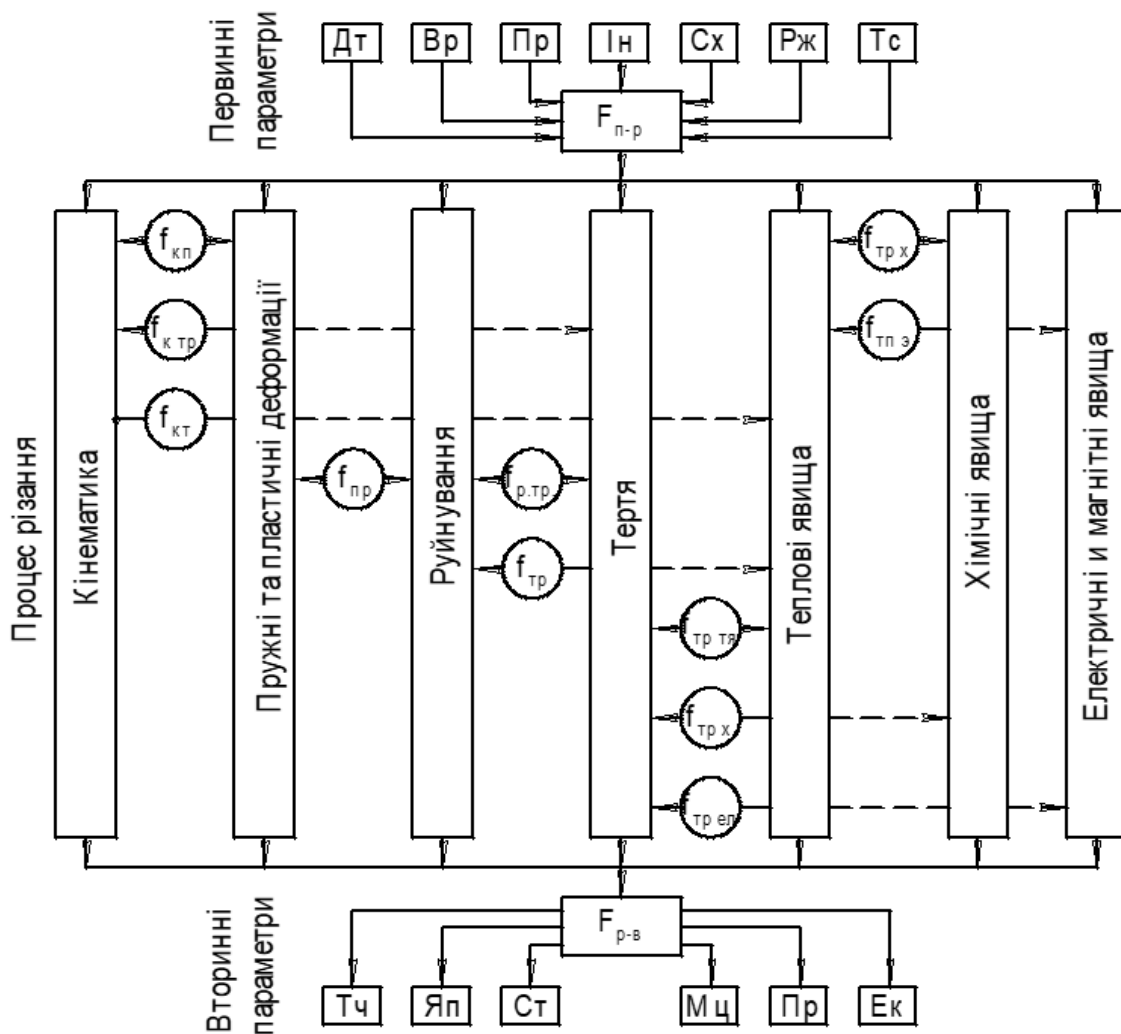


Рисунок 1.4 – Структурна схема оброблення

Одним із показників оброблення є стабільність вторинних параметрів. Розсіювання значень вторинних параметрів обумовлене збурюючими факторами, які діють в системі різання. Вони поділяються на систематичні та випадкові. Систематичні фактори обумовлюються характером руйнування оброблюваного матеріалу, а випадкові, наприклад, нестабільністю фізичних характеристик інструментального матеріалу (густини, міцності, пористості, пружності) та оброблюваної заготовки (різна твердість, нерівномірність припуску і таке інше).

Процес різання є ланкою, яка пов'язує первинні та вторинні параметри, що визначаються сукупним впливом кінематики процесу різання і багатьох фізичних явищ; при цьому вкрай рідко тільки один із них має вирішальне значення. В структурній схемі оброблення процес різання можна розглядати як механізм системи регулювання, який пов'язує систему ВПД з технологічними параметрами, що досягнуті в результаті оброблення. Необхідно відзначити, що ця система регулювання працює з розімкнутим ланцюгом дії. Наступним етапом удосконалення керування процесом різання є побудова систем автоматичного регулювання, які працюють з замкнутим ланцюгом дії.

Функціональні зв'язки між окремими елементами структурної схеми оброблення різанням обумовлюють значення основних функцій f_i , які в сукупності формують математичну модель оброблення. Серед них основними є функція F_{np} , яка пов'язує первинні параметри з процесом різання, та F_{pv} , яка пов'язує процес різання з вторинними параметрами. Кінцевим результатом досліджень є знаходження функції F_{nv} , яка пов'язує первинні параметри із вторинними. Вирази функцій f_i складаються із низки математичних залежностей, які пов'язують окремі фізичні явища, що складають процес різання.

Оптимізацію процесу оброблення виконують шляхом аналізу його математичної моделі, тобто сукупності описуючих його функцій, з метою пошуку екстремуму або заданого значення одного чи декількох параметрів. Як правило, цю задачу виконують різними методами з використанням ЕОМ.

Верстати з програмним керуванням і адаптивними системами дозволяють забезпечувати керування системою різання згідно заданому критерію з урахуванням випадкових коливань значень одного або декількох параметрів стану системи.

2 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ

2.1 Надшвидкісне різання

По мірі зростання швидкостей різання, які використовуються при обробленні сьогодні, теплові умови зносу інструменту безперервно погіршуються. Тому припустимі значення швидкості різання визначає температура червоностійкості інструментального матеріалу. Це пояснюється тим, що по мірі збільшення швидкості різання і відповідно швидкості деформації, яку вона визначає, робота пластичної деформації зменшується і, як наслідок, зменшується кількість тепла, що виділяється на одиниці шляху руху різання. Однак, завдяки підвищенню швидкості руху, кількість теплоти, яка виділяється в одиницю часу і визначає стійкість інструмента, збільшується.

Ідея надшвидкісного різання полягає в переході на оброблення різанням з особливо високими швидкостями. В цьому випадку починаючи з деякого критичного значення $V_{кр}$, температура починає зменшуватись (рис. 2.1), тобто температурні умови роботи інструмента стають аналогічними тим, в яких інструмент працює при звичайних швидкостях різання.

Це пояснюється тим, що, починаючи з критичних швидкостей різання та відповідних ним швидкостей деформації, характер протікання процесу утворення стружки якісно змінюється – *відокремлення матеріалу зрізуваного шару проходить не внаслідок пластичного деформування, а крихкого руйнування. Як відомо, енергія, що необхідна для крихкого руйнування, значно менша енергії, яка необхідна для пластичного руйнування.*



Рисунок 2.1 – Зміна температури в зоні різання в залежності від швидкості різання

Тому крихке руйнування характеризується значно меншим тепловиділенням і визначає можливість практичної реалізації надшвидкісного різання, яке забезпечує корінне підвищення продуктивності оброблення. Окрім того, при різанні з високими швидкостями деформування звільнюється накопичена в процесі деформування потенційна енергія, що зменшує *опір деформуванню* внаслідок внутрішнього розігрівання металу. В цьому випадку також спостерігається *локалізація пластичної деформації в малих об'ємах*, а також *інтенсивне розігрівання контактних шарів*, яке призводить до зменшення сил тертя. Все це призводить до того, що при надвисоких швидкостях різання $V_{над}$ (див. рис 2.1, точка 2) температури в зоні різання будуть такими ж, як і при звичайних швидкостях різання (див. рис.2.1, точка 1).

Надшвидкісне різання виконується на дуже високих швидкостях; наприклад, для надшвидкісного різання чавуну інструментом із швидкорізальної сталі необхідна швидкість різання складає 750 м/с. Для переводу відпаленої сталі в крихкий стан необхідна швидкість деформування 3000 м/с. Підвищення температури червоностійкості інструментальних

матеріалів, тобто підвищення допустимих температур в зоні різання, звужує розміри зони катастрофічного теплового зносу інструмента $V_{об} - V_{над}$, отже підвищує допустимі швидкості різання при звичайному різанні і зменшує граничні швидкості надшвидкісного різання.

В якості енергії для виконання надшвидкісного різання використовують вибухові речовини, стиснений газ, потужний іскровий розряд, спалювані гази, магнітні поля високої щільності, а також звичайні електричні двигуни.

Більшість кінематичних схем надшвидкісного різання побудовані на використанні поступального руху різання. Забезпечити необхідні швидкості на звичайних верстатах з обертальним рухом різання поки що не завжди можливо із-за необхідності в кропіткому балансуванні деталей, що обертаються. Сьогодні промисловість виготовляє верстати, які забезпечують частоту обертання шпинделя 10000 – 15000 об/хв.

2.2 Ротаційне точіння

Ротаційні методи оброблення відрізняються від звичайних тим, що крім двох основних рухів, необхідних для виконання процесу різання – швидкості різання V і подачі зі швидкістю V_1 – при ротаційних методах оброблення передбачається переміщення різальної кромки в додатковому, третьому, русі із швидкістю V_2 . Таке переміщення на практиці реалізується шляхом додаткового обертання робочої частини інструменту навколо своєї осі симетрії.

Розглянемо схему ротаційного точіння круглим обертовим різцем (рис. 2.2). Круглий обертовий різець може здобути додаткове обертання із швидкістю V_2 або природнім шляхом, тобто внаслідок дії сил тертя між деталлю, стружкою та різцем, або примусово від того чи іншого приводу, який буде забезпечувати обертання робочої частини. Для того щоб забезпечити самообертання робочої частини різця, її необхідно встановити під деяким кутом відносно напрямку подачі D_s . Якщо кут $\mu < 90^\circ$, то такий напрямок обертання називають прямим, якщо $\mu > 90^\circ$ - зворотнім. При $\mu = 90^\circ$ самообертання робочої частини різця не буде, тому необхідне примусове обертання різця.

Кут установки μ і пов'язаний з ним кут нахилу головної різальної кромки λ_0 не тільки забезпечує самообертання робочої частини, але в сукупності з вихідними значеннями переднього кута γ_0 і заднього кута α_0 визначають фактичні кути γ_f і α_f в різних точках активної ділянки різальної кромки.

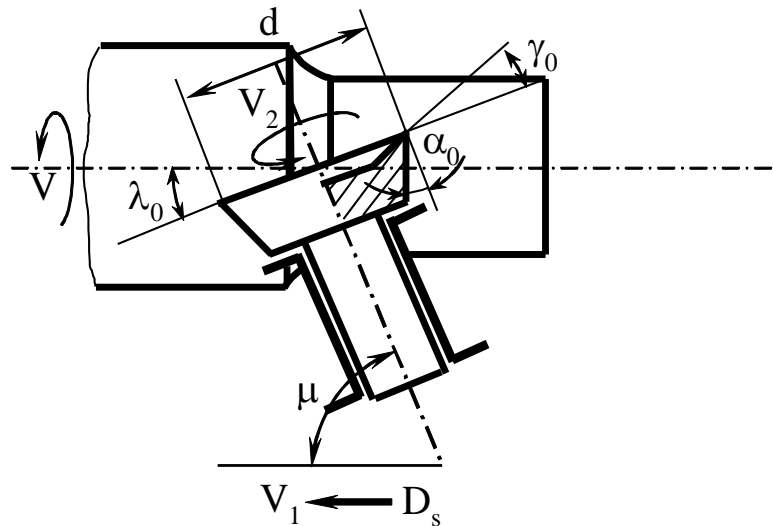


Рисунок 2.2 – Схема ротаційного оброблення круглим обертовим різцем

Ротаційне переміщення робочої частини інструменту суттєво впливає на теплофізичний стан в зоні різання. Зміни, які вносяться в інтенсивність теплових потоків і температурне поле в зоні оброблення при переході від інструменту, в якому робоча частина не обертається, до ротаційного, є результатом дії декількох факторів. Насамперед, в зв'язку з обертанням робочої частини, кожна із ділянок її контактної поверхні піддається тепловій дії не безперервно, а періодично, з чергуванням нагрівання та охолодження. Періодизація процесу призводить до зниження температури на поверхнях інструменту.

З іншого боку, при ротаційних методах оброблення умови тертя на контактних поверхнях відрізняються від умов тертя при роботі інструментами з нерухомими робочими частинами: тертя ковзання між поверхнями інструменту

та оброблюваним матеріалом може частково замінюватись тертям кочення, що зменшує інтенсивність тепловиділення. При ротаційному обробленні лезовим інструментом зменшується робота деформації, а отже, і теплота деформування, змінюється форма та розміри контактних поверхонь, довжина активної частини кромки і, в зв'язку з цим, зменшується інтенсивність тепловиділення та розподіл теплоти між інструментом і оброблюваною заготовкою. Доля теплоти при ротаційному обробленні може перевищувати в декілька разів відносну кількість теплоти, що переходить в різець з нерухомою робочою частиною. По мірі збільшення часу безперервної роботи ротаційного інструменту в ньому накопичується теплота і температура збільшується. Щоб запобігти значного зростання температури в зоні різання, бажано охолоджувати робочу частину потоком рідини або повітря.

Ротаційне переміщення робочої частини інструмента забезпечує таке зменшення температури контактних поверхонь, якого неможливо досягти штучним шляхом. Регулювання термічного режиму оброблення за рахунок ротаційних методів оброблення створюють умови для підвищення стійкості інструменту в десятки разів, суттєвого підвищення продуктивності праці та якості виробів.

2.3 Особливості тонкого (фінішного) точіння

При тонкому точінні, коли оброблення виконується з дуже малими глибинами і подачами, шорсткість обробленої поверхні спочатку різко зменшується із збільшенням радіусу округлення від 0,1 до 0,3 мм, а при подальшому збільшенні r практично не змінюється. В зв'язку з цим при тонкому точінні не використовуються різці з великими радіусами закруглення вершини.

В меншій мірі впливають на параметри шорсткості обробленої поверхні задній кут α і передній кут γ . Передній кут, який, як відомо, вимірюється в головній січній площині, не характеризує фактичний передній кут біля вершини різця, яка формує оброблену поверхню. Звичайно вершина різця

закруглена, тому площина, яка нормальна до цієї кривої, в різних точках змінює своє направлення і, відповідно, змінюється направлення деформування стружки, що відбивається і на шорсткості обробленої поверхні. До того ж в відповідних точках кути в плані зменшуються по мірі наближення до вершини різця. Таким чином передній кут буде змінюватись згідно до формули

$$\operatorname{tg} \gamma = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_y + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_x,$$

де γ_y, γ_x – передній та задній кути, відповідно, в поздовжньому і поперечному напрямках відносно державки.

В крайньому випадку, коли біля самої вершини $\varphi = 0$, маємо $\gamma = \gamma_y$.

Згідно даним А.М.Вульфа, шорсткість обробленої поверхні зменшується при обробленні різцями із значенням кута $\gamma_y = 0^\circ - (-15^\circ)$ при точінні сталі 0ХН4М і $\gamma_y = 0^\circ$ – при обробленні чавунів (НВ 170-20). При обробленні сталі кут $\gamma = 0^\circ - 5^\circ$ виявився оптимальним з точки зору поверхневого зміцнення виготовленої деталі; він забезпечив більшу втомленісну міцність.

При тонкому точінні сталі із зменшенням заднього кута α параметри шорсткості обробленої поверхні декілька поліпшуються. Тому рекомендується вздовж різальної кромки заточувати вузьку фаску під невеликим кутом α . В цьому випадку зменшується шорсткість самої різальної кромки, що сприяє зменшенню параметрів шорсткості. Того ж самого можна досягти, збільшуючи радіус закруглення різальної кромки ρ . Поверхня з малими параметрами шорсткості утворюється при вторинній пластичній деформації внаслідок її контактування з закругленою різальною кромкою, величина радіусу закруглення якої змінює об'єм і положення застійної зони спереду різця.

При фінішному точінні часто використовують різці з широкою різальною кромкою, яка розташовується паралельно твірній оброблюваної деталі, тобто під кутом $\varphi = 0$. При цьому видаляється дуже тонкий шар, який вимірюється сотими долями міліметра, але з великими подачами, величина яких досягає 10-2 мм/об. Але незважаючи на високу продуктивність, широкі різці знаходять обмежене використання. Це обумовлено великими значеннями складової сили

різання P , що потребує великої жорсткості системи ВПД. Крім того, необхідна дуже точне встановлення різальної кромки, яка повинна бути паралельна твірній виробу. Цього можливо запобігти, якщо розташувати різальну кромку під деяким кутом відносно лінії центрів в вертикальній площині.

Важливим є також те, що в умовах тонкого точіння глибина різання t практично не впливає на шорсткість при обробленні з різними подачами.

На параметри шорсткості сильно впливає стан різальної кромки і матеріал, із якого виготовлена різальна частина різця. Так, при однакових умовах оброблення різець з робочою частиною з мінералокераміки має більш рівну різальну кромку порівняно з твердосплавним із сплаву T15K6. При цьому після затуплення лезо мінералокерамічного різця залишається більш якісним і забезпечує менші параметри шорсткості обробленої поверхні, хоча радіус закруглення цього різця ρ значно більший. Це обумовлене однорідністю структури мінералокераміки, її більшою твердістю і меншою хімічною спорідненістю із оброблюваним матеріалом, що сприяє зменшенню коефіцієнту тертя. Але при обробленні деяких кольорових металів, наприклад, алюмінієвих сплавів, бронз, які споріднені з мінералокерамікою, може бути зворотна закономірність – твердосплавні різці забезпечують кращі параметри шорсткості обробленої поверхні.

Для покращення якості обробленої поверхні рекомендується використовувати алмазні різці, які мають велику зносостійкість, твердість і найменший коефіцієнт тертя. Їх використання особливо корисне там, де оброблюються в масовій кількості з високою точністю виробу із матеріалів, які мають велику абразивну здатність (фібри, резини, ізоляційних матеріалів), а також бронзи, латуні, алюмінію і легких сплавів. Внаслідок крихкості алмазу та його схильності до дифузійного зношування не рекомендується оброблювати ним тверді сталі та чавун.

Використовуються наступні типи алмазних і ельборових різців:

- з однією різальною кромкою;
- з круглою різальною кромкою;

- з декількома різальними кромками.

Звичайно алмазними різцями працюють з глибинами різання $t = 0,1 - 0,25$ мм і подачами $s = 0,03 - 0,08$ мм.

Ельборові різці також використовуються для тонкого точіння та розточування, але ельборовими різцями на відміну від алмазних можна оброблювати загартовані сталі та сплави.

2.4 Фізичні та технологічні особливості комбінованих методів оброблення із використанням додаткових джерел енергії

2.4.1 Лезове оброблення з попереднім пластичним деформуванням

При механічному обробленні пластичних матеріалів відділенню матеріалу зрізаного шару від основної маси заготовки передують дуже інтенсивне його пластичне деформування. Тому процес різання таких матеріалів розглядається як процес локального пластичного деформування, що доводиться до руйнування. Отже, в цьому випадку основна частка роботи різання витрачається на пластичне деформування металу, який видаляється.

Основою способу оброблення з попереднім пластичним деформуванням є зменшення роботи, яка витрачається на пластичну деформацію.

Розглянемо спосіб оброблення точінням з попереднім пластичним деформуванням матеріалу зрізаного шару по поверхні різання (рис. 2.3).

Сутність способу полягає в суміщенні двох операцій: попереднього пластичного деформування та різання. Пластичне деформування, яке призводить до зміцнення поверхневого шару на поверхні різання, виконується в процесі оброблення на глибину a_{def} за допомогою додаткового пристрою, внаслідок чого різальною кромкою видаляється матеріал товщиною a , який здобув попередньо певну пластичну деформацію. Таким чином, до моменту початку дії різальної кромки на матеріал зрізаного шару, частка роботи, яка витрачається на пластичне деформування в процесі стружкоутворення при звичайному різанні, вже попередньо виконана додатковим пристроєм в вигляді

ролика для накатування, що притискається з силою P до поверхні різання. Як наслідок, різальною кромкою виконується не вся робота, а тільки її частина. Це забезпечує зменшення сили різання, температури, а також підвищення стійкості та продуктивності оброблення.

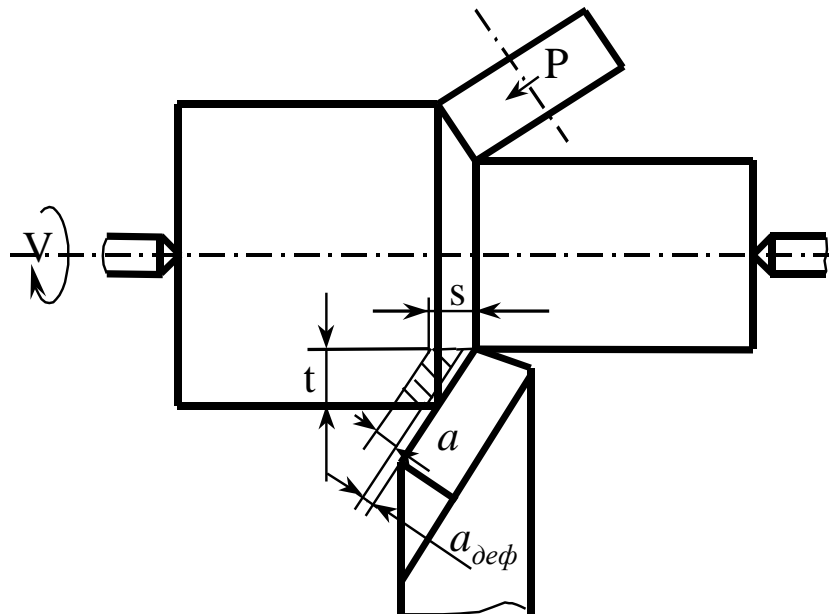


Рисунок 2.3 – Схема точіння з попереднім пластичним деформуванням

Використання при точінні з попереднім пластичним деформуванням роликів з двома фасками, одна із яких виконує попередню пластичну деформацію поверхні різання а друга – пластичну деформацію обробленої поверхні, дозволяє не тільки підвищити продуктивність точіння, але й покращити експлуатаційні характеристики деталей, які виготовляються. Останнє обумовлене збільшенням твердості та міцності поверхневих шарів внаслідок наклепу та стискуючих залишкових внутрішніх напружень, які при цьому утворюються.

2.4.2 Додатковий підігрів зони оброблення

Одним із сучасних способів підвищення ефективності технологічних процесів при виготовленні деталей із важкооброблюваних матеріалів, головним чином при різанні лезовими інструментами, є підігрівання зони оброблення за допомогою електричної або теплової енергії. Найбільше розповсюдження здобув електроконтактний спосіб та підігрівання оброблюваного матеріалу за допомогою струменю плазми. Обидва методи дозволяють забезпечити на контактних поверхнях температури, які є оптимальними для даного оброблюваного та інструментального матеріалів.

При електроконтактному підігріванні (рис. 2.4) за допомогою джерела технологічного струму (ДТС) в доповнення до джерел теплоти деформації, тертя по передній та задній поверхнях інструменту, які виникають природно, додаються джерела, які являють собою тепловиділення, що пов'язане з проходженням електричного струму через площадки контакту, відповідно, на передній та задній поверхнях інструменту.

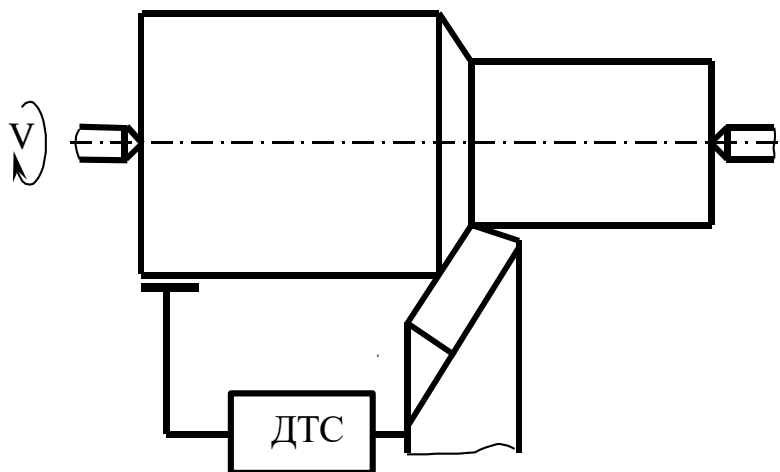


Рисунок 2.4 – Схема точіння з підігріванням зони оброблення електроконтактним способом

Теплота двоєко впливає на температуру в зоні різання. Безпосередній вплив полягає в підвищенні температури заготовки, інструменту та стружки нагріванням теплотою, яка визначається за законом Джоуля-Ленца. Побічний вплив полягає в зміні міцності при контактних шарів оброблюваного матеріалу, зміні коефіцієнтів тертя, а разом з ними і інтенсивностей теплоутворюючих джерел, які обумовлені перетворенням робіт – деформування, тертя по передній поверхні, тертя по задній поверхні – в теплоту. Основний ефект від введення струму в зону різання полягає в зміні температури передньої поверхні різця. Джоулева теплота впливає головним чином на температуру прирізцевих шарів стружки і деталі, не оказуючи дії на область, в якій проходить основне деформування оброблюваного матеріалу. З цієї причини при електроконтактному нагріванні зменшення сили різання в порівнянні з силою різання при обробленні без струму, як правило, невелике.

Максимальна температура на передній поверхні при введенні в зону різання додаткової енергії збільшується (рис. 2.5). Вона стає тим більшою, чим більшої сили струм підводиться в ланцюг “заготовка-інструмент”. Разом з цим точка з максимумом температури нагрівання при збільшенні сили струму віддаляється від різальної кромки. В зв'язку з цим місце лунки зношування із збільшенням сили струму також віддаляється від кромки, що є однією із причин підвищення стійкості інструменту при точінні з електроконтактним підігріванням.

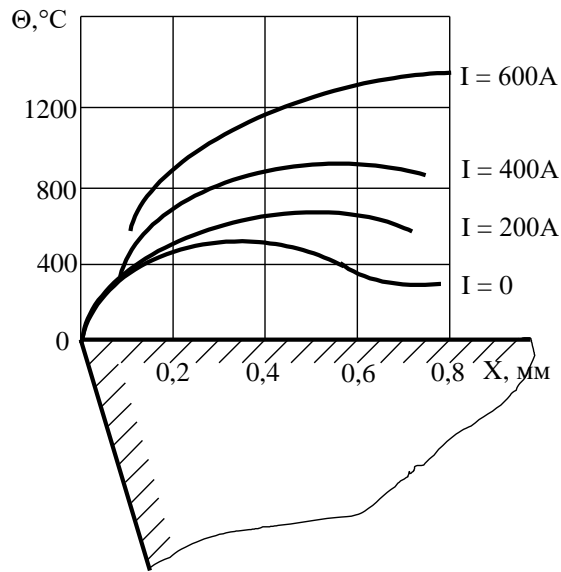


Рисунок 2.5 – Вплив величини струму на температуру передньої поверхні різця

Розглянемо оброблення з підігріванням плазмою (рис. 2.6).

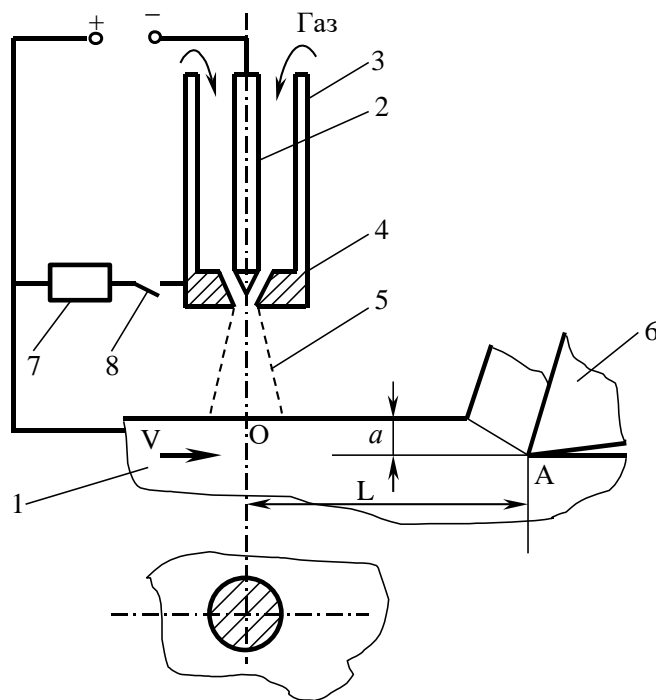


Рисунок 2.6 – Схема оброблення з підігріванням плазмою

Заготовка 1 є катодом, а електрод 2, який розташований в корпусі плазмотрона 3 з форсункою 4, анодом. В установку подається газ, наприклад, аргон, який під дією електричної дуги, що виникає між електродом і заготовкою, сильно іонізується, утворюючи плазму. Струмінь плазми 5, який являє собою висококонцентроване джерело теплоти, нагріває поверхневий шар заготовки, який потім підводиться в зону різання до інструменту 6. Форсунка 4 через резистор 7 і автоматичний вимикач 8 включена в ланцюг струму, що дозволяє створювати додаткову дугу. Остання необхідна для підтримання процесу в випадку згасання або виключення основної дуги між заготовкою і електродом. Спрямовуючи струмінь плазми на оброблювану поверхню або поверхню різання та розташовуючи пляму нагрівання на різній відстані від кромки інструменту L , можна регулювати температуру, з якою оброблюваний матеріал потрапляє в зону різання.

Порівнюючи електроконтактний спосіб та спосіб підігрівання плазмою звернемо увагу на деякі розбіжності між ними.

Ці способи відрізняються наступним. В першому випадку підвищується температура прирізцевих шарів металу, а на область, яка межує з площиною зсуву, це нагрівання практично не впливає. При нагріванні плазмою шар, що видаляється, прогрівається на всю товщину до того, як він поступить в зону стружкоутворення. Тому нагрівання плазмою сильніше впливає на зміну механічних властивостей оброблюваного матеріалу, сили різання та процес утворення стружки, чим електроконтактний спосіб нагрівання.

2.4.3 Оброблення різанням з вібраціями

В розділі “Динаміка процесу різання” були розглянуті причини виникнення коливань, відзначений їх негативний вплив на показники оброблення та способи боротьби з вібраціями.

Разом з цим існує і інший напрямок, пов’язаний з використанням позитивних дій вібрацій на процес оброблення.

Процес вібраційного різання полягає в тому, що на звичайну кінематичну схему оброблення на даній операції накладається додатковий вібраційний рух інструменту або заготовки. Загальними фізичними особливостями різання з вібраціями є:

- короткочасне періодичне збільшення швидкості різання;
- перемінне циклічне навантаження на матеріал, що пластично деформується, яке обумовлене перемінними швидкостями та кутами різання;
- зменшення сил тертя на поверхнях контактування інструменту зі стружкою та оброблюваною заготовкою;
- підвищення ефективності використання МОР;

Ці особливості різання призводять до поліпшення умов роботи різального інструменту внаслідок зменшення сили різання та температур, які діють на них, періодичного відпочинку різальної кромки інструменту, обумовленого короткочасним зменшенням або повним зняттям навантаження на лезо інструмента; відсутністю на лезі уступів або лунок для подрібнення стружки, заточування яких призводить до виникнення додаткових внутрішніх напружень і мікротріщин, що послаблюють різальну кромку.

Вплив цих позитивних факторів при оптимальних умовах оброблення може превалювати над негативними факторами вібрацій, які полягають в перемінних значеннях навантаження на різальну кромку інструменту, погіршенні параметрів шорсткості обробленої поверхні, в зменшенні довговічності окремих вузлів і верстата в цілому.

Використання вібрацій при різанні може змінювати : *характер процесу різання*, перетворюючи його із безперервного в переривчастий, який супроводжується періодичним виходом леза інструменту із оброблюваного матеріалу; *фізичну картину перетворення окремих елементів зрізаного шару в стружку* при тому ж характері оброблення (безперервному чи переривчастому), тобто впливати на процес утворення стружки. Ці зміни можуть відноситись або безпосередньо основних фізичних процесів (утворення

стружки, пластичне деформування, руйнування оброблюваного матеріалу, тертя на контактних поверхнях), або тільки механіки деформування окремих елементів стружки. Інколи наявність вібрацій не змінює процесу утворення стружки відносно звичайного різання, а призводить до того, що формування окремих елементів стружки по її довжині проходить при декілька відмінних швидкостях і робочих кутах різання. В цьому випадку істотних змін ні в характері процесу різання, ні в механіці формування окремих елементів стружки, тобто в цілому в процесі різання, не відбувається.

Різання з вібраціями різко збільшує ефективність дії МОР, особливо коли накладення вібрацій змінює характер різання з безперервного в переривчастий. Це пояснюється насамперед надійним періодичним обмиванням леза інструменту, яке відбувається під час виходу інструмента із оброблюваного матеріалу.

Основними технологічними умовами раціонального використання вібраційного різання є:

- правильний вибір напрямку вібрацій
- визначення параметрів вібрацій, які забезпечать найбільшу ефективність процесу для даних умов оброблення.

Класифікація типових кінематичних схем зображена на рис. 2.7, з якого видно, що на звичайну схему механічного оброблення можливо накласти осьові вібрації по осі $O - x$; радіальні по осі $O - y$ та тангенціальні по осі $O - z$, а також в напрямку, який не співпадає ні з однією з цих осей, наприклад, в напрямку вектора швидкості різання при звичайному різанні.

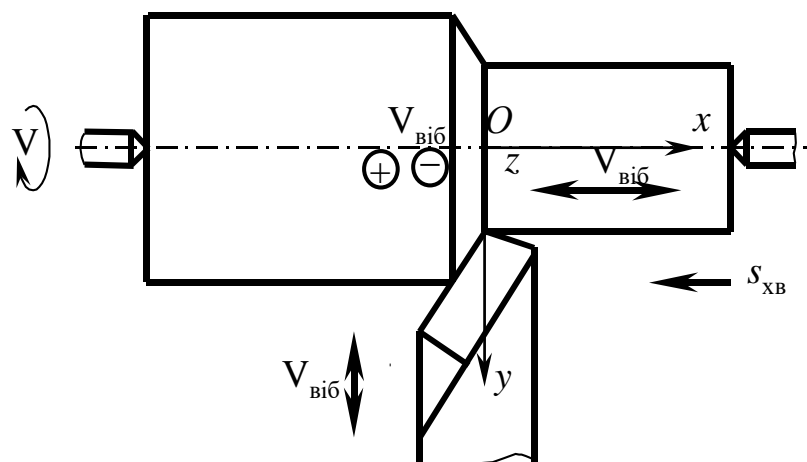


Рисунок 2.7 – Можливі варіанти накладення вібрацій при точінні

При різанні з радіальними коливаннями різко погіршуються параметри шорсткості обробленої поверхні, а також спостерігається підвищене зношування і викришування твердосплавних кромek. Тому ця кінематична схема рекомендується при використанні вібрацій ультразвукових частот.

Різання з осьовими коливаннями використовується для подрібнення стружки. Воно забезпечує задовільні параметри обробленої поверхні, зберігаючи точність оброблення і стійкість інструменту такими ж, як і при звичайнім різанні з цими ж умовами. Основними особливостями вібраційного різання з осьовими коливаннями є велика зміна товщини зрізу за один цикл коливань інструменту, а також суттєва зміна робочих кутів різання. Зміна швидкості різання при обробленні за цією схемою дуже мала, але результуючий вектор швидкості різання та подачі змінює свій напрямок з частотою, яка дорівнює частоті коливань.

Вібраційне різання з тангенціальними коливаннями використовують для суттєвого збільшення продуктивності оброблення і стійкості інструменту при різанні важкооброблюваних матеріалів.

Вібраційне різання ефективно використовується на операціях точіння, свердління, фрезерування і таке інше.

3 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.

3.1 Аналіз умов обробки великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування.

Щорічно на підприємствах важкого машинобудування виготовляються унікальні деталі для вітряних енергетичних установок, для атомної металургії, для енергетичного машинобудування. У структурі виробництва підприємств важкого машинобудування все більше зростає частка деталей - тіл обертання для сучасних машин. Дані деталі представлені на рисунках.

Енергетичне машинобудування:



Рисунок 3.1 - «Обечайка» **Вага:** 62300 кг

Стали використовувані у виробництві: * За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.2 - «Гідровал» **Вага:** 17800 кг



Рисунок 3.3 - «Корпус колектора»
Вага: 19800 кг **Марка сталі:** 10ГН2МФА-А



Рисунок 3.4 - Фотографія деталі «Ротор» **Вага:** 26100 кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів

після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.5 - «Хвостовик» Вага: 12200кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.6 - «Ротор генератора» Вага: 43125кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів

після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.7 - «Ротор турбіни» **Вага: 3225кг**

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%;

* За змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.8 - «Вал ротора» **Вага: 5800 кг**

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.9 - «Диск» Вага: 5300кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.

Металургія:



Рисунок 2.10 - «Корпус штампа верхній» Вага: 58500 кг



Рисунок 3.11 - «Валок опорний» Вага: 68000кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.12 - «Лопата» Вага: 6210кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.13 - «Баллер керма» **Вага: 37105 кг**

Марка сталі: St.52.3 Mod



Рисунок 3.14 - «Проміжний вал»

Вага: 37000кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.15 - «Гребний вал» **Вага:** 61000кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.16 - «Шатун» **Вага:** 20000кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.

Загальне машинобудування:



Рисунок 3.17 - «Циліндр» Вага: 7087кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення:

- кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.18 - «Рухома траверса» Вага: 11960кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.19 - «Вал ексцентрик» Вага: 81000кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.20 - «Вал» Вага: 5800кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.21 - «Маточина» **Вага:** 13470кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%;

* За змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.22 - Фотографія деталі «Гільза» **Вага:** 11614кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.



Рисунок 3.23 - Фотографія деталі «Проставка» Вага: 12800кг

Стали використовувані у виробництві

* За змістом шкідливих домішок, у сталях не легованих даними елементами: - сірка [S] - не більше 0,005%; - фосфор [P] - не більше 0,010%; * за змістом газів після вакуумної оброблення: - кисень [O] - 30 ppm; - водень [H] - не більше 1,5 ppm; - азот [N] - не більше 70 ppm.

Використання нових верстатів виробництва ПрАТ КЗВВ дозволяє щорічно збільшувати випуск прокатних валків, що поставляються металургійним підприємствам України і на експорт в багато країн світу (75% випуску) [12]. Характеристики оброблюваних деталей на верстатах виробництва ПрАТ КЗВВ наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Номенклатура оброблюваних валків на ПрАТ «НКМЗ».

Габаритні розміри валків Øбочкі / Lбочкі / Lдеталі	Маса оброблюваних валків, т	матеріал оброблюваних валків	Твердість бочки і шийок	Точність оброблених валків	Шорсткість поверхонь
1600x2700x6700 1500x2500x6300 1400x2000x5500 1200x1200x5000 1100x1500x4800	від 12-60т	СТ50, 60ХН, 50ХН, 60Х2СМФ, 75ХМФ, 75Х2МФ, 60Х2С2МФ, 90ХФ,	Бочки та шийок до 320НВ Бочки від 60 до 85 НВ Шийок	Биття бочки та шийок від 0,05 до 0,005 мм	від Ra3,2 до Ra0,4

		80ХЗМФ, 80Х5МФ,	від 30 до 55НВ		
1000x2500x5700 900x2000x4800 600x1800x4600 500x1700x4300 450x1500x3700	від 1,8 - 12т	70ХЗГНМ Ф	Бочки та шийок до 320НВ Бочки від 60 до 100 НВ Шийок від 30 до 55НВ	Биття бочки та шийок від 0,02 до 0,005 мм	

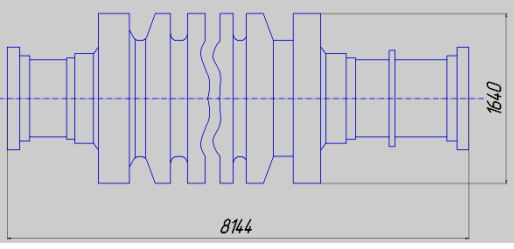
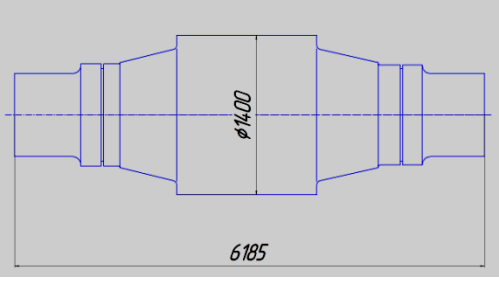
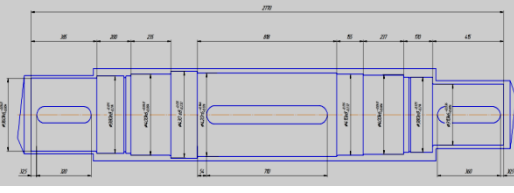
Таблиця 3.2

Номенклатура оброблюваних роторних валів на верстатах з найбільшим діаметром оброблюваних деталей 2000 мм (над станиною)

№	Матеріал	Твердість	Вага	Габаритні розміри		Заготівка	Шорсткість
				L мм	D мм		
1	Сталь 34CrNiMo6	238-295 НВ	7763	2250	1510	Поковка	12,5
2	Сталь 42CrMo4V	590 МПа	13330	2553	1880	Поковка	12,5
3	Сталь 42CrMo4V	590 МПа	11710	2533	1860	Поковка	6,3

Нові технології і обладнання ЕМСС, дозволяє виготовляти широкий спектр продукції для різних сфер виробництва. За результатами аналізу технології оброблення великогабаритних типових деталей побудовано таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Таблиця типових деталей, що виготовляються на ПАТ «ЕМСС»

Найменування деталей	маса, кг	матеріал	твердість	шорсткість
 ротор	97000	30Cr2Ni4MoV	219-300 НВ	12,5 мкм
 валок	35100	90ХФ	260НВ	25мкм
 Вал	2552	сталь 45	180 НВ	2.5мкм

Для оброблення тіл обертання використовують різці з вставними пластинами: ромб 19,25, квадрат 38, чашка Ø 20 і Ø 25, таких відомих фірм, як SECO, Sandvik Coromant і ін. З покриттями і без. Для чорнової і напівчистового оброблення використовуються ромб 19,25, квадрат 38, а для чистової оброблення використовуються всі пластини, але чашка Ø 20 і Ø 25 дозволяє отримати більш низьку шорсткість Ra0,8. Режими різання, які використовуються при обробці цими пластинами показані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3– Дані для токарного оброблення типових деталей різними типами пластин.

Найменування Різців і пластин	шорсткість	Чорнове, напівчистове			чистове			
		t, хв	S, мм / об	V, м / хв	шорсткість	t, хв	S, мм / об	V, м / хв
Ромб19 ромб 25	кірка	-	0.7	118	Ra12,5	10	0,51	130
	Ra25	15-17	0.75	102	Ra6,3	1-4	0,37	143
					Ra3,2	0,5-1	0,29	161
квадрат 38	кірка	15-20	1,8	60	Ra6,3	1-4	0,63- 0,83	85
	Ra25	15-17	1,24	69	Ra3,2	0,5-1	0,48	105
чашка Ø20					Ra12,5	5	1,9	92
					Ra6,3	1-3	1,47	92
					Ra3,2	1	1,1	96
					Ra1,6	0,5-1	0,8	125
					Ra0,8	0,5	0,57	141
чашка Ø25					Ra12,5	5	2,12	92
					Ra6,3	1-3	1,64	92
					Ra3,2	1	1,22	92
					Ra1,6	0,5-1	0,89	108
					Ra0,8	0,5	0,63	141

Режими різання наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Режими різання.

Наймен ування деталі	Діаметр, мм	вид точіння	t, мм	S, мм / об	V, мм / хв	n, мин ⁻¹	Pz, Н	Py, Н	Px, Н	Ne, кВт т
ротор	492.6	чорнове	10	0.6	23.5	15	13244.2	5728. 6	7720.9	5.1
		чистове	0.5	1.3	28.1	18	1151.3	582.5	529	0.5

	1640	чорнове	10	1.2	18.5	4	23099.6	9338.5	12031.7	7
		чистове	0.5	1.5	26.8	5	1291.4	644.4	579.8	0.6
валок	500	чорнове	10	1.1	19	12	21541.6	8782.8	11380	6.7
		чистове	0.4	1.3	29.1	19	916.4	471.8	417.6	0.4
	1400	чорнове	10	1.4	17.5	4	26141.4	10410.5	13279.2	7.5
		чистове	0.3	1.8	27.1	6	886.7	452.2	379.1	0.4
Вал	310	чорнове	10	0.8	21.3	22	16683.6	7016.7	9281.7	5.8
		чистове	0.5	1.1	29.8	31	1006.9	517.8	475.4	0.5
	430	чорнове	10	0.8	21.3	22	16683.6	7016.7	9281.7	5.8
		чистове	0.5	1.3	28.1	21	1151.3	582.5	529	0.5

3.2 Металорізальне обладнання на підприємствах важкого машинобудування

Основна група устаткування машинобудівних підприємств Україна - це токарні верстати.

Вирішуючи завдання докорінної перебудови промисловості на базі модернізації машинобудування (в першу чергу важкого), яка передбачає новий технологічний уклад і обладнання, Україна може стати конкурентоспроможною на світовому ринку, виробляючи сучасні верстати для переоснащення машинобудівних підприємств України, яке в даний час здійснюється за рахунок закупівлі різних верстатів за кордоном.

Найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності оброблення великогабаритних деталей є проектування нового металорізального верстату з ЧПК, спеціалізованого на груповому обробленні заготовок, а також оперативного вибору раціонального обладнання з типу верстатів, що існує.

Важкі токарні верстати щорічно виготовляються фірмами КЗТС, HERKULES, SKODA, TORNİ TACCHİ, до них пред'являються великі вимоги по точності і продуктивності. Основні технічні дані цих верстатів приведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Основні технічні дані верстатів токарної групи з ЧПК

Найменування параметрів	HERKULES Німеччина	SKODA Чехія	TORNİ TACCHİ Італія	1Д655Ф3
найбільший діаметр встановлюваного виробу	1200	1000	2100	800
Над супортом, мм Над станиною, мм		1340	3500	1000
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм.	6500	6000	6000	6000
Межі частот обертання шпинделя, об / хв по замовленню	1-300	1-700	1.5-250	1-160
Потужність глав. приводу, кВт	85	100	40	100
Маса виробу, кг	25000	25000	12000	16000

Особливості конструкції:

- повна механізація допоміжних переміщень;
- механічні або гідравлічні підсилювачі затиску кулачків;
- плоскі різцетримачі жорсткої конструкції;
- телескопічна захист напрямних;

- діагностика спрацьовування електро і гідроапаратури;
- верстати можуть бути поставлені з накладними фрезерно-свердлильним пристосуванням.

Коротка характеристика верстатів:

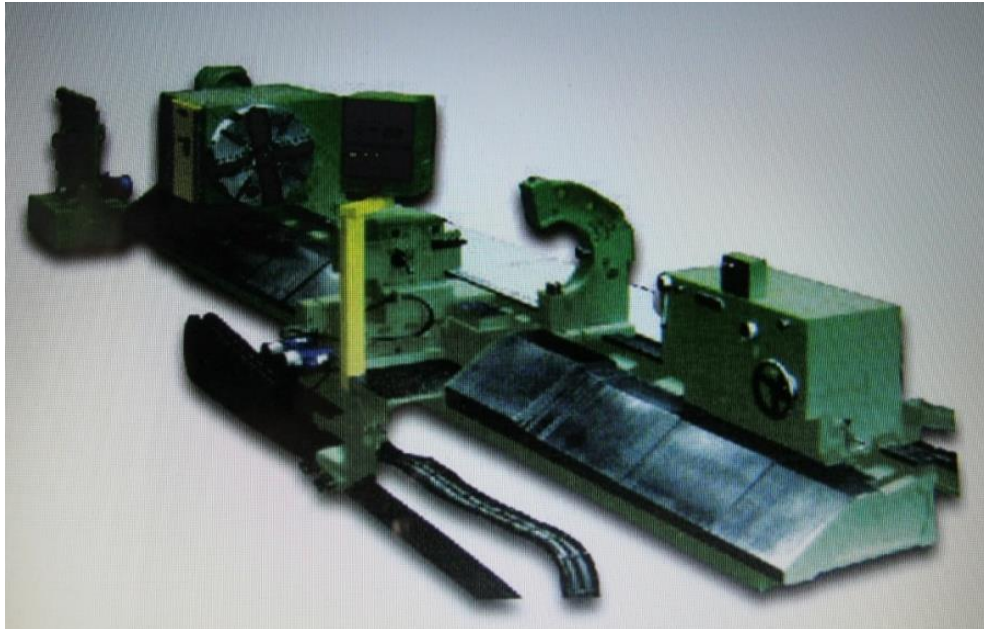


Рисунок 3.24 – Загальний вид верстату мод. 1Д655Ф3

Верстат токарний моделі 1Д655Ф3 призначений виконувати токарної обробки деталей типу тіл обертання (вали, диски і т.п.) з різних точніше конічних і сферичних поверхонь, галтелів і нарізка різьби. З використанням додаткових знімних пристосувань (за погодженням із замовником) на стані можна виконувати розточування отворів, розташованих по осі обертання деталі. За бажанням замовника верстат оснащується супортом з одним плоским різцетримачем або чотирьохпозиційної головкою з вертикальною віссю обертання. Верстат токарний (універсальний) призначений для обробки в програмному режимі деталей типу тіл обертання зі складною конфігурацією, можна проводити обробку складних прямолінійних і криволінійних поверхонь з керуючою програмою, нарізування різьблення, спіралей,



Рисунок 3.25 – Загальний вид верстату «Геркулес»

«Вальцетокарні верстат» Геркулес »здатний робити не тільки точну токарної обробки, але і шліфування, і фрезерування в двох площинах. Крім вантажопідйомності, унікальним цей німецький токарно-фрезерний верстат робить наявність шліфувального пристосування, дозволяє обробляти деталі обертання масою до 300 тонн. Верстат оснащений сучасною системою ЧПК з можливостями вимірювання інструменту і обміру деталі.



Рисунок 3.26 – Загальний вид верстату SKODA

SKODA призначений для ефективного і точного виготовлення деталей.



Рисунок 3.27 – Загальний вид верстату TORNİ TACCHİ

Верстат токарно - гвинторізний: довжина обробки 6000 мм діаметр планшайби 700 мм отвори шпинделя 120 мм, швидкість обертання діапазоні 7,5 - 560 оборотів в хвилину.

Відомим світовим виробником важких токарних верстатів є ПрАТ КЗТС, саме їм була створена гамма верстатів типу 1К660Ф3, 1К665Ф3, 1К670Ф3, 1К675Ф3. Загальний вид технічні характеристики цих верстатів представлені нижче на рисунках 3.28 – 3,31 і в таблицях 3.6 – 3.9.



Рисунок 3.28 – Загальний вид верстату моделі 1К660Ф3

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики верстата мод.1К660Ф3

Характеристика	Найменування
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над станиною, мм	1250
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над супортом, мм	1000
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	10000
серія	1990
ЧПК	CNC-h646
Габарити	12800x3300x2400
маса	50000



Рисунок 3.29– Загальний вид верстату моделі 1К665Ф3

Токарний верстат моделі 1К665 призначений для обробки деталей типу тіл обертання. Верстат оснащений контурної системою ЧПК, що дозволяє

проводити обробку криволінійних контурів, нарізування різьблення, спіралей з високою точністю в автоматичному режимі за програмою.

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики верстата мод. 1K665Ф3

Найменування характеристики	значення
Граничні розміри оброблюваної зовнішньої поверхні, мм:	
найбільший діаметр:	
над супортом	1200
над станиною	1600
найбільша довжина виробу, мм	8000
Найбільша маса встановлюваної заготовки в центрах	40000
Кількість плоских різцетримачів, шт	2
Найбільші переміщення робочих органів супорта, мм:	
санчат (вісь X)	630
каретки (ось Z)	8320
Найбільше переміщення задньої бабки, мм	8000
Найбільше переміщення пінолі задньої бабки, мм	225
Розмір (ширина) плоских різцетримачів, мм	
лівого	70
правого	35
Дискретність завдання переміщень (осей X і Z), мкм	1
Кількість управл. осей координат осей X і Z1	2
Межі частот обертання шпинделя, об / хв	1,25-250
Межі робочих подач супорта по осях X і Z, мм / хв	0,5 - 2500
Межа швидкостей швидких (настановних) переміщень супорта по осях X і Z, не більше, мм / хв	4000
Швидкість переміщення задньої бабки, мм / хв	2650
Швидкість прискореного переміщення пінолі задньої бабки, які не більше, мм / хв	380

Швидкість установчого переміщення плоских різцетримачів, не більше, мм / хв.	640
Швидкість переміщення пінолі задньої бабки при силовому дожимі центром, не більше, мм / хв	4
Швидкість переміщення люнетів закритих, не більше, мм / хв.	2900
Габаритні розміри верстата (разом з транспортером для стружки без окремо розташованого електрообладнання), мм:	
довжина	15885
ширина	6270
висота	2300
Маса верстата (разом з окремо розташованими агрегатами гідро та електрообладнання), кг	63200



Рисунок 3.30 – Загальний вид верстату моделі 1K670Ф3

Верстат важкий токарний моделі 1K670Ф3 призначений для чистової й чорнової токарної обробки за програмою виробів зі сталі, чавуну та інших матеріалів. На ньому проводиться обробка найскладніших поверхонь

(циліндричних, конічних, криволінійних), нарізування будь-яких видів різьблення, розточування отворів на глибину до 1000 мм, торцева обробка з постійною швидкістю різання. Конструкція - з відпрацьованою ергономікою. Оснащений сучасним супортом з двома Ламельні бічними резцедержателями.

Таблиця 3.8 - Технічні характеристики верстата мод. 1К670Ф3

Найменування характеристики	значення
Габарити верстата, мм	
довжина	21 110
ширина	2 860
висота	6 020
Міжцентрову відстань, мм	10 000
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над станиною, мм	2 000
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над супортом, мм	1 400
Швидкість обертання шпинделя, хв-1	1 - 160
Тип системи ЧПК (за погодженням із замовником)	Sinumerik 840D
Кількість одночасно керованих координат	2
Макс. вага оброблюваної заготовки (з установкою в центрах), кг	63 000

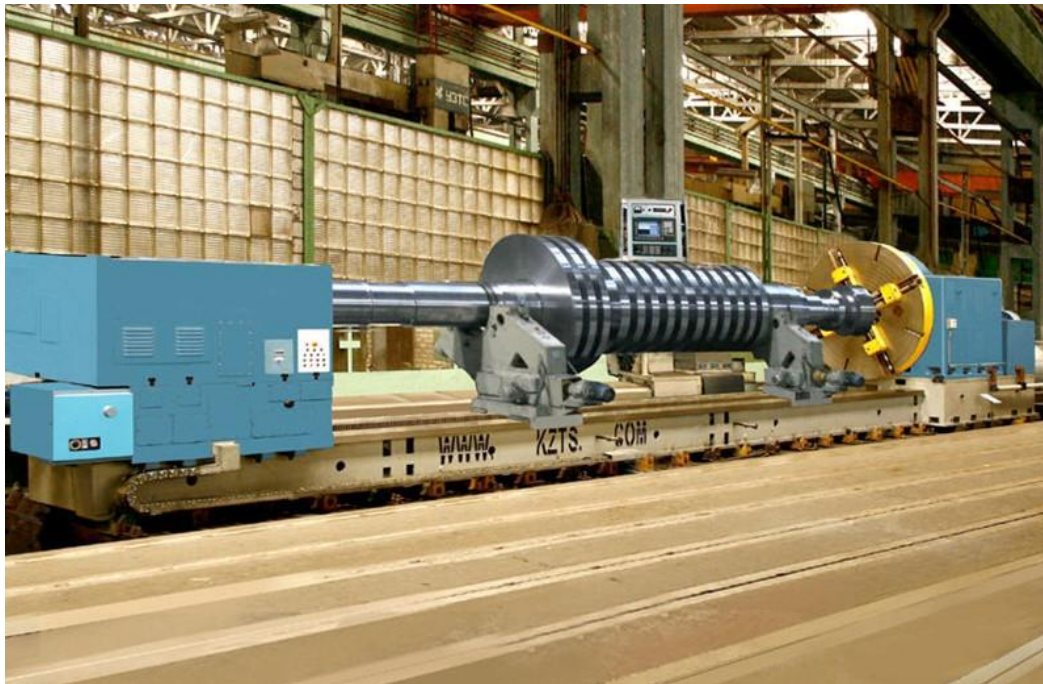


Рисунок 3.31 – Загальний вид верстату моделі 1K675Ф3.

Верстат важкий токарний моделі 1K675Ф3 призначений для чистової й чорнової токарної обробки за програмою виробів зі сталі, чавуну та інших матеріалів. Проводиться обробка найскладніших поверхонь (циліндричних, конічних, криволінійних), нарізування будь-яких видів різьблення, розточування отворів на глибину до 1000 мм, торцева обробка з постійною швидкістю різання. Конструкція - з відпрацьованою ергономікою. Оснащений сучасним супортом з двома ламельними бічними різцетримачами.

Таблиця 3.9 - Технічні характеристики верстата мод. 1K675Ф3

Найменування характеристики	значення
Габарити верстата, мм	
довжина	23 110
ширина	3 160
висота	6 020
Міжцентрову відстань, мм	12 500
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над	2 550

станиною, мм	
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над супортом, мм	1 850
Швидкість обертання шпинделя, хв-1	1 - 160
Тип системи ЧПК (за погодженням із замовником)	Sinumerik 840D
Кількість одночасно керованих координат	2
Макс. вага оброблюваної заготовки (з установкою в центрах), кг	100 000

Розроблено базу знань про роботу важкого металорізального обладнання. Використано існуючий банк даних про роботу важких верстатів, який доповнено новими прецедентами. База знань забезпечує швидкий доступ до кожного елемента інформації. Для цього в ній відображені логічні зв'язки між даними, на підставі яких при вирішенні задач виконується вибір потрібних елементів без обробки решти інформації. Проаналізовано умови оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування з охопленням близько 100 заводів і 439 одиниць верстатів. Структура інформаційної бази знань оброблення на важких верстатах показана на рис. 2. Розподіл деталей бази знань за призначенням показано на рис. 3.33.

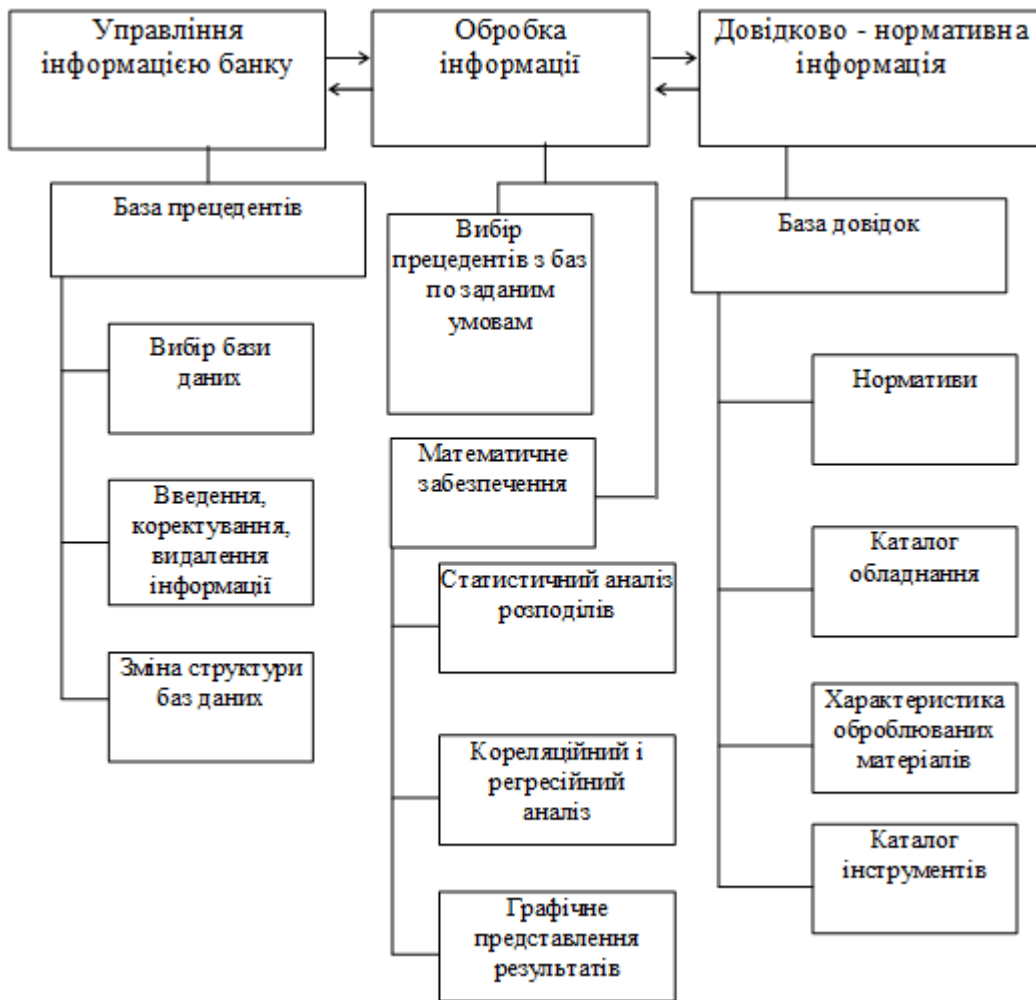


Рисунок 3.32 – Структура інформаційної бази знань оброблення на важких верстатах



Рисунок 3.33 – Розподіл деталей бази знань за призначенням

3.3 Аналіз методів визначення раціональних конструктивних параметрів важкого металорізального обладнання

В даний час спостерігається стрімке зростання всіх галузей промисловості. Сучасні тенденції розвитку машинобудування в сукупності з використанням автоматизованих верстатних систем пред'являють вимоги до підвищення продуктивності, точності розмірів і якості оброблюваних поверхонь деталей машин.

Споживачі відчують труднощі з вибором раціонального металорізального обладнання для своїх виробничих умов, а виробники металорізального обладнання не мають чіткої картини про вимоги споживачів до характеристик верстатів.

Недостатність інформації на етапі проектування верстатного обладнання та науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на вирішення проблеми збалансованості характеристик верстатів і потреб підприємств призводить до не економічного витрачання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Дослідження технологічних параметрів і технологічних можливостей для важких верстатів мають першорядне значення. Ці верстати мають високу вартість і експлуатуються по 25-30 років. Тому нові верстати повинні не тільки відповідати рівню сучасного виробництва, а й враховувати перспективу розвитку виробництва. При складанні технічного завдання на нову гаму верстатів необхідно вивчити фактичне використання діючих верстатів на різних заводах і проаналізувати вимоги до технологічних можливостей і технічним параметрам, які пропонуються до важких верстатів.

Встановлено, що найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності оброблення великогабаритних деталей є проектування нового металорізального верстату з ЧПК, спеціалізованого на груповому обробленні заготовок, а також оперативного вибору раціонального обладнання з типажу верстатів, що існує.

Роль компонування в приреченні якості майбутнього верстата дуже суттєва. Вона впливає на такі показники якості як точність, стабільність

точності, вага, габарити, вартість, зручність обслуговування і ремонту, зручність вбудовування в автоматичні лінії та ін.

Всі роботи за критеріями вибору обладнання можна умовно розділити на три основні групи:

- 1) вибір групи обладнання з великого їх числа за основними параметрами: тип, потужність, розміри робочого простору, клас точності і ін.;
- 2) вибір моделей верстатів на підставі техніко-економічних результатів;
- 3) вибір обладнання на підставі характеристик підлягають обробці заготовок деталей.

У роботах пропонуються автоматизовані системи, що дозволяють користувачеві вибрати майже з 5000 найменувань верстатів найбільш раціональний варіант по ключових параметрах: тип, ступінь автоматизації, гнучкість переналагодження, потужність, вартість і ін. Дана інформація представлена у вигляді електронних таблиць (Рис.).

Очевидно, що перша група методів носить суб'єктивний характер і орієнтована на високопрофесійного користувача.

Друга група методів передбачає виконання техніко-економічних розрахунків при виборі існуючого або проектування нового обладнання.

Наприклад, порівнюються два основні варіанти реалізації технологічних процесів в серійному виробництві:

- обробка на універсальному обладнанні з ручним керуванням;
- обробка на багатоопераційним верстаті з ЧПК.

Для порівняння варіантів розраховуються наведені витрати $Z_{пр}$ на виготовлення однієї деталі:

$$Z_{пр} = \Sigma A * T_{шт} + C_{пр}/n,$$

де A - вартість верстато-години, грн/год;

$T_{шт}$ - штучно-калькуляційний час обробки деталі на верстаті, год

$C_{пр}$ - вартість настановних пристосувань, грн;

n - кількість оброблюваних деталей в рік, шт.

Потім визначається кількість деталей n , при якому ефективно застосування верстата з ЧПК:

$$n \leq \frac{\Sigma A * T_{пз} - (C_0 + C_{ni}) + (C_{пр} + C_{пом})}{A_M * T_{шт} - \Sigma A * T_{шт}}$$

де $T_{пз}$ - підготовчо-заключний час., год.

C_0 - одноразові витрати для підготовки до обробки заготовок на верстаті з ЧПК;

C_{ni} - повторювані для кожної партії витрати на верстат з ЧПК;

$C_{пр}$ - вартість інсталяційного пристосування на верстаті з ЧПК;

A_M - вартість станко-години верстата з ЧПК.

Представлений метод чисто економічної оцінки ефективності застосування верстата з ЧПК в порівнянні з універсальними верстатами з ручним керуванням абсолютно не розглядає технологічну насиченість верстата з ЧПК. Звідси вартість станкочасів, а отже, і собівартість обробки верстата з ЧПК можуть бути суттєво завищені і, тим самим, зміщена область ефективного використання верстата з ЧПК. Оцінка рівня технологічної насиченості повинна передувати економічними розрахунками. Крім того, одночасно можна порівнювати тільки два варіанти обладнання при досить повній розробці технологічних процесів за обома варіантами, що призводить до істотного збільшення трудомісткості і термінів технологічної підготовки виробництва.

З метою створення найбільш ефективних гнучких автоматизованих ліній для умов великосерійного виробництва розроблена класифікація структурних схем верстатного обладнання за ступенем концентрації операцій.

Варіанти схем поділені на три класи: К1 - однопозиційні верстати, які реалізують в основному послідовну схему обробки; К2 - багатопозиційні верстати і автоматичні лінії з жорстким зв'язком між верстатами; К3 - автоматичні верстатні системи з багатопозиційних верстатів або ліній з накопичувачами деталей. Синтез ефективних гнучких автоматизованих ліній включає розробку групового технологічного маршруту обробки деталей; генерування безлічі варіантів структурно-компонувальних схем, що

розрізняються за ступенем концентрації операцій; оцінку ефективності варіантів і вибір оптимальної схеми гнучких автоматизованих ліній.

Вихідною інформацією для вирішення цих завдань є креслення деталей і технологічні маршрути їх обробки. Груповий технологічний маршрут складається з елементарних технологічних переходів, необхідних для обробки всіх деталей групи. Безліч варіантів структурно-компонувальних схем гнучких автоматизованих ліній генерується по груповому технологічному маршрутом на основі класифікації структурних схем агрегатного обладнання за ступенем концентрації операцій. В результаті можна отримати до сотні варіантів структурних схем.

Метод спрямованого пошуку дозволяє різко скоротити число варіантів побудови гнучких автоматизованих ліній, які необхідно аналізувати при пошуку оптимального рішення. Разом з тим метод досить складний, прийнятний тільки для великосерійного виробництва, відсутня методика класифікації деталей, оцінка технологічної насиченості обладнання проводиться тільки на рівні схеми обробки заготовки. Крім того, для порівняльних розрахунків за варіантами необхідна розробка технологічних процесів і розрахунки трудомісткості обробки.

Третя група методів, як правило, не вимагає при порівнянні варіантів розробки технологічних процесів, а ґрунтується на оцінці характеристик деталей, наприклад показника «складності деталі».

Цікавий метод оцінки взаємозв'язку між складністю деталі, технологічними можливостями верстатів з ЧПК і їх вартістю. Він заснований на використанні класифікаційних рядів. Технологічні можливості ряду токарних верстатів в основному ранжовані по інструментальному оснащенню, збільшення якого призводить до підвищення вартості верстатів (рис 3.34). Найдорожча модель верстата з ЧПК, якою закінчується класифікаційний ряд, має магазин інструментів, що дає великі можливості для обробки складних деталей. Потім здійснюється класифікація деталей за ознаками технологічних

можливостей верстатів, тобто деталі фактично ранжуються за складністю їх обробки (рис ...).

Даний метод забезпечує вибір верстатів з ранжированного за вартістю ряду від найдешевших з переходом до більш дорогих тільки при наявності підвищених значень технологічних характеристик оброблюваних заготовок. Однак, оцінки технологічної насиченості верстатів з ЧПК тільки за кількістю вживаного інструменту явно недостатньо, відсутня система класифікації деталей, що на практиці суттєво ускладнює формування ряду деталей.

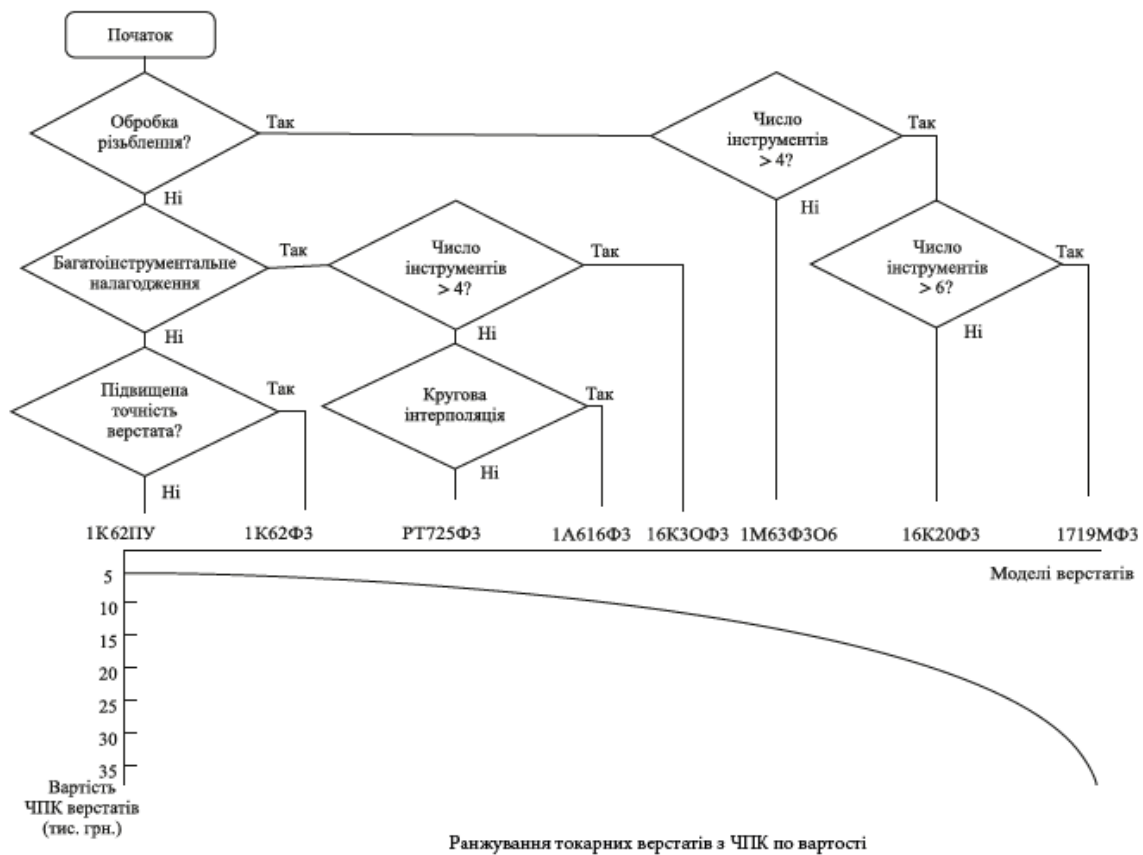


Рисунок 3.34 – Ранжування токарних верстатів з ЧПК по вартості

Крім того, сам ряд деталей видається необґрунтованим, так як, наприклад, відсутні деталі з конічними, криволінійними, комбінованими поверхнями, що на практиці не буває і зовсім та не розглядається технологія обробки кожної деталі ряду.

Кожна деталь оцінюється складністю $S_{\text{ств}}$ залежності від ряду конструктивних і технологічних характеристик.

Отримано регресійні рівняння між трудомісткістю обробки на верстаті з ЧПК $T_{шт}$ і складністю деталі $C_{ст}$:

$$T_{шт} = 9 + 126 * C_{ст},$$

На думку авторів, лінія регресії служить межею області ефективного обладнання з ЧПК, або ручним керуванням (рис. 3.35).

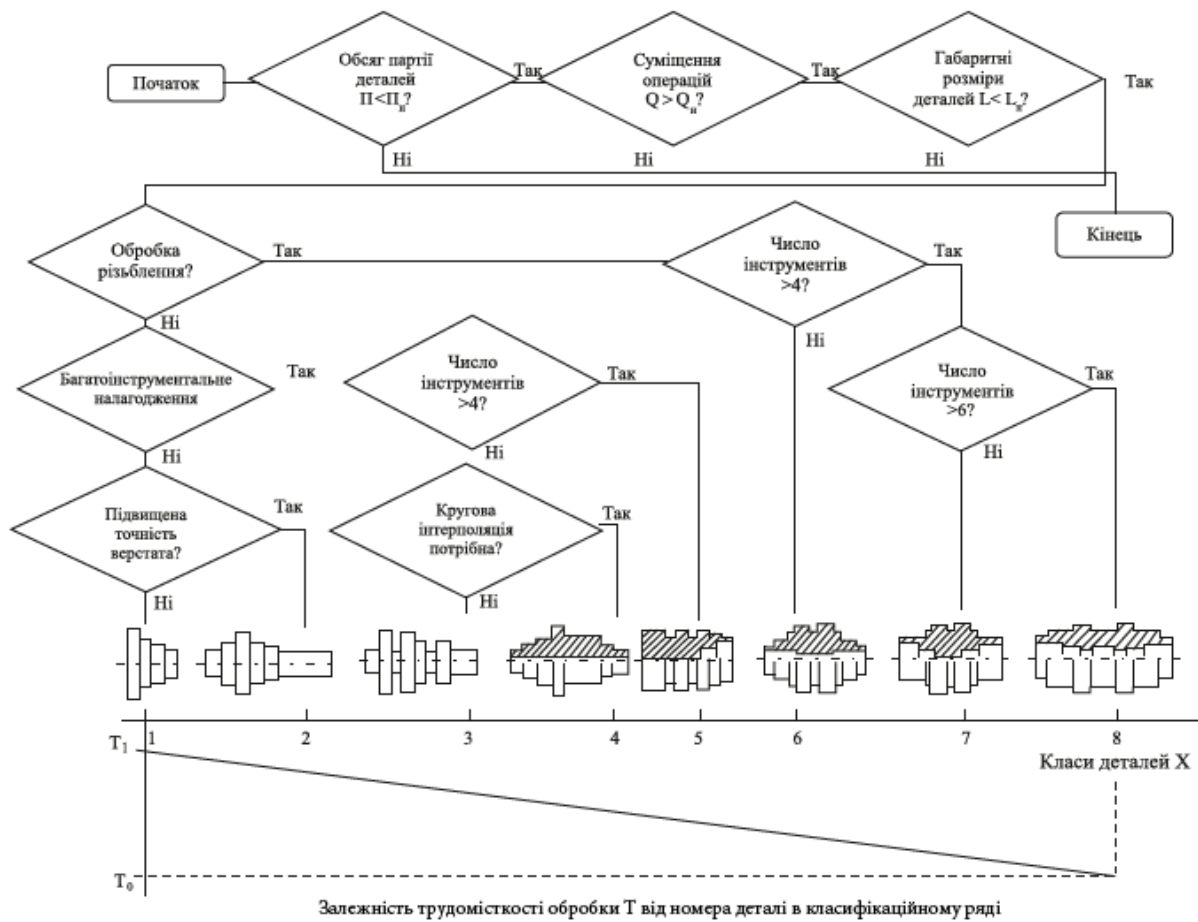


Рисунок 3.35 – Залежність трудомісткості обробки T від номера деталі в класифікаційному ряді

Однак, неясно як при певній складності $C_{ст}$: вибрати найбільш ефективний варіант обладнання, так як параметр $C_{ст}$: не пов'язаний з параметрами верстатів. Крім того, вибір верстата технологом під конкретну деталь не дає гарантії, що верстат в цілому буде ефективно експлуатуватися на виробництві. Визначення

конструктивної складності C_k : за кількістю поверхонь деталі є досить трудомістким.

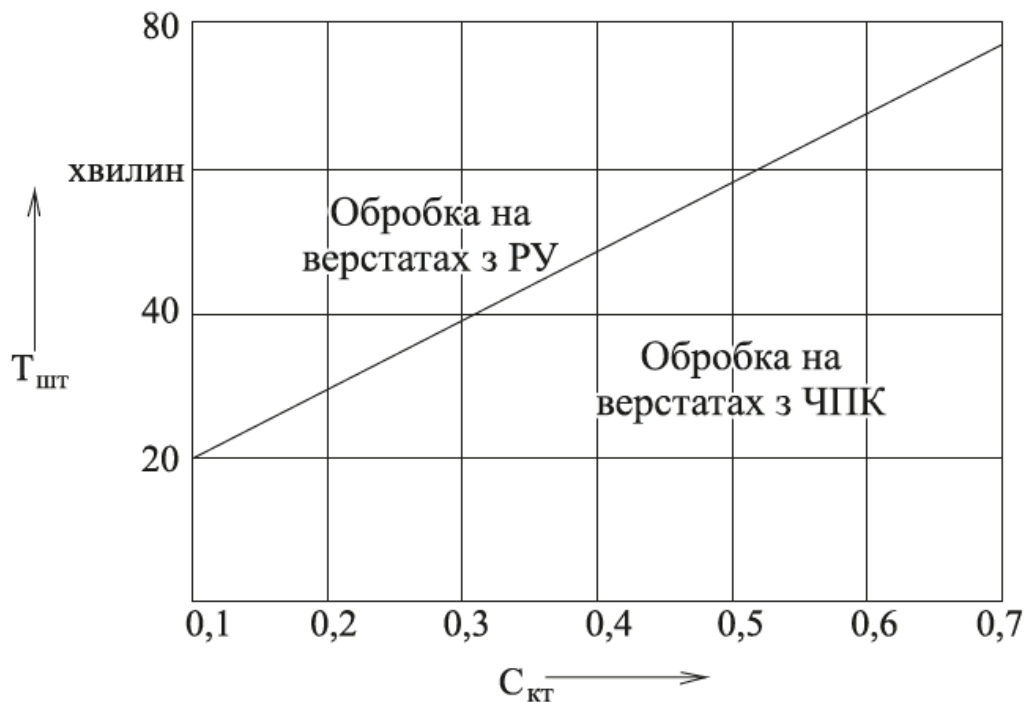


Рисунок 3.36 – Залежність трудомісткості обробки $T_{шт}$ в залежності від складності деталі $C_{кт}$

Найбільш узагальнюючим представляється підхід до створення нового обладнання, запропонований професором Базровим Б.М. в рамках модульної технології виготовлення деталей. Як об'єкт класифікації деталей прийнято поєднання поверхонь - модуль поверхонь. Потім на основі аналізу модуля поверхонь розробляються модульні технологічні процеси, які представляють собою послідовність операцій обробки тих чи інших модулів поверхонь. На наступному етапі формулюються вимоги до створення перспективного типу металорізального обладнання для реалізації модульної технології. До недоліків даного методу слід віднести досить складну систему класифікації деталей, що вимагає високу кваліфікацію технологів для визначення видів модулів поверхонь; область застосування методу переважно багатосерійне виробництво. Крім того, в роботі немає системного підходу до формування технологічної

насиченості перспективного обладнання та методик вибору існуючого обладнання з ЧПК.

Логічним видається функціонально-структурний підхід до побудови перспективних токарних багатоцільових верстатів. Виявляються найбільш поширені групи деталей і розробляються комплексні деталі-представники. На основі дослідження характеристик комплексних деталей сформовані функціональні моделі токарних багатоцільових верстатів, де в якості основних функцій прийняті формоутворюючі координатні переміщення виконавчих органів верстата, а допоміжні функції визначають переміщення виконавчих органів верстата відносно один одного і заготовки для реалізації формоутворюючих координат. Визначення функцій обладнання дозволяє визначити раціональну технологічну насиченість верстатів для виготовлення певних груп деталей.

Великий обсяг розробок виконано по груповій технології виготовлення деталей, що дозволила підвищити спеціалізацію серійного виробництва. В рамках групової технології запропоновані різні методи класифікації і групування деталей для формування предметно-спеціалізованих виробничих дільниць. При цьому пропонується модернізувати існуючий типаж металорізального обладнання з метою підвищення його спеціалізації і, відповідно продуктивності обробки. Разом з тим, у відомих роботах не виявлено взаємозв'язок між характеристиками деталей і параметрами устаткування і не сформовані вимоги до створення нового металорізального обладнання (в тому числі з програмним керуванням), спеціалізованого на виготовленні певних груп деталей.

Розроблено і перевірений метод аналізу використання верстатів у часі на підставі даних про їх стан в кожен момент часу. Цей метод дозволяє у багато разів зменшити витрати часу на визначення середніх даних про використання обладнання. Проведене статистичне обстеження використання універсального оснащення та аналіз оброблюваних деталей, що вимагають його застосування, показують, що єдині рішення з цього приводу не можуть бути знайдені.

Встановлено, що внаслідок великого різноманіття різних чинників, які впливають на доцільність застосування універсального оснащення на важких токарних верстатах, переважна більшість оснащення повинно поставлятися тільки по спеціальному замовленню.

У новій гамі важких токарних верстатів повинні бути знов розроблені такі обов'язкові види додаткового оснащення, що розширюють технологічні можливості верстатів, підвищують культуру виробництва:

а) стаціонарне пристосування для фрезерування пазів шпон, свердління, розточування і нарізання поперечних отворів з віссю обертання інструменту перпендикулярно до лінії центрів верстата;

б) стаціонарне пристосування для обробки пазів, свердління і нарізання фланцевих отворів з віссю обертання інструменту паралельно лінії центрів верстата;

в) знімне шліфувальне пристосування для шліфування внутрішніх поверхонь;

г) пристосування для звичайного і глибокого свердління й розточування центральних отворів;

д) місцеві підйомні засоби;

е) гідравлічні пристрої для закріплення деталі, інструменту, пінолі задньої бабки, люнетів;

ж) пристрої для активного контролю діаметральні розмірів великогабаритних деталей;

з) комплекс агрегатів для дроблення і транспортування стружки від верстата;

і) пристосування для обточування галтелів R30 мм.

4 МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНІ СЕРЕДОВИЩА. ОБРОЛЮВАНІСТЬ РІЗАННЯМ

4.1 Мастильно-охолоджувані середовища

4.1.1 Фізико-хімічні дії мастильно-охолоджувальних середовищ

Використання при обробленні різанням мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ (МОТС) –мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) і газів, твердих мастил – збільшує стійкість різального інструменту, зменшує сили різання, поліпшує якість обробленої поверхні, підвищує втомлюванісну міцність виробу. Вплив технологічного середовища на функціонування системи різання проявляється як результат протікання фізико-хімічних явищ, серед яких головну роль грає зміна коефіцієнту тертя на контактних поверхнях інструмента, а також полегшення деформації оброблюваного матеріалу і руйнування його під дією поверхнево-активних речовин, які входять в склад використовуваного середовища.

Ефективність використання мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ залежить від ступеню їх реактивності з оброблюваним матеріалом, методу підводу і кількості МОТС.

Дії МОТС:

- *охолоджувальна дія* – охолодження зони різання, інструменту і оброблюваної деталі;
- *мастильна дія* – зменшення коефіцієнтів зовнішнього і внутрішнього тертя; запобігання стиранню інструмента і зменшення шорсткості обробленої поверхні;
- *хімічна дія* – збільшення крихкості оброблюваного матеріалу або зміцнення зони різання; зменшення сил тертя, сил різання і шорсткості обробленої поверхні;

- *адсорбційна дія* – поліпшення властивостей мастильної плівки на контактних поверхнях інструмента і стружки, полегшення пластичної деформації в зоні різання;
- *миюча дія* – видалення стружки і різних часток – елементів руйнування – з поверхонь інструменту і зони різання.

4.1.2 Методи подачі технологічних середовищ в зону різання

Ефективність використання МОР в значній мірі залежить від способу її підводу в зону різання.

При різанні знайшли найбільше розповсюдження наступні способи підводу МОР:

- *поливом струменем рідини* (витрата рідини для емульсії 12-15 л/хв, мінеральних масел 304 л/хв, швидкість струменя 60-80 м/хв);
- *подача МОР зі сторони задньої поверхні* через насадку з отвором в 2-3 мм під низьким тиском 0,5-2 атмосфери;
- *подача на передню поверхню* під стружку під тиском 0,3-0,5 атмосфери;
- *високонапірна подача рідини* під тиском 15-20 атмосфер зверху на стружку, що сходить, і з боку задньої поверхні;
- *комбінований метод* – одночасна високонапірна подача на передню поверхню під стружку і з боку задньої поверхні;
- *струменево-напірний спосіб подачі за зоною оброблення*. Використовується при шліфуванні нержавіючих сталей для поліпшення якості обробленої поверхні. подача виконується через багатоканальні сопла діаметром 0,3-0,6 мм, які розташовані на відстані 15-20 мм від робочої поверхні круга, тиск 30 атмосфер, кут установки 120° , кут нахилу 90° ;
- *подача розпиленої рідини* з боку задньої поверхні;
- *подача вуглекислоти*. Оброблення виконується при охолодженні заготовки до мінус 160° .

4.1.3 Групи сучасних технологічних середовищ та області їх раціонального використання

МОТС поділяють на чотири групи.

Перша група – гази, які можуть не тільки віднімати тепло при зниженні тиску, але і хімічно впливають на зону різання (CO₂, CCl₄).

Друга група – рідини, які мають велику охолоджувальну здатність: вода, водні розчини електролітів, емульсії. Широко використовуються емульсії „масло-вода”. Для стійкості цих емульсій, якщо вони мають значну кількість масла, в їх склад вводиться емульгатор в вигляді мила. Емульсія являє собою двофазну дисперсну систему, яка складається із двох рідин, одна із яких розподілена в середовищі іншої в вигляді малих крапель, які приймають під впливом поверхневого натягування сферичну форму. Для стійкості такої системи необхідно, щоб рідини не змішувались одна з однією. Стабілізуюча дія емульгатора полягає в утворенні на поверхні крапель адсорбційної плівки з достатньо високою механічною міцністю. Ця плівка запобігає злипанню крапель.

Третя група – мінеральні олії, гас, а також рослинні і тваринні масла та їх суміші. Ці рідини мають велику спорідненість з металами і добре їх змочують, отже вони ефективно зменшують коефіцієнт тертя. Тут дуже ефективні добавки поверхнево-активних речовин, наприклад, жирних кислот, металевих мил і інших органічних речовин, які містять сірку, фосфор, хлор і таке інше.

Мінеральні масла гірше охолоджують оброблювану поверхню порівняно з водою, але ліпше її змочують завдяки меншому поверхневому натягуванню. Добре діють масла, в які добавлена сірка: сульфофрезол В – веретенне масло плюс 1,5-2,5 % сірки; сульфофрезол Р – солярове масло плюс 0,9-1,5 % сірки.

Рослинні масла мають більшу порівняно з мінеральними маслянистість і здатність змочувати. Це пояснюється наявністю в рослинній олії поверхнево-активних речовин, молекули яких містять групи, що мають велику спорідненість з речовиною із граничних фаз. Подібні молекули утворюють міцну адсорбційну плівку на поверхні металу, яка полегшує тертя.

Адсорбція – це дифузійний процес поглинання газу, рідини або розчиненої речовини поверхнею твердого тіла. В молекул, які розташовані на поверхні твердого тіла, молекулярні сили не врівноважені з боку газоподібного або рідинного середовища, внаслідок чого проходить притягання молекул адсорбованої речовини. Відрізняють фізичну і хімічні адсорбцію (хемосорбцію). Фізична адсорбція проходить внаслідок дії сил Ван-дер-Ваальса і не супроводжується хімічною взаємодією. При цьому зв'язок менш міцний. Цей процес зворотній (десорбція) в протиріч абсорбції, коли має місце дифузія речовини, що поглинається, в глибину речовини, що поглинає, з утворенням розчину.

Рослинні олії, які використовуються при різанні:

- свиріпна олія, яку виготовляють із зерен свиріпи;
- льняна олія;
- касторова олія (внаслідок високої в'язкості використовується в суміші з іншими оліями).

Четверта група – тверді мастила – графіт та мастила, до складу яких входять компоненти з мастильною дією: окис бору, гексагональний нітрид бору, дисульфід молібдену, йодистий кадмій, фторопласт, поверхнево-активні метали – олово, цинк. Тверді мастила вводять в зону оброблення шляхом просочування інструмента, введенням твердого мастила в рецептуру інструмента, нанесенням мастила на робочі поверхні інструмента. Широко використовуються при шліфуванні.

4.1.4 Принципи вибору технологічних середовищ

Підґрунтям вибору МОТС є особливості того чи іншого виду оброблення різанням. Для кожної марки оброблюваного матеріалу та типу операції найбільшу ефективність забезпечує певна група МОТС, згідно сукупності її позитивних якостей.

Так, на *чорнових операціях* більш важливі охолоджувальні дії рідини, які сприяють підвищенню як стійкості інструменту, так і швидкості різання; при

чистових операціях – мастильні властивості, які суттєво покращують параметри шорсткості обробленої поверхні і лише частково підвищують стійкість інструменту.

Підбір складу МОТС для зменшення інтенсивності тертя при різанні має свої специфічні особливості. Поперед все антифрикційні властивості МОП не мають великого значення в процесах тертя, які відбуваються при різанні металів. Значно більшу роль відіграють їх екрануючі дії, тобто здатність шару мастила утримуватись на контактних поверхнях під час дії високих тисків та температур. З цієї точки зору МОП на масложировій основі більш ефективні порівняно з МОП на мінеральній основі. Дуже ефективними при обробленні нержавіючих та жароміцних сталей є галогеновміщуючі спеціальні середовища (наприклад CCl_4), але вони токсичні. Крім того, склад МОП повинен дуже швидко реагувати на нові ювенільні поверхні, які утворюються в зоні різання. При підборі МОП необхідно враховувати сильну зміну її властивостей під дією високих температур. Для придання МОП цих властивостей, а також зменшення негативної їх дії на верстат і обслуговуючий персонал в її склад вводять велику кількість легуючих присадок.

Найбільша ефективність використання технологічних середовищ спостерігається при обробленні різанням в'язких, сильно зміцнених матеріалів; найменша – при різанні малопластичних матеріалів, схильних до крихкого руйнування.

Інтенсивність дії МОП визначається також співвідношенням швидкості різання і швидкості поверхневої міграції атомів технологічного середовища; величина останньої залежить від температури. Тому при обробленні з низькими швидкостями, коли в зоні різання температури невисокі, а зона попереджуючих деформацій велика, ефективність дії МОП вища, чим при різанні на більших швидкостях.

При виконанні низки операцій використання МОП може бути шкідливим. Це обумовлене перш за все розтріскуванням пластинок твердого сплаву внаслідок інтенсивного їх охолодження під час виходу із зони різання. Такі

умови мають місце при малому машинному часі і частій зміні заготовок при швидкісному точінні, при різанні з періодичною роботою різальних кромок. У всіх цих випадках охолодження використовувати не рекомендується.

При обробленні чавунів, пластмас і інших малопластичних матеріалів охолодження, як правило, не використовують із-за низької ефективності та забруднення робочого місця.

4.2 Оброблюваність різанням конструкційних матеріалів

4.2.1 Поняття оброблюваності матеріалу різанням, як технологічної характеристики матеріалу. Основні показники оброблюваності

Оброблюваність різанням є технологічною характеристикою матеріалу, яка визначається комплексом його фізико-механічних властивостей. При механічному обробленні *оброблюваність характеризують наступними критеріями: інтенсивністю зносу інструмента; швидкістю різання, що допускається; величинами сили різання і температури, що виникають, а також якістю поверхні, яка утворилася після оброблення.* Ці кількісні значення оброблюваності залежать від виду матеріалу, хімічного складу, способу одержання заготовки, режимів її термооброблення, які визначають структуру і механічні властивості оброблюваного матеріалу.

Оброблюваність даного матеріалу визначається застосовуваним способом різання; так, той самий матеріал може погано оброблятися одним методом різання і добре іншим. Отже, оброблюваність даного матеріалу різанням не є його константою; вона залежить від комплексу первинних параметрів, що визначають протікання фізичного механізму процесу різання, і вторинних параметрів оброблення.

Оброблюваність матеріалу залежить також від виду операції і прийнятого критерію затуплення інструмента. Так, наприклад, оброблюваність лезовим інструментом може різко відрізнятися від оброблюваності абразивним; багато матеріалів добре ріжуться на чорнових операціях і погано на чистових.

Утруднене стружковидалення на операціях оброблення отворів може впливати на оброблюваність різанням даного матеріалу. Відповідно до цього змінюються і критерії оброблюваності. Так, наприклад, для чорнових операцій критерієм оброблюваності є інтенсивність зносу інструмента, для фінішних – шорсткість поверхні або експлуатаційні характеристики поверхневого шару; для операцій глибокого свердління і багатьох операцій, виконуваних на автоматизованому устаткуванні, – вид стружки, що утворюється, який обумовлює зручність її видалення з зони різання.

Отже, *оброблюваність різанням є комплексним показником, що враховує як фізичну картину протікання даного процесу різання, так і технологічні особливості виконуваної операції.* Тому кількісне вираження оброблюваності даного матеріалу різанням для визначеного методу оброблення оцінюється показниками системи “верстат – інструмент – деталь”, які визначають умови роботи інструмента, верстата та експлуатаційні характеристики деталі, які одержані в результаті оброблення. Так, стосовно умов роботи інструменту, оброблюваність матеріалу за критеріями – інтенсивність зносу і міцність інструменту – характеризується кількістю оброблених деталей або обсягом матеріалу, що зрізається за період стійкості інструмента, визначеними в процесі випробовувань при стандартних умовах. Стосовно умов роботи верстата, оброблюваність матеріалу оцінюється при стандартних умовах критеріями, які виражаються величинами діючих на нього сил і необхідною на виконання процесу різання потужністю, а також вібростійкістю верстата і простотою його обслуговування. Сюди відноситься насамперед критерій, який характеризує тип стружки, що утвориться при обробленні даного матеріалу різанням, можливість її подрібнення і надійного видалення з зони різання. Оброблюваність матеріалу різанням стосовно деталі характеризується її експлуатаційними характеристиками і насамперед такими показниками, як точність оброблення і якість поверхні. З викладеного ясно, що оброблюваність одного й того ж самого матеріалу за кожним з цих критеріїв може бути досить різною.

4.2.2 Фізико-механічні і теплофізичні характеристики конструкційних матеріалів, які визначають їх оброблюваність різанням

На оброблюваність різанням конструкційних матеріалів впливають їх хімічний склад, термічне оброблення і характер структури. Так, при зменшенні складу вуглецю в конструкційній вуглецевій сталі допустима швидкість різання збільшується, а при введенні легуючих елементів (Cr, Mn та інших) зменшується; для сталі 40X найбільша допустима швидкість різання буде після відпалу з температурою 900°C, для сталі 40 – при нормалізації з температурою 900-950°C, а для швидкорізальних сталей зменшується при ізотермічному відпалі (нагрівання при температурі 870°C терміном 4 години, швидке охолодження до температури 740°C протягом двох годин).

Найліпша оброблюваність має місце при зернистому перліті, коли цементит має вигляд малих шароподібних зерен, рівномірно розташованих в фериті, а із структур найбільшу швидкість оброблення дозволяє ферит, потім по мірі зменшення швидкості, перлит (точковий, зернистий, пластинчатий, сорбітоподібний), сорбіт і троостит.

Із практики відомо, що дрібнозернисті сталі оброблюються краще порівняно з крупнозернистими.

Поліпшення оброблюваності різанням конструкційних матеріалів, у ряді випадків, досягають зміною хімічного складу. Широко відомі, наприклад, автоматні сталі. За кордоном автоматні сталі поділяються на декілька груп. Сірчиста автоматна сталь, яка вміщує низький відсоток вуглецю і 0,035-0,33% сірки, використовується для виготовлення кріплення. Свинцювата автоматна сталь вміщує 0,1-0,25% свинцю, що не тільки поліпшує оброблюваність матеріалу, але й збільшує механічну міцність. Для надання матеріалам спеціальних властивостей свинець іноді додають до складу всіляких конструкційних і інструментальних сталей. Комбінована автоматна сталь містить присадки сірки, свинцю, селен. Нержавіюча автоматна сталь є важкооброблюваною, але вона ріжеться краще, ніж звичайна нержавіюча сталь. Графітизована автоматна сталь має велику кількість вуглецю і добавки

кремнію, алюмінію, нікелю. Підвищена кількість сірки значно поліпшує оброблюваність різанням. Установлено, що добавки сірки (0,15-0,35%) у нержавіючі сталі полегшують механічне оброблення, а також забезпечують подрібнення стружки. При виплавці сталей широко застосовується розкислення. Сталь, яка розкислена Ca, Si, Al, має кращу оброблюваність різанням у порівнянні зі сталлю, яка розкислена сіркою, тому що в першому випадку на поверхні контакту з інструментом утворюється захисна плівка.

Алюміній оброблюється зі швидкістю в 5-6 разів більшою в порівнянні з вуглецевою конструкційною сталлю; чавун оброблюється з меншою швидкістю порівняно з вуглецевою сталлю внаслідок гіршої теплопровідності, а також наявністю твердих вкраплень цементиту, карбідів і піску, які мають сильні абразивні властивості.

4.2.3 Технологічні особливості оброблення різанням важкооброблюваних матеріалів і сплавів

Як і оброблюваність конструкційних матеріалів, вона визначається хімічним складом, структурою і фізико-механічними характеристиками. Підвищення кількості легуючих елементів в їх складі погіршує оброблюваність різанням.

На оброблюваність жароміцних і нержавіючих сплавів, крім вуглецю, що є в малих кількостях, найбільш впливає Al, Ti, Si, і менше – Mo, Co, Mn, Cr, W. Практично ніяк не впливають на оброблюваність Ni, Nb, V.

Вплив вуглецю, алюмінію і титану на погіршення оброблюваності пояснюється утворенням на їх основі дисперсних фаз, які зміцнюють твердий розчин сплаву. Особливо великий негативний вплив вуглецю, якщо він знаходиться у твердому розчині, що має місце, наприклад, після загартування. Перехід вуглецю шляхом відпалу в карбіди знижує його шкідливий вплив. Титан різко погіршує оброблюваність, якщо його кількість у сплаві перевищує п'ятикратну концентрацію вуглецю. У цьому випадку утворюється інтерметалідна сполука титана з нікелем, яка виділяється при відпалі або

відпуску у високодисперсній формі, що і призводить до зміцнення сплаву. Перехід інтерметалідів шляхом загартування у твердий розчин поліпшує оброблюваність.

Сильно погіршує оброблюваність різанням легування сплавів елементами Мо, W (більш за 2-3%), що відрізняються від γ - заліза типом кристалічних решіток і значеннями атомних радіусів. Так, допустима швидкість різання V_{20} (стійкість 20 хв.) при обточуванні сплаву ЭИ395, що містить 6,7% Мо, майже в два рази менша, ніж для аналогічного сплаву, в якому молібден відсутній. Елементи, що мають приблизно однакові значення атомних радіусів (наприклад, Cr, Ni), несуттєво знижують оброблюваність. Так, наприклад, підвищення майже в два рази кількості хрому в сплаві Х23Н18 (ЭИ417) (Cr = 4%) у порівнянні зі сплавом 38Х5МСФА (ЭИ257) (Cr = 13%) зменшує швидкість різання тільки на 13%. Нікель – основний легуючий елемент жароміцних і нержавіючих сплавів – також помітно не впливає на оброблюваність унаслідок близької кристалічної структури з структурою γ - заліза і повного розчинення (при відсутності титана) у матеріалі. Досить значно знижує оброблюваність різанням введення в сплав кремнію.

Оброблюваність різанням важкооброблюваних матеріалів, крім хімічного складу, визначається видом термічного оброблення та його режимами, які обумовлюють структуру сталі або сплаву, характер розташування і розміри зерен. Так, наприклад, нержавіючі високохромисті сталі мають задовільну оброблюваність у відпаленому стані – швидкості різання при їх обробленні тільки в 1,5-2 рази нижче, ніж при обробленні сталі 45. Термічне оброблення цих сталей, яке збільшує їх міцність, різко погіршує оброблюваність. Так, збільшення межі міцності σ_s сталей 2Х13, 1Х12Н28МФ (ЭИ961) з 834 до 1177 МПа викликає зниження швидкостей різання в 4 рази.

Оброблюваність інтерметалідних сплавів, навпаки, після відпалу та відпуску погіршується, а після загартування поліпшується. Це пояснюється тим, що при відпалі і відпуску відбувається виділення у високодисперсному

виді інтерметалідних сполук титана й алюмінію з нікелем. Загартування цих сплавів викликає перехід високодисперсних, інтерметалідних сполук у твердий розчин і, отже, поліпшення їхньої оброблюваності. Таким чином, дослідження впливу хімічного складу і структури жароміцних сплавів на їхню оброблюваність показує, що для аустенітних сплавів, які мають карбідну фазу, загартування погіршує оброблюваність, при цьому чим більше в сплаві вуглецю, тим ступінь цього погіршення зростає. З огляду на це, для зазначених сплавів максимально можливий обсяг механічного оброблення рекомендується виконувати до термічного оброблення. Для сплавів, що містять інтерметалідну фазу, оброблюваність погіршується зі збільшенням її дисперсності. При цьому загартування, навпаки, приводить до поліпшення оброблюваності.

Фізико-механічні властивості важкооброблюваних матеріалів також є важливими показниками, які характеризують оброблюваність різанням. Одним з таких показників є межа міцності σ_e або зв'язана з ним величина твердості HB .

$$V_{60} = C_1 / \sigma_e^x; \quad V_{60} = C_2 / HB^y,$$

де V_{60} – швидкість різання, м/хв, яка обумовлює період стійкості $T = 60$ хв;

C_1 і C_2 – коефіцієнти для залежностей $V - \sigma_e$ и $V - HB$.

Сумарним критерієм, який оцінює одночасно вплив характеристик міцності (σ_y , HB) і пластичних властивостей (δ , ψ) оброблюваного матеріалу, є істинна межа міцності при розтяганні $S_K = \sigma_y(1 + \psi)$. Ця величина є досить точною кількісною характеристикою питомої роботи деформації при різанні, яка враховує діючі на робочі поверхні інструмента сили і температури та дозволяє використовувати її як критерій, що оцінює оброблюваність матеріалу. Разом з тим необхідно відзначити, що в широкому діапазоні швидкостей не можливо установити точний взаємозв'язок між стійкістю інструменту і механічними характеристиками оброблюваних матеріалів, тому що на знос інструмента дуже впливають і інші процеси, наприклад хімічні, електричні.

Багато важкооброблюваних матеріалів використовують для виготовлення відповідальних деталей машин, тому велике значення має показник їхньої

оброблюваності за іншим критерієм шорсткість поверхні. Вплив легуючих елементів і структури на якість поверхні визначається змінами фізико-механічних властивостей матеріалу. Збільшення легуючих елементів твердого розчину й утворення в ньому високодисперсних фаз зміцнюють матеріал і сприяють зниженню шорсткості поверхні. Зменшення змісту вуглецю, що приводить до зменшення змісту карбідів, а також введення в сплав титана й алюмінію внаслідок утворення інтерметалідних сполук зміцнюють сплав. Тому загартування аустенітних і аустенітно-карбідних сплавів, яке підвищує легованість і твердість аустенітної складової, а також відпал і відпуск інтерметалідних сплавів, які обумовлюють появу зміцненої інтерметалідної фази, знижують шорсткість поверхні, а отже, поліпшують оброблюваність матеріалу за цим показником.

Погіршення оброблюваності різанням сучасних важкооброблюваних матеріалів у порівнянні з конструкційною сталлю 45 (значення коефіцієнту k_v , який характеризує відношення припустимих швидкостей різання), а також основні фізичні параметри процесу різання, наведені, за даними Я.Л. Гуревича, у табл. 10.3. Вони тісно зв'язані з ростом їхніх експлуатаційних показників і насамперед характеристик міцності. Це пояснюється тим, що умови експлуатації, стосовно до яких створювалися ці сплави, і насамперед висока жароміцність, багато в чому не сприяють умовам стружкоутворення при різанні. Результатом цього є погана оброблюваність і необхідність для її здійснення великих зусиль та температур у зоні різання. Останнє різко погіршує умови експлуатації інструмента, тому що фізичні основи зносу робочих поверхонь інструменту багато в чому визначаються також умовами їх пластичної деформації при підвищених температурах.

Методами визначення оброблюваності матеріалу різанням є розрахунково-аналітичні й експериментальні. Останні поділяються на два види:

а) проведення оброблення в умовах, які відповідають виробничим, до досягнення заданого на операцію критерію затуплення;

б) моделювання процесу різання – прискорені методи визначення оброблюваності.

Слід зазначити, що донині ще не створені досить надійні для практики розрахунково-аналітичні методи визначення оброблюваності. Це пояснюється тим, що оброблюваність різанням визначається складним комплексом фізичних явищ, які входять у структурну схему оброблення.

4.2.4 Особливості оброблюваності неметалічних та композиційних матеріалів

Пластики, як і метали, відрізняються по оброблюваності, тому що мають різні фізико-механічні властивості. Вони в основному поділяються на два типи: пластики, які хімічно змінюються під впливом теплоти і тиску; термопластики, які хімічно не змінюються при нагріванні або тискові.

Окрім того, відрізняють: пластики на фенолформальдегідній основі, які виготовляють литвом без наповнювача або з наповнювачами (мінералонаповнювачами, дерев'яною тирсою); пластики шаруваті на паперовій, бавовнянотканевій, азбестотканевій та склотканевій основах.

Всі пластики погано проводять тепло і тому тут добре працюють різальні інструменти з хорошою теплопровідністю (тверда бронза) або з високою твердістю (тверді сплави, мінералокераміка). Для охолодження використовують повітря і рідину не лужного типу, але в останньому випадку необхідно промивати деталі після їх оброблення.

В більшості випадків оброблення виконується в суху, хоча при цьому і виникає небезпечність швидкого затуплення різальної кромки, тому що багато наповнювачів пластиків мають значні абразивні властивості. Крім того, існує небезпека виплавлення деяких смолистих складових пластиків, особливо при роботі затупленим інструментом, коли різання супроводжується значним тепловиділенням. В зв'язку з цим, пластики рекомендується оброблювати тільки гострим інструментом з старанно заточеною і доведеною різальною кромкою. Бажано надавати різальній частині інструменту малі і навіть

негативні передні кути, наприклад, $0 - (-20)^\circ$, але порівняно великі задні кути $\alpha = 10 - 30^\circ$.

Литі пластики з дерев'яними, тканинними або бавовнопаперовими наповнювачами оброблюються без утруднень, чого неможливо сказати відносно пластиків з мінеральними наповнювачами. Як правило, литі фенолові пластики оброблюються точінням на високих швидкостях при малій величині зрізу. Подачі повинні бути досить малими, щоб уникнути підпалу, і настільки великими, щоб уникнути вічкуватості обробленої поверхні. Наприклад, при обробленні фенолових смол твердосплавними різцями з кутами $\gamma = (-15) - (-20)^\circ$ і $\alpha \approx 20^\circ$ рекомендується швидкість різання $V \approx 180$ м/хв. При обробленні нітриту целюлози використовують звичайно $V \approx 100$ м/хв, $\gamma = -3^\circ$ і $\alpha \approx 10^\circ$.

Шаруваті пластики мають значну міцність; шари тканини в них є арматурою, яка зміцнює пластик. Частіше всього механічному обробленню піддаються пластики з паперово-целюлозною тканиною, процес різання яких не викликає утруднень. Значно рідше і трудніше оброблюються пластики із склофібровими тканинами, з азбестовими або паперово-азбестовими тканинами. В цих випадках використовуються твердосплавні або алмазні різці. Щоб запобігти зношуванню задньої поверхні, оброблення виконують на високих швидкостях різання інструментом з гострими різальними кромками і великим заднім кутом ($\alpha \approx 30^\circ$). Подачі: $s = 0,25-0,35$ мм/об при точінні, $s = 0,05-0,125$ мм/об при відрізанні, $s = 0,5-0,75$ мм/об при фасонному точінні.

Найбільші затруднення в обробленні викликає комбінована скляна фібра з пластиком – матеріал великої міцності. Його можна обробляти твердосплавним і мінералокерамічним інструментом з невеликими швидкостями різання та малою величиною зрізу. Дрібний пил, який є шкідливим для здоров'я працівника, необхідно відсмоктувати.

Можливо використання і охолоджувальних рідин, які запобігають пом'якшенню пластиків, але при цьому пил, змішуючись з рідиною, утворює грязь з сильними абразивними властивостями, яка є шкідливою як для інструмента, так і для деталі.

Вулканізована фібра оброблюється тими ж інструментами, що і метали, наприклад латунь. Рекомендуються гострі різальні кромки, передні кути близькі до нуля і великі задні кути ($\alpha = 15-25^\circ$). Швидкість різання на 30% більша, чим при обробленні сталі, порівняно великі подачі та значні радіуси закруглення вершини різця.

4.2.5 Шляхи покращення оброблюваності різанням

Основним напрямком поліпшення оброблюваності є розробка методів різання, які, з одного боку, значно посилюють вплив на матеріал зрізуваного шару або якісно його змінюють, і, з іншого боку, створюють найбільш сприятливі умови для роботи інструмента.

Оброблюваність різанням може бути поліпшена оптимізацією хімічного складу, видом термічного оброблення та його режимами, які обумовлюють структуру сталі або сплаву, характер розташування і розміри зерен. Так, наприклад, нержавіючі високохромисті сталі рекомендують обробляти у відпаленому стані, а інтерметалідні сплави – після загартування.

Оброблюваність нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів може бути значно поліпшена шляхом зниження їх пластичності попереднім обробленням холодом.

5 НАДІЙНІСТЬ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Ефективність процесу механічної обробки деталей на важких верстатах більшою мірою визначається надійністю різального інструменту, яка залежить від безлічі випадкових факторів. На важких токарних верстатах до 70% виконуваних операцій зв'язані зі зняттям більших припусків [73]. Це пояснюється тим, що у важкому машинобудуванні найбільш широко використовуються заготовки, які отримані методом лиття, кування. Вони характеризуються наявністю дефектів, пор, раковин, тріщин, неметалічних включень і інших дефектів поверхневого шару.

Процес механічної обробки деталей у значній мірі визначається якістю процесу експлуатації різального інструменту, що залежить від безлічі випадкових факторів, які супроводжують цей процес, де одним з найважливіших показників є надійність інструменту.

Підвищена витрата інструмента, дефіцитних інструментальних матеріалів нерідко пов'язана з несвоєчасною заміною інструмента, відсутністю науково обґрунтованих регламентів його роботи й норм його витрати. Усі рекомендації повинні по можливості найбільше повно враховувати фактори, що мають місце на виробництві. Так, наприклад, при призначенні режимів різання слід враховувати не тільки зносостійкість різального інструмента, але і його міцність і надійність, ергономічні фактори і т.д.

Окремі проблеми експлуатації різального інструменту з врахуванням імовірнісного підходу до визначення параметрів процесу механічної обробки та надійності різального інструменту досліджували Високовський Е.С., Внуков Ю.М., Девін Л.М., Доброскок В.Л., Івченко Т.Г., Кацев П.Г., Клименко Г.П., Мироненко Є.В., Новіков М.В., Равська Н.С., Сінопальников В.А., Скібін В.В., Струтинський В.Б., Старков В.К., Хаєт Г.Л. та інші.

Найбільш значний науково-практичний внесок в розвиток теорії надійності різальних інструментів вніс проф. Хаєт Г.Л. та його учні. Однак, показники надійності в їх дослідженнях застосовувались тільки до різальної пластини. Вперше збірний різець розглядався як система в роботі [70]. Було запропоновано використовувати комплексний показник надійності збірних різців в вигляді коефіцієнту готовності, який враховує як безвідмовність так і ремонтпридатність збірного різця. Але при визначенні математичної моделі коефіцієнту готовності для спрощення вважалось, що закон розподілу періоду стійкості інструменту експоненціальний. Це знижувало точність розрахунків фактичного показника надійності, завищувало розрахункові значення видатку різального інструменту.

Різними дослідниками [1, 22, 23, 33, 76, 81, 85, 102, 129] встановлені взаємозв'язки між вхідними параметрами процесу різання, параметрами

технологічної системи й вихідними параметрами, що представляють собою цільові функції для оптимізації процесу механічної обробки, сконструйовані системи різних конфігурацій, у тому числі й ті, що враховують фізичну сутність процесів. У зв'язку зі стохастичним характером процесу різання, на який вказують роботи [13, 44, 105, 118 та ін.] система механічної обробки, що запропонована Старковим В.К. [117] розглядає процес різання як складний фізико-хімічний механізм взаємодії інструмента з оброблюваним матеріалом в умовах розсіювання властивостей усіх складових елементів технологічної системи.

5.1. Аналіз умов експлуатації твёрдосплавних різців при обточуванні деталей на важких верстатах

Для дослідження умов експлуатації різального інструменту на важких верстатах в роботах [69, 73, 92, 127] розглядався ряд типорозмірів верстатів з $D_c = 1250\text{--}2500$ мм, де D_c – максимальний діаметр оброблюваної деталі над станиною, який був прийнятий як непряма характеристика вібростійкості верстату [125].

Статистичні дослідження показали, що при обробці на важких верстатах сила різання, що допускається механізмами верстата, крутний момент (рис. 1.1), не є обмеженнями на режими різання. Максимальні значення сил до 10 раз перевищують їх середнє значення, за якими звичайно здійснюють розрахунки конструктивних параметрів різальних інструментів.

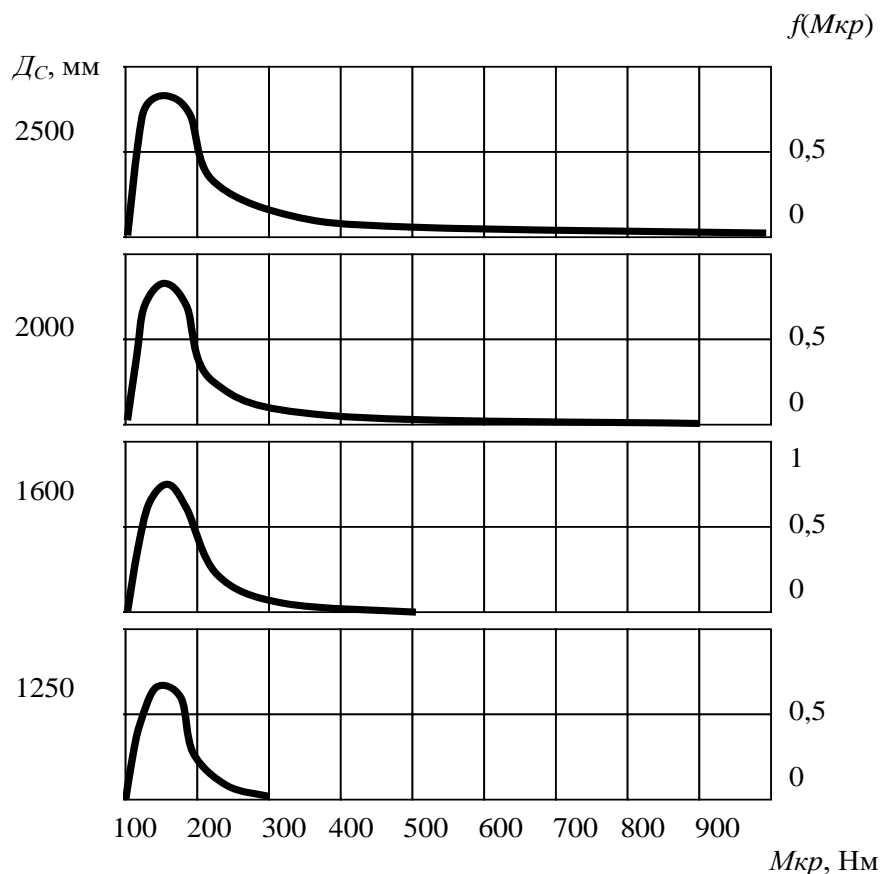


Рис. 5.1. Розподіли моменту обертання $f(M_{кр})$, створюваного роботою одного супорта важкого токарного верстата

Істотним обмеженням на режими різання при обробці на важких верстатах існуючих конструкцій є маса деталі, що не дозволяє в ряді випадків збільшувати частоту обертання [72].

На працездатність різального інструменту також впливають змінні навантаження, якість його виготовлення, розсіювання фізико-механічних властивостей та ін. В остаточному підсумку сукупний вплив багатьох випадкових факторів може призвести до непередбаченої відмови в результаті катастрофічного зношування або випадкової поломки інструменту.

Зниження середньої швидкості різання на важких верстатах у порівнянні із середніми й малими верстатами, крім збільшеного перетину зрізу, пояснене тим, що зазначені швидкості вимагають у деяких випадках застосування частоти обертання шпинделя верстата, що перебуває на межі можливостей

обертання великогазових деталей на верстатах існуючих конструкцій та високої потужності верстатів (рис. 1.2).

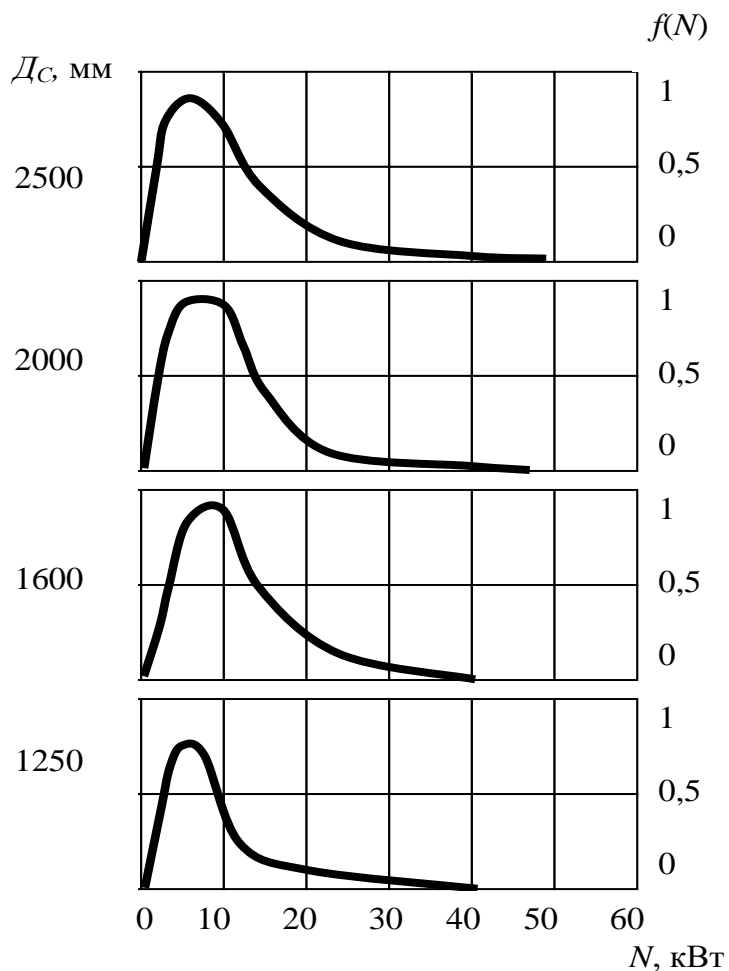


Рис. 5.2. Розподіли потужності різання $f(N)$ на один супорт важкого токарного верстата

На рис.5.3 зображений розподіл застосовуваної частоти обертання n шпинделя важких токарних верстатів. Область обмежень перекриває різну частину поля розсіювання частот обертання шпинделя для верстатів з різним значенням D_c , що зв'язано з конструктивними особливостями верстатів і ще раз підтверджує необхідність врахування типорозміру верстата при визначенні раціональних регламентів експлуатації (рис. 1.4).

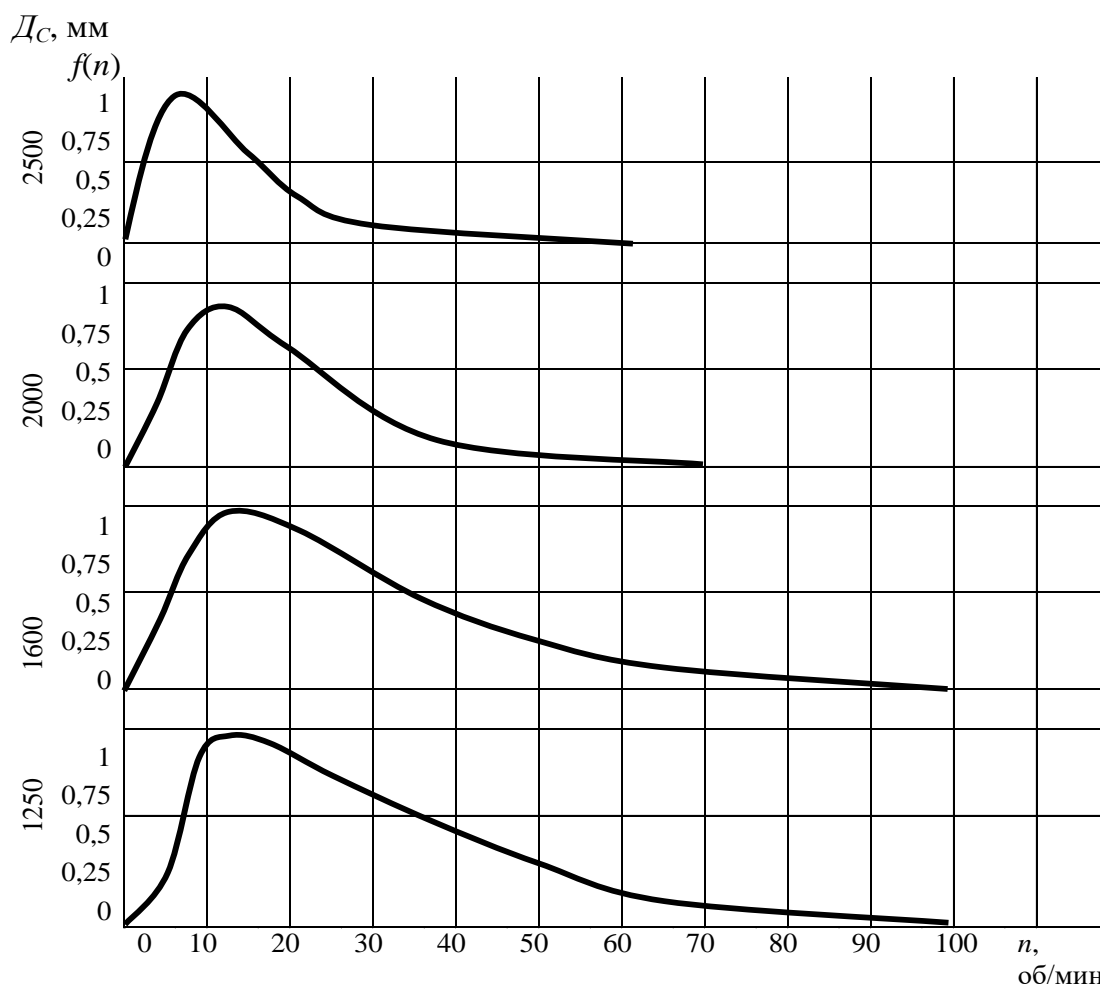


Рис 5.3. Розподілу частоти обертання шпинделя $f(n)$, застосовуваної на важких токарних верстатах

При дослідженні періоду стійкості різального інструменту важких токарних верстатів фактична стійкість різального інструменту при переході від верстатів з $D_c \leq 1600$ мм до більших типорозмірів верстатів зростає. Це пояснюється наступними причинами: заміна інструмента проводиться із супортного майданчика, а не з підлоги, збільшується розмір різця ($H=80$ мм) і його маса, зростають габарити деталей і погіршується огляд зони різання, зростає маса деталей, їх вартість [72].

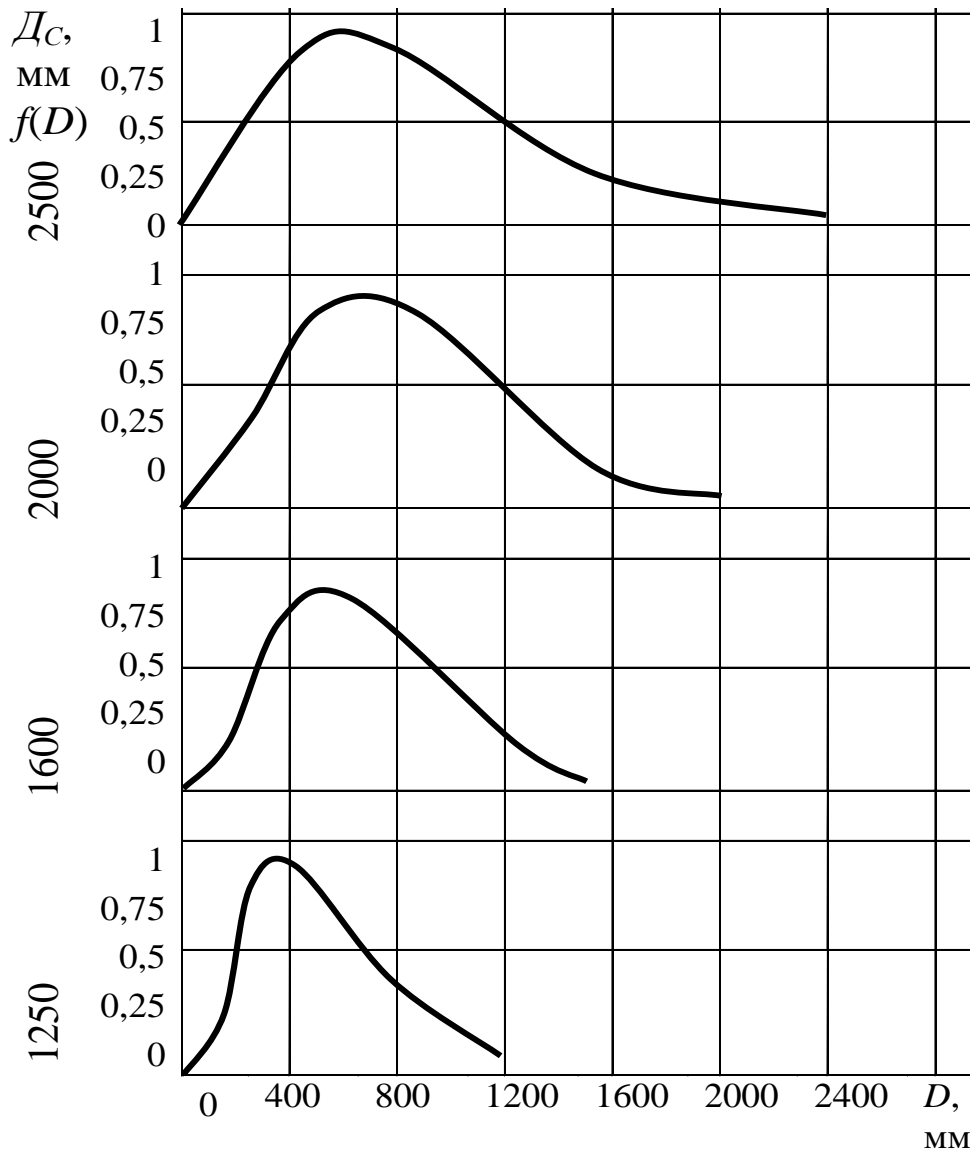


Рис. 5.4. Розподіли діаметрів заготовок D , обробляємих на важких токарних верстатах

З підвищенням навантаження на інструмент збільшується коефіцієнт варіації стійкості, що призводить до розширення діапазону його розсіювання. Поряд із середньою стійкістю інструмента одним з найважливіших показників надійності є стійкість із заданою імовірністю $T(P)$ або гамма-процентна стійкість, яка визначається залежно від характеру розподілу стійкості. Цей показник надійності має особливе значення при експлуатації інструменту на верстатах з ЧПК.

Аналіз умов експлуатації інструмента на важких верстатах дав змогу виявити великий діапазон розсіювання параметрів, які сприяють відмовам інструменту, їх руйнуванню.

Дослідженню процесу руйнування інструмента присвячений ряд робіт [1, 2, 26, 31, 48, 56, 98, 117 і ін.]. У роботах [19, 53] аналізуються причини руйнування різального інструменту на верстатах зі ЧПК. Відмови чорнових різців через зношування становлять усього 30–65%, інші відмови пов'язані з поломками інструмента [127]. При обробці деталей на важких верстатах відсоток поломок різального інструменту досягає 75% [122].

Найбільш повна класифікація видів руйнувань робочої частини інструмента наведена в роботі [124] Хаєта Г.Л. Автор вважає, що при чорновому обточуванні руйнування пластини твердого сплаву в основному залежить від подачі, а зношування – від швидкості різання. У цій же роботі приводиться аналогічний зв'язок стійкості до руйнування T_P інструмента з руйнуючою подачею S_P :

$$S_P = C_P T_P^{-m_P},$$

де C_P – коефіцієнт, що характеризує середню міцність інструмента й залежний від оброблюваного матеріалу й умов роботи; m_P – величина, що характеризує ступінь впливу T_P на S_P .

В роботах [73, 125] доведено, для підвищення надійності інструменту, зокрема його міцності, необхідно підвищувати товщину пластини. Тому набули поширення конструкції різців з тангенціальним розташуванням твердосплавної пластини.

Велике розсіювання параметрів навантаження на інструмент, а також розсіювання властивостей конструкції збірних різців потребує нового підходу до визначення товщини пластини для досягнення заданого рівня надійності інструменту. В роботі [72] зроблена спроба рішення цієї задачі, але наявність широкого діапазону і різноманітність законів розподілу параметрів потребує додаткових досліджень у визначенні товщини пластини різця для здобуття рівнів його надійності.

Різальні інструменти, які використовуються при обробці на важких верстатах (рис. 5.5–5.8) виготовляються як вітчизняними так і європейськими виробниками. Серед них можливо виділити підприємства і фірми: Sandvik Coromant, SECO TOOLS, Iscar, Corun, Stellram, ОАО «КАМАЗінструментспецмаш», ВАТ «Канашский завод резцов», ВАТ «Киржачский инструментальный завод», ВАТ «Серпуховский инструментальный завод «Твинтос», ДВАТ «Ижевський інструментальний завод», ВАТ "Кировградский завод твёрдых сплавов".



Рис. 5.5. Різальні інструменти (Pramet), що рекомендовані для обточування деталей на важких верстатах



Рис. 5.6. Пластини різальні (Pramet), що рекомендовані для обточування деталей на важких верстатах (рекомендовані подачі – 0,45–1,7 мм/об., глибина різання – 4–27 мм, швидкість різання – 135–250 м/хв.)

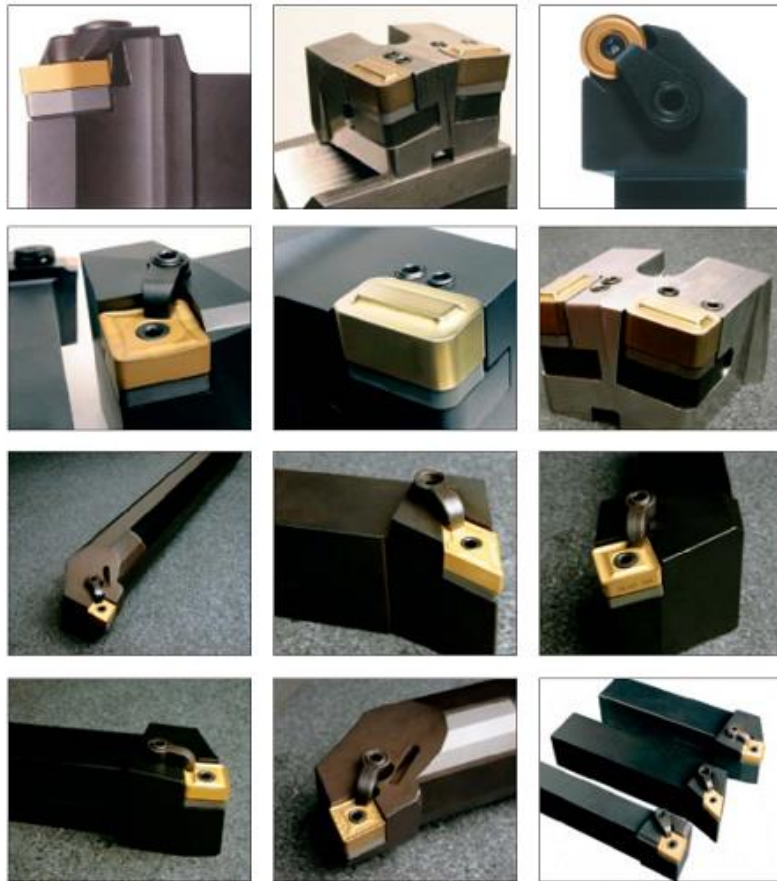


Рис. 5.7. Різальні інструменти (Stellram), що рекомендовані для обточування деталей на важких верстатах

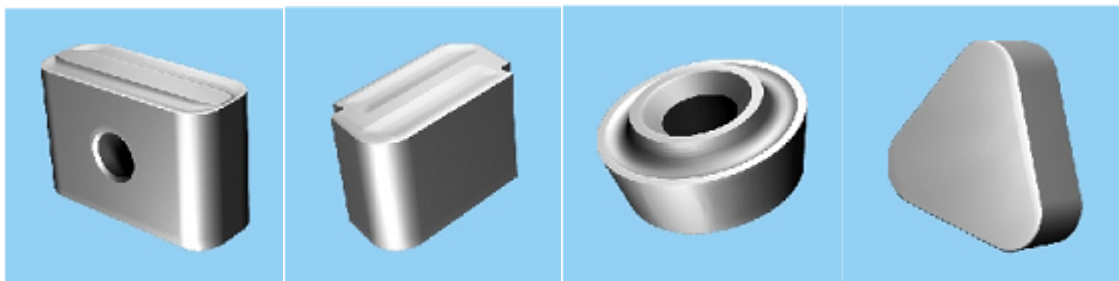


Рис. 1.8. Пластини різальні (Кіровоградський завод твердих сплавів), що рекомендовані для обточування деталей на важких верстатах

Таким чином, виявлено найбільш поширені умови експлуатації твердосплавних різців, а також конструкції, які частіше всього використовуються на верстатах типорозміру $D_c = 1250-2500$ мм. Але потребують уточнення види операцій, оброблюваних і інструментальних матеріалів конструкції збірних різців і тощо для сучасних умов виробництва. Тому подальші дослідження проводяться для цих умов експлуатації.

5.2. Основні поняття та математичні моделі для визначення надійності інструмента

Серед показників, що визначають систему властивостей якості експлуатації збірних різців у процесі експлуатації (рис. 5.9), найважливішими є показники його надійності [72]. Для забезпечення необхідних параметрів працездатності інструмента необхідно прогнозувати надійність на етапах проектування, виготовлення та експлуатації, що вимагає використання статистичних досліджень працездатності інструмента. Це особливо актуально для важких токарних верстатів, простої яких в результаті відмов інструмента коштують дорого.

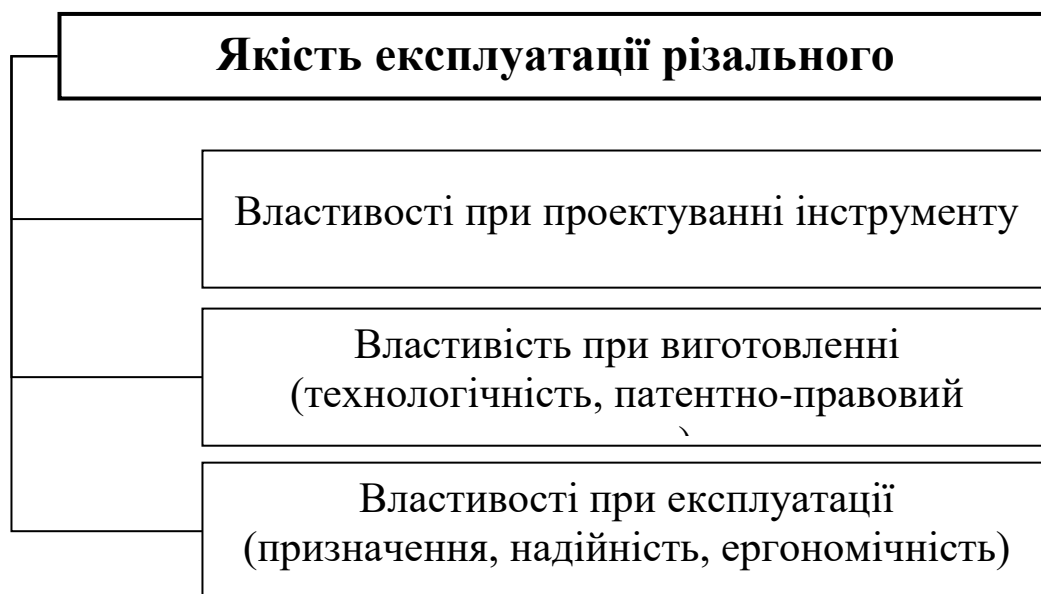


Рис. 5.9. Основні властивості, що становлять якість процесу експлуатації різального інструменту

Основні питання надійності висвітлені в роботах [8, 15, 34, 38, 45, 64, 71, 73, 95, 116, 126]. Враховуючи, що формули теорії різання дають можливість обчислити режими різання лише з певною точністю, у силу їх статистичного характеру, на думку деяких авторів [14, 15, 64, 68, 114, 129, 130] необхідно для достовірного визначення раціональних режимів різання враховувати характеристики надійності інструмента, що оцінюються для певних умов експлуатації.

Теорія надійності базується на ряді понять, термінів і визначень. Термінологія теорії надійності регламентується рядом стандартів СНД і України: ДСТУ 2860-94 "Надійність техніки. Терміни та визначення", ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения".

Надійність інструмента – це його властивість у процесі обробки деталей зберігати свої експлуатаційні показники (продуктивність по всіх складових штучного часу, собівартість і якість обробки деталей, наведені витрати й ін.) протягом необхідного часу або наробітку в застережених умовах експлуатації [125].

Згідно з ДСТУ 2233-93 "Інструменти різальні. Терміни та визначення" надійність різального інструменту – його властивість зберігати до певного часу встановлені значення всіх параметрів, які характеризують його працездатний стан, вимог та характеристик оброблення, виконуваного цим інструментом, при встановленому порядку технічного обслуговування, встановлення, ремонту, транспортування та зберігання.

Надійність інструменту обумовлюється його безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю й збережуваністю (рис. 5.10) [55, 66].



Рис. 5.10. Показники надійності різального інструменту

Безвідмовність – це властивість інструмента зберігати працездатність протягом заданого часу або наробітку без змушених перерв. Використовуються наступні кількісні показники безвідмовності інструмента:

- імовірність безвідмовної роботи інструмента $P(t)$ – це імовірність того, що в межах заданого часу τ відмова інструмента не виникає;

- інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – імовірність відмови інструмента в одиницю часу після часу t за умови, що до цього часу відмова не виникла;
- щільність розподілу стійкості $f(t)$;
- середня стійкість інструмента \bar{T} ;
- стійкість інструмента із заданою імовірністю $T(P)$, або гамма-процентна стійкість T_γ .

Таблиця 5.1

Теоретичні показники надійності інструменту

Закон розподілу стійкості	Частота відмов (щільність імовірності) $f(t)$	Інтенсивність відмов $\lambda(t)$	Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$
Нормальний	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{t-T}{2\sigma^2}\right)^2}$	$\frac{e^{-\left(\frac{t-T}{2\sigma^2}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma\Phi\left(\frac{T-t}{\sigma}\right)}$	$\Phi\left(\frac{T-t}{\sigma}\right)$
Вейбула-Гнеденко	$f(t) = \frac{b}{a}\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$	$\left(\frac{b}{a}\right)\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}$	$e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$
Експоненціальний	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$\lambda = 1/T$	$e^{-\lambda t}$

Позначення: e – підстава натурального логарифма; T, σ – параметри нормального закону; a, b – параметри закону Вейбула-Гнеденко; λ – параметр експонентного закону; Φ – функція Лапласа

Довговічність – властивість інструмента зберігати працездатність до закінчення експлуатації з необхідними перервами для відновлення працездатності.

Показники довговічності інструмента:

- середнє число періодів стійкості K (число переозагострень інструменту або перестановка пластини);
- середній сумарний період стійкості інструмента ΣT ;
- інтенсивність не усунутих відмов $\lambda(K)$.

Середнє число періодів стійкості K і інтенсивність непереборних відмов $\lambda(K)$ для твердосплавного інструмента характеризують міцність його робочої частини. Інтенсивність відмов $\lambda(K)$ і непереборних відмов $\lambda(t)$ свідчить про зміну властивостей інструмента відповідно за період стійкості й за весь час експлуатації.

Ремонтопридатність – це пристосованість інструмента до визначення відмов і відновленню працездатності шляхом переточування різального елемента, перестановки його на інше лезо або ділянку леза.

Показниками ремонтпридатності служать, аналогічно показниками безвідмовності, середній час відновлення різальних властивостей інструмента, інтенсивність і частота відновлення. Ця властивість інструмента в основному залежить від його конструкції.

Зміна елементів режиму різання впливає головним чином на показники безвідмовності й довговічності різального інструменту.

Центральне місце в теорії надійності різального інструменту займає вивчення законів розподілу стійкості інструмента. Цими питаннями займалися автори [12, 15, 29, 72, 109, 114 і ін.], результати досліджень яких представлено в табл. 5.2. Показано [15], що стійкість різців у цих випадках підкоряється логарифмічно-нормальному закону або α -розподілу. В роботі [130] автор досліджував розсіювання стійкості в умовах зношування інструмента, його викрашування й поломок і показав, що різним видам відмови інструмента відповідає певний показник розсіювання стійкості V_τ – коефіцієнт варіації стійкості, що дорівнює відношенню середнього квадратичного відхилення σ до її середнього значення \bar{T} . Нормальному закону підкоряється розподіл стійкості інструмента, що зазнав зношування. Цю думку розділяють майже всі автори. Коефіцієнт варіації стійкості при цьому коливається від 0,1 до 0,5.

У випадку, коли основним видом відмови інструмента є викрашування, розподіл стійкості не суперечить [125] закону Вейбула-Гнеденко. Коефіцієнт варіації стійкості при цьому змінюється від 0,3 до 0,9. При експоненціальному законі розподілу стійкість інструмента видом, що переважає, відмови якого є поломка, причому, рівень навантаження визначається режимом обробки.

Розподіл стійкості різального інструменту

Автори	Закон розподілу	Переважаючий вид відмови інструмента
Центер Л.С.	$V_{\tau} = 0,1 \dots 0,3$ – нормальний $V_{\tau} = 0,3 \dots 0,6$ – нормальний-експонентний $V_{\tau} = 0,6 \dots 1,0$ – експоненціальний	Зношування Викрашування Поломки
Високовський Е.С.	α – розподіл Вейбула Експонентний	Зношування По точності випадкові руйнування
Хаєт Г.Л.	$V_{\tau} \leq 0,33$ – нормальний $V_{\tau} \leq 0,9$ – Вейбула-Гнеденко $V_{\tau} > 0,85$ – експонентний	Зношування Викрашування Поломки

Основні характеристики згаданих законів розподілу стійкості наведено в таблиці 5.3.

У роботі [114] зроблена спроба зв'язати подачу з параметрами розсіювання періоду стійкості. У роботі [73] ці дослідження продовжені стосовно важких верстатів. Однак математичні моделі зв'язку подачі з параметрами розсіювання періоду стійкості для верстатів різних типорозмірів потребують уточнення.

Вперше кількісні зв'язки показника розсіювання стійкості з елементами режиму різання для загального випадку навантаження інструментів, що мають різний вид відмов, отримані в роботах [114, 125]. Встановлена кореляційна залежність між коефіцієнтом варіації стійкості й подачі, що виявляє найбільший вплив на розсіювання стійкості.

Закони розподілу випадкових величин

Закон	$f(t)$	$P(t)$
Нормальний (Гаусса) $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}$ $P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t-T}{\sigma}\right)$		
Логарифмічний нормальний $f(t) = \frac{1}{t\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - T_1)^2}{2\sigma_1^2}}$ $P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{\ln t - \ln T_1}{\sigma_1}\right)$		
Експоненціальний $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T}}$		
Вейбулла $f(t) = \frac{m t^{m-1}}{T_1^m} e^{-\frac{t^m}{T_1^m}}$ $P(t) = e^{-\frac{t^m}{T_1^m}}$		
Релея $f(t) = \frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$ $P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$		
Гамма-розподіл $f(t) = \frac{t^{m-1}}{T_1^m \Gamma(m)} e^{-\frac{t}{T_1}}$ $P(t) = \int_0^t f(t) dt$		

Автори робіт [73, 126] вважають, що для визначення режимів різання у випадках підвищених вимог до стабільності технологічних процесів необхідно враховувати величину періоду стійкості із заданою імовірністю $T(P)$. Остання визначається залежно від характеру розподілу стійкості.

Однак у літературі відсутні дані по обґрунтуванню вибору рівня надійності, хоча навіть незначна його зміна впливає на стійкість.

При переході від середнього періоду стійкості до періоду стійкості із заданою імовірністю рівень останнього буде служити обмеженням на режими різання.

В роботі [72] вперше застосовано марківський підхід до опису технологічної системи, визначено її коефіцієнт готовності, як комплексну характеристику надійності: безвідмовності і ремонтпридатності.

Однак марківські процеси не дозволяють враховувати накопичення час переходів технологічної системи. У зв'язку з цим є необхідність проводити розрахунок коефіцієнту готовності з точки зору полумарківських процесів. Полумарківські процеси є узагальненням процесів Маркова, знаходять більше застосування в теорії надійності резервованих систем [79, 82].

5.3. Аналіз методів підвищення надійності інструмента

У цей час активне розвиваються методи підвищувальні якість продукції й надійності технологічних систем. Цей процес обумовлюється підвищенням конкурентоспроможності продукції виробників вимогами, що й підвищуються, споживачів. Серед різноманіття методів підвищення надійності різального інструменту для важких верстатів виділені методи (табл. 5.4) на основі класифікації, розробленої галузевою науково дослідницькою лабораторією ДДМА [128].

Одним з ефективних методів підвищення працездатності твердих сплавів є армування поверхні твердосплавних пластинок [143]. Технологія армування приводить до утворення на поверхні твердосплавної пластинки нітридів титану та вольфраму глибиною 4–5 мкм, що підвищує її міцність у середньому на 20 %. Це суттєво поліпшує експлуатацію інструментів при переривчастому обточуванні та в інших умовах динамічного навантаження на інструмент.

Шляхи підвищення міцності й надійності інструмента

Керування навантаженням на інструмент	
Збільшення відносини R_{xy}/P_z	<p>Зменшення заднього кута</p> <p>Зменшення переднього кута</p> <p>Збільшення фаски по передній поверхні, підточування передньої поверхні у вершини</p> <p>Округлення крайок</p>
Зменшення коливань сил	<p>Заміна верстата, пристосування більш твердими</p> <p>Застосування віброгасників</p> <p>Застосування посиленних державок</p>
Поступове збільшення навантаження	"Тренування"
Оптимізація заміни інструмента	Оптимізація регламентів заміни інструментів
Керування фізико-механічними властивостями матеріалу	
Поліпшення властивостей матеріалу державки	<p>Застосування додаткової опори</p> <p>Термообробка державки</p> <p>Заміна матеріалу елементів кріплення</p> <p>Застосування ЗОТС (з боку задньої поверхні)</p>
Збільшення конструктивної міцності інструмента (зміна розмірів і форми елементів робочої частини)	
Посилення різального клина	<p>Зменшення переднього й заднього кутів</p> <p>Заточення й доведення</p> <p>Нанесення зносостійких покриттів різного складу на робочі поверхні інструмента</p> <p>Зміцнення поверхневого шару різними видами фізичного впливу (поверхнева термічна обробка струмами високої частоти, алмазна, термовибраційна й ін.)</p>

Посилення пластини	<p>Стовщення пластинки</p> <p>Тангенціальне розташування пластини</p> <p>Застосування пластин з уступом</p> <p>Розташування пластинки уздовж задньої поверхні</p> <p>Оптимізація числа лез</p>
Посилення державки	<p>Зменшення заднього кута опори</p> <p>Збільшення товщини опори</p>
Підвищення твердості опори державки	<p>Зменшення й застосування ввігнутої задньої поверхні</p> <p>Шліфування або доведення опори пластинки</p>
Посилення кріплення пластинки	<p>Наближення місця закріплення пластинки до крайки</p>
Поліпшення властивостей матеріалу пластинки	<p>Заміна твердого сплаву більш міцним</p> <p>Армування твердого сплаву</p> <p>Обробка дробом</p> <p>Обробка карбуванням</p> <p>Віброобробка</p> <p>Гідростатична обробка</p> <p>Лазерна обробка</p> <p>Магнітно-імпульсна обробка</p> <p>Методи імпульсної електронно-променевої обробки</p> <p>Модифікація під дією потужних іонних пучків</p> <p>Модифікуванням состава традиційних матеріалів шляхом уведення різних з'єднань і елементів</p> <p>Об'ємною термічною обробкою</p>

Поверхневі методи зміцнення, а саме нанесення зносостійких покриттів різного складу на робочі поверхні інструмента, досліджувались в роботах [3, 30, 86, 88]; зміцнення поверхневого шару різними видами фізичного впливу

(опромінення потужнострумівими іонними й електронними пучками, лазерна обробка, поверхнева термічна обробка струмами високої частоти, алмазна й алмазно-електролітична, вібраційна, термовібраційна й дробеструйна обробка та ін.) [6, 16]. Методи об'ємного зміцнення: модифікуванням складу традиційних матеріалів шляхом уведення різних з'єднань і елементів; об'ємною термічною обробкою.

Методи, що змінюють властивості поверхні твердосплавних пластинок – це нанесення різного виду покриттів [48, 138] значно підвищувальних його зносостійкість. Найбільше часто в якості покриттів застосовують карбід титану, нітрид титану, карбонітрид титану, карбід гафнію, нітрид гафнію, молибден, окис алюмінію, а так само їхні багатошарові комбінації. У результаті досягається більша поверхнева твердість зі зменшеним коефіцієнтом тертя й хімічна інертність. Однак твердосплавні пластини з покриттям не завжди дають реальний ефект при переривчастому точінні, тому що різні коефіцієнти лінійного розширення матеріалів приводять до відшаровування покриттів. Вплив зношування інструмента неоднозначно позначається на його міцності [133, 136, 137], змінюючи його напружений стан і температуру залежно від геометрії різальної частини, режимів різання й характеру процесу різання.

Одним з вирішальних факторів, що визначають міцність твердих сплавів при всіх умовах виявляються їхні структурні параметри [139]. В першу чергу це стосується розмірів зерен і середньої відстані між зернами, але залежності ці мають своє максимальне значення для різних твердих сплавів. В роботі [140] відзначається великий вплив кобальту на міцність твердих сплавів, що впливає на ріст виникаючих у них тріщин. Встановлено, що завдяки дифузії кобальту у вершині або в середині тріщини зупиняється її ріст і міцність різального інструмента зростає.

В роботі [27] встановлено вплив слабого магнітного поля на зернограничну релаксацію в алюмінії. Виявлено, що обробка імпульсами слабого магнітного поля полікристалічного алюмінію технічної чистоти при його нагріванні призводить до зміщення зернограничного максимуму

низькочастотного внутрішнього тертя в сторону низьких температур. Ефект зв'язано зі зменшенням ступеню взаємодії границь зерен з домішаними атомами.

В роботі [39, 57] встановлений вплив МІО на різальні інструменти, виготовлені з швидкорізальних сталей, в [50] встановлений вплив МІО на безвольфрамкові тверді сплави.

Проводилися попередні порівняльні лабораторні випробування різців [75], однак, дослідження по виявленню оптимальних характеристик режимів обробки не було отримано.

Аналіз літератури показав, що серед найменш досліджених методів підвищення надійності різальних інструментів перебуває МІО твердих сплавів для обточування деталей на важких верстатах. Метод магнітоімпульсної обробки різальних інструментів для підвищення їх зносостійкості досліджено для швидкорізальних матеріалів, а також для безвольфрамкових твердих сплавів. Однак, для збірних токарних різців для важких верстатів з твердосплавними пластинами найбільш актуальним є можливість підвищення їх міцності, що потребує нових досліджень.

5.4 Аналіз існуючих математичних моделей і цільових функцій для оптимізації регламентів експлуатації інструментів

Оптимізацію режимів різання проводять, як правило, по одному з наступних критеріїв:

- максимальної продуктивності [72, 74, 78],
- максимальної площі обробленої поверхні [89],
- мінімальної технологічної собівартості [17, 52, 121],
- мінімальних наведених витрат на обробку [27],
- мінімальної витрати інструмента на задану програму [89].

Якщо розрахунок стійкості буде здійснений з більшими погрішностями, то методика не буде мати великого практичного значення. У таблиці 5.5

представлені основні формули, використовувані для оптимізації режимів різання.

Таблиця 5.5

Цільові функції й математичні моделі, використовувані для оптимізації регламентів експлуатації інструментів

Цільові функції, математичні моделі	Джерело інформації, область застосування
$Q^* = \frac{K}{Kt_K + K(\sum C_i + t_e)}, K = \frac{1}{T_p}$	Критерій максимальної продуктивності
$A = \frac{60}{t_B + \left(1 + \frac{L_{pi}}{L_{pi}} \cdot \frac{\tau}{T_i}\right) \sum \frac{L_{pi}}{(S_p n_p)_i z}}$	Критерій максимальної продуктивності при багатоінструментальній обробці
$J = \frac{1}{t_{маш} + t_{всн} + t'_{см}}$	Критерій максимальної продуктивності
$C = \frac{V}{D} \left(q_1 - q_2 \frac{t_{CM}}{T_{EK}} \right) \frac{1}{nst},$	Критерій мінімальної собівартості при обробці на автоматичній лінії
$C = C_{20} t_M + \sum_{i=1}^n \frac{(C_2 t_{CMi} + C_i) t_M}{T_i} + \sum_{j=1}^m \frac{t_{ремj}}{t_{рабj}} t_M C_2$	Критерій мінімальної собівартості при обробці на верстатах зі ЧПК
$\theta = \frac{1}{v} \left(E_p + \frac{E_u}{T_a \left(1 - R(T) + T_p R(T) - \sigma \varphi \left(\frac{T_p - T_a}{\sigma} \right) \right)} \right)$	Критерій мінімальних наведених витрат на обробку деталей на багатоінструментальних верстатах автоматах
$Q = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{v_i s_i t_i} \left(E_p + \frac{\sum_{j=1}^m (E_{ui} \Lambda_j)}{T_H} \right)$	Критерій мінімальних наведених витрат на обробку деталей на багатоінструментальних верстатах зі ЧПК з урахуванням варіації стійкості
$E = t_C + \left(\frac{Q_f F_\tau(\tau_p) + Q_p R_\tau(\tau_p)}{\int_0^{\tau_p} R(\tau) d\tau} \right) t_L$	Критерій мінімальної собівартості обробки з урахуванням надійності роботи інструмента
$Q = \frac{C}{vst} \left(E_p + \frac{E_u}{\int_0^{T_R} T f(T) dT + T_R R} \right)$	Критерій мінімуму наведених витрат на обробку деталей з урахуванням надійності роботи інструмента

Різноманітність формул пояснюється тим, що не розроблено узагальнених аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати стійкість інструмента з достатньою точністю. Усі представлені в таблиці 5.6 розрахункові залежності не можуть бути використані з тієї причини, що в умовах важкого точіння відбувається постійна зміна як умов різання, так і оброблюваних матеріалів і різальних інструментів.

Таблиця 5.6

Стійкісні залежності, які використовуються для оптимізації режимів різання

Формула стійкості	Автор
$T = \frac{C_m}{V^\mu}$	Тейлор Ф.У.
$T = \left(\frac{C_V K_V}{vt^x s^y} \right)^{1/m}$	Горанський Г.К.
$T = \frac{C_m}{v_p^\mu + \frac{C_m}{T^{np}}}$	Темчін Г.І.
$T = \frac{C_m}{V^{(b_0+b_1v)}}$	Бу С.
$T = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(iy) + \sum_{i=1}^m b_i \sin(iy),$ $y = \frac{2\pi(v - v_0)}{v_n - v_0}, \quad v_0 \leq v \leq v_n$	Грановський Г.І.
$T = 100e^{a(1-\sqrt{1-b(\ln v - \ln v_{100})})}$	Коняшев В.В.
$T = \frac{C_T}{v^m x^{vm} (T_{np} - 100) + 100C_v^m}$	Клушин М.І.
$\ln T = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \ln v_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_{ij} \ln v_{ij}$	Старков В.К.
$T = \frac{C_{T0} v^K}{t^p s^q e^{K_1 v}}$	Бобров В.Ф.
$\bar{T} = \int_0^t e^{\lambda T} \left(0,5 - \Phi \left(\frac{\ln T - M}{\sigma} \right) \right) dT, \quad T = C_1 \left(\frac{C_T}{\theta} \right)^q$	Естерзон М.А.

Недоліком цих формул є те, що всі вони засновані на емпіричних даних і відповідають вузьким інтервалам параметрів режимів різання, геометрії інструмента, характерні для обмеженого кола оброблюваних матеріалів. Для оперативних розрахунків в умовах важкого обточування деталей необхідно мати таку залежність, яка забезпечувала б надійні результати розрахунків стійкості при досить широкій зміні умов різання.

Інше питання, яке не менш важливе, – це теоретичне прогнозування періоду стійкості різців. На даному етапі не розроблено розрахункових залежностей, що зв'язують закон розподілу стійкості й надійність роботи металорізального інструмента з параметрами режиму різання, якістю заготовок і інструмента. Отримати подібні залежності дуже важливо, тому що питання надійності роботи інструмента в умовах обточування деталей на важких верстатах мають важливе значення.

До основних недоліків класичних формул, що зв'язують технічне обмеження з режимами різання, слід віднести обмежену область їх застосування і тому при практичних розрахунках можна одержати більші погрішності при їхній екстраполяції. З іншого боку, усі формули мають великих кількість емпіричних констант. Тому необхідно мати більшу базу даних по різних коефіцієнтах, яка повинна постійно поповнюватися шляхом проведення експериментальних досліджень.

Незважаючи на велике різноманіття формул, що описують зв'язок стійкості інструмента з елементами режиму різання, не завжди забезпечуються необхідна імовірність і точність вихідної інформації для розрахунків режимів різання.

У реальних виробничих умовах відмови твердосплавного інструмента може відбуватися не тільки в результаті зношування різальної частини, але й у зв'язку з його руйнуванням. Тому для цих випадків залежності стійкості потребують уточнення.

Для практичного використання при розрахунках режимів різання зазначені залежності, обмеження (табл. 5.7), цільові функції (табл. 5.9)

потребують уточнення стосовно до конкретних умов, тому що значення показників ступенів коливаються в широкому діапазоні та вони досліджені, переважно для верстатів середніх типорозмірів.

У роботі [125] показано, що число періодів стійкості інструмента з деяким ступенем наближення можна вважати величиною, обернено пропорційної імовірності його руйнування.

Таблиця 5.7

Формули для розрахунків обмежень

№		Вид
	$s^y v^n \leq \frac{34C^{1,25} \left(\frac{\sin \varphi}{\sin 60} \right)^{0,8}}{C_p t^{x-0,77}}$	Міцність пластинки твердого сплаву
	$s^y v^{n+1} \leq \frac{102 \cdot 60 \cdot N \eta}{C_p t^x}$	Обмеження по потужності верстата
	$s \leq \sqrt{8RR_Z}$	Обмеження по шорсткості поверхні
	$s_{\min} \leq s,$ $s_{\max} \geq s,$ $s_{\min} \leq s,$ $s_{\max} \geq s$	Обмеження по кінематиці верстата
	$s^y v^n \leq \frac{0,05 \delta K D^4}{C_p \sqrt{1 + C^2 l^3 t^x}}$	Обмеження по точності обробки

Автори [17, 40] указували на необхідність обліку імовірності руйнування інструментів при визначенні подачі. Однак через відсутність зв'язків, що відбивають імовірнісний характер процесу різання з обліком як зношування, так і руйнування інструмента, це завдання повністю вирішене не було.

Враховуючи велике розсіювання періоду стійкості інструмента при його експлуатації на важких верстатах, особливе значення набуває дослідження надійності інструмента і її зв'язки з параметрами процесу експлуатації.

Цільові функції для оптимізації регламентів експлуатації інструмента

Назва параметру	Цільова функція
Наведені витрати	$\Pi = \frac{1}{SV} \left\{ \frac{\gamma}{100} \left[E + \frac{\tau_{zn} E + \frac{A_{ni}}{K}}{T_\gamma} \right] + \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right) \left[E + \frac{\tau_{za} E + \frac{A_{ni}}{K}}{\omega T} \right] \right\}$
Продуктивність	$t_{ш} = \frac{t_0}{60} \left(1 + \frac{t_{zn}}{T_\gamma} \right) \left(1 + \frac{t_{za}}{\omega T} \right)$ $\omega = \frac{\dot{O}_\gamma^b}{a^b (b+1)} + \frac{\dot{O}_\gamma^{2b}}{a^{2b} (2b+1)} - \frac{\dot{O}_\gamma^{3b}}{a^{3b} (3b+1)}$ $T_\gamma = a \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right)^{1/b}, \quad K = C_k S^{-mk}, \quad b = \frac{1}{V_\tau} \left(0,94 + \frac{0,56}{V_\tau} \right)$ $a = \bar{T} / \left[0,886 + 0,46(V_\tau - 0,49)^2 \right], \quad m_k = 0,7327 - 7,3 \cdot 10^{-5} D_c$ $T = \frac{C_v^{1/m_v} \left(0,108 q_p^{0,68} D_c^{0,15} - q_p + 1 \right)}{V^{1/m_v} S^{y_v/m_v} t^{x_v/m_v}}$
Витрата інструмента	$R = \frac{t_0 k_\vartheta}{\sum T_\phi}, \quad t_0 = \frac{1000}{Sv}, \quad k_\vartheta = Y_\vartheta^{m_\vartheta}$ $\sum T_\delta = q_p / T \left(1 - q_p + 108 D_c^{0,15} q_p^{0,68} \right)$
Надійність технологічної системи	$\hat{E} \tilde{A} \tilde{n} = \frac{\mu^2}{3\mu^2 + 4\mu\lambda + 2\lambda^2},$ $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}, \quad \lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad \lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad \mu_i = \frac{1}{\tau_3}$

Метод розв'язання завдання пошуку оптимальних регламентів експлуатації різальних інструмент може бути реалізовано одним з наступних способів:

- аналітичним, коли привінюються нулю частки похідні функції від

досліджуваного параметра [9],

- методом лінійного програмування, коли система технічних обмежень і цільова функція можуть бути наведені до системи лінійних рівнянь [2],

- методами нелінійного програмування, коли система обмежень і цільова функція будуть виражатися нелінійними функціями, наприклад, методом як найшвидшого спуска [84], симплексним методом [32] і іншими методами [37].

Методи оптимізації цілком залежить від складності рівнянь, що зв'язують цільову функцію й технічні обмеження з режимами різання. Метод оптимізації повинен оцінюватися за наступними критеріями: по точності розрахунків, по швидкодії розрахунків і універсальності методики.

6 ЗНОШУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

6.1 Зношування різального інструменту

6.1 Зношування як руйнування контактних площадок робочої частини інструменту. Види зношування

В процесі різання металів внаслідок тертя стружки по передній поверхні леза і задніх поверхонь леза по поверхні заготовки відбувається зношування різця, яке проходить в вигляді стирання і видалення мікрочасток поверхонь, а також в вигляді мікросколювань (викришувань) різальної кромки. Знос інструментальних матеріалів відбувається і в вигляді пластичного деформування під дією сил різання частини матеріалу, яка утворює різальну кромку.

Тертя і пов'язаний з ним знос при різанні металів відрізняється від загального тертя поверхонь деталей машин. Під час різання виникає тертя між поверхнями, які постійно знову утворюються (оновлюються). Це тертя протікає при високих температурах, високих тисках і на відносно невеликих поверхнях контакту.

З фізичної сторони процес зношування інструмента є дуже складним.

Розрізняють наступні різновиди зносу: абразивний, адгезійний (молекулярний), дифузійний і окислювальний.

Абразивний знос виникає внаслідок дряпання-зрізання мікроскопічних об'ємів матеріалу інструменту твердими структурними складовими оброблюваного металу (карбіди, частки наросту, який руйнується і переноситься стружкою, ливарна корка і окалина на заготовках).

Адгезійний (молекулярний) знос виникає внаслідок дії значних сил молекулярного зчіплювання (налипання, зварювання) між матеріалом заготовки (стружки) та інструменту, що викликає при ковзанні відрив найдрібніших часток матеріалу інструменту.

Дифузійний знос виникає внаслідок взаємного розчинення реагуючих пар оброблюваного металу і матеріалу інструменту.

Окислювальний знос виникає як результат хімічної реакції кисню повітря з кобальтовою фазою твердого сплаву та карбідами вольфраму і титану при температурі різання 700-800°C, при цьому найбільш сильно окислюється кобальт. Твердість продуктів окислення в 40-60 разів нижча твердості твердих сплавів. Внаслідок розм'якшування кобальтової фази порушується монолітність сплаву і послаблюється зв'язок між зернами карбідів. Це утворює умови для виривання карбідних зерен силами тертя, що діють на контактних поверхнях заготовки і інструменту, і для їх зношування.

В реальних умовах оброблення можуть мати місце всі види зносу з переважним впливом одного з них в залежності від умов різання: фізико-механічних властивостей оброблюваного металу і матеріалу інструмента, виду і фізико-хімічних властивостей МОР, елементів режиму різання (рис. 61) та геометрії робочої частини інструменту, жорсткості системи ВПД і таке інше.

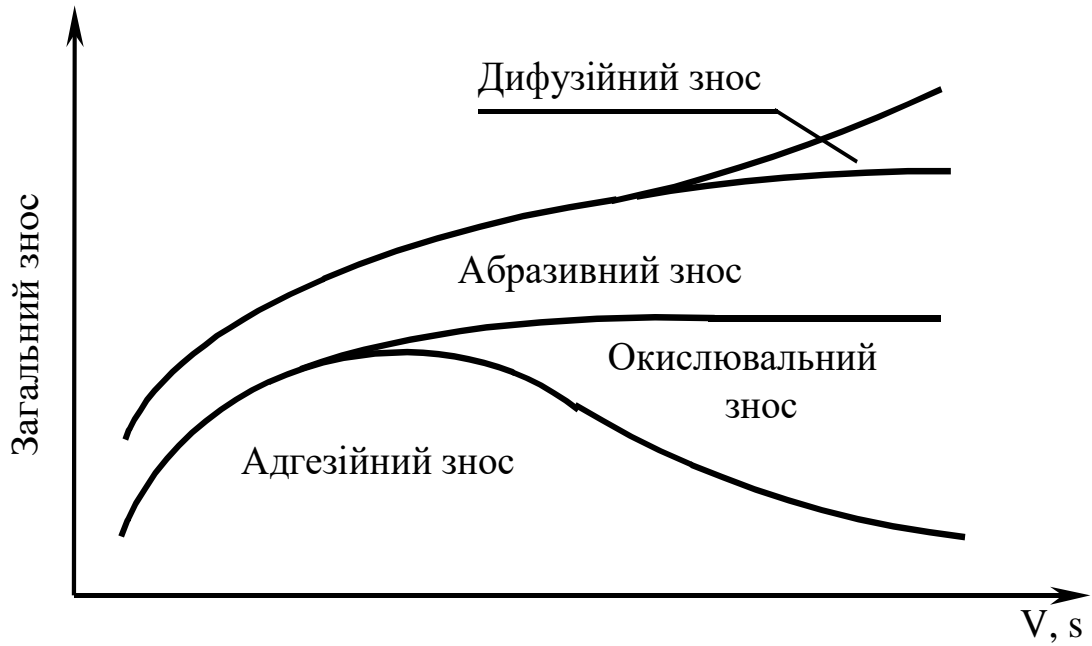


Рисунок 6.1 – Вплив швидкості різання та подачі на види зношування

6.1.2 Зовнішня картина зношування інструменту

В загальному випадку різець зношується по передній і задній поверхням, але в залежності від умов оброблення може переважати той чи інший із вказаних видів зношувань (рис. 62 а, б, в).

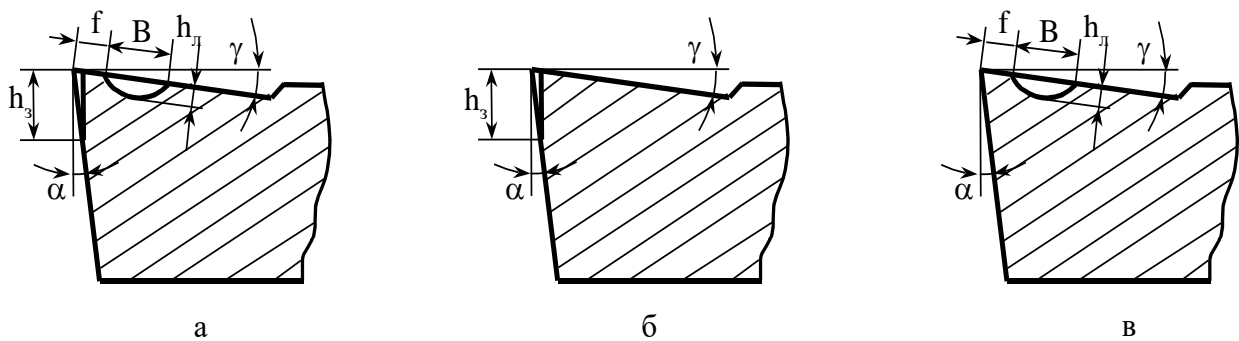


Рисунок 6.2 – Зовнішня картина зношування поверхонь леза інструменту

- а – зношування по передній та задній поверхнях леза;
- б – зношування по задній поверхні леза;
- в – зношування по передній поверхні леза

Зношування по задній поверхні характеризується висотою площадки h_3 , по передній поверхні – глибиною h_n і шириною лунки B , довжина лунки змінюється незначно.

В процесі роботи знос інструменту як по передній, так і по задній поверхням збільшується, зменшуючи площадку f . Коли ширина лунки B буде такою, що вона досягне різальної кромки, остання зруйнується і різець вийде із ладу. Щоб різець міг знову різати, його необхідно заточити, вилучивши при цьому певний шар по передній і задній поверхням леза.

У різців, які мають радіус округлення при вершині, зношування по задній поверхні вздовж активної частини різальної кромки розповсюджується нерівномірно. Найбільша величина зносу різця при роботі не по кінці має місце біля вершини, тому що вершина знаходиться в найбільш важких температурних умовах внаслідок притоку теплоти з боку допоміжної різальної кромки. Крім того кут α на округленій ділянці є перемінним і меншим від кута біля прямолінійної кромки.

У відрізних і прорізних різців найбільш напруженим буде місце переходу від головної різальної кромки до допоміжної, де зношування по задній поверхні буде декілька більшим в порівнянні з іншими ділянками різальної кромки.

Зношування твердосплавних різців може супроводжуватись осипанням і викришуванням вершини леза. Під *осипанням* розуміють часткове або суцільне руйнування леза розміром, який не перебільшує 0,3 мм. Під *викришуванням* розуміють часткове або суцільне руйнування лез і поверхонь інструменту розміром від 0,3 до 1 мм. Більш значні ушкодження лез (сколювання) відносяться до контактного руйнування різальної частини інструменту.

При різанні інструментами із твердих сплавів з дуже значними силовим і тепловим навантаженнями перед зношуванням інструмента інколи спостерігається пластичне деформування леза (рис. 63). Зміна форми леза полягає в пониженні частини передньої поверхні інструменту, яка прилягає до головної різальної кромки. Внаслідок скривлення задньої поверхні на ній

утворюється нульовий або негативний задній кут, який сприяє інтенсивному зношуванню інструмента.

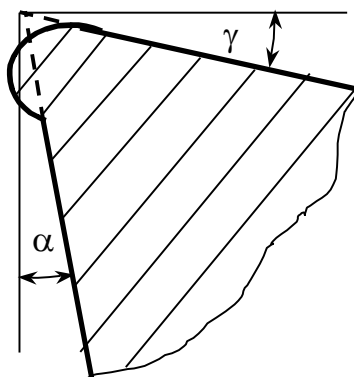


Рисунок 6.3 – Пластичне деформування леза інструменту

6.1.3 Методи вимірювання величини зношування. Крива зносу різців

Зношування по задній поверхні h_z можна виміряти за допомогою звичайної лупи з 20-кратним збільшенням, а глибину лунки – за допомогою індикатора (*лінійний метод*).

Сумарний знос по задній і передній поверхнях можна визначити зважуванням на аналітичних терезах інструменту до і після досліду (*метод зважування*). Сумарний знос інструменту можна визначити також і за допомогою *метода радіоактивних ізотопів*. Його сутність полягає в утворенні в інструменті радіоактивних ізотопів шляхом опромінення його ядерними частинками, які в вигляді продуктів зношування будуть виноситись стружкой. По радіоактивності стружки за допомогою спеціального лічильника і визначається величина сумарного зносу.

Залежність величини зносу інструмента від часу оброблення описується кривою, яку можна розділити на три ділянки (рис. 64):

I – період припрацювання, в якому проходить стирання найбільш виступаючих часток поверхні; чим менший параметр шорсткості будуть мати поверхні тертя, тим менш різко збільшується знос в один і той же час;

II – період нормального зношування; він характеризується тим, що знос поступово збільшується з часом роботи;

III – період підвищеного (катастрофічного) зносу; характеризується різким зростанням зносу за рахунок зміни умов тертя і сильного підвищення температури різання.

Об'єктивним кількісним показником зношування інструмента є інтенсивність наростання зносу, яка вимірюється в міліграмах на 1 м робочого шляху різальної кромки dM/dL . Використовуючи поняття інтенсивності зношування dM/dL , можна порівнювати зносостійкість різних інструментальних матеріалів і судити про вплив на стійкість інструмента його геометричних параметрів та факторів режиму різання.

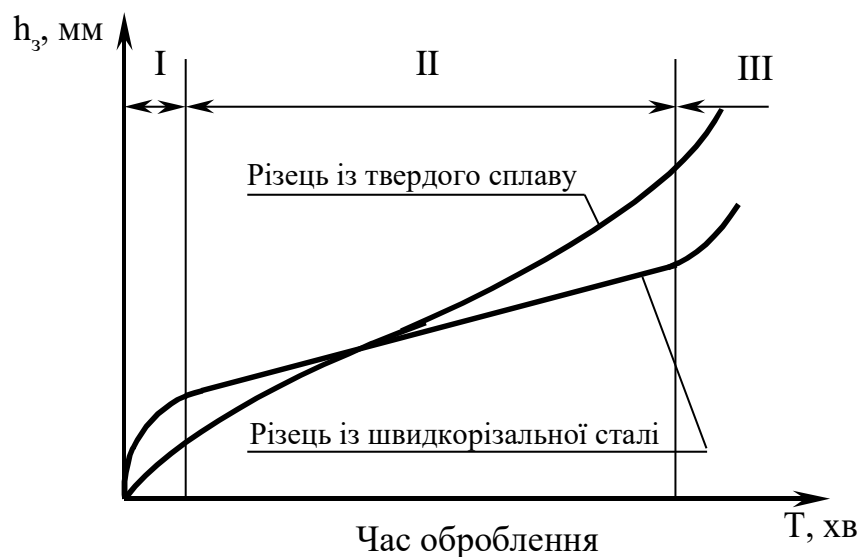


Рисунок 6.4 – Крива зношування різців

6.1.4 Вплив на зношування умов різання

При різанні крихких матеріалів (чавун, бронза) різці зношуються в основному по задній поверхні незалежно від матеріалу різця. Це пояснюється тим, що сипуча стружка надлому має малу дію стирання на передню поверхню різця, тоді як його задні поверхні знаходяться з заготовкою в постійному контакті. І лише при високих швидкостях різання спостерігається знос і по

передній поверхні. Внаслідок великої дії стирання чавуна різець вийде із ладу при більш низькій температурі різання в порівнянні з температурою різання під час оброблення сталі.

При різанні пластичних металів знос різця буде протікати більш складно. На малій швидкості різання, коли нарід відсутній, зношується в основному задня поверхня. Це пояснюється тим, що швидкість тертя по задній поверхні буде більшою в порівнянні із швидкістю тертя стружки по передній поверхні (із-за усадки стружки). Однак при товстих стружках, коли тиск на передню поверхню більший, утворюється лунка.

При швидкостях різання, коли нарід стійкий, він може дещо захищати задню поверхню від зносу, а тому при товстих стружках і відсутності МОР знос в основному буде протікати по передній поверхні різця (за наростом). По мірі збільшення ширини лунки і зменшення опорної площадки під наростом нарід зменшується настільки, що перестає захищати задню поверхню і вона починає зношуватись. При тонких стружках і з використанням МОР утворення наросту погіршується, а тому знос в цій зоні швидкостей буде проходити і по задній поверхні.

На високих швидкостях різання, починаючи з яких нарід відсутній, ($a < 0,1$ мм) знос протікає більше по задній поверхні. При товстих стружках – по передній. Це пояснюється тим, що при товстих стружках поряд з великим тиском на передню поверхню температура на ній вища, чим на задній.

Розглянутий характер зносу при обробленні сталі різцями із швидкорізальної сталі зберігається в основному і для твердосплавних різців. Однак внаслідок крихкості твердих сплавів знос по задній поверхні у них більший, чим по передній; особливо це відноситься до оброблення на малих швидкостях різання, коли знос по лунці майже відсутній. Нарід для твердосплавних різців не є захисним фактором від зносу, і може, навпаки, стати причиною руйнування різальної кромки, тому що руйнування наросту може супроводжуватись підсиленням викришуванням твердого сплаву. На знос

твердосплавних різців впливає і вид оброблюваного металу; сплави групи ТК менше зношуються при обробці сталі і більше при обробці чавуна.

Мінералокерамічні різці зношується в основному по задній поверхні.

На знос різця сильно впливає шорсткість поверхонь заточування різця. Чим менша шорсткість передньої і задньої поверхонь різця, тим менше тертя між контактуючими поверхнями, тим менше знос.

При збільшенні кута різання δ знос по передній поверхні збільшується тому, що збільшуються сили різання.

Чим більше радіус округлення різальної кромки ρ , тим більший знос по задній поверхні, особливо при малих товщинах зрізу, коли вплив ρ на деформацію зрізу і сили різання більш інтенсивний.

Використання МОР зменшує знос різця, особливо по передній поверхні, що пояснюється полегшенням утворення стружки, зменшенням сил тертя на поверхнях ковзання і зменшенням температури нагрівання інструменту.

Величина зношування може бути визначена за допомогою емпіричних формул, які описують зв'язок між величиною зносу і режимами різання для періоду нормального зношування інструмента

$$h_z = C_h T^p V^m s^n t^q.$$

В цій формулі $m > n > q$, тобто на величину зносу найбільш впливає швидкість різання, потім подача і найменше глибина різання. Із цього маємо, що інтенсивність впливу параметрів режиму різання на величину зношування така ж, як і на температуру різання.

6.1.5 Критерії зносу інструмента

Знос інструмента впливає на сили різання (тертя на задній поверхні збільшується), температуру різання, параметри шорсткості обробленої поверхні, точність оброблення, вібрації. Тому необхідно встановити критерії, за допомогою яких можливо визначити час, після якого різець необхідно переточити.

Існує декілька критеріїв зносу різців.

Критерій блискучої смужки. Різець вважається зношеним і його необхідно переточити, коли при обробці сталі на поверхні різання появиться блискуча смужка (рис. 65), а при обробці чавуна – темні плями. В даний момент окремі точки різальної кромки вже починають викришуватись, в цих місцях різець зминає поверхню різання і як би полірує її. Поява блискучої смужки відповідає початку третього періоду зносу.

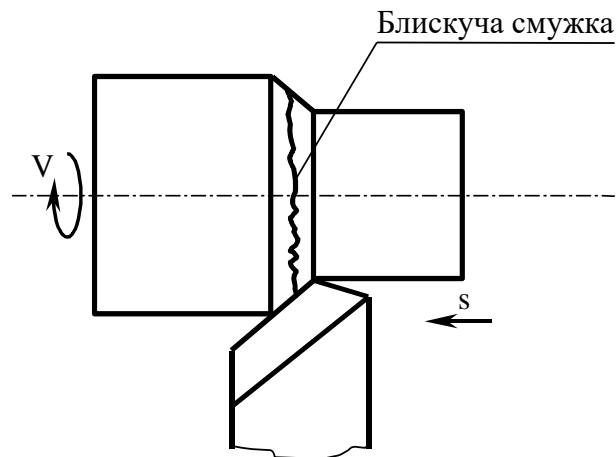


Рисунок 6.5 – Блискуча смужка на поверхні різання

При роботі твердосплавними різцями смужку і плями помітити важко.

Силовий критерій (критерій Шлезінгера). Різець вважається затупленим, коли починається різке збільшення сил, особливо P_y і P_x . Недолік методу – необхідність мати на верстаті спеціальні прилади для вимірювання сил.

Критерій оптимального зносу. Оптимальним зносом вважається такий знос, при якому загальний термін служби інструменту виходить найбільшим. Загальний термін служби інструменту M визначається як здобуток кількості переточувань k , яку дозволяє розмір пластини при даній величині зносу, на час роботи T , за який цей знос утворився, тобто

$$M = kT.$$

Кількість переточувань, яку дозволяє розмір пластини, при її зносі по передній поверхні (рис. 6.6, а)

$$K_1 = \frac{\frac{2}{3}C}{h_n + \Delta},$$

де C – товщина пластини, мм;

h_n – глибина лунки, мм;

Δ – допуск на заточування. $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

Кількість переточувань, яку допускає розмір пластини при зносі по задній поверхні (рис. 6б, б), визначається через знос в напрямку передньої поверхні p :

$$p = a / \cos \gamma; \quad a = h_3 \operatorname{tg} \alpha,$$

тоді

$$p = h_3 \operatorname{tg} \alpha / \cos \gamma.$$

Звідси

$$K_2 = \frac{\frac{2}{3}B}{\frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} + \Delta},$$

де B – довжина пластини, мм.

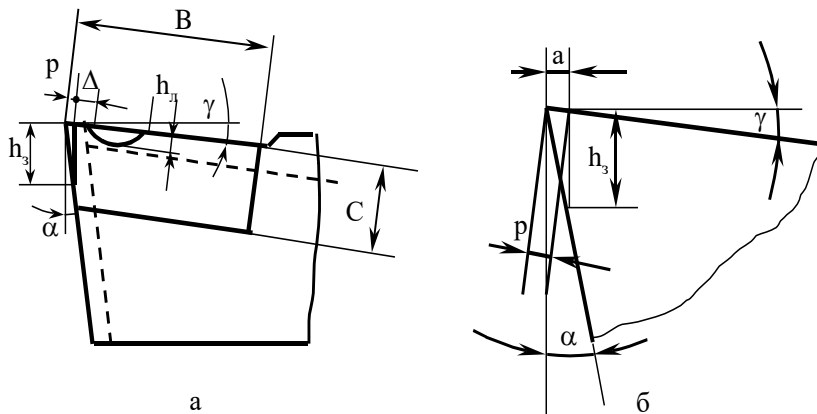


Рисунок 6.6 – Розрахункові схеми для визначення кількості переточувань

Залежність загального терміну роботи різця від величини допустимого зносу по задній поверхні має вигляд (рис. 6.7)

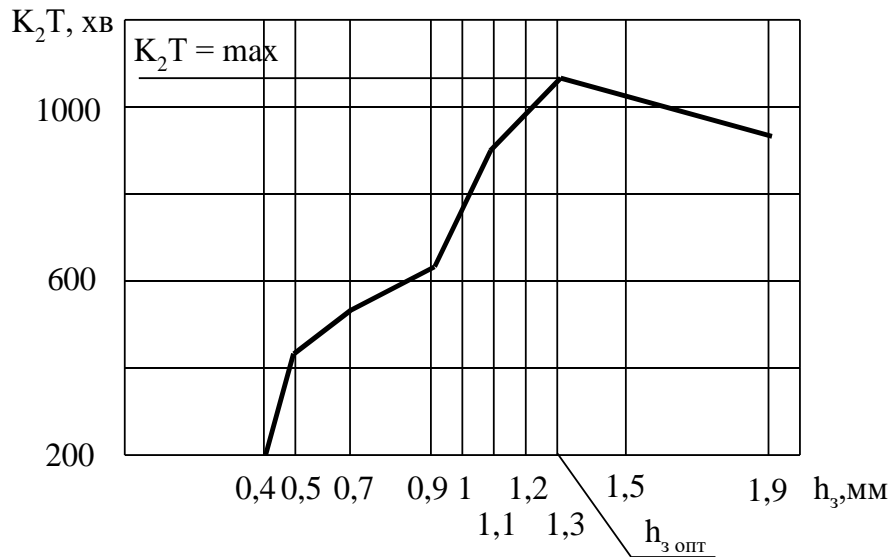


Рисунок 6.7 – Вплив величини зносу на загальний термін роботи інструменту

Критерій оптимального зносу використовується в дослідницьких роботах по визначенню різальних властивостей інструменту, призначеного для чорнових і напівчистових робіт. Він може використовуватися і в виробничих умовах для інструменту, призначеного для оброблення деталей масового виробництва, а також інструменту дорогого і складного в виготовленні.

До недоліків цього критерію відноситься необхідність доведення різця при дослідженнях до значного зносу.

Технологічний критерій. Цей критерій використовують до інструменту, який призначений для чистового оброблення. Його сутність полягає в тому, що інструмент вважається зношеним, коли оброблена поверхня перестає відповідати технічним умовам (рис. 6.8).

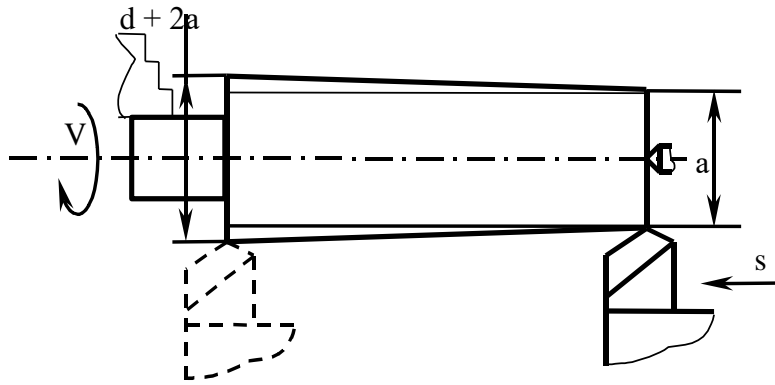


Рисунок 6.8 – Схема, яка пояснює сутність технологічного критерію

Із розглянутих критеріїв найбільше розповсюдження здобули критерій оптимального зносу і технологічний критерій.

Для токарних прохідних і підрізних різців з пластинками із твердих сплавів рекомендуються в якості критеріїв наступні величини зносу по задній поверхні:

- а) при чорновій обробці сталей $h_3 = 1,0-1,4$ мм, при чистовій – $0,4-0,6$ мм;
- б) при чорновій обробці чавуна $h_3 = 0,8-1,0$ мм, чистовій – $0,6-0,8$;
- в) для відрізних різців $h_3 = 0,8-1,0$ мм.

Для оцінювання якості різального інструменту використовуються і інші критерії: величина відносного зносу (відношення величини зносу по задній поверхні або радіального зносу до довжини шляху різання або до площі обробленої поверхні); величина інтенсивності зносу, яка виражена в мм^3 або мг зношеної маси інструмента за 1 метр шляху різання або на 1 см^2 обробленої поверхні.

6.2 Руйнування та надійність інструменту

6.2.1 Руйнування робочої частини інструмента

Окрім поступового зношування інструмент може виходити із ладу внаслідок руйнування його робочої частини. Руйнування може бути крихким або пластичним.

Крихке руйнування виникає під дією найбільших напружень розтягування і є наслідком зародження і розвитку тріщин. Необхідно розрізняти викришування і сколи. *Викришування* проявляється в відокремленні малих часток клину біля головної різальної кромки і частіше всього пов'язане з поверхневими дефектами інструментального матеріалу, неоднорідністю мікроструктури і залишковими напруженнями. *Сколи* представляють собою відокремлення порівняно більших об'ємів інструментального матеріалу, які перевищують об'єм клина в межах контакту поверхні зі стружкою (рис. 6.9).

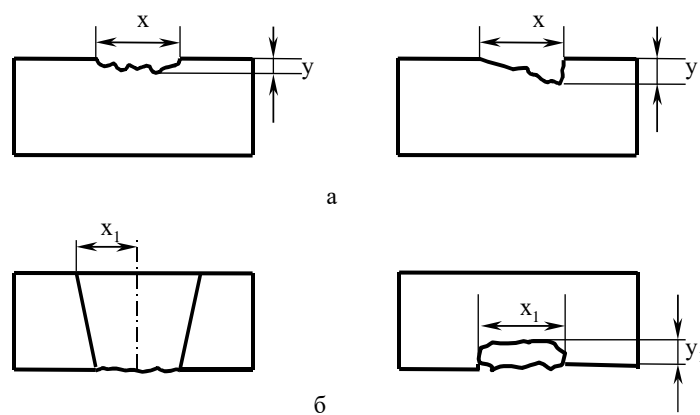


Рисунок 6.9 – Руйнування леза інструменту сколюванням

а – вигляд сколів на передній поверхні леза;

б – вигляд сколів на задній поверхні леза

Величини y , y_1 близькі за розміром з шириною контакту стружки з передньою поверхнею, x , x_1 – близькі за розміром з шириною зрізу.

Сколи суттєво залежать від величини переднього кута і кута загострення. Найбільший вплив має товщина зрізу. Швидкість різання при безперервному різанні на сколи не впливає. Сколи для визначеного інструментального матеріалу і форми різальної частини інструменту залежать від межі міцності при одноосному розтягуванні і межі витривалості та ударної в'язкості при переривчастому різанні.

Швидкорізальні сталі менше піддаються крихкому руйнуванню, ніж тверді сплави. Серед твердих сплавів перевагу за цим показником необхідно віддати однокарбідним сплавам.

Силове навантаження на інструмент є не єдиною причиною крихкого руйнування. При переривчастому різанні не менш важливі значення мають термічні напруження, особливо для інструментів, оснащених пластинами із твердих сплавів.

Пластичне руйнування характеризується течією тонких шарів інструментального матеріалу переважно вздовж задньої поверхні. Пластичне руйнування при безперервному різанні настає при визначеній швидкості різання. Внаслідок пластичного руйнування клин інструменту втрачає правильну форму і головна різальна кромка не може зрізати шар, який залишився під оброблення.

6.2.2 Надійність інструменту

Надійність – це властивість інструменту виконувати оброблення різанням, зберігаючи експлуатаційні показники відповідно до заданих на операцію вимог протягом визначеного терміну. Надійність інструменту, продуктивність оброблення і якість виготовлених деталей є взаємно пов'язаними поняттями; так із збільшенням продуктивності, як правило, зменшується надійність інструменту, а часто і якість виробів.

Надійність будь якого виробу визначається безвідмовністю, ремонтпридатністю і зберігаємістю.

Безвідмовність – властивість інструменту зберігати працездатність протягом заданого терміну без вимушених перерв. Необхідно відрізнити відмову внаслідок порушення працездатності інструмента і несправність внаслідок його невідповідності вимогам технічної документації. Відмови інструмента поділяються на *конструктивні*, які обумовлені похибками проектування, і *технологічні*, які обумовлені його невірним виготовленням і експлуатацією. Вихід інструменту із ладу визначається частковою або повною

втратою його працездатності. Тому відмови бувають *усувні*, якщо працездатність можливо усунути переточуванням або ремонтом (зношування, викришування) і *неусувні*; в останньому випадку інструмент списують (сколи, руйнування пластини, розкріплення пластини, руйнування корпусу).

Тривалість безвідмовної роботи інструменту може бути виражена часом роботи τ_i до будь-якої відмови, сумарним часом роботи $\Sigma \tau_i$ до повної неусувної відмови. В масовому виробництві більш зручно визначати ці характеристики кількістю деталей Z_0 , які оброблені даним інструментом до будь-якої відмови, і ΣZ_0 – до неусувної відмови.

Безвідмовність інструмента визначається ймовірністю його безвідмовної роботи і інтенсивністю відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(\tau)$ характеризує ймовірність того, що в заданому інтервалі часу τ не виникає відмов інструменту.

Інтенсивність відмов $\lambda(\tau)$ визначається ймовірністю відмови в одиницю часу після даного моменту оброблення при умові, що відмова до цього моменту не виникла; таким чином, ця характеристика дозволяє з'ясувати причину відказів.

Ремонтопридатність – властивість інструменту, яка полягає в його пристосованості до попередження, знаходження та усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів. Час τ_{ei} на відновлення інструмента складається із часу на його заточування, заміну, регулювання збірного інструменту, заміну і налагоджування. Ремонтопридатність інструменту оцінюється середнім часом відновлення τ_{ei} або середнім сумарним часом відновлення $\Sigma \tau_{ei}$.

Довговічність – властивість інструменту зберігати працездатність до кінцевого стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонтів. Довговічність інструменту D кількісно оцінюється тими ж характеристиками, що й безвідмовність, якщо розглядати тільки неусувні відмови.

Зберігаємість – властивість інструменту зберігати свої експлуатаційні характеристики під час і після терміну зберігання і транспортування, встановленого в технічній документації.

Показник надійності набуває особливого значення в умовах гнучких автоматизованих виробництв. В цьому випадку виникає необхідність автоматизованої діагностики працездатності інструмента. Для цієї мети використовуються автоматичні діагностичні пристрої, які працюють на принципі щупання та візуальному принципі з подальшим обробленням інформації на ЕОМ (поза зоною оброблення). Під час різання діагностика стану інструменту виконується за зміною сил різання, термоелектрорушійної сили, вимірюванням зносу термопарами, з допомогою акустичних систем.