

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Харламов Ю.О., Соколов В.І.,
Кроль О.С., Міцик А.В., Романченко О.В.**

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Навчальний посібник

Севєродонецк – 2019

УДК 621.9.02
3 12

Рекомендовано Вченою радою
Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля
(протокол № 3 від 30.03.2018 р.)

Рецензенти:

- Пермяков О.А.* завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», д.т.н., проф.
Драгобецький В.В., завідувач кафедри технології машинобудування Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, д.т.н., проф.
Драгобецький В.В., завідувач кафедри технології машинобудування Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, д.т.н., проф.

3 12 **Забезпечення надійності різального інструмента:** Навчальний посібник / Ю.О. Харламов, В.І. Соколов, О.С. Кріль та ін. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. – 212 с.: табл. 40., іл. 203., бібліогр. 22 назв.

ISBN 978-617-11-0120-3

Розглянуто основні види відмов різального інструменту – знос і викришування різальних кромки, поломки, вібрації та ін. Описано шляхи забезпечення надійності різального інструменту – вдосконалення конструкцій і інструментальних матеріалів, підвищення жорсткості та вібростійкості технологічних режимів різання, оптимізація форми різальних лез і режимів обробки тощо. Узагальнено досвід промисловості щодо забезпечення працездатності різального інструменту – різців, свердел і інших видів осьового інструменту, фрез, протяжок, зуборізного та різьбонарізного інструменту.

Для студентів, що навчаються за спеціальністю «Інструментальне виробництво», може бути використано студентами, що навчаються за спеціальностями «Металорізальні верстати та системи» і «Технологія машинобудування», а також інженерно-технічним працівникам, що займаються інструментальним забезпеченням виробництва.

ISBN 978-617-11-0120-3

УДК 621.9.02

© Харламов Ю.О., Соколов В.І.,
Кріль О.С., Міцик А.В., Романченко О.В.
© Східноукраїнський національний
університет імені Володимира Даля,
2019

ВСТУП

Різальний інструмент грає найважливішу роль в процесах обробки матеріалів різанням і визначає в цілому працездатність технологічних систем машинобудування. В першу чергу це стосується операцій механічної обробки з підвищеними теплосиловими навантаженнями на різальний інструмент – в умовах високошвидкісного різання, при обробці загартованих, корозійностійких, жароміцних сталей і сплавів, композиційних матеріалів та ін.

Для забезпечення працездатності різального інструменту необхідний комплексний підхід, що враховує всі конструктивно-технологічні можливості підвищення його експлуатаційних властивостей. Експлуатаційні властивості різального інструменту визначаються не тільки фізико-механічними характеристиками інструментального матеріалу і поверхневих шарів робочих площадок інструменту, але і геометрією і шорсткістю цих поверхонь, конструктивними особливостями інструменту, технологією його виготовлення, застосуванням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ, схемою різання і іншими умовами різання.

Існуючі інструментальні матеріали, як правило, не можуть забезпечити високу працездатність різального інструменту при різноманітному характері умов його експлуатації. Наприклад, швидкорізальні сталі характеризуються високими властивостями міцності, але мають порівняно невисоку твердість і теплостійкість, а різальна кераміка, навпаки, має високі значення твердості і теплостійкості, але має низькі міцнісні властивості.

Підвищення зносостійкості контактних площадок різального інструменту може бути забезпечено застосуванням різних методів інженерії поверхні (поверхневої термічної, хіміко-термічної, обробкою поверхневим пластичним деформуванням, нанесенням зносостійких покриттів, модифікацією властивостей поверхневого шару інструменту та іншими способами).

Підвищити працездатність, а таким чином, і надійність різального інструменту можна шляхом оптимізації наступних факторів:

- раціонального поєднання міцності, теплофізичних і хімічних властивостей інструментального матеріалу, що забезпечуються використанням нових або зміцненням традиційних інструментальних матеріалів;
- режимів різання, геометрії інструменту і шорсткості робочих поверхонь інструменту;
- зниження контактних навантажень на поверхні лез інструмента;
- вибором раціональних схем різання і розташування різальних лез інструмента, що зменшують фактичний шлях різання і циклічність виникнення навантажень;
- конструкцій збірного інструменту, що підвищують його надійність і технологічні можливості.

В даному навчальному посібнику розглядаються проблеми забезпечення надійності різального інструменту, в т.ч. застосування сучасних матеріалів для виготовлення різальних інструментів і шляхи їх вдосконалення, умови раціональної експлуатації різальних інструментів, питання оптимізації конструкцій і геометрії різальної частини і умов різання для підвищення експлуатаційних властивостей інструменту і досвід їх застосування у вітчизняній і зарубіжній промисловості для основних видів різального інструменту.

Навчальний посібник може бути також використано студентами при вивченні дисциплін «Інструментальне виробництво», «Технологія інструментального виробництва», «Різальний інструмент» і ін., Використано при курсовому і дипломному проектуванні і може становити інтерес для інженерно-технічних працівників.

1. ВІДМОВИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

1.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДМОВ

Працездатний стан різального інструменту (леза) характеризується таким станом, при якому він здатний виконувати обробку різанням з встановленими вимогами. Відмовою різального інструменту (PI) є порушення його працездатного стану в результаті відхилення від встановлених значень хоча б одного з параметрів різального інструменту, вимог або характеристик обробки, виконуваної цим інструментом.

Розрізняють такі види відмов:

а) відмови, що призводять до збільшення простоїв обладнання на заміну інструменту:

- низька стійкість інструменту;
- викришування різальних лез;
- поломки інструменту;
- вібрації;
- налипання оброблюваного металу;

б) відмови, що призводять до зниження якості обробки і навіть до браку за розмірами та шорсткістю оброблених поверхонь;

в) інші відмови.

Можливі раптові і поступові відмови PI. Раптова відмова настає, як правило, внаслідок руйнування PI, поступова – після досягнення критичного значення критерію оптимального або технологічного зносу.

Причинами відмов протяжок, фрез, свердел, розверток, мітчиків зі швидкорізальної сталі Р6М5 є: поломка, сколювання (осередкове руйнування поблизу різальної кромки), стирання робочих поверхонь в нормальних умовах роботи і при значній пластичній деформації; смятие різальної кромки і адгезійне схоплювання.

Залежно від типу застосовуваного інструмента поломка (раптова відмова) становить від 1 до 12 % всіх відмов. Найбільш часто до

поломок схильні свердла (10...12 %), шевери, довбачи (5...8 %), протяжки і зубообробні ножі (4...7 %). Причини поломок різні й залежать від конструкції інструменту і умов різання. Для свердел основними причинами руйнування є знижена жорсткість інструменту при великому виліті і наявність стружководіаляючих канавок. Протяжки ламаються через високі напруги, що розтягують її в зоні підвищеної концентрації (западини між зубами, металургійні дефекти і дефекти заточування). Найхарактернішою причиною поломок є ударне навантаження на різальний інструмент.

Сколювання інструментального матеріалу як причина раптової відмови становить від 1 до 25 %. Відмова по сколюванню у шевера дорівнює 25 %, довбачів – 12...15 %, мітчиків – 6...8 %, прошивок, свердел і зенкерів – 3...6 %.

Вихід з ладу швидкокорізального інструменту в результаті природного зношування є основною причиною для переважної більшості досліджених інструментів. Наприклад, у свердел 61...73 % відмов, черв'ячних фрез – 88...92 %, розверток – 93...97 %. Тільки мітчики і довбачі через зношування виходять з ладу відповідно в 22...27 % і 53...61 % випадках.

Зминання (деформація) різальної кромки і схоплювання також є типовими причинами відмов швидкокорізального інструменту. Найбільш часто вони зустрічаються у мітчиків – 63...64 %, фасонних різців – 12...15 %, зенкерів, свердел – 14...15 %, черв'ячних фрез – 7...10 %.

1.2. ЗНОС ЛЕЗ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Перші ознаки зношування різальних кромки інструментів виявляються на самому початку різання, особливо у твердосплавних інструментів. Відбуваються мікровикришування в місцях кутових переходів, якими є місця сполучення головних і допоміжних різальних кромки, а також самих різальних кромки лез. Радіуси закруглення вершин в місцях сполучення різальних кромки і радіуси закруглення різальних кромки зростають. За прогресуючими розмірами зносу лез приймають рішення про допустимість або неприпустимість подальшої роботи інструменту.

Знос тільки задній поверхні леза. Задня поверхня леза піддається більш інтенсивному зношуванню, ніж передня. Візуально видимі ознаки зносу є тільки на задній поверхні леза і відсутні на передній

поверхні (рис. 1.1, а і 1.2, а-д). Знос по задній поверхні визначають лінійною мірою - максимальною шириною $h_{з max}$ зношеної поверхні.

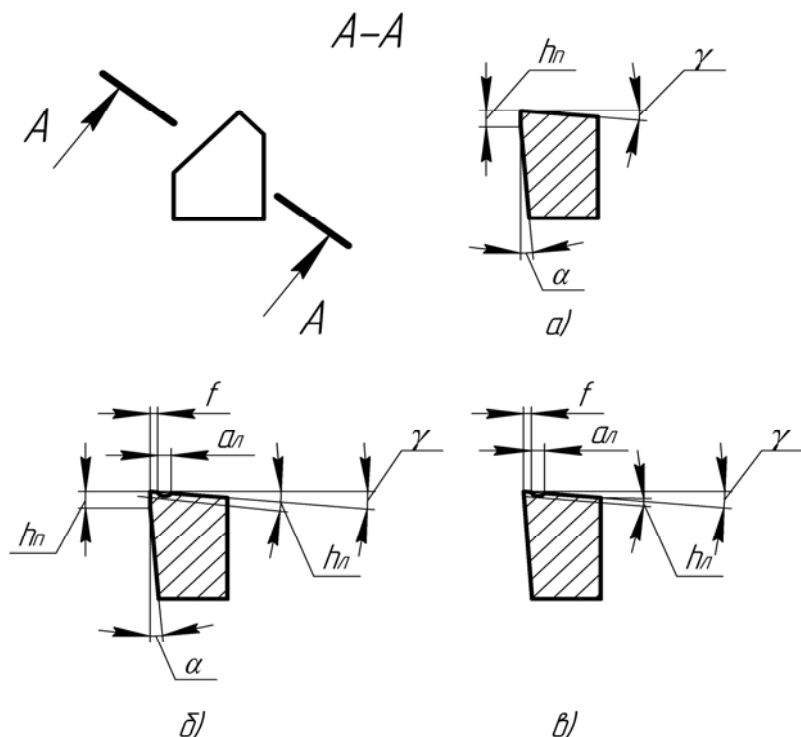


Рис. 1.1. Знос лез: а – тільки задній поверхні;
б – одночасно задній і передній поверхні; в – тільки передній поверхні

Знос задньої і передньої поверхонь леза. Зі збільшенням подач зростають значення всіх складових P_x , P_y і P_z сили різання, але в більшій мірі зростає складова P_x . Відповідно зростає тиск на контактні площадки леза і діючі на них сили тертя, причому особливо сильно на передню поверхню. Зношуванню одночасно піддаються і задня, і передня поверхні леза, але інтенсивність зношування передньої поверхні більше, ніж задньої. При цьому спостерігаються ознаки зносу як на задній, так і на передній поверхні леза (рис. 1.1, б і

1.2, ж). Знос по передній поверхні вимірюють як глибину $h_{л\ max}$ та ширину $a_{л\ }$ зношеного поглиблення, званого *лункою зносу*.

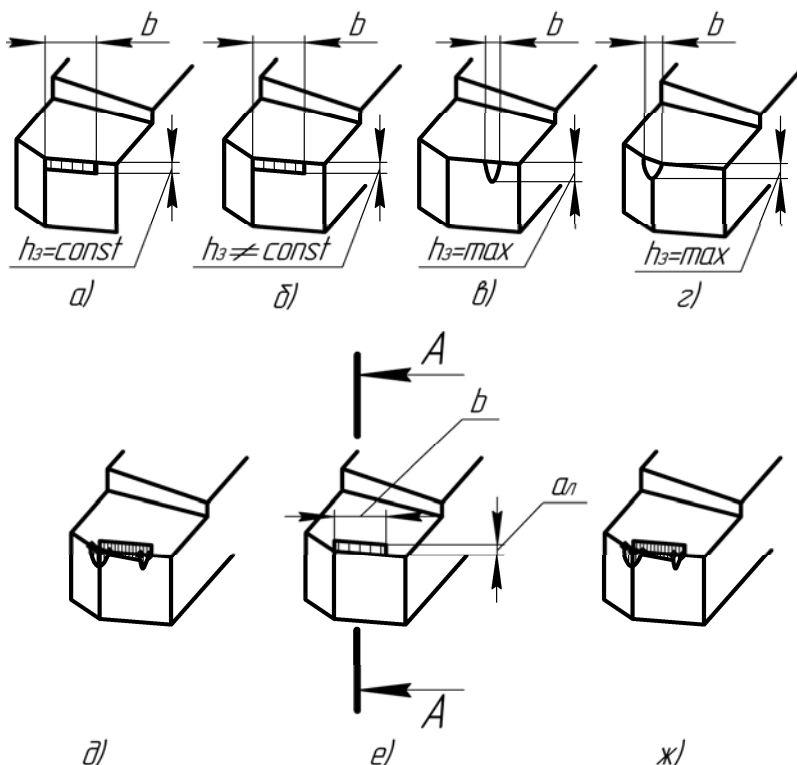


Рис. 1.2. Ознаки візуального зносу лез:

а – рівновеликий знос задньої поверхні; б – нерівномірний знос задньої поверхні; в – місцевий знос задньої поверхні; г – знос вершини різця по задній поверхні; д – комбінований знос; е – лунка на передній поверхні; ж – одночасний знос задньої і передньої поверхонь

Знос тільки передній поверхні леза. Обробка металів на важких верстатах зазвичай ведеться з великими подачами $S \geq 1$ мм/об і характеризується збільшенням розмірів контактних площадок, тиску і сили тертя, що діють на них, а також високою температурою на передній поверхні леза. Тому інтенсивність зношування передньої

поверхні леза набагато вище, ніж задньої. Візуальні ознаки зносу є тільки на передній поверхні леза і відсутні на задній поверхні (рис. 1.1, в і 1.2, е).

1.3. НИЗЬКА СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ

Причинами низької стійкості можуть бути:

а) низька якість або неправильний вибір різального матеріалу. Чим нижче жорсткість технологічної системи, чим менше швидкість різання і більше подача, тим міцнішим повинен бути різальний матеріал;

б) неправильна геометрія різальної частини, допущена на стадії проектування інструменту або на стадії переточки після затуплення і установки на верстаті;

в) неправильний режим різання:

- висока або низька швидкість різання;
- надмірно великі чи малі подачі. Мінімально допустима товщина зрізу твердосплавними інструментами – 0,07 мм, а швидкорізальними – 0,02 мм. Це не відноситься до прорізним фрез;

г) незадовільне охолодження інструменту. Властивості і спосіб подачі МОР погано відповідають умовам роботи;

д) погіршення оброблюваності матеріалу деталі пов'язано з підвищенням твердості, заміною матеріалу іншим, який обробляється гірше. Великий вплив на стійкість і інші сторони процесу різання надає мікроструктура оброблюваного металу;

е) погана якість заточування інструменту робить дуже сильний вплив на стійкість інструменту. Стійкість може знижуватися до одинадцяти і більше разів, що викликано не тільки порушенням заданої геометрії інструменту, але головним чином пріжогами і іншими дефектами;

ж) низька якість термічної обробки сталевих інструментів: недогрев або перегрів при загартуванні, недоотпуск;

з) вібрації, які супроводжують процес різання, не тільки знижують стійкість інструменту, але і погіршують якість обробки, негативно позначаються на стані металорізального верстата.

1.4. ВИКРИШУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ КРОМОК І ПОЛОМКИ ІНСТРУМЕНТУ

Викришування кромки і поломки інструменту – наслідок двох основних причин: недостатньої міцності різального клина і тіла інструменту або перевантаження інструменту. Руйнування різальної частини скорочує число переточувань або взагалі виключає можливість переточування, що різко збільшує витрати інструментального матеріалу.

Крихке руйнування різальної частини інструменту. Руйнування різального леза може відбуватися без помітних пластичних деформацій (крихке руйнування) або супроводжуватися істотними пластичними деформаціями і зміною форми (пластичне руйнування). Крихке руйнування відбувається у вигляді викришування різальних кромки або відколу різальної частини (рис. 1.3).

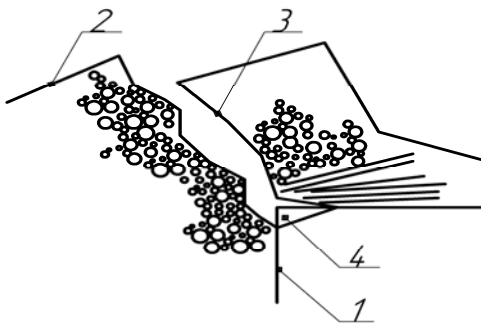


Рис. 1.3. Відрив зрізаного шару від оброблюваної заготовки і скол інструменту в момент його виходу при струганні:

1 – різець; 2 – заготовка; 3 – стружка; 4 – відколота частинка твердого сплаву

Викришування різальних кромки зазвичай пов'язане з поверхневими дефектами інструментального матеріалу, неоднорідністю структури, залишковими напруженнями, мікротріщинами, що виникли при припаюванні різальної пластини до державки інструменту, а також зі зміною схеми навантаження і напруженого стану при врізанні та виході інструменту.

Пластичні деформації різального леза. Сліди пластичних деформацій виявляються при вивченні форми лунки зносу на передній поверхні інструменту, а також аналізі змін форми різального леза в околиці різальної кромки (рис. 1.4). Пластичні деформації різального

інструменту характерні для різання з досить високими температурами і контактними навантаженнями.

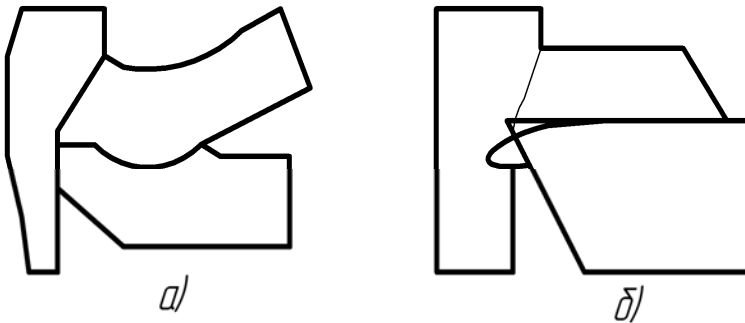


Рис. 1.4. Схеми пластичних деформацій різального леза:
а – на краю лунки на передній поверхні; б – в околиці різальної кромки

Недостатня міцність різального клина та тіла інструменту викликана наступними причинами:

а) підвищена крихкість різального матеріалу;
б) неправильна термічна обробка та заточка інструменту, що знижують його міцність: перегрів при загартуванні або недоотпуск швидкорізального інструменту, залишкові напруження розтягу, тріщини і мікротріщини як наслідок неправильної заточки або напайки пластин твердого сплаву;

в) ослаблення різального клина неправильно обраною геометрією: великі передні та задні кути, а також кути в плані, відсутність зміцнюючої фаски з негативним переднім кутом уздовж різальної кромки на передній поверхні твердосплавного клина; невідповідні стружколомаючі та стружкозавиваючі пристрої, вироблені на передній поверхні, що ослабляють тіло різального клина;

г) спочатку слабке тіло самого різального клина або інструменту. Якщо його не можна зміцнити за рахунок усунення причин по пп. (а – в), то вдосконалюють конструкцію інструменту, наприклад, фрези роблять з посиленням або параболічним зубом, використовують бесканавочні мітчики, збільшують товщину серцевини свердел і ін.

Перевантаження інструменту залежить від безлічі причин, пов'язаних із станом верстата, інструмента та умовами його роботи:

а) підвищена площа перерізу зрізу, спочатку обрана або фактично отримана через сильне биття різальних кромки багатолезових інструментів, в основному фрез;

- б) надмірне затуплення різального інструменту;
- в) защемлення стружки в стружковій канавці неправильної форми або малого обсягу;
- г) незадовільні властивості і подача МОР, що не забезпечують хорошої змащуваності контактних поверхонь інструменту в конкретних умовах застосування;
- д) робота з ударами твердосплавними інструментами з негативними або нульовими кутами нахилу різальної кромки і без зміцнення фаскою з негативним переднім кутом (точіння переривчастих поверхонь, точіння кованих заготовок, фрезерування торцевими фрезами, стругання і деякі інші види робіт);
- е) робота з вібраціями, що призводить до втомного руйнування леза інструменту.

Якщо сили різання можна зменшити усуненням викладених вище неполадок, вдосконалюють конструкції інструментів: упрочняють різальний клин і тіло інструмента, використовують прогресивні схеми різання, що завжди корисно, так як вони зменшують енергоємність процесу різання і в багатьох випадках сприяють підвищенню стійкості інструменту і підвищенню продуктивності різання.

1.5. ВІБРАЦІЇ

Вібрації порушують нормальну роботу верстата, знижують стійкість інструменту і погіршують якість оброблених поверхонь, іноді призводять до поломки інструменту.

Найбільш часто вібрації виникають при швидкісному точінні та фрезеруванні. Основною причиною виникнення вібрацій є недостатня жорсткість технологічної системи верстат – пристосування – інструмент – деталь, що залежить від стану верстата, кріплення деталі і інструменту.

1.6. НАЛИПАННЯ ОБРОБЛЮВАНОГО МЕТАЛУ

В процесі різання можуть утворитися великі налипи, видалити які з інструменту можна тільки абразивною обробкою. Ці налипи псують оброблені поверхні деталі. Налипання можуть вирости до таких розмірів, що інструмент заклинюється в оброблюваному отворі

й ламається. Це характерно для роботи мітчиків. Найбільш ймовірними причинами налипань є:

а) малі передні і особливо задні, в тому числі задні бічні і допоміжні кути різального інструменту;

б) малі допоміжні кути в плані у свердел, зенкерів, розверток і мітчиків;

в) велика площа поверхонь тертя: мітчики не затилованні за профілем, велика ширина пір'я, широкі стрічки у свердел, зенкерів, розверток, на яких задні допоміжні кути взагалі дорівнюють нулю;

г) погане змащування контактних поверхонь інструменту: невідповідна МОР або поганий доступ МОР до контактних поверхонь;

д) робота з великими товщинами зрізу або надмірно затупленим інструментом;

е) поганий стан контактних поверхонь інструменту: велика шорсткість, низька поверхнева твердість інструменту, як результат пріжогів при заточуванні або залишки після виготовлення інструменту знеуглецьованих шарів металу;

ж) в'язкий оброблюваний метал.

Усунення або зменшення налипань забезпечується зменшенням тертя на контактних поверхнях: збільшення задніх бокових і допоміжних кутів інструменту, збільшення зворотньої конусності і зменшення ширини круглошліфувальних стрічок у свердел, зенкерів, розверток, затилювання мітчиків за профілем, використання шахових і коригованих мітчиків, недопущення або видалення пріжогів при шліфуванні і заточенні інструменту, повне видалення знеуглецьованих шарів матеріалу інструменту, зменшення тертя за рахунок правильного вибору МОР і методу її підведення або шляхом створення екранують і антифрикційних плівок хромуванням, сульфідкування, епіламірованієм і іншими методами.

2. ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

2.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Збереження працездатного стану різального інструменту протягом заданого періоду часу пов'язано з вирішенням наступних завдань: 1) відбраковування різального інструменту (наприклад, методами магнітної або ультразвукової дефектоскопії) за дефектами, що можуть призвести до раптових відмов при експлуатації; 2) встановлення умов різання, в яких інструмент буде працювати з нормальним зношуванням; 3) оптимізації конструктивно-геометричних параметрів різального інструменту і режиму обробки, які забезпечать гарантовану працездатність інструменту (наприклад, методами статистичної оптимізації); 4) визначення критичних умов різання, при яких потрібне обов'язкове діагностування стану різального інструменту.

Працездатність інструменту при змінних режимах різання. Кожна одиниця інструменту експлуатується, як правило, при постійному режимі обробки незалежно від номенклатури деталей. Ефективність обробки в автоматизованому виробництві можна підвищити, якщо режим різання інструментом змінювати в залежності від стратегії управління продуктивністю процесу, витратою інструменту та ін.

При свердлінні швидкорізальними свердлами отворів в заготовках з сірого чавуну зі змінними протягом одного періоду стійкості режиму різання можливі як збільшення, так і зменшення сумарної стійкості свердла. Цей ефект пояснюється адитивністю зносу, тобто накопичений знос інструменту є накладенням зносів від кожного режиму різання. Тому застосування режиму різання, який допускає більшу величину зносу після режиму з меншим допустимим зносом, дозволяє підвищити працездатність інструменту без його заміни. При управлінні різанням в ГВС ця встановлена закономірність

дає можливість змінити стратегію (режим) обробки з метою продовження періоду експлуатації наявного інструменту при відсутності нового.

Підвищення працездатності інструменту поверхневою зміцнюючою обробкою. До теперішнього часу розроблені і освоєні різні методи поверхневої зміцнюючої обробки різального інструменту. Все їх різноманітність можна звести до п'яти основних груп:

- нанесення покриттів;
- поверхневе легування;
- термічна обробка;
- деформаційне зміцнення;
- комбінована обробка поєднанням різних методів.

2.2. Удосконалення конструкцій різального інструменту

Висока продуктивність і точність обробки різанням забезпечуються комплексом вимог при конструюванні різального інструменту, пов'язаних з вибором: матеріалу і геометрії різальної частини; міцності і вібростійкості державки і різальних кромки; форми і розмірів пластинки інструментального матеріалу; способу і конструкції кріплення пластинки інструментального матеріалу (для пластин з механічним кріпленням); способу стружколомання; розмірів, шорсткості, геометрії і конструкції гнізда для кріплення пластини інструментального матеріалу і ін.

Сучасне автоматизоване виробництво пред'являє до різального інструменту такі вимоги, як надійність, точність, пристосованість до автоматизації. Цим вимогам відповідає збірний інструмент з механічним кріпленням різальних пластин. Заміна складеного, зокрема, напайного інструменту, збірним є однією з найважливіших тенденцій розвитку технології машинобудування.

Відмінні особливості конструкції сучасних інструментів:

- використання в якості різальних елементів механічно закріплених змінних багатограних пластин (ЗБП);
- застосування при виготовленні інструменту ЗБП з твердого сплаву, різальної кераміки і надтвердих синтетичних матеріалів (НСМ);
- підвищення точності виконавчих розмірів форми і взаємного розташування як робочих, так і кріпильних поверхонь і різальних елементів;

- особливе конструктивне виконання приєднувальних місць інструментів;

- розробка різних модульних систем інструментів. Реалізація високих потенційних можливостей верстатів з ЧПУ та досягання продуктивності значною мірою залежать від правильно обраного різального інструменту, який відповідає особливим вимогам, що пред'являються умовами автоматичної обробки на верстатах з ЧПУ.

Тверді сплави, різальна кераміка та надтверді інструментальні матеріали є основними матеріалами, використовуваними для оснащення різальної частини інструментів в автоматизованому виробництві, в тому числі на верстатах з ЧПУ та ГВС. На універсальному обладнанні широко використовуються різці з напайною робочою частиною, або цілком виготовлені з інструментального матеріалу. Для автоматизованого обладнання застосування напайного інструменту нераціонально через великі втрат часу на його заміну.

Інструменти з механічним кріпленням ЗБП не вимагають заточування, так як геометрія інструменту забезпечується формою пластини і її відповідною установкою в корпусі, а після затуплення пластина повертається новою різальною кромкою. Виняток переточки зменшує час на заміну інструменту, підвищує якість інструменту, так як зменшується можливість появи тріщин. З'являється можливість багаторазового використання державки інструменту, що дозволяє підвищити якість і точність виготовлення державок, застосувати термообробку, антикорозійні і декоративні покриття, удосконалювати конструкції державок і корпусів. Відсутність пайки виключає можливість появи напружень і мікротріщин, що підвищує термін служби пластин. Скорочуються втрати вольфраму, танталу, титану і кобальту за рахунок вторинного використання твердосплавних пластин. З'являється можливість ефективного застосування для інструментів різальних матеріалів, які погано піддаються паянню (безвольфрамові тверді сплави і різальна кераміка).

Істотне зростання продуктивності забезпечує збільшення довжини активної частини різальних кромок. Це багатолезові інструменти, наприклад, протяжки, комбіновані інструменти, багаторізцові інструментальні головки та ін.

При проектуванні багатолезових інструментів велике значення набуває питання раціонального розподілу навантаження між зубами, тобто розробка оптимальної схеми різання. За рахунок застосування прогресивної групової схеми різання вдалося, наприклад, значно

скоротити довжину протяжки при збільшенні подачі на зуб. Аналогічні рішення можна застосувати й на інших видах інструментів (фрези, розточувальні головки і т.п.).

Основним показником різальних властивостей є *експлуатаційний ресурс інструменту* за період його стійкості і до повного його використання після всіх переточувань, передбачених технічними нормами. Експлуатаційний ресурс оцінюється: *числом* опрацьованих однотипних заготовок; *довжиною* відносного робочого шляху; *площею* обробленої поверхні; *об'ємом* металу, зрізаного з оброблених заготовок; *періодом стійкості* інструменту і числом його переточувань; *сумарною довжиною* усіх оброблених заготовок.

Ресурс інструментів є функцією комплексу факторів: властивості інструментального матеріалу, що включають хімічний склад (марка матеріалу), структурний стан, твердість, межі міцності на розтяг, вигин і стиск, температуростійкість (красностійкість), зносостійкість; конструкції інструментів - оптимальна форма різальної частини, жорсткість, точність виготовлення; режими різання - швидкість різання, подача і глибина різання, мастильно-охолоджуюча рідина, прийнятий критерій зносу; стан металорізального верстата - жорсткість верстата і технологічної оснастки, вібростійкість.

Використання прогресивних різальних матеріалів (тверді сплави, кераміка, НСМ) у вигляді ЗМІ (СМІ) дозволило підвищити надійність роботи різальних інструментів, інтенсифікувати режими різання, забезпечити швидкозміненість інструментів при їх зносі, що особливо важливо для автоматизованого виробництва.

Розробка інструментів для обробки нових конструкційних матеріалів. Сучасне машинобудування характеризується бурхливим розвитком наукових досліджень в області створення нових конструкційних матеріалів, більшість яких характеризується вкрай низькою оброблюваністю, яка погіршується в міру підвищення жароміцних властивостей. Зокрема, це відноситься до нікелевих і титанових сплавів, до композитів на основі алюмінієвих і титанових сплавів, зміцнених полімерними матеріалами, а також інтерметалідам типу Ti-Al, Ni-Al і ін. Обробка деяких високоефективних матеріалів надзвичайно ускладнена через термомеханічний вплив на інструмент, вузли верстата і оброблювану поверхню, причому цей вплив зростає внаслідок відмови від застосування МОТС через ризик газонасичення поверхневого шару та негативні зміни експлуатаційних властивостей оброблених деталей. Ефективне застосування інструменту, оснащеного оксидной (Al_2O_3)

різальною керамікою (РК), зміцненою кристалами (SiC), і полікристалічним нітридом бору (ПНБ, PBN), для сухого різання важкооброблюваного нікелевого сплаву Inconel 718, що дозволяє різко підвищити продуктивність обробки.

Різде зростання використання алюмінію у виробництві стимулювало інтенсивні розробки і впровадження нових технологічних методів його високоефективної обробки, зокрема, розроблена гамма різальних інструментів, оснащених пластинами з полікристалічного алмаза, а також нове верстатне обладнання, що забезпечує швидкості різання $V > 1000$ м/хв.

Широке застосування високоміцного чавуну з вермікулярним графітом (ЧВГ) стримується через його погану оброблюваність різанням. У зв'язку з цим проводяться широкі дослідження з вивчення оброблюваності ЧВГ і розробки нових марок твердих сплавів з дрібнозернистою та супермелкозернистою структурою з покриттям спеціально для обробки ЧВГ. Такі сплави мають збалансоване співвідношенням твердості та в'язкості, характеризуються надзвичайно високою щільністю і однорідністю структури, придатні для нанесення зносостійких покриттів різними методами (CVD, PVD).

Розробка інструментів для нових способів обробки різанням. Вельми перспективним напрямком лезвийної обробки є так звана «тверда обробка» металів твердістю $\geq 47\text{HRC}$, яка застосовується з метою заміни шліфування лезвийної обробкою. Суть її полягає в тому, що завдяки спеціально підібраної геометрії інструменту, оснащеного керамікою або КНБ, і режиму різання оброблюваний метал в процесі різання нагрівається, а його твердість внаслідок відпуску знижується до твердості 25HRC . Після відділення стружки матеріал заготовки швидко охолоджується, а його твердість знижується не більше ніж на 2HRC . «Тверде точіння» економічніше шліфування і по точності не поступається йому.

Високої точності і якості поверхні деталей вдається домогтися при використанні комбінованих методів обробки, наприклад, методів різання і холодного пластичного деформування мікронерівностей.

Підвищення точності виготовлення інструменту. Однією з причин нестабільності стійкості і поломки різальних інструментів є неточність виготовлення їх робочих поверхонь. Биття зубів розверток, зенкерів і свердел порівнянно з допустимими подачами на зуб при обробці.

Високі вимоги пред'являються до точності розмірів, форми і якості поверхонь деталей. Це посилює вимоги до точності різальних

інструментів. Наприклад, допуск на діаметр мірного інструменту (зенкери, розвертки та т.п.) повинен бути в 2-3 рази менше допуску на діаметр обробленого отвору. Інструменти для автоматизованого виробництва характеризуються ще більш вузькими допусками на виконавчі розміри, биття різальних кромок, якість поверхонь зубів і стружкових канавок.

Інноваційні конструкції різальних інструментів з надтвердих матеріалів (НТМ). Удосконалення конструкції різального інструменту набуває важливого значення з урахуванням появи: інструментальних матеріалів з новими різальними властивостями, а також високошвидкісних металорізальних верстатів і конструкційних матеріалів з поліпшеними механічними характеристиками. В інструментах на базі НТМ можливе використання різних форм різальних надтвердих елементів (вставок). Форма і розміри різальних елементів визначаються з урахуванням форми і розмірів заготовок з НТМ (таблеток). Різальні елементи мають форму циліндра, розміри якого дорівнюють розмірам таблетки або частини таблетки, закріплюються (напаюються) на змінні пластини з закріпленими різальними елементами з НТМ і кріпляться механічно на корпус інструменту.

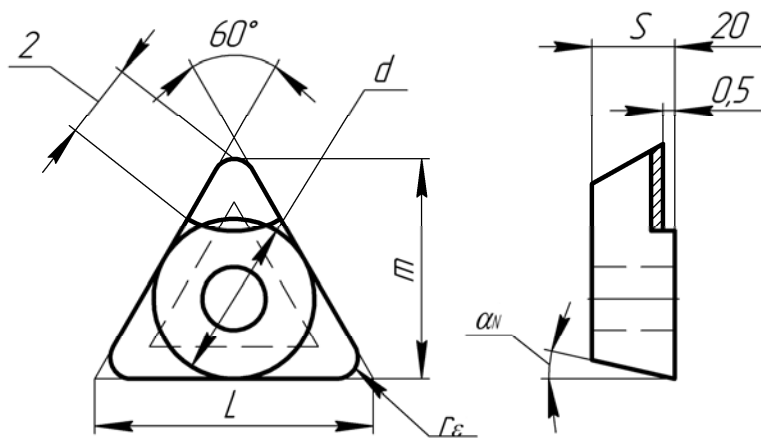


Рис. 2.1. Конструкція пластини, оснащеної різальною вставкою з НТМ:

L – довжина пластини; m – висота пластини;

S – товщина пластини, α_N – задній кут в нормальному перерізі,

r_ϵ – радіус округлення пластини

Багатогранні пластини тригранної ромбічної форми можуть виготовлятися з впаяним в одну з вершин елементом з НТМ (рис. 2.1). Різальні елементи з НТМ для багатогранних пластин вибираються з урахуванням конфігурації багатогранної пластини. Геометричні параметри формуються за рахунок установки пластини або в процесі заточування при її установці на корпус.

2.3. УДОСКОНАЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Фізико-механічні, теплофізичні і кристалохімічні властивості інструментального матеріалу сильно впливають на працездатність різального інструменту, а оптимальний вибір поєднання цих властивостей дозволяє в певних межах управляти процесами зношування інструменту, трансформувати один механізм зношування в інший, знижувати інтенсивність зношування контактних площадок інструменту. Наприклад, при постійних значеннях геометричних параметрів інструменту і режимів обробки, зростання таких властивостей інструментального матеріалу як твердість, теплостійкість, міцність, пасивність по відношенню до оброблюваного матеріалу і активним реагентів з навколишнього середовища, призводить до зростання зносостійкості контактних площадок інструменту, і відповідного збільшення його працездатності. Однак більшість фізико-механічних і теплофізичних властивостей інструментального матеріалу неоднозначні, так як поліпшення одного з них, як правило, веде до погіршення інших. На рис. 2.2 подано класифікацію сучасних інструментальних матеріалів за їх основними властивостями.

Удосконалення інструментальних матеріалів ведеться по ряду напрямків, які розглянемо нижче.

1. Розробка і впровадження швидкорізальних сталей оптимального складу, до яких відносять ті, які володіють кращим поєднанням експлуатаційних і технологічних властивостей при меншому вмісті в них дорогих легуючих компонентів.

2. Застосування технологій обробки, що підвищують експлуатаційні властивості сталей:

- оптимізація температур нагріву при загартуванні сталей;
- вакуумна і термообробка швидкорізальних сталей;
- ізотермічне штампування швидкорізальних сталей в умовах надпластичності;

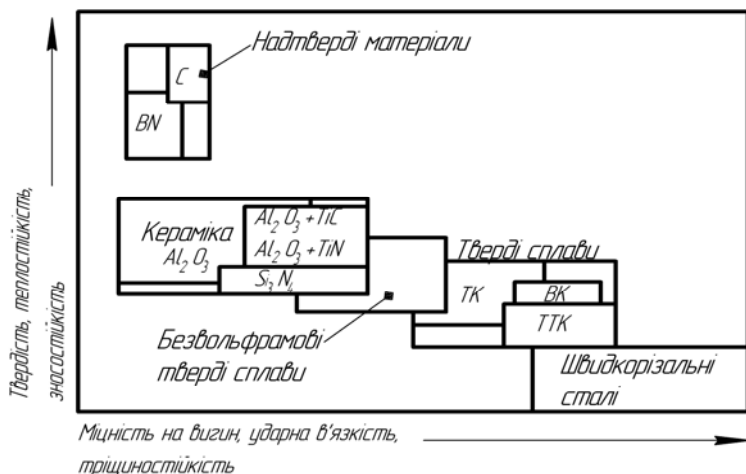


Рис. 2.2. Класифікація інструментальних матеріалів за їх властивостями

– застосування методу екструзування. Дрібний різальний інструмент, виготовлений зі сталі 10P6M5-МП (свердла діаметром 1,0...10 мм, кінцеві фрези діаметром 4-10 мм і ін.) має стійкість, що перевищує стійкість аналогічних інструментів зі стандартних сталей P6M5 та P18 (свердла в 2 – 9,6 рази, фрези в 1,3 – 4 рази);

– впровадження сучасних технологій виробництва та розливу швидкорізальних сталей, що забезпечують підвищення їх механічних властивостей;

– розробка та застосування швидкорізальних сталей для литих інструментів;

– застосування зварних інструментів з робочою частиною з швидкорізальних сталей;

– розробка порошкових дрітків з швидкорізальних сталей для наплавлення інструменту;

– розробка та застосування низькотемпературного прецизійного способу шліфування інструментальних матеріалів.

3. Удосконалення твердих сплавів (ТС):

– розробка ультрадрібнозернистих (з зерном 0,3...0,5 мкм) і екстремелкозернистих (з зерном 0,5...0,9 мкм) ТС, що мають більш збалансоване поєднання твердості та в'язкості в порівнянні з ТС нормальної (1,4...2,0 мкм) і великої (3,5...5,0 мкм) зернистості;

– створення ТС зі зв'язкою підвищеної жароміцності (наприклад, легування кобальтової зв'язки Re і Ru) і з більш високою опірністю

грузлому руйнуванню при підвищених температурах у порівнянні зі стандартними ТС;

- розробка економнолегованих безвольфрамкових ТС з нікельмолібденовими зв'язками, що не містять дорогих і дефіцитних елементів (W, Co, Ta);

- розробка універсальних марок ТС зі зносостійкими покриттями, в значній мірі відповідаючих вимогам до ІМ з «ідеальними властивостями»;

- розробка шаруватих (композиційних) ТС, економно поєднуючих дорогих і високоізносоустойкій відносно тонкий поверхневий шар з більш дешевим масивним субстратом.

Тверді сплави нового покоління призначені для вирішення сукупності сучасних технологічних завдань:

- сухе високошвидкісне різання;
- обробка матеріалів підвищеної твердості;
- різання важкооброблюваних матеріалів;
- виготовлення цільнотвердосплавних інструментів зі складнопрофільною формою різальної частини (свердла, кінцеві фрези, мітчики і т.д.).

Використання змінних багатогранних пластин (ЗБП) з ультрадрібнозернистих і екстремелкозернистих ТС (особливо ЗБП з поліпшеною геометрією) сприяє суттєвому підвищенню ефективності чистової обробки. Різальні інструменти, оснащений такими ЗБП, дозволяють ефективно вирішувати завдання, пов'язані:

- з поліпшенням стружкодроблення;
- зі зниженням термічної напруженості інструменту і зменшенням інтенсивності дифузійного зношування інструменту при високошвидкісній обробці;
- зі зменшенням схильності до наростуутворювання;
- зі збільшенням точності та якості різання важкооброблюваних матеріалів.

Для нових матеріалів, сплавів і композиційних матеріалів, компонентів покриттів в якості наповнювачів все частіше застосовують нанодисперсні порошки.

4. Розробка і застосування безвольфрамкових твердих сплавів на залізній і сталевій зв'язках, які не поступаються за різальними властивостям традиційним сплавам.

5. Удосконалення різальної кераміки. Висока твердість (92...96HRA), міцність на вигин (600...1100МПа) і в'язкість

руйнування $\left(5,5 \dots 8,0 \text{ МНм}^{1/2}\right)$, в тому числі при підвищеній температурі, а також низький коефіцієнт термічного розширення $(3,2 \dots 4,0) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ та відносно невисока щільність $(3,2 \dots 3,4) \text{ г/см}^3$ нітридокремніевої кераміки дозволяють успішно експлуатувати інструмент при чорновій обробці (в тому числі в умовах переривчастого різання) чавунів і сплавів на нікелевій основі, тобто в умовах, де використання різального інструменту з кераміки раніше вважалося не тільки неефективним, а й неможливим.

Підтвердженням цього є результати стійкісних випробувань різальних пластин ВОК-60 і на основі нітриду кремнію, проведені при точінні чавуну СЧ32. При $V = 500 \text{ м/хв}$, $S = 0,5 \text{ мм/об}$ та $t = 1,5 \text{ мм}$ з десяти пластин ВОК-60 в процесі обробки з ладу вийшли вісім. Причому п'ять з них не пропрацювали 5 хв, а для інших відзначено макроруйнування різальних кромek пластин після роботи протягом 6...8 хв. У той же час з такою самою кількістю пластин з нітридокремніевої кераміки при роботі руйнувалися тільки дві. Середній період стійкості для інших склав 9 хв при СКО $T = 10,65 \text{ хв}$ (як критерій затуплення була прийнята фаска зносу по задній поверхні $h_3 = 0,5 \text{ мм}$). Зменшення подачі до 0,15 мм/об при точінні призводить до зміни співвідношень за експлуатаційними характеристиками досліджуваних пластин. В цьому випадку для пластин ВОК-60 середня стійкість склала 16,8 хв $T = 5,63 \text{ хв}$, в той час як для нітридокремніевої кераміки ті ж показники погіршилися ($T = 1,43 \text{ хв.}$, $\sigma_T = 8,32 \text{ хв}$).

6. Застосування складеного композиційного різального інструменту, наприклад, двошарових композиційних полікристалічних матеріалів (алмазозносний шар на твердосплавних підкладці) і складових змінних багатограних пластин, що складаються з різних форм вставок з інструментального матеріалу і основи пластини з більш дешевого матеріалу.

7. Створення інструментальних матеріалів з підвищеними фізико-механічними і різальними властивостями на основі композиційно-шаруватих системи з трьох основних елементів з градієнтом властивостей в обсязі геометричного тіла інструменту (високоміцна композиційна кераміка з покриттям).

8. Розробка і застосування композиційних матеріалів на основі кубічного нітриду бору.

2.4. Підвищення жорсткості та вібростійкості ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ РІЗАННЯ

Підвищення жорсткості та вібростійкості різальних інструментів дозволяє підвищити їх стійкість, збільшити подачу, а отже, продуктивність процесу різання. У осьових інструментів це досягається за рахунок збільшення площі поперечного перерізу корпусів інструментів і максимально можливого скорочення довжини робочої частини, при обробці глибоких отворів - за рахунок застосування додаткових опор у вигляді напрямних, стеблових люнетів, віброгасителів і інших пристроїв.

Випадковий характер зміни статичної та динамічної жорсткості верстата служить однією з основних причин виникнення вібрацій в технологічній системі, непередбаченої зміни стійкості інструменту, як правило, в бік зменшення і збільшення ймовірності його поломки. Зменшення жорсткості системи деталь – супорт токарного верстата з $1,87 \cdot 10^7$ до $0,37 \cdot 10^7$ Н/м, призводить до зменшення стійкості різця з твердого сплаву Т15К6 при точінні сталі 30ХГСА з 36 до 6 хв або в 6 разів.

У процесі різання через нестабільність сил різання виникають вібрації, що призводить до погіршення якості обробленої поверхні. Для усунення вібрацій в конструкціях інструментів застосовуються різного типу пристрою для зменшення амплітуди коливань різальної кромки.

Підвищення вібростійкості інструменту, оснащеного твердосплавними пластинами, досягається за рахунок застосування збірних твердосплавних пластин з демпфірувальними властивостями. Для цього в отвір змінної багатогранної пластини встановлюється вставка, яка може мати різні форми в залежності від методу та конструкції кріплення пластини. Матеріал вставки – сплави систем Cu-Mn, Fe-Cr, Fe-Al, які мають високу демпфуючу здатність і низький коефіцієнт лінійного розширення. Під дією змінних сил різання в стикі між механізмом кріплення і пластиною демпфуються коливання. Демпфірування вставок з різних матеріалів зменшує автоколивання твердосплавної пластинки щодо корпусу інструменту від 10 % до 40 %. Збірний різальний інструмент, оснащений такими пластинами, застосовується в умовах підвищених вібраційних навантажень (обробка фасонних, різьбових, переривчастих поверхонь, переривчасте різання та ін.).

Іншим напрямком удосконалення збірного твердосплавного інструменту є конструювання інструментів (фрез) з твердосплавними пластинами, розташованих по контуру складного профілю деталі. Пластини розташовуються по контуру деталі в шаховому порядку із зсувом щодо попереднього ряду на деяку величину, яка встановлюється в залежності від вимог до шорсткості виробу і кількості зубів фрези.

2.5. Вплив стану кромки лез на експлуатаційні властивості різальних інструментів

Від стану кромки лез різального інструменту залежать: здатність інструменту виконувати свої функції; сили різання і потужність, що витрачається при різанні; якість поверхонь виробів; стійкість інструменту; витрати на інструмент і на його переточування.

При доведенні лез інструментів об'ємною абразивною обробкою шорсткість на поверхнях леза і на кромці в поздовжньому та поперечному напрямках виявляється однаковою. Підвищена шорсткість різальних кромки після звичайної заточки шліфуванням істотно знижує їх міцність. Виступи мікронеровностей на кромках через малу їх механічну міцність руйнуються в перші секунди різання. Западини мікронеровностей є місцем зародження мікротріщин, які розростаються в процесі різання і призводять до утворення відколів.

Якщо різальний інструмент використовують для формоутворення поверхні шляхом копіювання на виробі форми різальної кромки, то всі дефекти кромки, включаючи її шорсткість, автоматично переносяться на поверхню виробу. Руйнування заточеної шліфуванням і механічно слабкої кромки на початковому етапі різання відбувається некеровано і призводить до некерованих змін її форми.

Різальні кромки інструменту після заточки бажано піддавати додатковій фінішній обробці шляхом створення на кромці зміцнювальної фаски на інструментах для грубих операцій, або попереднім скругленням кромки на інструментах різного призначення. І те, і інше забезпечує тривале збереження геометричної форми кромки, підвищує її міцність і відповідно підвищує стійкість всього інструменту.

Різальна здатність твердосплавних інструментів з скругленою кромкою. Поява на різальній кромці скруглення погіршує умови відділення припуску в стружку, збільшує сили різання. Утворення

стружки може відбуватися при значних перевищеннях радіуса скруглення ρ над товщиною зрізу a (рис. 2.3). Є широкий діапазон відносин $\rho/a = 2,8 \dots 350$, при якому можливе утворення стружки.

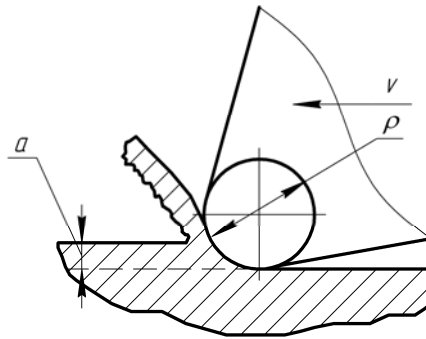


Рис. 2.3. Схема утворення стружки

Найбільша міцність кромки леза досягається при $\rho = 0,16 a^{0,5}$, занадто великі радіуси скруглення сприяють виникненню вібрацій і погіршенню шорсткості обробленої поверхні. Найбільша вібростійкість різця забезпечується при $\rho/a = 0,11$ і в цьому випадку скруглення кромки дозволяє отримати приріст стійкості різця від 1,5 до 4,0 рази.

Досвід скруглення кромки леза на сталевих інструментах. Ефективність скруглення кромки леза можна оцінювати коефіцієнтом підвищення стійкості $kT = T\rho/TS$, де $T\rho$ – стійкість різця з скругленою кромкою, TS – стійкість різця з гострою кромкою. Максимальні значення коефіцієнта kT в діапазоні $a = 14 \dots 73$ мкм лінійно зростають зі збільшенням відносини a/ρ . Оптимальні радіуси скруглення кромки дозволяють отримувати збільшення стійкості різців від 1,5 до 3,0 рази.

Для кінцевих фрез $d14$ мм при різанні нержавіючої сталі 12Х18Н10Т підвищення стійкості досягається при скругленні головних різальних кромки як вручну абразивним бруском, так і в результаті магнітно-абразивної обробки. Максимум стійкості kT був отриманий при $\rho = 70 \dots 80$ мкм: після скруглення кромки вручну $kT = 2,6$; після магнітно-абразивної обробки – $kT = 3,3$.

Скруглення кромки лез мітчиків M16 зі сталі P6M5 з одночасним поліпшенням якості їх поверхонь було здійснено магнітно-абразивною обробкою. Радіуси округлення ρ контролювали на лезах різальної частини мітчиків. Максимальний ефект підвищення стійкості на мітчиках при нарізанні різьби в отворах високоміцної сталі виявився набагато більше, ніж на токарних різцях: $kT \geq 12$. Оптимальне значення радіусів скруглення склало 30 мкм. Поряд зі збільшенням стійкості інструментів поліпшувалася шорсткість і точність оброблених такими інструментами поверхонь.

Стан різальних кромки також істотно впливає на міцність зносостійкого покриття інструментів. Якщо перед нанесенням покриття різальна кромка не округлена – при різанні відбувається викришування зносостійкого покриття у кромки. Радіус попереднього скруглення кромки повинен знаходитися в певному співвідношенні з товщиною зносостійкого покриття h_c . Для інструментів з швидкорізальної сталі рекомендується співвідношення $\rho/h_c > 4$. При цьому, скруглення кромки має найбільший вплив на операціях фрезерування. Так, при фрезеруванні сталі 40Х кінцевими фрезами зі сталі P6M5 з покриттям TiN фрези з $\rho = 27$ мкм ($\rho/h_c > 5,2$) перед покриттям показали в 4 рази вищу стійкість, ніж фрези з $\rho = 3$ мкм ($\rho/h_c > 0,6$).

2.6. ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Підвищенню стійкості різальних інструментів сприяє ефективне використання різних мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС). Вони забезпечують зниження температури різання, підвищення якості обробленої поверхні і отримання транспортабельної форми стружки. Як МОТС використовуються зазвичай різні мастильно-охолоджуючі рідини (МОР), аерозолі, стиснене повітря і ін. Ефективність зниження температури різання зростає зі збільшенням швидкості протікання через зону різання МОТС, яка подається у вигляді рідин, а також аерозолів (охолодження «туманом»). Цілями застосування МОТС є: запобігання інструмента, деталі та верстата від надмірного нагрівання; підвищення стійкості інструменту; зменшення впливу наросту і зниження шорсткості

обробленої поверхні; очищення зони різання від дрібної стружки; зменшення тертя на поверхнях контакту інструменту з деталлю і стружкою; поліпшення якості обробленої поверхні деталі і її експлуатаційних характеристик.

Через високі витрати на мастильні засоби (до 16 % в собівартості обробки деталей) велика увага приділяється так званій «сухій обробки» різанням, тобто без застосування МОТС. У тих випадках, коли повна відмова від них неможлива, наприклад, під час свердління, рекомендується обробка із застосуванням мінімальної кількості МОР, так звана - MMS-технологія, яка полягає в охолодженні зони різання невеликою кількістю МОР, яка подається під тиском до 0,6 МПа з допомогою потоку повітря. Витрата МОР, що перетворюється в цьому випадку в аерозоль, зазвичай не перевищує 80 мл/год. При цьому виключаються витрати на підготовку і утилізацію МОР, очищення стружки і т.д. Так, наприклад, за даними фірми «Gihring» (Німеччина), при глибокому свердлінні алюмінієвого сплаву рушничними свердлами отворів діаметром 10 мм і глибиною 200 мм при такому способі подачі олійною МОР (через внутрішні отвори в свердлі) вдалося підвищити стійкість інструменту в 4 рази, подачу – в 3 рази, а швидкість різання збільшити з 130 до 160 м/хв.

Ефективність різання з мінімальною кількістю подаваної МОТС, що оцінюється за критеріями зносу і стійкості інструменту, перевершує суху обробку і досягає потенціалу стандартних технологій різання із застосуванням МОТС, а в деяких випадках перевищує її. Це підтверджується практикою застосування мінімального змащування при точінні, свердлінні, зенкеруванні, розгортанні, різенарізуванні, зубофрезеруванні та ін.

Наприклад, підвищення стійкості інструменту зі швидкорізальної сталі при свердлінні, зенкуванні та розгортанні з використанням мінімізованого підведення МОТС склала в порівнянні з сухим різанням 494, 223 і 148 % відповідно. При цьому інтенсивність зношування інструменту у всіх випадках була найменшою при різанні з мінімізованою подачею МОТС.

Іншим способом мінімізації подаваної в зону обробки МОТС є її мікродозування та доставка в зону обробки в спеціальних мікрокапсулах розміром 5 – 20 мкм, всередині яких розташовується крапелька (доза) МОТС.

2.7. ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ РІЗАЛЬНИХ ЛЕЗ ІНСТРУМЕНТА ТА РЕЖИМІВ ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ

Для чорнової обробки на важких токарних верстатах застосовують: напайний інструмент; механічно закріплені різцеві вставки з напаяними різальними пластинами і різці з механічним кріпленням багатограних непереточуваних різальних пластин.

Напайний інструмент характеризується простотою конструкції і дозволяє працювати при важких режимах, так як разом з державкою являє собою жорстку систему. Однак при напаянні різальної пластини на державку в пластині можуть утворюватися тріщини, які в процесі обробки збільшуються і призводять до поломки інструменту.

Оскільки ресурс великих твердосплавних різальних пластин, які працюють з великими подачами, відносно невеликий і становить близько 3–5 годин роботи, доцільно виготовляти різальні інструменти для чорнової обробки збірними. Добре зарекомендували себе різці з литими вставками Уралмаша з напаяними твердосплавними різальними пластинами, що закріплюються в державке за допомогою «клинового хвоста». Однак конструкція хвоста обмежує застосування великого перерізу зрізаного шару через недостатню міцність цих вставок.

Для важких умов роботи інструмент, оснащений багатограними твердосплавними пластинами стандартних конструкцій, знаходить обмежене застосування через відносно низьку міцність вузлів кріплення пластин. Для важких операцій різання застосовують інструмент, оснащений декількома різальними пластинами, що дозволяє знімати значні припуски відносно невеликими за розмірами різальними пластинами при рівномірному розподілі припуску між ними.

Застосування МОТС при чорнової токарної обробці сталей, як правило, не дає істотного позитивного ефекту. Це пов'язано з дуже великою потужністю джерел тепла і відсутністю методів його відводу, які б дозволили збільшити щільність теплових потоків до рівня, порівнянного з потужністю різання. Найчастіше МОТС слабо впливає на інтенсивність зношування і стійкість інструменту, а в окремих випадках (наприклад, при переривчастому різанні) навіть знижує стійкість. Позитивний ефект застосування МОТС може бути отриманий при великій витраті охолоджуючої рідини за рахунок зменшення температури в різальному лезі, що сприятливо позначається на

формостійкості інструменту. Однак збільшення витрати охолоджуючої рідини небажано з екологічних міркувань.

Одним із напрямів удосконалення операцій чорнової обробки є введення в зону обробки додаткової енергії, наприклад тепла. В одних випадках використовують технологічне тепло при обробці заготовок (виливки, штампування, прокатки), в інших – зону різання штучно прогрівують різними способами (індуктивний нагрів струмами високої частоти, плазмовий, променевий нагрів, локальний нагрів в електроді).

Однак існуючі інструментальні матеріали (швидкорізальні сталі, тверді сплави, надтверді матеріали) не задовольняють умові дифузійної стійкості і термостійкості та непридатні для різання сталей з високотемпературним підігрівом. При попередньому підігріві особливу проблему представляє стружколомання та стружкодроблення. При виконанні токарних операцій найбільшого поширення набули способи підігріву струмами високої та промислової частоти і підігрів плазмовим струменем. При великих діаметрах заготовок підігрів зрізаного шару енергетично невигідний через велику необхідної потужності (до 1 МВт).

При важких умовах чорнової токарної обробки ефективність пластин зі зносостійкими покриттями знижується при збільшенні товщини шару, що зрізається і тому в цих умовах, як правило, застосовують твердосплавні пластини без покриттів.

Вибір інструментального матеріалу. При чорновій обробці мають місце значні коливання припуску і сил різання та при наявності ливарної кірки – тверді включення у вигляді піску, застосовують більш міцні, але менш зносостійкі тверді сплави. Зі збільшенням твердості оброблюваної загартованої сталі використовують більш міцні і менш зносостійкі сплави (ВК8). В умовах підвищеної жорсткості технологічної системи або при спокійній (безударній) роботі інструменту і відсутності окалини ефективно застосовують сплави з змішаною (чорної) кераміки ВСК-63, ВСК-71, ВСК-200.

Для важких умов роботи з великими перерізами зрізаного шару (ширина зрізаного шару $b \leq 45$ мм, товщина шару, що зрізається $a \leq 2$ мм) найчастіше використовують різці або вставки з напаяними різальними пластинами. Це пов'язано з тим, що для механічного закріплення різальних пластин останні повинні бути трохи більших розмірів, ніж при закріпленні пластин за допомогою пайки. Зазвичай не застосовують твердосплавні різальні пластини, довжина яких перевищує 50 мм.

Товщина різальної пластини. Для забезпечення необхідної міцності висота твердосплавних пластини, як правило, повинна бути на порядок більше товщини зрізаного шару ($H_{пл} \geq 10a$). При роботі з великою товщиною зрізаного шару в важкому машинобудуванні різальну пластину розташовують в державке (або у вставці) таким чином, щоб її висота (в напрямку рівнодіючої сили різання) була більше ширини (в напрямку сходу стружки).

Форма передньої поверхні, лунки, фаски, поріжки. Для збільшення крихкої міцності різального леза на його передній поверхні повинна бути виконана зміцнююча фаска під кутом $\gamma_f = -10^\circ$. Ширина зміцнюючої фаски при обробці сталі відносно невеликої твердості ($HB < 1800 \text{ МПа}$) з раціональними температурами передньої поверхні ($\theta \approx 800 \dots 1000^\circ \text{C}$), як правило, не повинна перевищувати товщини зрізаного шару. Зі збільшенням температури передньої поверхні і твердості оброблюваного матеріалу ширину зміцнюючої фаски необхідно зменшувати. Так, наприклад, при точінні загартованої сталі 35HRC різцями з різальними пластинами зі змішаної кераміки ВОК-60 при максимальній температурі передньої поверхні ($\theta \approx 1300^\circ \text{C}$) ширина зміцнюючої фаски не повинна перевищувати $0,25a$.

При чорновій обробці сталей передній кут за фаскою майже завжди доцільно робити позитивним $\gamma \approx 10^\circ$. При чорновій обробці деталей на нежорстких верстатах, при недостатній жорсткості технологічної системи передній кут доцільно збільшувати до $\gamma \approx 15 \dots 20^\circ$.

У ряді випадків для спрощення конструкції пластини і збільшення її міцності рекомендують застосовувати негативний передній кут $\gamma \approx -7^\circ$. При цьому через збільшення сил різання і виникнення вібрацій істотно зменшують подачу. Зменшення продуктивності не може бути компенсовано збільшенням швидкості різання внаслідок збільшення температури деформації, викликаного зменшенням переднього кута інструмента. Більш ефективна форма передньої поверхні для точіння з великими товщинами зрізаного шару має дві фаски – зміцнюючу під кутом $\gamma_f = -10^\circ$ і стабілізуючу під кутом $\gamma \approx 15 \dots 20^\circ$.

При чорновій обробці менших за розмірами деталей часто застосовують інструменти з механічним кріпленням змінних різальних пластин. Сили різання, що діють на різальну пластину, повинні сприяти її кріпленню в пазу державки. Надійність кріплення пластини в пазу державки буде вищою, якщо базові поверхні складають кут менше 90° . Це відноситься і до кріплення напайних вставок. Надійне кріплення вставок забезпечується при використанні паза в формі клина. При цьому функції стружкозавиваючий площини може виконувати або безпосередньо частина поверхні різальної пластини, або поверхня самої державки. У цьому випадку на цю поверхню наплавляють шар швидкорізальної сталі.

Кут нахилу різальної кромки. При великих перерізах зрізаного шару твердосплавну пластину розташовують під кутом нахилу головної різальної кромки $\lambda \approx 5^\circ$, причому таким чином, щоб висота пластини була більше, ніж її ширина. Позитивні кути нахилу різальної кромки сприяють виникненню в різальній пластині сприятливих стискають напруг, що необхідно для збільшення крихкої міцності різальної пластини. При цьому утворювана стружка впирається в оброблену поверхню деталі, що сприяє стружколоманню. Однак на обробленій поверхні залишаються характерні сліди, що істотно збільшує її шорсткість.

Задні кути. При чорновій обробці задні кути інструменту задають в межах $6...8^\circ$. Позитивний вплив на міцність різального леза і зносостійкість інструменту надають скруглення різальних кромок або заточка невеликий фаски з нульовим заднім кутом до $0,2...0,3$ мм. Попереднє притуплення інструмента, призначеного для чорнової обробки, як правило, не роблять і інструмент отримує його в процесі різання.

Форма різальної кромки в основній площині. При великих припусках для прохідних чорнових різців на практиці найчастіше застосовують $\varphi = 60^\circ$. Рекомендується застосовувати радіуси при вершині $r = 0,8$ та $r = 1,2$ мм, подачі $S = 0,4...0,8$ мм/об. При співвідношеннях $S/r > 0,1$ спостерігається підвищений знос інструменту в околі вершини, а при співвідношенні $S/r = 0,1$ знос вирівнюється. Величина радіусу при вершині r повинна бути не менше 10 подач.

При великих подачах форма різальної частини інструменту в плані може бути прийнята у вигляді зачищуючої і перехідної кромки. Довжина зачищуючої кромки повинна бути не менше подачі: $l_S = (1,1 \dots 1,2)S$. Зачищаюча кромка забезпечує необхідну шорсткість обробленої поверхні та може бути або криволінійної (радіусом $r \geq 10S$), або прямолінійною. Для забезпечення збереження форми зачищуючої кромки і запобігання її від інтенсивного зношування перед зачищаючої кромкою доцільно заточувати перехідну кромку, довжина якої l_n повинна приблизно дорівнювати (або трохи більше) довжині зачищаючої кромки, а кут в плані φ_n повинен знаходитися в межах $5 \dots 10^\circ$.

Нерівномірність зносу чорнових різців різко зростає при застосуванні великих кутів в плані 90° . У зв'язку з цим підрізні різці з кутами в плані більш 90° доцільно застосовувати лише при малих глибинах. При цьому фактичні кути в плані на робочій ділянці різальної кромки не повинні перевищувати 90° .

Збільшення ширини зрізаного шару, пов'язане зі зменшенням числа проходів, може обмежуватися виникненням вібрацій. У деяких випадках найбільша ширина зрізаного шару, що допускається виникненням вібрацій, використовується в якості технологічного обмеження.

Визначення найбільшої допустимої подачі і найменшого кута в плані за допустимими силам. На цьому етапі повинні бути визначені найбільша товщина шару, що зрізається, довжини перехідних і зачищаючих кромки, радіус скруглення вершини різця в плані, ширина зміцнюючої та стабілізуючої фасок, відстань до стружкозавивального порожка.

З низькою стійкістю та недостатньою надійністю різального інструменту пов'язано до 40 % простоїв обладнання. При чорновій обробці зносу або поломки інструменту часто передують значні пластичні деформації різального леза. При застосуванні подач більше 1 мм/об при обробці сталевих заготовок поломка різальних пластин є основним видом відмови інструменту.

Поширене поняття ламаючої подачі в значній мірі пов'язано не з тендітною міцністю, а з пластичним руйнуванням різального леза при підвищених температурах. Зменшення швидкості різання з умови сталості інтенсивності зношування інструменту (або сталості температури) дозволяє збільшувати подачу, не допускаючи поломки

інструменту. Крім того, при менших швидкостях (температурах) більш надійно забезпечується схід стружки під потрібним переднім кутом за зміцнюючою фаскою, що необхідно для завивання і дроблення стружки. Однак застосування товщини зрізаного шару більше 1 мм при обробці сталей недоцільно. Це пов'язано з тим, що можливе невелике підвищення продуктивності обробки пов'язане з підвищеною вірогідністю поломок різальних пластин і зменшенням допустимого числа переточувань інструменту.

Облік обмеження по нерівномірності зносу різального леза. Співвідношення між подачею та радіусом скруглення вершини інструменту істотно впливають на нерівномірність зношування різального леза. Для рівномірного зносу різального інструменту найбільш сприятливим можна вважати співвідношення між подачею і радіусом заокруглення, при якому кут в плані на відстані S від вершини не перевищує $5...6^\circ$, а коефіцієнт нерівномірності зносу дорівнює одиниці. Для цього необхідно, щоб $S/r < 0,1$.

Збільшення радіусу r може спричинити виникнення вібрацій. Тому використовують середні співвідношення $0,1 < S/r < 0,67$, або оформляють перехідну і зачищаючі кромки обмеженої довжини. При цьому необхідно одночасно враховувати обмеження нерівномірності зносу і шорсткості обробленої поверхні.

Якщо обмежують тільки розміри різальної пластини, а не допустимі сили різання, то доцільно вибрати велику пластину або спроектувати різець з двома різальними пластинами. Величина допустимої подачі не повинна перевищувати двох третин радіусу скруглення вершини різця $S/r < 0,67$.

Визначення раціональної швидкості різання. При визначенні швидкості різання зазвичай задаються одним з критеріїв зносостійкості інструменту, найчастіше періодом стійкості. Однак більш повна і правильна інформація може бути отримана за допомогою одночасного аналізу декількох критеріїв зносостійкості (площі обробленої поверхні, шляху різання) і процесу зношування. З фізичної точки зору доцільно задаватися шляхом різання $L = vT$. При різанні сталей твердосплавними різцями з невеликими перерізами зрізаного шару можуть бути, досягнуті шляхи різання близько 15 – 20 км і більше, що при швидкості різання близько 50 м/хв відповідає стійкості близько 300 хв.

2.8. ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ЧИСТОВОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

Для чистової обробки застосовують більш зносостійкі, але менш міцні інструментальні матеріали. При обробці жароміцних сплавів на нікелевій основі кращі результати забезпечують тверді сплави ВК10-ОМ і ВРК-15, які характеризуються більш високою міцністю і формостійкістю, ніж всі інші.

Для більш зносостійких і крихких інструментальних матеріалів, а також для різальних пластин зі зносостійкими покриттями характерно застосування більш високої швидкості різання і менших товщин шару, що зрізається.

При обробці високоміцних матеріалів (наприклад, нікелевих сплавів) нерівномірний знос різців, що супроводжується утворенням борозен на задній поверхні, пов'язаний з недостатньо крихкою міцністю леза. Нерівномірний знос задньої поверхні на ділянці зачищаючої кромки визначає профіль обробленої поверхні, збільшуючи її шорсткість. Більш досконалою слід вважати форму різального леза з обмеженою криволінійною перехідно-зачищаючою кромкою. Щоб уникнути виникнення вібрацій довжина перехідно-зачищаючої кромки повинна бути обмежена. Раціональна відстань від головної різальної кромки до вершини приблизно дорівнює $1,5S$. В цьому випадку ділянка довжиною S виконує роль перехідної кромки з досить малим кутом в плані (рис. 2.4). Вона характеризується поєднанням великих радіусів на перехідно-зачищаючій кромці і раціональних кутів в плані на ділянці головної різальної кромки. Збільшення радіусу r сприятливо впливає не тільки на шорсткість обробленої поверхні, але і на інтенсивність зношування інструменту в околі вершини різця.

Форма різального леза з обмеженою криволінійною перехідно-зачищувальною кромкою великого радіусу дозволяє істотно збільшити подачу, продуктивність обробки і площу обробленої поверхні. Зменшенню інтенсивності зношування на ділянці зачищаючої кромки сприяє створення раціональних кутів нахилу головної і зачищаючої кромок. Зачищаюча кромка повинна бути розташована в основній площині, тобто під кутом $\lambda = 0^\circ$, що необхідно для забезпечення найменшої шорсткості обробленої поверхні.

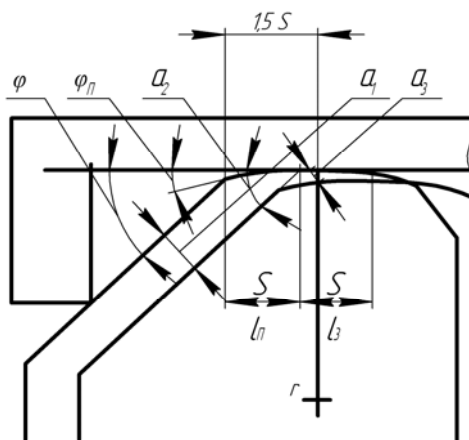


Рис. 2.4. Схема зміни товщини зрізаного шару на ділянках головної, перехідної та зачищувальної кромки

Перехідну і головну різальні кромки доцільно нахилити під кутом $\lambda = 15^\circ$ (рис. 2.5). При цьому значно зменшується інтенсивність зношування на ділянці зачищаючої кромки.

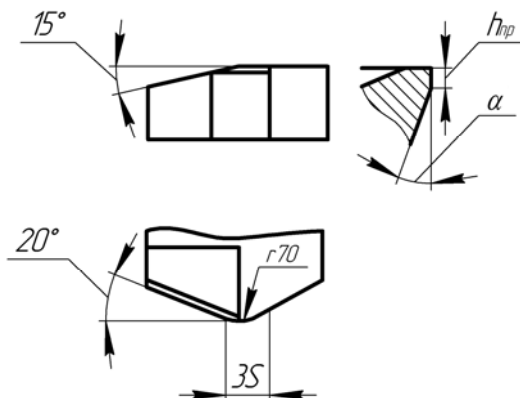


Рис. 2.5. Форма різального леза з криволінійною перехідно-зачищувальною кромкою, різними кутами нахилу зачищаючої та головної кромки і попередніми притупленням задньої поверхні

Інший ефективний шлях зниження інтенсивності зношування полягає в попередньому притупленні задньої поверхні на ділянках перехідної і зачищувальної кромки шляхом заточування фаски під нульовим заднім кутом, ширина якої забезпечує зменшення температури задньої поверхні і, як наслідок, зменшення інтенсивності зношування. Такі заходи дозволили знизити мінімальну інтенсивність зношування при обробці нікелевого сплаву з $0,8 \cdot 10^{-6}$ до $0,05 \cdot 10^{-6}$, тобто в 16 разів. Збільшення довжини зачищаючої кромки сприяє підвищенню зносостійкості інструменту.

Ширина фаски зносу збільшується швидше на ділянці різальної кромки, повільніше на першій ділянці зачищаючої кромки довжиною, рівній подачі S , ще повільніше на другій ділянці зачищаючої кромки. При цьому на зачищаючій ділянці спостерігався рівномірний (без борозен) знос задніх поверхонь.

2.9. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ РІЗАННІ

При швидкостях різання 500...1000 м/хв підвищуються температури передньої і задньої поверхонь різального леза, які надають **розміщуючий** вплив, як на матеріал, що обробляється, так і інструментальний матеріали. Оскільки розподіл температури по довжині контакту стружки з передньою поверхнею вельми нерівномірний, **розміщення** оброблюваного матеріалу відбувається не всюди, а лише в області високих температур.

Однією з умов забезпечення працездатності інструменту при високошвидкісному різанні є розробка нових інструментальних матеріалів, що володіють більш високою твердістю та теплостійкістю (рис. 2.6). Так, наприклад, більш тверді та теплостійкі тверді сплави дозволили в 3 – 5 разів збільшити допустимі швидкості різання в порівнянні з менш теплостійкими і менш твердими швидкорізальними сталями.

Нові інструментальні матеріали (тверді сплави зі зносостійкими покриттями, мінералокераміка, надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору) більш теплостійкі і тверді, ніж тверді сплави, дозволили значно збільшити швидкості різання. Поряд зі зменшенням товщини шару, що зрізається ще однією умовою ефективності нових теплостійких, більш твердих, але менш міцних інструментальних

матеріалів при обробці тугоплавких оброблюваних матеріалів, є робота з малими значеннями ширини фаски зносу задніх поверхонь інструменту. Це пов'язано з тим, що збільшення температури задньої поверхні з ростом швидкості різання спостерігається лише після досягнення певної ширини фаски зносу. При малих значеннях ширини фаски зносу температура не тільки не зростає, а, навпаки, зменшується зі збільшенням ширини фаски зносу, завдяки чому при невеликих фасках зносу можливе застосування високих швидкостей різання. Однак при необхідності збільшити критерії затуплення (допустиму ширину фаски зносу) потрібно знижувати швидкості різання.

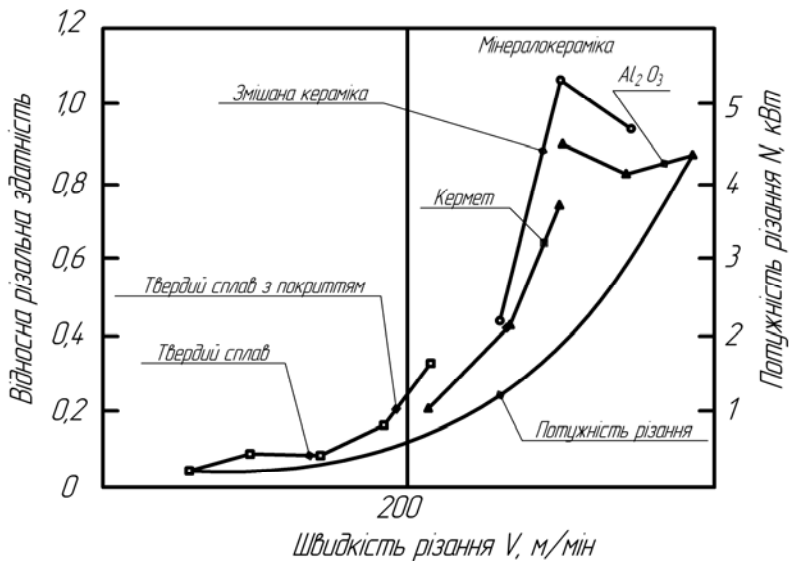


Рис. 2.6. Потужність різання та відносна різальна здатність інструментальних матеріалів при різних швидкостях точіння.

Умови обробки: матеріал – сталь 45; подача $S = 0,1$ мм/об;
глибина різання $t = 0,5$ мм

Швидкісне різання тугоплавких матеріалів (в тому числі і сталей) можливо тільки при малих товщинах шару, що зрізається і відносно невеликих значеннях ширини фаски зносу задньої поверхні. Можливо, з цим пов'язані значно менші шляхи різання, ніж ті, які можуть бути досягнуті при великих критеріях затуплення.

Відносно високі для обробки загартованої сталі твердістю $HRC = 45 - 62$ швидкості різання цільними твердосплавними фрезами з покриттям на основі нітридів алюмінію відповідають вельми малої подачі на зуб $S_z = 0,01$ мм/зуб і малої допустимої ширині фаски зносу інструменту по задній поверхні.

До високошвидкісного різання обробка фрезами малого діаметра віднесена за тією ознакою, що для здійснення швидкості різання 100...160 м/хв необхідні високі швидкості обертання шпинделя 3000...5000 об/хв. Ці швидкості не є високими, що навіть при високій твердості оброблюваного матеріалу відповідає відносно невеликим температурам (близько 900°C) на передній і задній поверхнях гострого інструменту. Однак зі збільшенням ширини фаски зносу температура задньої поверхні різко зростає і вже при ширині фаски зносу 0,1 мм настає катастрофічний знос інструменту.

Ведуться роботи по впровадженню високо- та надшвидкісного різання та обробці з мінімальними витратами на МОТС. При надвисоких швидкостях інтенсивність зносу знижується в порівнянні зі звичайним різанням.

3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗЦІВ

Незважаючи на те, що різець по конструкції є порівняно простим інструментом, до нього пред'являється ряд серйозних вимог, які покликані забезпечити високу продуктивність і точність обробки.

Надійність різців забезпечується правильним вибором:

- матеріалу різальної частини різця;
- геометрії різальної частини;
- форми і розмірів пластинки інструментального матеріалу;
- способу і конструкції кріплення пластинки інструментального матеріалу (для пластин з механічним кріпленням);
- способу стружколомання;
- розмірів, шорсткості, геометрії та конструкції гнізда для кріплення пластини інструментального матеріалу;
- міцності та засобів забезпечення вібростійкості державки і різальних кромок.

3.1. ОПТИМАЛЬНІ ПЕРІОДИ СТІЙКОСТІ РІЗЦІВ

Зміна режимів різання впливає не тільки на основний час, але і на час обслуговування робочого місця (на заміну інструменту внаслідок його затуплення, на регулювання і підналагодження верстата та ін.). Швидкість різання, що забезпечує найбільший період стійкості різального інструменту, є мінімальною в діапазоні оптимальних швидкостей різання, а швидкість максимальної продуктивності – максимальною (рис. 3.1). Відмінності в значеннях v і T , що оптимізують режим різання по різним економічним показникам, обумовлені наступними факторами:

- при збільшенні $\tau_{\text{см}}$, S_m , $1/m$ та зменшенні вартості станко-хвилини роботи верстата E оптимальні значення швидкості та стійкості зміщуються ближче до значень, відповідних $S_m = \min$;

- при збільшенні τ_{cm} діапазон оптимальних швидкостей різання звужується;
- при збільшенні E і зменшенні S_m значення швидкостей максимальної продуктивності та найменшої собівартості зближуються;
- оптимум швидкості зближуються при посиленні технологічних обмежень, наприклад точності деталі.

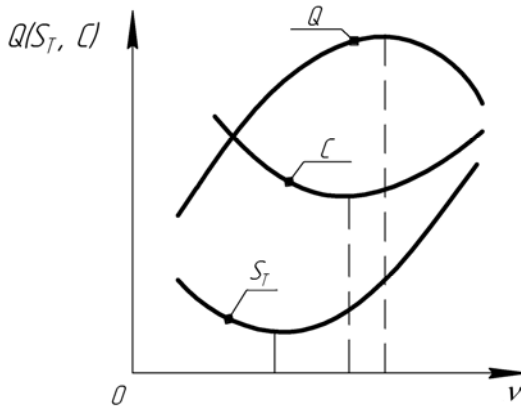


Рис. 3.1. Зміна продуктивності Q , собівартості C та витрат на експлуатацію різального інструменту S_m в залежності від швидкості різання

Розсіювання ряду параметрів системи різання призводить до великої розбіжності між розрахованим за формулою $T = f(v)$ і дійсним значенням періоду стійкості та обумовленими цим параметром оптимальними режимами різання. Крім того, залежність $T = f(v)$ отримана виходячи з умов виходу його з ладу тільки внаслідок зношування. Тим часом необхідно враховувати й інші причини відмови, наприклад внаслідок поломок.

У загальному випадку оптимальним при обробці деталей на верстатах з ЧПУ та багатоцільових верстатах можна вважати будь-який період стійкості інструменту в діапазоні, відповідному мінімуму собівартості і максимуму продуктивності. Однак чим вище вартість обладнання, тим період стійкості повинен бути ближче до відповідного максимуму продуктивності.

Зростання періодів стійкості різальних інструментів виявляється менш ефективним, ніж збільшення параметрів режимів різання і продуктивності обробки. Підвищення стійкості інструменту на 50 % знижує витрати тільки на 1 %, тоді як збільшення режимів різання на 20 % забезпечує зниження витрат на 15 %.

3.2. КРИТЕРІЇ ВИБОРУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Правильний вибір різальних інструментів може опосередковано впливати на цілий ряд економічних показників. Зокрема, можливо:

- збільшення режимів різання, що підвищує продуктивність і знижує собівартість обробки;
- різання без використання МОР, що може знизити вартість виробництва до 17 %;
- обробка деталей в загартованому стані, що значно спрощує технологічний процес обробки;
- різання в умовах надшвидкісний обробки;
- автоматична діагностика та заміна інструментів, що дозволяє скоротити чисельність обслуговуючого персоналу і працювати цілодобово і в святкові дні;
- скорочення часу заміни інструменту, тобто усунення непродуктивних простоїв обладнання;
- збільшення періодів стійкості різальних інструментів, а значить, скорочення кількості їх заміни і пов'язаних з цим простоїв обладнання;
- зменшення розсіювання періодів стійкості різальних інструментів, що впливає на тривалість безвідмовної роботи обладнання, частоту заміни інструментів і простої устаткування;
- використання універсальних інструментів, що скорочує їх загальну кількість і вартість, а також може істотно вплинути на комплектування інструментальних магазинів – скорочується кількість інструментів, які не використовуються при обробці даної деталі, але «очікують» застосування;
- розширення технічних обмежень процесу обробки (наприклад, збільшення максимальних сили різання, жорсткості оправлення і т.д.);
- підвищення якості обробленої поверхні, зміна умов ламання стружки та ін.

Якщо обробка виконується при постійних умовах, а змінюється тільки стійкість інструменту (інструмент іншої фірми, з іншою

геометрією і т.п.), то вартість обробки змінюється згідно залежностям, представленим на рис. 3.2. Якщо обробка кожним інструментом виконується на оптимальній швидкості різання, то остання зростає в міру зростання стійкості (але не більше ніж на 3 ... 4 %), що знижує вартість обробки на 1 ... 2 %.

Наведені на рис. 3.2 залежності характерні при використанні переточуваних різальних інструментів і інструментів збірних конструкцій. В останньому випадку, однак, найбільш важлива вартість змінної пластини (зростання вартості в 4 рази збільшує вартість обробки на 8 ... 9 %), тоді як вартість державок, корпусів і т.п., розкладена на десятки і сотні періодів стійкості, практичного впливу на вартість обробки не робить.

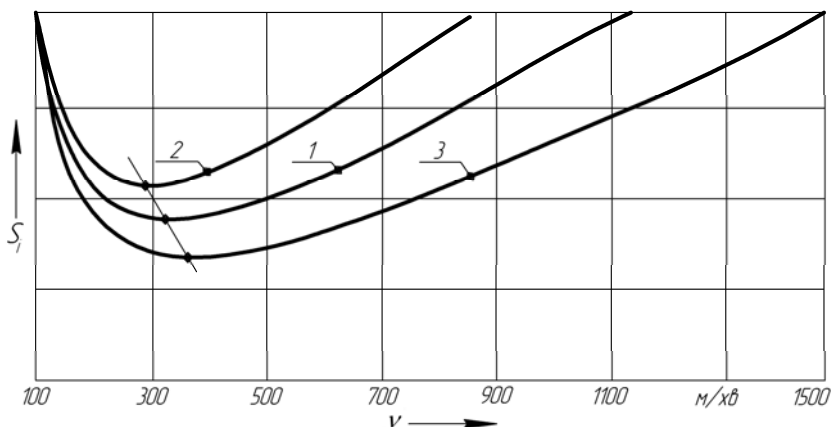


Рис. 3.2. Влияние периода стойкости инструмента на стоимость обработки детали: 1 - $T = 100\%$; 2 - $T = 50\%$; 3 - $T = 500\%$

При аналізі ефективності обробки важливо пов'язати вартість інструменту з його експлуатаційними можливостями. Часто дорожчий інструмент одночасно має і більш високі оптимальні швидкості різання. Якщо цього не враховувати, то можна прийняти помилкове рішення у виборі інструменту (рис. 3.3). Так, інструмент 2 при роботі зі швидкістю різання v_1 , оптимальної для інструменту 1, виявляється непридатним, а зниження вартості обробки він забезпечує при роботі на швидкості v_2 .

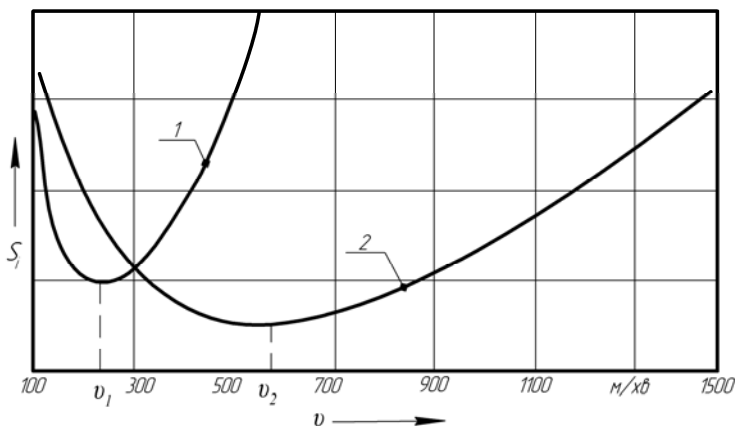


Рис. 3.3. Вплив вартості і якості інструменту на вартість операції

3.3. ЗАСТОСУВАННЯ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН

3.3.1. Особливості зношування змінних багатогранних пластин

Складна топографія зносу передньої поверхні є результатом спільного впливу режиму різання, геометричних параметрів леза, напрямки сходу стружки, форми плями силового контакту між стружкою та передньою поверхнею, а також фізичної природи цього контакту. При цьому можливе поєднання цих факторів, коли спостерігається своєрідний баланс між зносом передньої і зносом задньої поверхні, якому відповідає максимальне використання різальних властивостей ЗБП.

Для продовження терміну служби ЗБП необхідно прагнути до зниження зносу передньої поверхні за рахунок:

- зменшення довжини контакту стружки;
- створення умов рівномірного контакту стружки з передньою поверхнею пластин;
- підбору умов сходу стружки таким чином, щоб вісь симетрії утворення лунки була паралельна до робочої ділянки різальної кромки пластини.

Зі зменшенням кута між напрямком сходу стружки і напрямком середньої нормалі до робочої ділянки різальної кромки стійкість ЗБП

різних форм підвищується (рис. 3.4). Прямолінійна ділянка перехідного різального леза довжиною 1,0 мм на різці з $\varphi = 90^\circ$ дозволяє отримати таку ж стійкість, що і різець з кутом $\varphi = 60^\circ$.

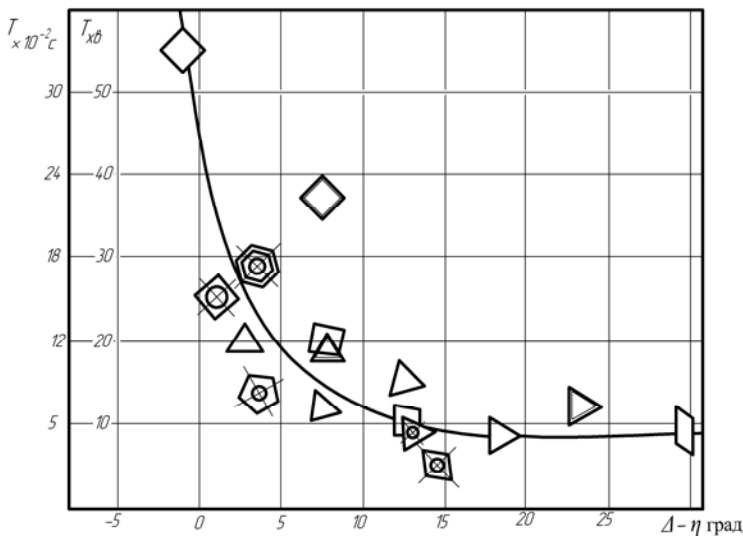


Рис. 3.4. Залежність стійкості різців від кута сходження стружки:
СЧ25 - ВК6. $v = 1,3$ м/с; $t = 2$ мм; $S = 0,5$ мм/об

Форма пластини істотно впливає як на абсолютну стійкість різців, так і на показник їх відносної стійкості. Це пов'язано з масивністю вершини пластини, що впливає на умови відводу тепла із зони різання. Найменший теплопровідний переріз має тригранна пластинка правильної форми з заднім кутом, що має найбільшу величину. Далі слідує тригранна пластинка неправильної форми, наявність отворів і стружкових канавок на якій погіршує тепловідвід із зони різання. З цієї ж причини квадратна пластинка з отвором володіє гіршим відведенням тепла в порівнянні з пластинкою правильної тригранної форми.

Форма пластин і головний кут в плані різців впливають на стійкість і швидкість різання. Для області високих швидкостей різання $v \geq v_n$ стійкість і швидкість різання збільшуються зі зменшенням головного кута в плані різця. Найбільше значення стійкості та,

відповідно, швидкості різання спостерігається для різців з пластиною п'ятигранної форми ($\varphi = 45^\circ$), що можна пояснити мінімальними значеннями ефективної товщини зрізу та куту сходу стружки в порівнянні з різцями і пластинами інших форм.

Підвищення різальних властивостей різців при переривчастому точінні може бути досягнуто за рахунок вибору різця з пластиною певної форми і необхідними геометричними параметрами, використанням різців, оснащених пластиною квадратної форми ($\varphi = 45^\circ$) замість різців з пластиною шестигранної форми і кутом при вершині ($\varphi = 90^\circ$) призводить до збільшення стійкості в 2,5 рази. Таке підвищення стійкості повністю узгоджується зі зменшенням швидкості наростання площі зрізу на ділянці врізання, зниженням коефіцієнта динамічності та динамічної сили.

При переривчастому точінні найбільшою стійкістю володіють пластини з традиційного вольфрамистого твердого сплаву марки Т15К6. Пластини сплаву марки ТН20 в цих умовах практично неприцездатні. Різці, оснащені сплавом марки КНТ16, займають проміжне положення, наближаючись по стійкості до сплаву марки Т15К6.

3.3.2. Забезпечення рівномірного зношування змінних багатогранних пластин

При невільному різанні матеріалів зношування робочих поверхонь різальної частини лезових інструментів відбувається нерівномірно. Це проявляється у вигляді локально великих ділянок зносу на задній поверхні леза, нерівномірної ширині та глибини лунки зносу на передній поверхні. Інструмент, як правило, виходить з ладу через більш інтенсивне зношування на якийсь обмеженій ділянці. Причини подібних явищ криються в першу чергу в нераціональній формі різальної частини інструменту, яка не відповідає чинним в процесі різання силовим і тепловим контактним навантаженням. Домагаючись за рахунок варіювання геометричних параметрів леза рівномірного зношування різальної частини, можна істотно підвищити термін служби інструменту або продуктивність обробки різанням (рис. 3.5).

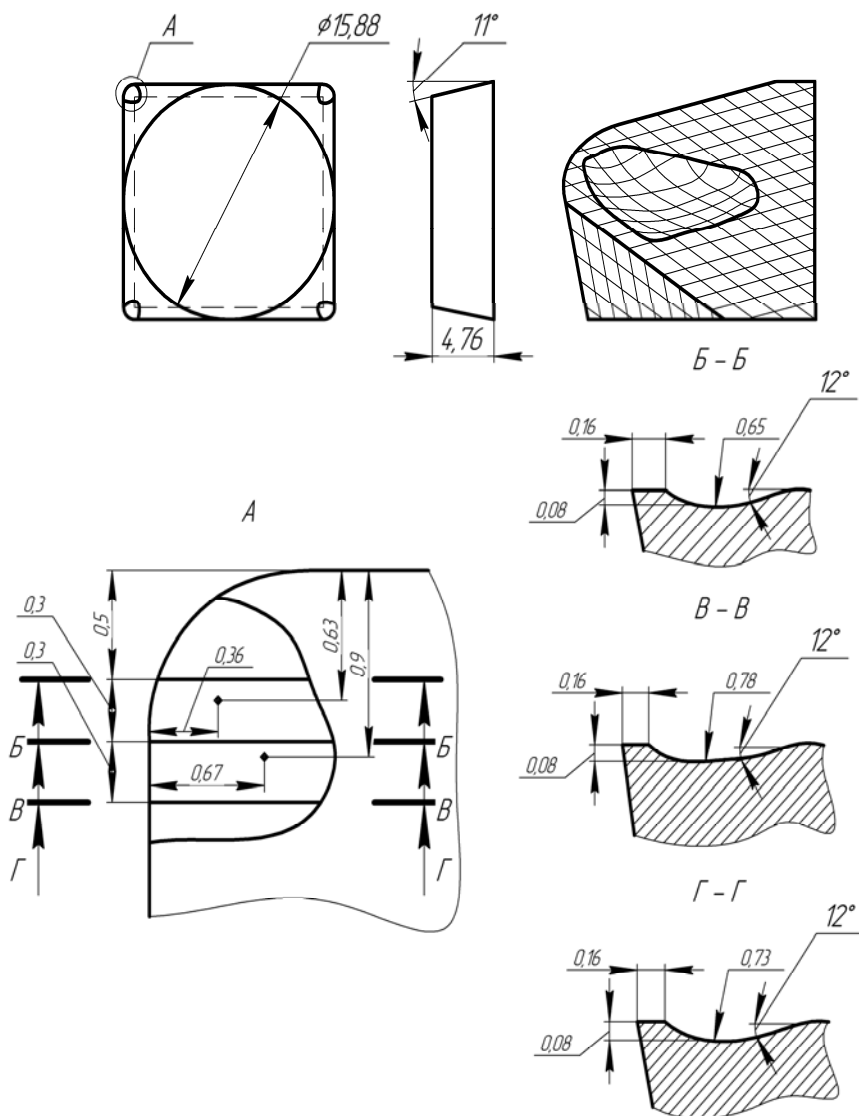


Рис. 3.5. Конструкція і тривимірна модель вершини ЗБП
з рівномірним зносом передньої поверхні:
 $v = 290$ м/хв, $S = 0,26$ мм/об, $t = 0,5$ мм, сталь 40Х – МР7

Стійкість нових пластин підвищується на 14 % – 15 % у порівнянні зі стандартною ЗБП з плоскою передньою поверхнею.

3.3.3. Різальні змінні пластини підвищеної теплопровідності

Для зменшення температурних деформацій і зносу збірних різців розроблені токарні змінні багатогранні пластини з підвищеною теплопровідністю (рис.3.6). У цих пластин істотно знижується термічний опір контакту між різальною та опорною пластинами, що призводить до перерозподілу теплових потоків (рис.3.7, а, б). При цьому зменшуються температурні деформації різця та його знос (рис.3.8).

Різці цієї конструкції по стійкості перевищують стандартні до 2,5 разів при чистових режимах обробки, а також мають більш високу стабільність різальних властивостей.

Застосовують також армування різальних змінних пластин високо теплопровідними мідними вставками для поліпшення тепловідводу від різальної кромки і збільшення зносостійкості. Оптимальні результати отримують, коли вставка запресована в паз у вигляді «ластівчин хвіст».

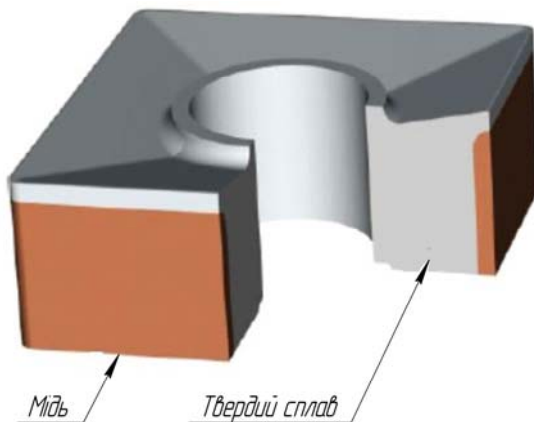


Рис. 3.6. Твердосплавна пластина з високо теплопровідним мідним шаром

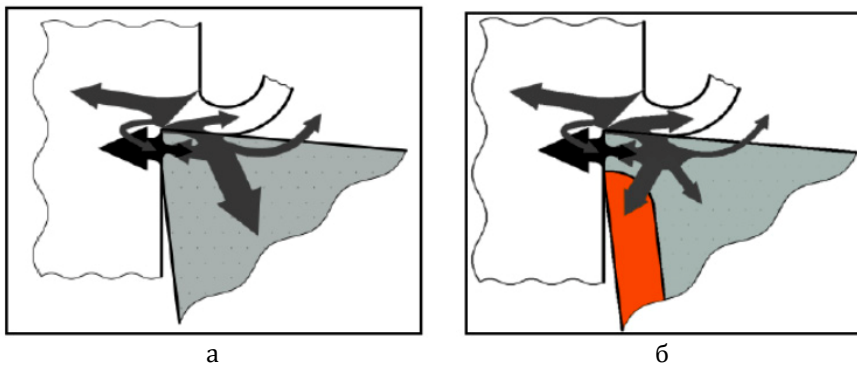


Рис. 3.7. Теплові потоки через контактні поверхні стандартного різця (а) та пластини підвищеної теплопровідності (б)

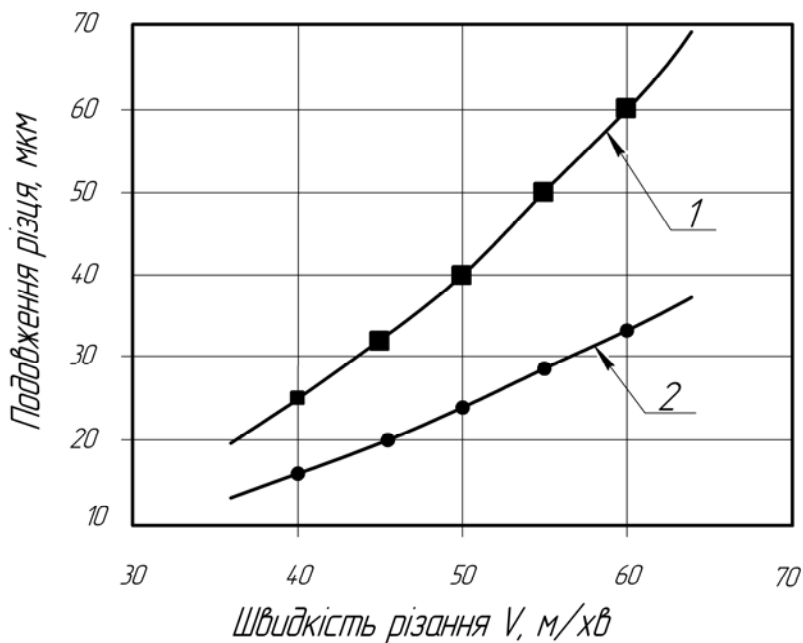


Рис. 3.7. Залежність температурного подовження різця від швидкості різання:
 1 – стандартна пластина; 2 – пластина нової конструкції
 (Т15К6 – 120Г13, $S = 0,1$ мм/об, $t = 0,5$ мм)

Дискретне виконання різальної кромки ЗБП забезпечує підвищення продуктивності лезвийної обробки за рахунок суміщення чистового точіння з іншими видами токарного оброблення, і підвищення стійкості різального інструмента за рахунок поділу теплових потоків.

При використанні ЗБП з поділом різальної кромки на ділянки з заданим функціональним призначенням і радіусом формуютьоючої ділянки першого ступеня рівним 10 мм в умовах напівчистової обробки (зі швидкістю різання 210 м/хв, подачею 0,39 мм/об і глибиною різання 2 мм) при точінні матеріалів групи Р (сталей 45Х1 і 30ХГСА) досягається шорсткість $R_a = 1,25$ мкм і забезпечується підвищення продуктивності в 2,3 рази по відношенню до ЗБП стандартного виконання. При роботі ЗБП з двома ступенями і зачистною різальною кромкою при чистовому точінні (зі швидкістю різання 300 м/хв) матеріалів групи М (сталей 08Х18Н10Т і ЭИ654) досягається задана шорсткість обробленої поверхні при збільшенні в два рази подачі і підвищенні в 2,5 рази стійкості чистової ступені за рахунок поділу теплових потоків по відношенню до ЗБП стандартного виконання.

3.3.4. Температурна сумісність і інтенсивність напружень в різальній пластині

Кожен оброблюваний матеріал має свою температуру максимальної оброблюваності $\Theta_{\text{м.о.}}$, при якій спостерігаються мінімальні навантаження на інструмент і мінімальна шорсткість обробленої поверхні. Дану температуру визначають за змінами фізико-механічних характеристик матеріалів в залежності від температури. У свою чергу, кожен інструментальний матеріал має свою температуру максимальної працездатності $\Theta_{\text{м.п.}}$, при якій підвищується його здатність протистояти навантаженням, відповідно зменшується знос і підвищується надійність.

При обробці матеріалів різанням ідеальним буде варіант збігу цих температур. Цього можна домогтися вибором відповідного інструментального матеріалу та підтримкою необхідної температури в зоні різання (призначенням відповідних режимів).

Коефіцієнт температурної сумісності:

$$K_{\text{т.с.}} = \left(\frac{\Theta_{\text{м.п.}}}{\Theta_{\text{м.о.}}} \right)^n,$$

де $\Theta_{\text{м.п.}}$ і $\Theta_{\text{м.о.}}$ – температура максимальної працездатності твердого сплаву та оброблюваності матеріалу; $n = 3$ при $\Theta_{\text{м.п.}} < \Theta_{\text{м.о.}}$, $n = -3$ при $\Theta_{\text{м.о.}} < \Theta_{\text{м.п.}}$.

На показники надійності істотно впливають геометричні характеристики і схеми базування та кріплення, їх слід враховувати при оцінці якості збірних токарних різців за допомогою коефіцієнта напруженості $K_{\text{н}}$.

До факторів, що впливають на інтенсивність напружень в різальній пластині, відносяться:

- наявність притиску в кутовий паз;
- наявність притиску по опорній поверхні (перші два пункти залежать від схеми базування та кріплення пластини);
- кут в плані φ ;
- кут при вершині ε ;
- товщина пластини;
- наявність твердосплавної підкладки та її товщина.

Коефіцієнт напруженості можна представити в наступному вигляді: $K_{\text{н}} = k_{\text{пк}} k_{\text{по}} k_{\varphi} k_{\varepsilon} k_{\text{тп}} k_{\text{тпп}}$, де $k_{\text{пк}}$ – коефіцієнт притиску в кутовий паз (залежить від схеми базування та кріплення пластини).

1. Значення коефіцієнта притиску в кутовий паз $k_{\text{пк}}$ для різних схем базування та кріплення експертним методом наведені в табл. 3.1.

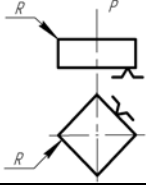
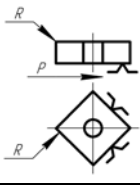
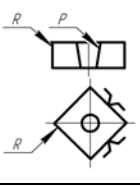
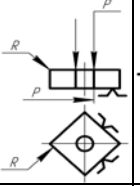
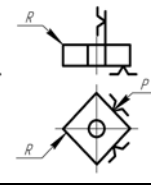
2. $k_{\text{по}}$ – коефіцієнт притиску по опорній поверхні (залежить від схеми базування та кріплення пластини).

Від дії на різальну пластину силових навантажень, що виникають при різанні, відбувається деформація опорної зони корпусу інструменту. З притиском пластини по опорній поверхні знижується рівень напруги, а, отже, і деформації на задній грані державки.

Значення коефіцієнта притиску по опорній поверхні $k_{\text{по}}$ для різних схем базування та кріплення наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Значення коефіцієнтів притиску в кутовий паз $k_{\text{ПК}}$
і притиску по опорній поверхні $k_{\text{ПО}}$**

Схема базування та кріплення пластини					
Система кріплення по ISO	C	P	S	M	немає
$k_{\text{ПК}}/k_{\text{ПО}}$	0,56 / 1,00	1,00 / 0,25	1,00 / 1,00	1,00 / 1,00	0,56 / 0,25

3. k_{φ} – коефіцієнт кута в плані. Для найбільш часто вживаних кутів в плані встановлені наступні коефіцієнти:

φ	0°	45°	60°	75°	90°
k_{φ}	1	0,53	0,21	0,13	0,06

Для круглих пластин – $\varphi = 0^\circ$.

4. k_{ε} – коефіцієнт кута при вершині ε . Набільш істотний вплив на пружно-деформований стан змінної пластини надає кут при вершині ε :

ε	55°	60°	80°	85°	90°	108°	110°	120°	180°
k_{ε}	0,18	0,20	0,28	0,29	0,30	0,60	0,64	0,68	1,0

5. Товщина пластини істотно впливає на розподіл напружень по задній грані. В тонких пластинках напруги, що виникають в опорній зоні від контакту різальної пластини з державкою різця, роблять помітний вплив на розподіл напружень на передній і задній гранях.

Товщина пластини пов'язана з подачею різання співвідношенням $t = (8 \dots 10)S$. Збільшення товщини пластини вище цього значення не призводить до зростання її міцності.

При товщині пластини $t = (8...12)S$ коефіцієнт $k_{\text{тп}}$ приймається рівним 1, при $t < (8...12)S$ приймається 0,5.

6. Наявність твердосплавної підкладки та її товщина.

Вихід з ладу різальних пластин виникає за рахунок деформацій опорної зони корпусу, яка втрачає площинність під навантаженням. Різальні пластини з твердого сплаву, що характеризуються високою твердістю та крихкістю, погано працюють на вигин і не здатні прийняти форму деформованої опорної поверхні корпусу інструменту. При $l/t = 1$ деформації та напруги в державці мінімальні. Тому для зменшення деформацій опорної зони корпусу інструменту необхідно під змінну пластину ставити опорну пластину завтовшки $t_1 = (0,8...1,1)t$ з твердого сплаву або загартованих сталей. При товщині опорної пластини $t_1 = (0,8...1,1)t$ коефіцієнт приймається рівним 1, при $t_1 < (0,8...1,1)t$ або відсутності підкладки приймається 0,5.

3.3.5. Підвищення міцності змінних пластин

Серед відмов інструментів з ЗБП з інструментальних твердих сплавів (ІТС) на руйнування пластин припадає 70 – 75 %. Характерними видами руйнувань є викришування, сколювання, поломка.

ЗБП з ІТС мають різні конструктивні параметри, схеми базування та кріплення їх в корпусі інструменту, та піддаються складному напружено-деформованому стану (НДС), який визначається не тільки зовнішнім силовим і температурним навантаженням, але і внутрішніми температурними мікронапруги (напруги II роду).

На НДС пластин впливають їх форми, схеми базування і кріплення. Схема базування ЗБП за опорною та двома бічними поверхнями при кріпленні механізмом типу важеля забезпечує мінімальні значення небезпечних напружень розтягу σ_1 , що відрізняються від інших схем в 2 і більше разів.

Зі збільшенням кута ε при вершині ЗБП напруги розтягнення σ_1 на головній і стиснення σ_2 на допоміжної різальних кромках зменшуються. Максимальні напруги розтягнення σ_{1max} на головній різальній кромці пластин відрізняються в 5 і більше разів в залежності

від форми в порівнянні зі стандартними багатогранними. Стандартні ЗБП можуть бути розставлені в ряд по міцності в бік її збільшення в наступній послідовності: 3-гранні, ромбічні, 4-гранні, 5-гранні, круглі. Відповідне місце зайняли пластини нових форм ($\varepsilon = 90^\circ$, $\varepsilon = 120^\circ$).

Для зниження небезпечних напружень розтягу застосовують пластини, форми яких відрізняються від стандартних багатогранних збільшенням кута при вершині ε за рахунок виконання бічних граней по циліндричній і конічній поверхням на всю довжину та на половину довжини сторони базового багатогранника. Розроблено конструкції пластин підвищеної міцності з криволінійними різальними кромками на всю довжину (рис. 3.9, а) та на половину довжини пластини (рис. 3.9, б).

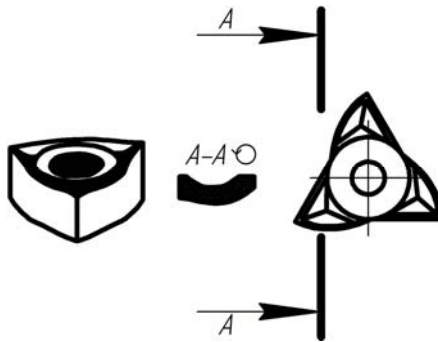


Рис. 3.9. Змінні пластини підвищеної міцності

Різці показали зниження частоти відмов через поломки в 3 – 4 рази і підвищення їх працездатності на 20 – 25 %. Кількість оброблюваних деталей однією різальною кромкою, до повороту пластини, збільшується приблизно в 3 рази (чорнове точіння, Т15К6, 40Х).

Для обточування профілю поверхні обода коліс на колесотокарних верстатах для чорнової та чистової обробки застосовують чашкові різці з напайними або механічно зміцненими пластинами різного діаметру з твердого сплаву марки Т14К8 або Т5К10. Удосконалена конструкція збірного чашкового різця (рис. 3.10, б) складається з державки 1, оправки 2, різальної пластини 3, пружно розрізної втулки 4, болта 5, гайки 6. Торцова поверхня циліндричного виступу оправки виконана конічною та контактує з

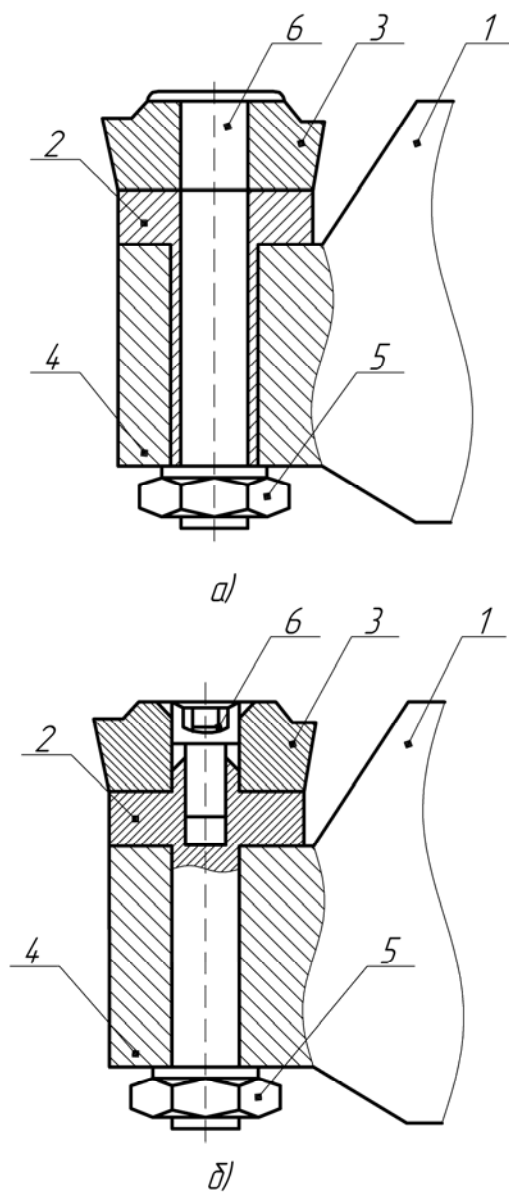


Рис. 3.10. Базова (а) та вдосконалена (б) конструкції збірної чашкового різця

конічною частиною упорної розрізної втулки, протилежна сторона якої контактує з торцевою частиною головки болта. Оправка притискається до державки за допомогою гайки 6. Використання пружно розрізної втулки дозволило підвищити жорсткість кріплення пластини в радіальному напрямку, а також міцність різальної пластини шляхом зниження напружень на різальній кромці в 2 рази. Продуктивність обробки колісної пари зросла за рахунок зниження кількості поломок різальної пластини.

3.4. МОДИФІКУВАННЯ КОНТАКТНИХ ПЛОЩАДОК РІЗЦІВ

Дифузійне насичення (титаноніобірування, хромотитанірування, хромоніобірування і одноконтентне хромування) на глибину 3 – 10 мкм підвищує стійкість твердосплавних пластин при одночасному підвищенні мікротвердості поверхні (з 1530 до 2190 одиниць HV). Значне підвищення зносостійкості надають твердосплавному інструменту шари з карбіду титану. Дещо менше підвищення стійкості забезпечують шари з карбіду ванадію та карбіду танталу. Далі йдуть NbC, Cr₂₃C₆, ZrC, MoC і WC.

Підвищення стійкості лезвийного інструменту зі швидкорізальної сталі Р6М5 досягається при створенні поверхневого боридного покриття шляхом поєднання відпуску з низькотемпературним боруванням після загартування. Наприклад, при швидкості 25 м/хв стійкість різців з покриттям 60 – 65 хв, а без покриття 14 – 16 хв. Сколювання поверхневого шару не спостерігалось. Випадків сколювання поверхні зміцнених шарів і крихкого руйнування різальної кромки не спостерігалось також при різанні, супроводжуваному інтенсивною вібрацією.

Тонколезвийні різці з нітроцементованої сталі 4Х5МФС мають зносостійкість і експлуатаційні властивості не гірше ідентичних швидкорізальних сталей і твердих сплавів при обробці керамічних і композиційних матеріалів.

Лазерне поверхнєве легування (ЛПЛ) забезпечує підвищення твердості низьколегованих сталей до 18000-19000 МПа. ЛПЛ знижує ударну в'язкість, але при нагріванні зміцненого інструменту за рахунок тертя при різанні це зниження в'язкості нівелюється. Теплостійкість інструменту, зміцненого ЛПЛ, перевищує теплостійкість дорожчої сталі Р6М5 на 200...300 °С. При швидкостях різання до 30 м/хв для різці з швидкорізальних сталей типу Р6М5

можна використовувати економнолеговані сталі типу ХВГ і навіть У10 після поверхневого зміцнення ЛПЛ.

Фінішна обробка алмазним вигладжуванням (АВ) робочих поверхонь призводить до підвищення стійкості круглих різців в 2,5 рази. АВ застосовували для круглих різців діаметром 50 мм зі швидкорізальної сталі марок Р18, Р9М5 (HRC 64...66) с зносостійким TiN покриттям з вихідною шорсткістю 0,38 мкм за шкалою R_a . Залежність величини зносу W від шляху L , пройденого різцем, наведена на рис. 3.11.

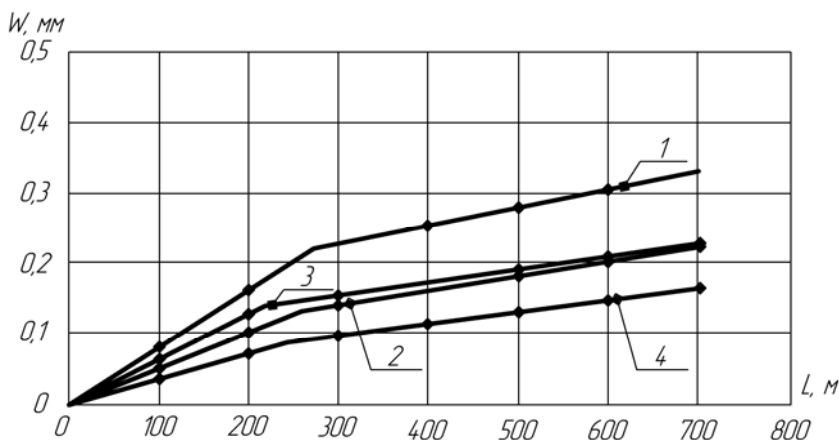


Рис. 3.11. Знос задньої поверхні різця W в залежності від шляху різання L :

- 1 – шліфовані круглі різці з швидкорізальної сталі Р18;
- 2 – круглі різці, зміцнені алмазним вигладжуванням після шліфування;
- 3 – круглі різці, покриті зносостійким нітрідним покриттям; 4 – круглі різці, покриті зносостійким TiN покриттям і оброблені алмазним вигладжуванням

Нанореструктуризація частинок карбіду в поверхневому шарі металокерамічного сплаву при опроміненні в ксенонзмістній або в (ксенон + азот)–змістній плазмі газового розряду зменшує до мінімуму величину коефіцієнта тертя та підвищує стійкість твердого сплаву при різанні металу в 20 і більше разів.

Зміцнення робочих поверхонь різців зі сталі Р6М5 електроакустичним напленням-легуванням (ЕЛАН) сплавами ВК8, Т5К10 і W підвищує рівень оптимальних швидкостей різання в 1,15 ... 1,5 рази. Інтенсивність зносу зміцненого інструменту

знижується від 1,1 до 1,8 рази, довжина шляху різання збільшується більш ніж в 2 рази. Для отримання більш зносостійких поверхневих шарів **ЕІЛ** доцільніше проводити в окислювальному середовищі з енергією в імпульсі $E = 0,25$ Дж.

3.5. ПОКРИТТЯ НА КОНТАКТНИХ ПЛОЩАДКАХ РІЗЦІВ

Зносостійкість покриттів в значній мірі залежить від використовуваних режимів різання. При помірних швидкостях різання (250 м/хв) зносостійкість різців з чотиригранними швидкозмінними пластинками на основі ТТ8К6 зі звичайними покриттями (TiAl)N вище фільтрованого, внаслідок сприятливого поєднання твердості та адгезії з підкладкою (рис. 3.12). Але зносостійкість такого покриття значно зменшується при швидкостях різання вище 350 м/хв. Під час високошвидкісної обробки переважає окислювальний знос інструменту. Фільтровані покриття з великим опором окисленню мають і більш високу зносостійкість при високих швидкостях різання в діапазоні 450 м/хв.

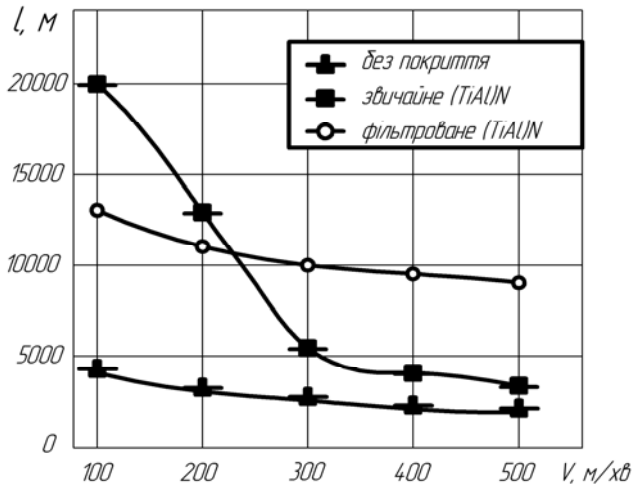


Рис. 3.12. Вплив швидкості різання на шлях різання (при $h_z = 0,3$ мм) при точінні сталі 40Х різцями ТТ8К6 з різними покриттями ($S = 0,11$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

Двошарові покриття, що мають верхній шар з TiZrN і TiCN і нижній шар з TiN (TiN-TiZrN і TiN-TiCN) дозволяють підвищити період стійкості PI в порівнянні з покриттям TiN в 1,7 – 4,4 рази (в залежності від конструкції покриття і режиму різання). Стійкість токарних різців з твердосплавними непереточуваними пластинами в 2,8 – 3,7 рази вище в порівнянні з PI без покриття та в 1,5 – 2,0 рази в порівнянні з PI з покриттям TiN в залежності від складу покриття, оброблюваного матеріалу та режиму різання.

Застосування вакуумно-дугового захисного покриття на основі NbN на різальних інструментах, оснащених ПСТМ на основі КНБ, дозволяє знизити швидкість їх зносу:

- при чистовій обробці загартованих сталей (55–62HRC) на 25-30 %;
- при обробці наплавленого нікелевого сплаву 08X18N9Г7Т на 20 %;
- при обробці легованих магнієм чавунів СЧ35 на 10 %;
- при обробці твердих сплавів групи ВК ($C_o > 15\%$) на 25-35 %.

3.6. ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ РІЗЦІВ

Карбонітрація підвищує зносостійкість і теплостійкість сталі, а також збільшує її теплопровідність. Лазерна обробка по оптимальному режиму підвищує зносостійкість і зменшує теплопровідність стали Р6М5. Карбонітрація та лазерна обробка, а також їх поєднання з вакуумно-плазмовим покриттям TiN істотно змінюють тужавність передньої поверхні різців зі сталі Р6М5 з оброблюваним матеріалом, що можна використовувати в практиці для цілеспрямованої корекції цієї важливої властивості інструменту.

Після вигладжування алмазними інструментами швидкорізальні стали, загартовані до високої твердості з TiN покриттям, добре піддаються поверхневому пластичному деформуванню, знижуються пористість покриття та шорсткість поверхні, зміцнюється поверхневий шар, виникають стискаючі залишкові напруги.

На рис. 3.11 представлені результати випробувань на стійкість круглих різців з швидкорізальної сталі після шліфування $R_a = 0,16$ мкм, після алмазного вигладжування $R_a = 0,08$ мкм, з TiN покриттям $R_a = 0,38$ мкм, і з TiN покриттям, зміцнених алмазним

вигладжуванням на оптимальних режимах $R_a = 0,1$ мкм. Заточка різців проводилася після обробки задньої поверхні. Обробка стали 45 виконувалася на наступних режимах: швидкість різання 40 м/хв, подача 0,025 мм/об.

На стадії припрацьовування різці, оброблені алмазним вигладжуванням, мають меншу величину зносу. Зниження величини зносу на стадії припрацьовування досягається за рахунок більш високого ступеня обробки, зміцнення та зниження пористості покриття після алмазного вигладжування. Алмазне вигладжування дозволяє знизити величину зносу припрацьовування та тим самим підвищити стійкість круглих різців з TiN покриттям в 2-2,5 рази.

3.7. Підвищення надійності відрізних і канавкових різців

Витрати відрізних і канавкових різців перевищує витрати прохідних і розточувальних різців більш ніж на 50 %, що викликано недостатньою міцністю та жорсткістю їх різальної частини. Їх знос відбувається з різним ступенем інтенсивності на чотирьох поверхнях: задній, передній і двох бічних допоміжних задніх поверхнях. Зі збільшенням глибини прорізуваної канавки сила різання зростає через:

- зміни швидкості різання;
- утрудненого процесу стружкоутворення;
- сили тертя, що виникають між стінками прорізуваної канавки і стружкою;
- опору видалення стружки з прорізуваного пазу.

Втрату працездатності відрізних і канавкових різців викликають: крихке викришування різальної кромки внаслідок несприятливих умов роботи і недостатню міцність; неправильна заточка та установка інструменту, що призводить до відведення та вигину головки різця; зміна при відрізці кінематичного заднього кута до нульових значень, в результаті чого збільшується ймовірність відколу різця при наближенні до осі обертання деталі. Основною причиною є крихке викришування та скол різальної частини (більше половини відмов відрізних і канавкових різців).

Середнє значення руйнівного зусилля для різців з формою заточки передньої поверхні за критерієм рівномірності (рис. 3.13) на 14 % вище, ніж для різців з плоскою передньою поверхнею.

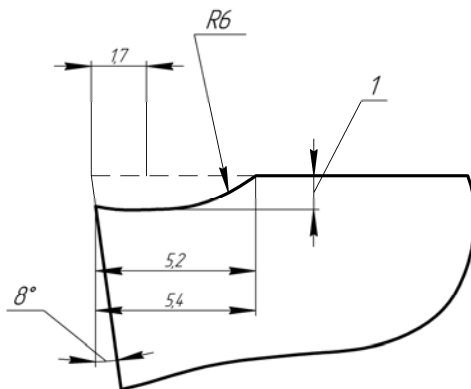


Рис. 3.13. Форма заточки різальної частини відрізних і канавкових різців

Така форма заточки відрізних і канавкових різців, по-перше, не впливає на характер зносу та не призводить до зниження стійкості, залежності складових сили різання від глибини канавки, швидкості різання та подачі аналогічні одержуваним різцями з плоскою передньою поверхнею, а по-друге, дозволяє знизити величину сили різання в середньому на 30 %.

Цілісні твердосплавні канавочні різці піддаються поломці внаслідок недостатньої міцності різальної частини. Її напружений стан характеризується істотними напруженнями розтягу, значення яких в окремих точках наближаються до межі міцності твердого сплаву. Зміна геометричних параметрів різальної частини різців, зокрема збільшення переднього кута до $\gamma = 10^\circ$ та висоти до 3,2 мм (рис. 3.14), дозволяє значно підвищити їх міцність.

Підтримка постійної швидкості різання також знижує ймовірність крихкого руйнування різальної частини при відрізці, прорізці та торцевому точінні на верстатах з ЧПУ.

Точіння канавок шириною 0,5 мм в порівнянні з вільним різанням супроводжується збільшенням усадки стружки і температури різання, тому знос задньої поверхні канавкових різців збільшується в 2 рази. У 2-6 разів збільшується діаметр витка стружки через гальмуючий вплив, що чиниться бічними стінками канавок.

Застосування збірних канавкових різців, оснащених твердосплавними пластинами зі зносостійкими покриттями, і оптимальних режимів різання підвищує продуктивність токарного оброблення канавок турбінних дисків в 3,3 рази в порівнянні з напайними різцями.

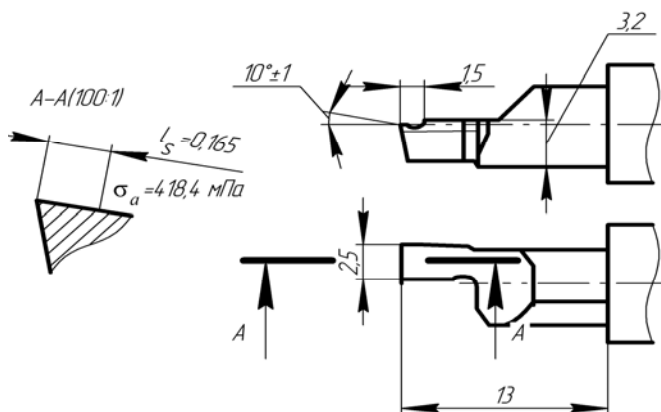


Рис. 3.14. Схема навантаження твердосплавного різця, зі зміненою геометрією різальної частини

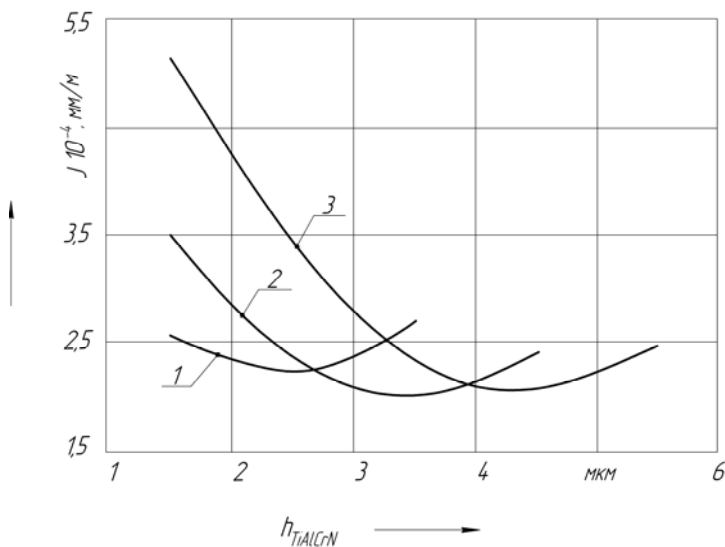


Рис. 3.15. Вплив товщини верхнього шару $h_{TiAlCrN}$ на інтенсивність зносу РІ з покриттям $TiAlN-TiAlCrN$, загальна товщина БП: 1 – 5 мкм; 2 – 6 мкм; 3 – 7 мкм; ОМ – 30ХГСА; ІМ – Н13А; $V = 88$ м/мин; $S = 0,2$; $t = 4,0$ мм

Рациональні конструкції багат шарових покриттів (БП), що дозволили мінімізувати інтенсивність зносу токарних відрізних різців: загальна товщина БП 6 – 7 мкм; товщина верхнього шару – 40 – 60 % від загальної товщини покриття. Застосування двошарових і тришарових покриттів підвищує працездатність різців в 1,8 – 2,6 рази при обробці заготовок зі сталі 30ХГСА і в 1,7 – 2,2 рази – зі сталі 12Х18Н10Т в порівнянні з покриттям TiN (рис. 3.15).

Розроблено комплекс конструкцій: різальна пластина-державка-оснастка-верстат, в якій МОР подається через канал в самій різальній пластині; при цьому МОР потрапляє безпосередньо на передню поверхню інструменту поблизу різальної кромки і направляється до нижньої поверхні стружки, що сприяє значному поліпшенню тепловідведення, зменшення інтенсивності зношування робочих поверхонь пластини і сприятливо впливає на форму стружки.

4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

4.1. ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1.1. Геометрія та конструктивні особливості свердел

На стійкість свердел впливає велика кількість чинників, головними з яких є:

- точність виконання різальних елементів свердел;
- геометрія різальної частини: подвійний кут при вершині 2φ , кут нахилу гвинтової стружкової канавки ω , задній кут α ;
- спосіб заточки;
- жорсткість інструменту та системи ВПІД, а також величина вильоту свердла;
- застосовувані режими різання та умови експлуатації свердел.

На точність обробки отворів впливають:

- геометрія різального інструменту;
- похибка етапу установки і переустановлення, що викликає відхилення осі обробленого отвору заготовки від заданого положення щодо прийнятої бази;
- пластична деформація поверхневого шару заготовки при утворенні стружки, що сприяє появі шорсткості;
- напрямок і величина стружкових канавок, від яких залежить величина шорсткості поверхні отриманого отвору;
- потрапляння стружки в зону різання;
- биття отвору, що викликає зміщення та непрямолінійність осі;
- точність верстата;
- частота власних коливань інструменту, яка сприяє появі огранки.

Стандартні спіральні свердла все частіше замінюють спеціальними свердлами, які відповідають конкретних умов обробки деталей і, в першу чергу, враховують оброблюваність різних матеріалів. Спеціальні свердла відрізняються формою поперечного перерізу профілю, формами заточек і подточек вершини свердел.

Форма профілю поперечного перерізу свердла впливає на умови стружководводу, жорсткість і міцність інструменту. При виборі профілю поперечного перерізу свердла необхідно вирішувати наступну дилему: площа поперечного перерізу повинна забезпечувати достатню міцність і жорсткість інструмента при його навантаженні силами різання, з іншого боку – площа перерізу канавки повинна бути достатньою для ефективного видалення стружки. Система форм профілів поперечного перерізу робочої частини спіральних свердел складається з трьох груп:

I – стандартні форми профілів. Їх площа становить близько 35 ... 45 % від площі поперечного перерізу кола цього ж діаметру D . Основна площа поперечного перерізу свердла доводиться на периферичну частину. Зміна товщини серцевини свердла дозволяє збільшити механічну міцність свердла та покращує умови для видалення стружки.

II – конструктивні модифікації форм профілів групи I. Товщина серцевини цих свердел постійна на всій довжині їх робочої частини. Такі свердла застосовують для важких режимів свердління з високими швидкостями. Показники міцності та жорсткості спіральних свердел з профілями групи II не знижуються, так як компенсуються за рахунок збільшення товщини серцевини понад $0,15D$.

III – форми профілю поперечного перерізу свердел подібні паралелограму та мають равнопрочность. Тут товщина серцевини свердла збільшується до $(0,3 \dots 0,4)D$, що сприяє збільшенню міцності свердел і дозволяє використовувати найважчі режими свердління. Такі свердла призначені для обробки глибоких отворів (в поєднанні з підведенням МОР до вершини свердла по внутрішнім каналам), а також для свердління з високими швидкостями різання.

4.1.1.1. Свердла з поліпшеними експлуатаційними властивостями

Шнекові свердла (рис. 4.1) мінського СКБ АЛ призначені для свердління глибоких отворів в чавунних і сталевих деталях без періодичних відведень інструменту для видалення стружки. Їх конструктивні особливості:

- 1) збільшений кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 45 \dots 60^\circ$ (у стандартних – 33°);
- 2) трикутна форма канавок;
- 3) товщина серцевини в 2 ... 3 рази вище, ніж у стандартних свердел, порядку $(0,3 \dots 0,35)d$ і постійна по довжині свердла;
- 4) передня і задня поверхні плоскі;
- 5) кути різальної частини здебільшого не залежать від кута нахилу гвинтової лінії ω , так як отримуються спеціальним заточуванням передньої поверхні. Це дає можливість отримання потрібних, з точки зору стійкості, кутів різання та забезпечує необхідний напрям сходу стружки, а також її дроблення;

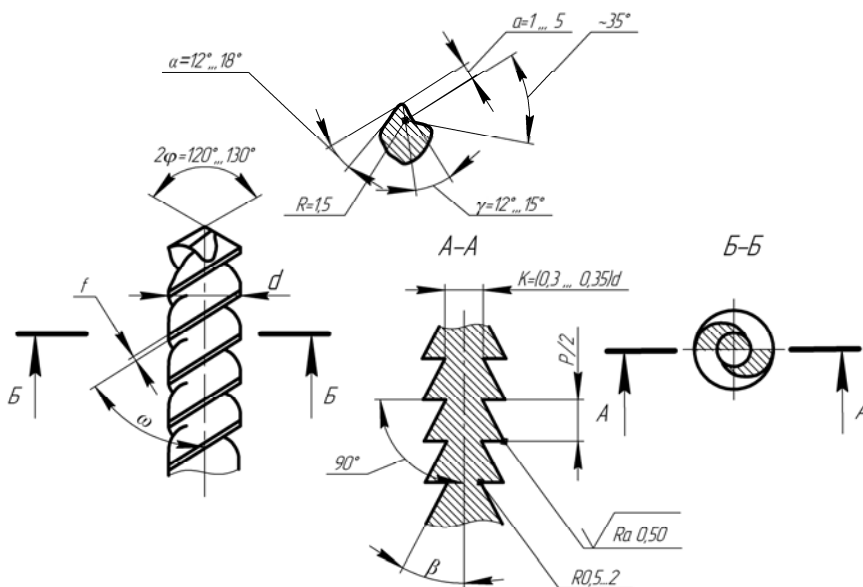


Рис. 4.1. Шнековое сверло для обработки чугуна

6) ширина стрічки f становить 0,5 ... 0,8 від розміру стрічки стандартних свердел (у стандартних свердел діаметром 1 ... 50 мм $f = 0,2 \dots 2,0$ мм);

7) умовна наявність двох частин: різальної та транспортуючої.

Стійкість шнекових свердел для обробки сталевих деталей в середньому в 1,5 рази вище звичайних, що дозволяє використовувати їх на агрегатних верстатах та автоматичних лініях.

Свердло конструкції Куйбишевського політехнічного інституту має наступні конструктивні особливості:

1) так само, як і шнекові, має дві частини: різальну та транспортуючу;

2) підвищене значення кута ω , рівне 45° ;

3) передні кути не залежать від кута ω , а забезпечуються спеціальним заточуванням;

4) підвищена жорсткість і міцність за рахунок посилення серцевини, діаметр якої дорівнює $K = (0,3 \dots 0,35)d$ – для вуглецевих і легованих сталей, а також кольорових металів, і $K = (0,4 \dots 0,5)d$ – для важкооброблюваних сталей і сплавів;

5) коритоподібна форма стружкової канавки в перерізі, нормальному до гвинтової канавки, забезпечує транспортування стружки, подрібнюваної дуговим порожком радіуса R на передній поверхні.

Ці свердла застосовують для обробки різних сталей, чавуну, бронзи та інших матеріалів в умовах серійного та масового виробництва при глибинах свердління $(4 \dots 5)d$. Стійкість їх до 2,2 раз вище стандартних, а допустимі ламаючі подачі в 1,2...1,5 рази вище, ніж для стандартних свердел.

Недоліки конструкції свердла:

1) підвищена в 1,5 ... 2,5 рази трудомісткість переточки їх в порівнянні зі стандартними свердлами за рахунок ускладнення технології заточки передньої поверхні та збільшення шару, що підлягає переточуванню;

2) необхідність відведень свердла з отвору, так як під час свердління на глибину $(7 \dots 10)d$ спостерігається пресування стружки і її затримка в канавках свердла.

Свердла зі збільшеним діаметром спинки характеризуються значеннями $q = d - (0,4 \dots 0,6)$ і $K = (0,18 \dots 0,23)d$. Міцність збільшується в середньому на 10 % для фрезерованих свердел зі шліфованими канавками і на 19 ... 40 % для свердел з прокатаними канавками. Зв'язок між міцністю та стійкістю цих свердел виражається як:

$$\Delta T = \Delta M_{кр}^{\geq 3}$$

де ΔT – приріст стійкості свердла; $\Delta M_{кр}$ – приріст міцності свердла на скручування.

Для свердел зі шліфованої спинкою та канавкою, в порівнянні з фрезерованою спинкою та канавкою, очікується збільшення міцності приблизно в 1,3 рази, а збільшення їх розрахункової стійкості – більш ніж в 2 рази по відношенню до фрезерованих.

Спиральні свердла з затилованими стрічками. Максимальний знос свердел спостерігається на периферійній ділянці головних лез (по кутках). На напрямних циліндричних стрічках, особливо при обробці в'язких сталей, дуже часто утворюються налипання, які сприяють виникненню вібрацій і зниженню стійкості свердла.

Циліндрична форма напрямних стрічок забезпечує роботу інструмента в отворі, крім цього, у куточків напрямні стрічки виконують роль допоміжних лез. Циліндрична форма допоміжних лез обумовлює їх зовсім незадовільну геометрію ($\alpha_1 = 0$ і φ_1 , близькі до 0), в результаті чого спостерігається високий знос периферійних куточків.

Спеціальні форми підточування напрямних стрічок свердел (рис. 4.2) покращують геометрію допоміжних різальних кромek, що сприяє значному підвищенню стійкості, зниженню налипання.

Затилювання усуває налипання на напрямних стрічках свердел і покращує геометрію допоміжних різальних кромek (рис. 4.3). Стрічки в цьому випадку заточені нагостро під кутом $\alpha = 5 \dots 6^\circ$ на всій їх довжині, причому стрічка утворена або за допомогою площини (рис. 4.3, а), або переходить в дугову спинку (рис. 4.3, б).

При свердлінні по сталі, чавуну та алюмінію свердла з затилованими стрічками в 1,5 ... 3 рази довговічніше, ніж стандартні. Відведення свердла, а також спотворення розмірів і геометрії отворів (розбивка, еліпсність і конусність) практично однакові в разі

обробки звичайними свердлами і свердлами з затилованими стрічками. Виняток становить алюміній, де розбивка отворів, оброблених свердлами з затилованими стрічками, вище. Деяке збільшення трудомісткості операції шліфування напрямних стрічок компенсується збільшенням стійкості свердел і зменшенням їх витрати.

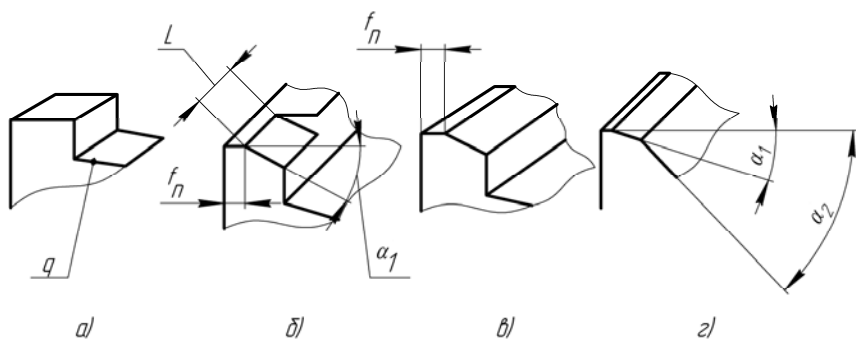


Рис. 4.2. Форми підточування стрічок свердел: а – стандартна стрічка;

б – стрічка підточена на діліне L з залишенням фаски f_{Π} під кутом

$\alpha = 6 \dots 8^\circ$, $l = 2 \dots 5$ мм; в – стрічка підточена по всій її довжині з залишенням

фаски $f_{\Pi} = 0,2 \dots 0,4$ мм; г – стрічка та спинка утворені двома кутами

$\alpha_1 = 5 \dots 6^\circ$ і $\alpha_2 = 10 \dots 11^\circ$ (наприклад, у свердел НПЛ)

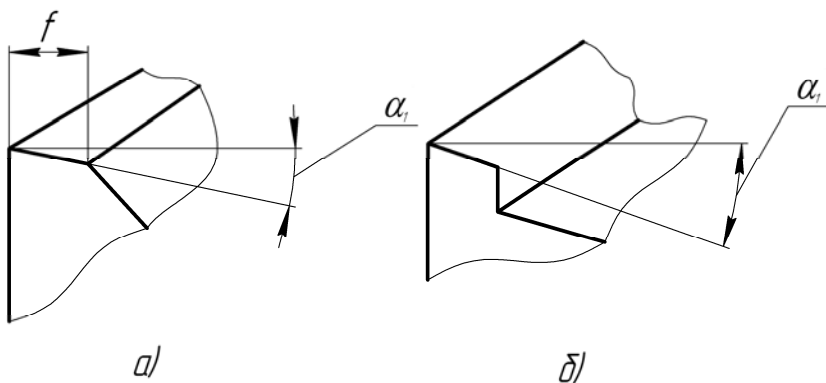


Рис. 4.3. Геометрія затилованих стрічок свердла

Високою жорсткістю відрізняються *свердла з механічним кріпленням багатограних непереточуваних пластин (БНП)* твердого сплаву. Вони допускають при обробці стали швидкості різання до 150 м/хв і подачі, в 3 рази перевищуючі подачі для звичайних інструментів.

Застосування алмазних свердел забезпечує підвищення продуктивності обробки на 30 %, підвищення точності свердління отворів – на 60 %, зниження величини відколів на виході отвору – до 0,05 ... 0,1 мм. Точність обробки досягається прецизійним регулюванням діаметру за рахунок пружного деформування корпусу та механічного регулювання розміру алмазонасної різальної частини інструменту. Забезпечується обробка отворів в деталях з неметалічних крихких матеріалів – скла, кераміки, феритів, граніту, мармуру, бетону та інших і використовуються для обробки отворів в деталях з неметалічних крихких матеріалів з точністю по діаметру до 0,015 мм.

Для обробки листових матеріалів, а також м'яких матеріалів і пластиків рекомендується використовувати свердла з прямолінійними стружковими канавками. Тут відсутній ефект «нагвинчування» деталі на свердло, що приводить до спотворення профілю отвору та деформації листового матеріалу. Подібні свердла з твердосплавними пластинами і внутрішнім підведенням МОР використовують для обробки твердих матеріалів, при різанні яких формується стружка сколювання.

Спеціальні спіральні свердла можуть мати три або чотири стружкових канавки. Вони зазвичай використовуються для розсвердлювання отворів і забезпечують більш високу продуктивність, точність і якість поверхневого шару, ніж звичайні спіральні свердла.

4.1.1.2. Заточка спіральних свердел

Плоска заточка в порівнянні з іншими способами має ряд переваг: 1) простота; 2) не потрібно спеціальних сверлозаточних верстатів і пристроїв; 3) достатня точність; 4) стійкість свердел з плоским заточуванням під час свердління вуглецевих сталей однакова або вище в 1,4 – 5 разів, ніж у свердел, заточених по конічній поверхні; при свердлінні жароміцної сталі 1Х18Н9Т свердлами діаметром 5,5 мм стійкість при плоскій заточці на 16 ... 37 % вище.

Одноплосинна заточка найбільш проста в технологічному плані, але вимагає великих задніх кутів, дає прямолінійну поперечну кромку,

яка не забезпечує правильного центрування свердла при роботі без кондуктора. Значення заднього кута та кута нахилу поперечної кромки залежать від кута при вершині і заднього кута на периферії. Використовують для дрібних свердел діаметром до 3 мм.

Двухплоскостна заточка усуває можливість затирання поверхонь деталі. Поширена для заточування твердосплавних свердел.

Гвинтова форма дозволяє отримати більш раціональний розподіл значень задніх кутів і більш опуклу поперечну кромку свердла, що покращує самоцентрування свердла. До недоліків відносяться: зменшення переднього кута до центру свердла; несприятлива геометрія на поперечній кромці; відсутність заднього кута на допоміжній різальній кромці; велике тепловиділення та поганий тепловідвід на периферійних ділянках різальної кромки, їх підвищений знос.

Способи підточування спіральних свердел.

1) Подвійна заточка різальної кромки зменшує знос найбільш напруженої ділянки різальної кромки за рахунок зменшення товщини зрізаного шару на периферії та поліпшення відводу тепла.

2) Підточування поперечної кромки зменшує її довжину, полегшує різання, підвищує стійкість свердла. Рекомендується для обробки сталей малої і середньої твердості, особливо для великих свердел.

в) Підточування циліндричних стрічок – створюється задній кут ($\alpha_g = 6...8^\circ$) на допоміжній різальній кромці на невеликій довжині 1,5 ... 5 мм. Призводить до збільшення стійкості в 2 ... 3 рази.

г) Утворення стружкорозподільчих канавок на передній поверхні свердла не вимагає їх відновлення після заточки.

д) Утворення стружкорозподільчих канавок на задній поверхні свердла простіше у виготовленні, але канавки після переточування доводиться відновлювати. Наявність стружкорозподільчих канавок дає підвищення стійкості до 2 разів за рахунок поліпшення відведення стружки. Рекомендується при глибокому свердлінні.

Підточування передньої поверхні виконується для свердел з малими кутами ω у центрі свердла з метою збільшення переднього кута. У свердел з великими кутами ω підточування передньої поверхні виконується на периферії з метою зменшення переднього кута та збільшення міцності різального леза.

Точне центрування свердел під час врізання забезпечується шляхом утворення опуклою уздовж осі свердла поперечної різальної кромки зі зменшенням величин негативних передніх кутів. До «центруючих» методів заточування сверدل по задніх поверхнях відносять: гвинтовий; конічний; комбінований; по двох площинах. Для обробки отворів з точністю розташування осі в межах до 0,05 мм доцільно застосовувати свердла з «центруючими» задніми поверхнями та попереднім центруванням отворів. Для забезпечення точності обробки отворів в межах 0,05 ... 0,12 мм свердла не повинні мати радіального биття більше 0,05 мм і зміщення поперечної кромки більше 0,04 мм.

Циліндричні хвостовики свердел не повинні мати зворотної конусності, оскільки її наявність призводить до збільшення на 30 – 50 % розсіювання величин початкового зсуву осі отворів.

Дрібнорозмірні свердла відрізняються від звичайних свердел наявністю чотирьох напрямних стрічок і потовщеною в 1,5 – 2 рази серцевиною. Висока жорсткість свердла та гарний напрямок його значно зменшують відхилення від прямолінійності осі отвору. Осьове биття різальних кромок в периферійній точці повинно бути не більше 0,002 ... 0,005 мм, а різниця в довжині різальних кромок не повинна перевищувати 0,01 мм. У таких свердел виконується дві пари стрічок – по дві на кожній з стружкових канавок. Друга пара стрічок має великий діаметр у порівнянні з діаметром різальної частини свердла. Перша пара стрічок виконує функції тільки допоміжних задніх поверхонь, а друга пара відокремлених стрічок служить тільки для направлення свердла в кондукторної втулці.

Точність обробки отворів свердлами з відокремленими напрямними стрічками в значній мірі залежить від величини відхилення, від співвісності шпинделя верстата та кондукторної втулки. Більш висока точність свердління в порівнянні зі стандартними свердлами забезпечується при відхиленні від співвісності шпинделя верстата і кондукторної втулки не більше 0,15 мм.

Інструмент з полікристалічного алмаза (PCD) виготовлений з твердого сплаву, на який в якості різальних кренок напаяний полікристалічний алмаз. Твердий сплав забезпечує міцність і розмірну точність для якісного свердління отворів, при цьому всередині свердла передбачені спіральні канали для охолодження та спіральні канавки для видалення стружки. Різальні кромки з полікристалічного алмаза забезпечують підвищену зносостійкість свердла.

У твердосплавного свердла з алмазним CVD покриттям гострота кромки обмежується товщиною покриття. Крім того, в зв'язку з великою різницею в твердості карбідної підкладки та алмазного покриття характеризуються низькою здатністю поглинання енергії удару. Стійкість до відколювання обмежена.

Оптимальна геометрія свердел з PCD. Для свердління углепластиков використовуються великі кути нахилу гвинтової лінії і довгі різальні кромки з великим позитивним переднім кутом. Довга різальна кромка забезпечується за рахунок малих кутів при вершині. Свердла для углепластиков забезпечують низькі осеві зусилля, щоб уникнути відшаровування матеріалу на виході. Це вимагає досить гострої різальної кромки з невеликим кутом різального клина. Задні кути доходять до 20 градусів при кутах нахилу гвинтової лінії приблизно в 30 градусів. При обробці титану можна також використовувати гостру різальну кромку, але в порівнянні з вуглепластиком потрібно більш міцний різальний клин. Стандартні задні кути для титану знаходяться в діапазоні від 8 до 14 градусів. У порівнянні зі свердлами для обробки стали ці значення, як правило, вище (приблизно 12 градусів), оскільки тепловий ефект від сил тертя по задній поверхні інструменту слід звести до мінімуму для зниження зносу по задній поверхні. Оскільки великий задній кут в поєднанні зі стандартним кутом нахилу гвинтової лінії в 30 градусів занадто сильно послабить різальну кромку, кут нахилу гвинтової лінії зменшений і лежить в діапазоні від 15 до 20 градусів.

При свердлінні деталей, повністю виконаних з вуглепластика, отвори для внутрішнього охолодження дозволяють швидко видувати за допомогою стиснутого повітря пил від вуглепластика назовні через канавки для відводу стружки. Для обробки матеріалів з вуглепластика чи титану допускається охолодження мінімальною кількістю мастила (MQL) для зменшення тертя і зниження кількості тепла, у великій кількості виділяється при обробці титану внаслідок його низької теплопровідності. Наявність мінімальної кількості мастила обов'язково при роботі інструментом з полікристалічного алмаза, оскільки підвищена температура на різальній кромці призведе до графітизації алмаза або утворення TiC. Дана реакція призводить до хімічного зносу в районі канавки і, в кінцевому підсумку, до викришування полікристалічного алмаза.

Свердла з полікристалічним алмазом характеризуються значним збільшенням стійкості та одним видом зносу, який починається з мікротріщин на передній поверхні і закінчується значним викришування куточків.

4.1.2. Геометрія і конструктивні особливості зенкерів

Відомо два варіанти зенкерів, оснащених БНП: без поділу зрізаного шару (рис. 4.4) і з поділом зрізаного шару. Різальна пластина 1 закріплюється в корпусі 2 за допомогою тяги 3, яка переміщається в осьовому напрямку гвинтом 5, завдяки упорному диску 4. Геометрія таких зенкерів наступна: $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_0 = 20^\circ$; $\gamma = -15^\circ$; $\alpha = 6 \dots 8^\circ$; $\lambda = 8 \dots 12^\circ$.

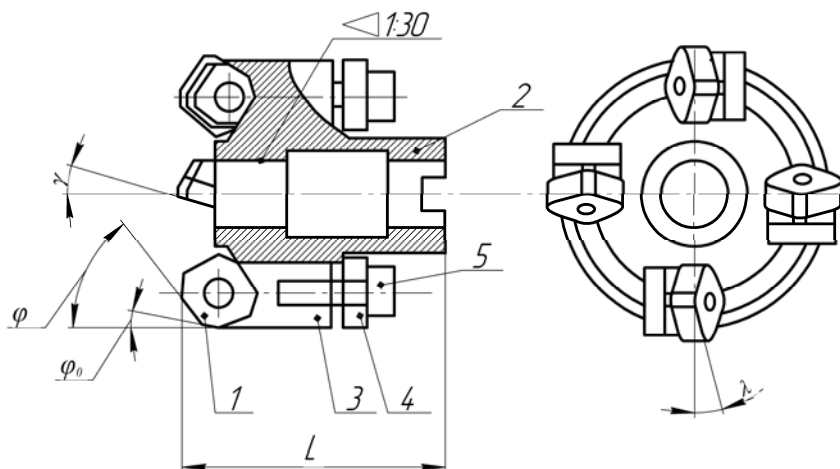


Рис. 4.4. Конструкція зенкера, оснащеного БНП, без поділу зрізаного шару

Перевагами цієї конструкції в порівнянні з напайним є швидка заміна пластинки, підвищення продуктивності за рахунок застосування твердих сплавів, скорочення витрат на заточку та переточування.

Можливо поєднання декількох видів операції в одному інструменті, наприклад, зенкерування та протягування. Зенкери-протяжки (рис. 4.5) дозволяють підвищити якість і точність обробки отворів, а також стійкість інструменту. Застосування равношiroкого профілю зубів збільшує стійкість зенкера-протяжки і кількість можливих переточувань. Термін служби збільшується також за рахунок переточки по задній поверхні, при якій відтворюється стан задньої поверхні до стану нового інструменту.

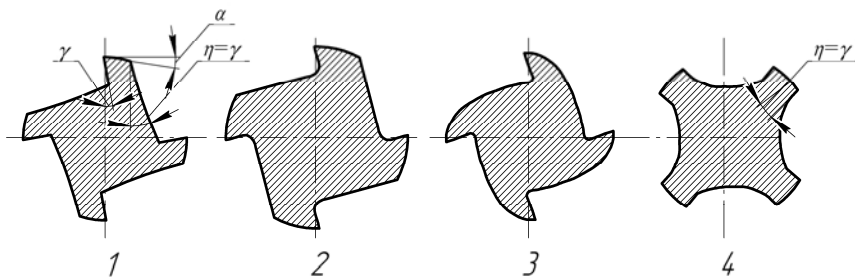


Рис. 4.5. Профіль поперечного перерізу зенкера-протяжки:

γ – передній кут; α – задній кут; η – кут на спинці зуба ($\eta = \gamma$);

1 – равношiroкий профіль зубів; 2, 3 – стандартний профіль зубів зенкера;
4 – профіль калібруючої частини

Зенкери-протяжки можуть бути оснащений пластинами твердого сплаву (рис. 4.6).

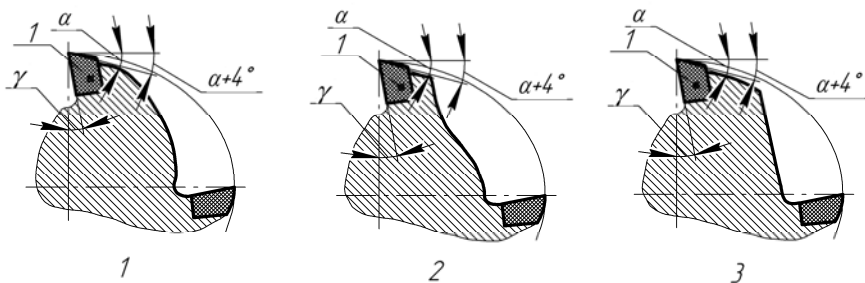


Рис. 4.6. Профіль поперечного перерізу зенкера-протяжки з пластинами твердого сплаву: 1 – пластинка твердого сплаву;

γ – передній кут; α – задній кут; η – кут на спинці зуба ($\eta = \gamma$)

Точність діаметральних розмірів отворів після обробки зенкером-протяжкой збільшується на 1-2 квалітета в порівнянні з циліндричним зенкером, шорсткість зменшується на 2-3 класи.

Більшість зенкерів, використовуваних при обробці отворів, є інструментами з фіксованими нерухомими різальними елементами. Це призводить до зниження точності обробки (через неможливість змінити різальну частину без заміни інструменту), а також відведенню осі інструменту. Вирішення цієї проблеми можна забезпечити шляхом використання збірних зенкерів з механізмом компенсації зносу.

4.1.3. Геометрія та конструктивні особливості розверток

Розвертка є недовговічним інструментом, тому до неї пред'являються підвищені вимоги при призначенні допуску на діаметр. Звичайні машинні розвертки через наявність головного кута в плані незручно заточувати, так як потрібно дві установки для заточування забірної та калібруючої циліндричної частини. З іншого боку, при малому куті зростає радіальна сила різання, збільшується відведення осі отвору та вібрації інструменту в процесі різання. Зазначених недоліків позбавлені розвертки із ступінчастою забірною частиною (з кільцевим заточуванням) (рис. 4.7).

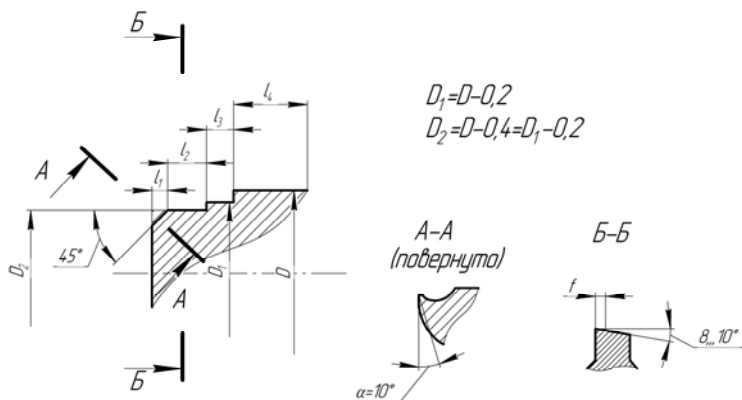


Рис. 4.7. Схема розвертки з кільцевою заточкою

Застосування розверток з різнопохилими зубами підвищує вібростійкість процесу розгортання за рахунок великого кута нахилу зубів $\omega = 30 \dots 40^\circ$ і різниці кутів суміжних зубів $\Delta\omega = 6 \dots 8^\circ$, при рівномірному їх розташуванні по торцю розвертки. Це сприяє забезпеченню сталості перерізу зрізаного шару, що виключає одну з основних причин виникнення вимушених коливань. При цьому хвилястість, овальність, відхилення від циліндричної та іншої характеристики якості розгортання значно поліпшуються при обробці глибоких отворів. Шорсткість обробленої поверхні отворів знижується на 1,5 – 2 класи.

Однозубі розвертки з регульованим положенням різальної пластини (ножа) дозволяють отримувати отвори з різним розташуванням полів допусків.

Більш високу стійкість і якість оброблюваної поверхні забезпечують різцеві збірні розвертки з безвершинними зубами. Її конструкція має вставні зуби-різці, на яких немає вершини, різальна кромка криволінійна. Удосконалена конструкція різцевої збірної розвертки з безвершинними зубами представлена на рис. 4.8. Вона складається з корпусу 1, чотирьох вставних зубів-різців 2 і кріпильних гвинтів 3 по два на кожен вставний зуб-різець. Зуби-різці можуть бути виконані з швидкорізальної сталі (переважно Р6М5) або оснащені твердосплавними пластинами Т30К4 (для чистової обробки).

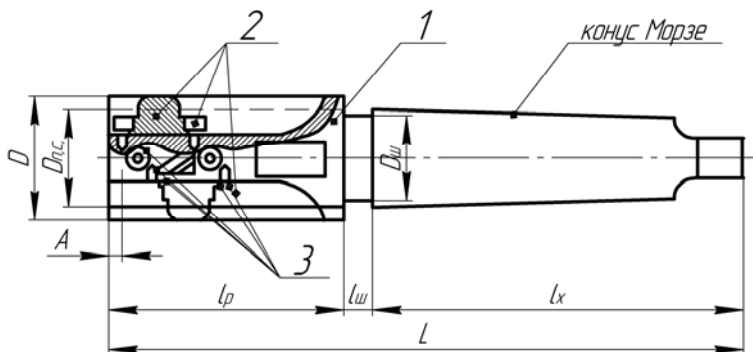


Рис. 4.8. Конструкція різцевої збірної розвертки з безвершинними зубами

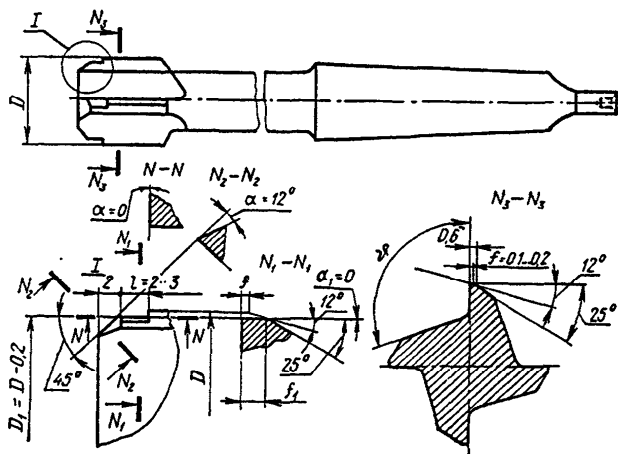


Рис. 4.9. Розвертка с кольцевой заточкой

Для підвищення точності розгортання рекомендується: використання можливо менших кутів в плані на різальній і калібруючих частинах; мінімальне радіальне биття головних і допоміжних різальних кромek і можливо більша ширина круглошліфованих стрічок. Найбільш висока точність розмірів і форми оброблених отворів досягається розвертками з кільцевим заточуванням (рис. 4.9) з головним кутом в плані 90° . У цих випадках виключається вплив на розбиття отворів радіального биття головних різальних кромek розвертки.

Розвертки твердосплавні. Оснащення твердими сплавами в кілька разів підвищує стійкість розверток, особливо при обробці отворів в важкооброблюваних сталях і високоміцних чавунах. Однак реалізувати можливість підвищення швидкості різання в кілька разів при використанні твердосплавних розверток не вдається через виникнення вібрацій, що погіршують якість обробленої поверхні. Тільки в розвертках одностороннього різання з використанням внутрішнього напірного охолодження та з роботою хвостовика на розтягнення при обробці конструкційних сталей досягаються швидкості різання $V = 120$ м/хв.

Розвертки діаметром до 3 мм виготовляють цілком з твердого сплаву у вигляді трьох-, чотирьох- або п'ятигранника (рис. 4.10, а) з збірними конусом, без стружкових канавок з негативними передніми кутами на різальних кромках. В цьому випадку знімаються припуски надзвичайно малі, а процес різання подібний до шабрування.

Розвертки з цільною твердоспальною робочою частиною і сталевим хвостовиком, сполученим пайкою, виготовляють діаметрами 3 ... 12 мм (рис. 4.10, б).

При розгортанні температура різання невелика, тому замість пайки можна використовувати високоміцні клеї, що значно спрощують процес виготовлення розверток і забезпечує підвищення стійкості твердосплавних пластин за рахунок відсутності термічних напружень.

Розвертки одностороннього різання виготовляють з одним або декількома ножами і опорними пластинами. Завдяки вигладжуючій дії опорних твердосплавних напрямних, що сприймають радіальну складову сили різання та тертя, вони забезпечують високу точність отворів і низьку шорсткість їх поверхонь (рис. 4.11). За рахунок застосування внутрішнього напірного охолодження МОР на масляній основі вдається досягти при обробці сталей наступних режимів різання: $V = 70 \dots 90$ м/хв; $S = 0,1 \dots 0,5$ мм/об; $t = 0,15$ мм.

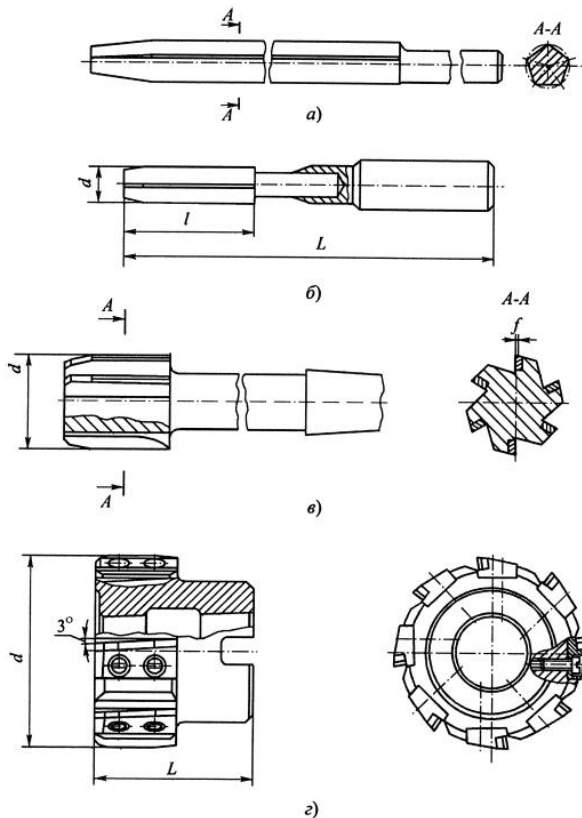


Рис. 4.10. Твердосплавні розвертки: а – гранная цільна;
 б – з цільною твердосплавною робочою частиною, припаяною до хвостовика;
 в – хвостова з напайними твердосплавними пластинами; г – насадна збірна з
 ножами, оснащеними твердим сплавом ($\varnothing 150 \dots 300$ мм)

Твердосплавні розвертки мають наступні основні відмінності від швидкорізальних: зменшена довжина робочої частини; мінімальна довжина забірного конуса (для зменшення вібрацій передній кут γ збільшений до 45°); на різальних кромках при нульових передніх кутах заточують вузькі зміцнюючі фаски з негативним переднім кутом – 5° ; зворотний конус через малу довжину калібруючої частини зазвичай заміняють заокругленням по радіусу.

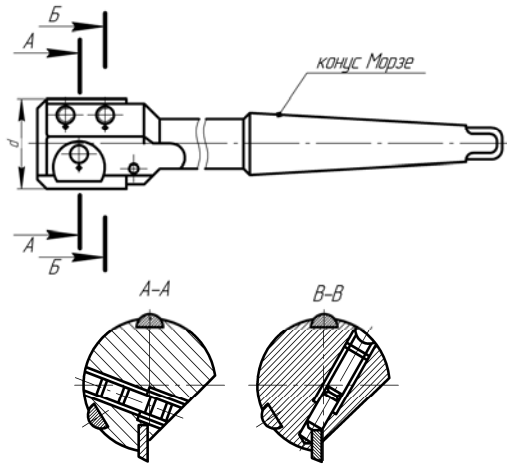


Рис. 4.11. Твердосплавна розвертка одностороннього різання

4.2. Вплив умов різання

Збільшення *швидкості різання* вище оптимальної веде до збільшеного зносу інструменту через збільшення температури. Збільшена швидкість призводить до зварювання матеріалу заготовки і різальної кромки. Пошкоджена різальна кромка пошкоджує поверхню та знижує час роботи інструменту.

Подача менше впливає на якість обробленої поверхні та знос інструменту в порівнянні зі швидкістю різання (тобто подачу можна змінювати в великих межах без зміни якості обробки і стійкості інструменту). Тому бажано вибирати найбільшу подачу з рекомендованих з метою скорочення часу обробки без значного скорочення стійкості інструменту.

Припуск на розгортання також впливає на стійкість. Якщо припуск занадто малий, то можуть виникати великі відхилення розмірів і зниження якості обробки поверхні. При наявності дефектів поверхні припуск на розгортання збільшують.

Охолодження (мастило). У деяких випадках застосування емульсії дає кращу якість поверхні, ніж масло. Потік емульсії тонше, та він здатний краще досягати і однорідніше змащувати різальні кромки, ніж в'язкі масла для різання (особливо при глибинній обробці заготовок).

Для отримання високої точності розгортання необхідно дотримуватися ряду додаткових умов:

а) При переточуванні інструменту забезпечувати належний стан інструменту.

б) Наскрізний отвір. Забезпечується вільний вихід МОР і стружки. Найбільш підходять розвертки зі спіральними канавками.

в) Глухі отвори. Для глухих отворів використовують розвертки з прямими канавками.

Зворотний конус. Задній діаметр головки розвертки повинен бути на 0,05 – 0,015 мм менше, ніж передній. Зворотний конус оберігає розвертку від заїдання, а також сприяє зниженню сили різання та поліпшенню якості поверхні. Неправильний зворотний конус може стати причиною нестабільності розгортання, швидкого зносу та погіршення якості поверхні.

МОР. Для максимальної стійкості інструменту та якості отворів застосовують внутрішнє охолодження з високим тиском і великою витратою МОР. Для найкращої якості рекомендується використовувати емульсію мінерального масла.

Обробка з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД). Особливістю конструкції розвертки (рис. 4.12) є конічна ділянка 2 з кутом φ_y , що виконує роль деформуючого елемента. Зуби на цій ділянці незатіловані та являють собою розташовані в осьовому напрямку зміцнюючі стрічки, гострі кромки яких для виключення ними процесу різання округлені до $r = 0,2 \dots 0,3$ мм (рис. 4.13).

Різальні кромки на ділянці 1, розташовані під кутом φ до осі інструменту, видаляють основну частину припуску як при звичайному різанні. Конічна ділянка 2 в процесі обертання та осьового переміщення інструменту пластично деформує (зміцнює) шар матеріалу, який бере участь у контакті (рис. 4.12). Ділянки 3 і 4 остаточно формують поверхню отвору, видаляючи тонкий шар металу зі зміненими фізико-механічними властивостями. Робота калібруючої циліндричної частини 5 і зворотного конуса 6 розвертки не відрізняється від роботи відповідних ділянок стандартних розверток. Регулювання ступеня попередньої деформації матеріалу, що видаляється ділянками 3, 4 і 5 різальної частини інструменту, досягається зміною кута φ_y та довжини l_y конічної ділянки 2, які визначають величину радіального натягу δ_n (рис. 4.13) і відповідний розподіл інтенсивності питомого лінійного навантаження q , Н/м, що діє на матеріал зрізаного шару при розгортанні.

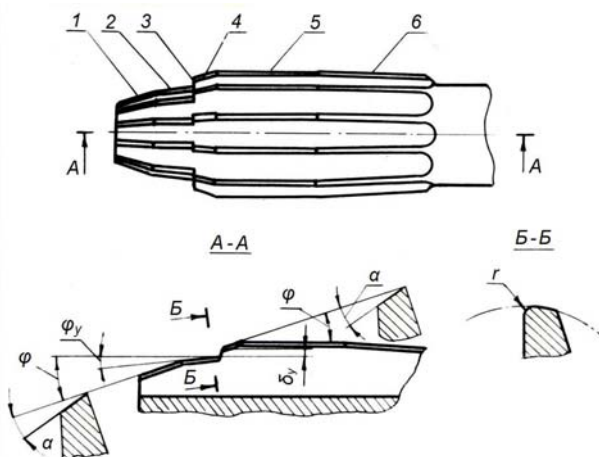


Рис. 4.12. Конструкція різальної частини розвертки для різання з ВПД

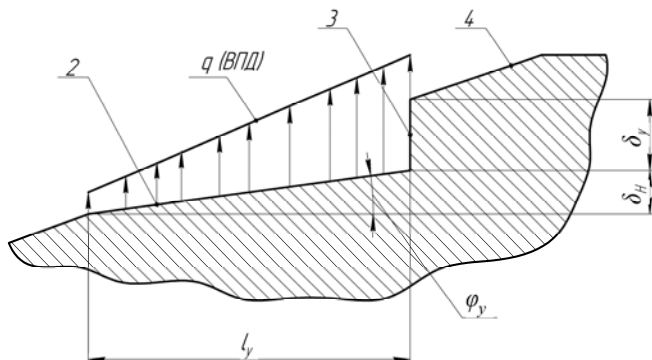


Рис. 4.13. Схема навантаження (ВПД) зрізаного шару матеріалу

В результаті деформаційного зміцнення зрізаного шару при розгортанні відбувається подрібнення вихідної структури матеріалу, підвищується її однорідність, формується більш рівномірна текстура матеріалу поверхневого шару, зменшується розкид показань мікротвердості різних ділянок обробленої поверхні. В цілому мікротвердість поверхонь отворів, оброблених з ВПД на 10 – 12 % вище, ніж після звичайного розгортання.

Стабілізація умов різання сприяє також підвищенню періоду технологічної стійкості інструменту при розгортанні з ВПД в

порівнянні з обробкою розвертками стандартної конструкції до 1,2 – 1,4 рази. Можливе збільшення продуктивності обробки, так як метод дозволяє виробляти чистове розгортання з підвищеними припусками на обробку безпосередньо після свердління, виключаючи тим самим необхідність застосування в окремих випадках операції зенкерування та попереднього розгортання.

4.3. Підвищення стійкості різального інструмента МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЇ

Розрив замкнутого електричного кола «верстат – інструмент – виріб – верстат» дозволяє підвищити стійкість різального інструмента в 1,15 ... 7,0 разів залежно від умов обробки.

При свердлінні інструмент встановлюють в шпинделі свердильного верстата, в який встановлена перехідна втулка, виготовлена з титанового сплаву. На поверхні перехідної втулки шляхом термічного оксидування створена оксидна плівка, завдяки чому досягається електрична ізоляція свердла. Стійкість свердел за даними промислових випробувань зростала в 1,25 ... 2,15 рази.

4.4. Знос осьового інструменту та шляхи його зниження

Основними причинами виходу свердел зі сталі Р6М5 з ладу є: поломка – 10 – 12 %; знос в нормальних умовах роботи – 40 – 44 %; знос в екстремальних умовах роботи – 27 – 29 %; наріст – 11 – 14 %.

У поверхневих шарах інструменту після зазвичай застосовуваної заточки без охолодження на глибині 0,01 – 0,1 мм характерна наявність аустенитно-мартенситної зони і зони відпущеного мартенситу (зона вторинного гарту та вторинного відпуску). Зона гарту має більш високу твердість, крихкість і схильність до утворення мікротріщин, а ті, в свою чергу, сприяють при циклічному навантаженні усталостному викрошіванню і виходу свердла з ладу.

Зона відпуску розташована нижче першої зони, зазвичай твердість цього шару знижена (HRC до 55), тому в процесі експлуатації свердла інтенсивно затупляються.

Лімітуючим у втраті працездатності свердел є знос стрічок. Для підвищення напрацювання до функціональної відмови свердел

необхідно підвищити зносостійкість стрічок, наприклад, нанесенням зносостійких покриттів.

Для швидкорізальних спіральних свердел при обробці вуглецевих конструкційних сталей використовують критерій функціональної відмови у вигляді критичної величини зносу куточків залежно від діаметра свердла ймовірністю їх безвідмовної роботи, що дорівнює $\gamma = 0,95$ у вигляді $\Delta d_{0,95} = 0,0062d$, мм. Величина зносу куточків може бути виміряна без зняття свердла з верстата.

Свердління з ультразвуковими коливаннями свердла в площині головних різальних крайок перпендикулярно осі збільшує стійкість інструменту від 1,8 до 2,4 разів.

Для спірального свердла характерна різка зміна навантаження уздовж різальної кромки (РК) з причини зміни швидкості різання та товщини зрізаного шару, що призводить до нерівномірного розподілу стійкості точок РК. Тому стійкість свердла визначається ділянкою РК, що має мінімальну стійкість, що знижує стійкість всього інструменту. Перспективним є виконання криволінійної РК свердла, що володіє більш рівномірним порівняно зі стандартним свердлом розподілом стійкості точок РК.

Відношення максимальної стійкості T_{max} в центрі свердла до мінімальної стійкості T_{min} на периферії при зміні тільки швидкості різання V становить: $T_{max}/T_{min} \approx 0,9 \cdot 10^5$. Таким чином, вирівнювання стійкості точок різальної кромки свердла можливо за рахунок зміни геометрії різальної кромки. Проекція різальної кромки на площину, перпендикулярну осі свердла при цьому не прямолінійна, як у стандартного свердла, а криволінійна і може бути як увігнутою, так і опуклою.

Знос зенкерів. Зенкери мають коротку різальну частину та несприятливі умови різання: високу температуру в зоні різання; підвищений знос; порівняно низьку стійкість. Робота різання зосереджена на порівняно короткій різальній частини. Несприятливі умови різання викликають підвищення механічного навантаження на ділянці леза, на якому відбувається відділення стружки від основного шару матеріалу і його деформації, що супроводжується значним виділенням тепла. Механічні та термічні напруги призводять до порівняно низької стійкості різальних інструментів.

Зенкер зношується по задній і передній поверхнях, а також по стрічкам. Знос задньої поверхні наростає поступово. Знос передньої поверхні призводить до утворення на ній широкої лунки невеликої

глибини (20 – 30 мкм). Особливо сильно стійкість інструменту знижує знос стрічок, що має вигляд поперечних проточин. При обробці чавуну зенкерами зі швидкорізальної сталі вирішальне значення має знос куточків.

Розвертки зношуються по задній поверхні, тому що їх зуби зрізають дуже тонку стружку. Величина зносу для швидкорізальних розверток $\delta = 0,6 - 0,8$ мм.

4.5. Модифікування поверхонь різальної частини осьового інструменту

Термообробка свердел. Свердла в основному виготовляють складовими: робочу частину з швидкорізальної сталі, а хвостову – з конструкційної. Безпосередньо після зварювання цих частин заготовку свердла піддають відпалу, а після обробки різанням – загартуванню та відпуску. Нагрівання робочої частини зварних свердел з швидкорізальної сталі проводять в соляних ваннах або в печах.

Стійкість інструменту зі сталі Р6М5 після аеротермоакустичної обробки (АТАО) підвищується в 1,5 – 3 рази, що аналогічно в ряді випадків стійкості порошкових швидкорізальних сталей.

Працездатність твердосплавних різальних інструментів, в т.ч. спіральних свердел, збільшується після криогенної обробки. Криогенна обробка є екологічно чистим методом і підвищує стійкість різальних інструментів до 2-х разів і знижує висоту мікронерівностей оброблених поверхонь до 15 %.

Низькотемпературна нітроцементация свердел з швидкорізальної сталі Р6М5 позитивно позначається на параметрах процесу різання – величині крутильного моменту та осьової складової сили різання під час свердління зменшуються відповідно в 1,4 і 1,5 рази, що дозволяє значно знизити енергетичні витрати на процес свердління, зменшити ефективну потужність електродвигуна верстата. Експлуатаційна стійкість нітроцементованого інструменту в порівнянні зі стандартним незміцненим інструментом підвищується в 1,7 ... 1,9 рази.

Термообробка зенкерів. Зенкери зі швидкорізальної сталі піддають термічній обробці для отримання твердості поверхні $HRC : 62-64$ робочої частини; до 30-45 хвостовій частині.

Стійкість хвостових зенкерів, оснащених твердосплавними пластинами на основі карбиду титану, оброблених азотірованієм

нітрідом алюмінію, в середньому в 2,1 ... 2,4 рази вище, ніж у зенкерів, оброблених в дисоційованому аміаку.

ХТО розверток. Застосовують спосіб рідинного низькотемпературного ціанування розверток зі сталі марки Р18 розмірами 4,38 – 0,01 мм, 5,91 – 0,01 мм, 5,01 – 0,01 мм, 6,31 – 0,01 мм, 7,04 – 0,01 мм. Розвертки оброблялися в ванні, початковий склад якої складався з 80 % жовтої кров'яної солі з додаванням 20 % їдкого натру, при температурі 560 °С протягом різного часу (15; 30; 40 та 60 хв.). Загальна глибина ціанованого шару складає в залежності від тривалості процесу 0,025 – 0,040 мм. Максимальна мікротвердість шару при обробці протягом 15; 30; 40 та 60 хвилин дорівнює, відповідно, 1829, 2200, 2200, 2300 (до ціанування мікротвердість дорівнює 1025 – 1144). Незважаючи на загальне збільшення глибини ціанованого шару зі збільшенням часу витримки, стійкість планованих розверток досягає максимуму при 30 хвилинній обробці, після чого падає. Це пов'язано з потовщенням карбонітридної зони, яка володіє підвищеною крихкістю. В експлуатації світлий шар швидко зношується. Його товщина не повинна тому перевищувати 2 – 3 мікрон.

Ціанування розверток менших розмірів (4,38 та 5,01 мм) дало дещо гірші результати внаслідок більшої схильності до поломки і викришування. Зменшення часу ціанування до 15 хвилин дає цілком задовільні результати (стійкість розверток збільшується в середньому в 1,5 рази в порівнянні з неціанованими деталями).

Модифікування інструменту дією низькотемпературної плазми комбінованого розряду підвищує зносостійкість і характеризується:

- поліпшенням показників шорсткості за рахунок вигорання та оплавлення задирок і нерівностей, утворених в процесі виготовлення, формування щільноупакованої вуглець-азотовмісної плівки, що заповнює нерівності, підвищення омичного опору поверхні;

- підвищенням мікротвердості з 20 до 60 ГПа у твердого сплаву і з 6 – 7 до 14 – 18 ГПа у сталі Р6М5;

- подрібненням структури інструментального матеріалу з утворенням дрібнодисперсної фази в поверхневому шарі товщиною до 20 мкм. Загальна глибина модифікованого шару становить 300 мкм.

Зміцнення малорозмірних різальних інструментів в низькотемпературній плазмі комбінованого розряду забезпечує значне підвищення його зносостійкості твердосплавних пластин зі сплаву Т15К6 – в 3,8 – 4,4 рази; свердел і мітчиків зі сталі Р6М5 – в 3 – 5 і 3,6 – 4 рази, відповідно.

Підвищення ефективності модифікації і подальшого використання свердел можливо при виконанні наступних рекомендацій:

- забезпечення геометричних параметрів різальної частини з урахуванням виду оброблюваного матеріалу;
- витримування геометрії різальної частини за результатами переточки (особливо положення поперечного леза) і збереження модифікованого шару;
- збільшення в 1,5 рази нормального навантаження на поверхню різальних крайок за рахунок підвищення значень робочих подач, особливо для свердел, що мають покриття.

Динамічне мікролегування. Обробка за рахунок проникнення мікрочастинок розміром $10 \dots 102 \text{ мкм}$ на глибину близько $0 < H/R < 2 \cdot 10^3$ дозволяє впливати на фізико-механічні властивості матеріалу різальної частини інструменту і тим самим на його зносостійкість. Тут H – глибина проникнення, R – радіус мікрочастинки. В процесі ДМ утворюється мережа мікроканалів з щільністю $(6 \dots 7) \cdot 10^2 \text{ мм}^2$, яка за рахунок мікропластичної деформації вносить мікро-спотворення в структуру матеріалу, що після виконання термообробки призводить до утворення мікрообластей з підвищеною щільністю внутрішньої енергії.

Свердла з сталей Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8 діаметром 4,15 і 4,05 мм, піддані ДМ порошковим складом на основі карбонітрида титану з нікелем, під час свердління отворів в деталях зі сталі Х18Н10Т без охолодження на вертикально-свердильному верстаті показали в 1,5 рази більш високу зносостійкість в порівнянні з контрольними, виготовленими за серійною технологією.

Струменево-абразивна обробка (САО) осьового лезвийного інструменту забезпечує вирішення двох завдань:

1. Поверхнево-пластична деформація різальних кромek (основних, допоміжних і поперечної кромки), передніх і задніх поверхонь інструменту та їх зміцнення. Виконується також тренування різальних кромek до подальшої роботи інструменту.
2. Скруглення різальних кромek інструменту (для швидкорізальної сталі до величини – $r = 10 \dots 15 \text{ мкм}$, для твердого сплаву до величини $r = 15 \dots 30 \text{ мкм}$). Скруглення різальних кромek –

це необхідна операція для подальшого виключення процесів мікрОВикришування різального клина і утворення мікроконцентраторів напружень, а також призначена в ряді випадків для видалення задирок, що утворюються в процесі затилОВкі задньої поверхні інструмента.

Після CAO осьового лезвийного інструменту необхідно відновити і поліпшити параметри шорсткості поверхні осьового лезвийного інструменту поліруванням до $R_a = 0,08 \dots 0,06$ мкм.

4.6. Зміцнення осьового інструменту імпульсною магнітною обробкою

Застосування методу МІО виправдано тільки для швидкорізальних сталей. Це обумовлено наявністю феромагнітного компонента та технологією виготовлення свердел з швидкорізальної сталі, що включає пластичну деформацію, а саме накатку канавок і скручування.

Оптимальними режимами МІО із застосуванням комбінації вібрації та феромагнітного порошку для свердел діаметром 6 мм з марки сталі Р6М5 при свердління отворів в зразках зі сталі 30 є: напруженість магнітного поля $H = 415$ кА/м; кількість магнітних імпульсів $t = 4$; тривалість імпульсу – 0,1 с; проміжок часу між імпульсами – 1 с.

При свердлінні сталі 20 сумарна глибина свердління без зміцнення МІО становить 800 мм, сталі 40Х – 600 мм, сталі 12Х18Н10Т – 550 мм. Після зміцнення МІО без використання феромагнітного порошку сумарна глибина свердління становить, відповідно, 1150; 900 та 750 мм. Використання феромагнітного порошку збільшує сумарну глибину свердління до 1250; 950 та 800 мм, відповідно. При свердлінні сталі 20 величина зносу задньої поверхні кромки без зміцнення МІО становить 0,35 мм, сталі 40Х – 0,4 мм, сталі 12Х18Н10Т – 0,48 мм. Після зміцнення МІО без використання феромагнітного порошку величина зносу складає, відповідно, 0,3; 0,35 та 0,42 мм. Використання феромагнітного порошку при зміцненні свердел призводить до зменшення зносу фасок задньої поверхні кромки свердла до 0,27; 0,32 та 0,36 мм.

При свердлінні сталі 30 сумарна глибина свердління без зміцнення МІО становить 1000 мм. Після обробки МІО без вібрації і з вібрацією сумарна глибина свердління становить, відповідно, 1300 та

1500 мм, а після зміцнення МІО із застосуванням комбінації вібрації і феромагнітного порошку – 1600 мм.

При свердлінні стали 30 величина зносу задньої поверхні кромки без зміцнення МІО становить 0,6 мм, після зміцнення МІО без вібрації і вібрацією величина зносу складає, відповідно, 0,5 та 0,48 мм, а після зміцнення МІО із застосуванням комбінації вібрації і феромагнітного порошку величина зносу задньої поверхні кромки – 0,46 мм.

МІО збільшує стійкість свердел в 1,6 рази.

4.7. НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ОСЬОВИЙ РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Для підвищення ефективності роботи осьових лезових інструментів і збільшення їх стійкості широко використовують вакуумні іонно-плазмові покриття, що наносяться методом конденсації та іонного бомбардування (КІБ). Ці покриття забезпечують істотне підвищення стійкості осьових лезових інструментів при виконанні високонавантажених операцій технологічного процесу.

При підготовці інструменту до нанесення покриття реалізуються такі операції: знежирення інструменту із застосуванням ультразвуку, промивка інструменту, сушка інструменту. Додатково можуть виконуватися операції хімічної очистки та гідроабразивного очищення.

При нанесенні вакуумного іонно-плазмового покриття виконують такі операції:

- азотування інструменту в тліючому розряді (витримка – 30 хв, атмосфера – азотіруюча розряджена до 135 ... 665 Па, робоча напруга – 350 ... 550 В);
- іонне бомбардування та прогрів інструменту 5 ... 10 хв;
- металізація функціональних елементів інструменту 3 ... 5 хв;
- нанесення багат шарового композиційного нітрид-титанового покриття (15-20 шарів);
- охолодження інструменту.

Для додаткової оздоблювальної обробки осьових лезових інструментів можуть виконуватися наступні операції:

- доведення передньої поверхні інструменту для забезпечення гостроти кромки,
- глясування функціональних елементів інструменту (передня та задня поверхня інструменту),
- магнітноімпульсної обробки осьового лезвийного інструменту.

МІО забезпечує зниження впливу виникаючих внутрішніх концентраторів напруги через особливості термічних впливів на інструмент.

Застосовують також порошкові швидкорізальні сталі (ПШС) з міцністю 5500 – 6500 МПа і ударною в'язкістю 500 – 700 кДж/м² при твердості 64 – 66 HRC . Ці характеристики міцності та в'язкості в 2 – 3 рази перевищують аналогічні властивості стандартної сталі Р6М5. Спостерігається і деяке підвищення теплостійкості порошкової стали. Так, звичайна сталь Р6М5 після відпуску при 620 °С протягом 4 годин зберігає твердість на рівні 58 HRC , тоді як сталь 10Р6М5-МП – на рівні 60 HRC . Тому з ПШС доцільно виробляти перш за все невеликий інструмент, для якого міцність матеріалу особливо важлива. Найбільш значне підвищення стійкості порошкового інструменту досягнуто на свердлах $K = 2,0 \dots 9,6$.

Як заключну фінішну операцію можна використовувати фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ). Покриття, яке наносять на основі карбіду, нітриду та оксиду кремнію має низку унікальних властивостей: мікротвердість близько 52 ГПа; здатність без окислення витримувати температури до 1100 °С ; низький коефіцієнт тертя, наприклад, рівний 0,07 по сталі ШХ15. Умови формування покриття при ФПЗ характеризуються також підвищеною адгезією покриття до основи за рахунок активних хемосорбційних процесів.

Ефективність застосування епіламірування досягається за рахунок утримання молекулярним покриттям ФТОР – ПАР масляних МОТС в зоні різання. При роботі з раціональними технологічними режимами період стійкості свердел підвищується 1,5 – 2,5 рази в порівнянні з неепіламірованим інструментом, що працює в аналогічних умовах. При роботі без МОТС період стійкості епіламірованих свердел вище стійкості свердел без покриття і відповідає періоду стійкості інструменту, що працює в присутності масляних МОТС (плівка епілама виконує функції граничного змащення).

4.8. ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Комплексне модифікування поверхні цільних твердосплавних свердел з ВК8 електронно-променевим легуванням сплавом NbHfTi і нанесенням зносостійкого покриття (TiAl)N. При свердлінні полімерного бетону без використання МОР свердла з покриттям зношуються швидше, ніж свердла з покриттям (TiAl)N, в 1,5 – 2 рази. Комплексна обробка дозволяє ефективно використовувати поєднання твердості та в'язкості основи інструментального матеріалу, мікротвердості та теплостійкості модифікованого шару, зносостійкості, хімічної та дифузійної пасивності тугоплавкої сполуки (TiAl)N, використовуваної в якості покриття.

Імпульсна лазерно-магнітна обробка поверхні. При високошвидкісному нагріванні поверхні стали лазерним випромінюванням в присутності магнітного поля відбуваються глибокі структурні зміни в матеріалах, що обумовлюються їх магнітними властивостями, інтенсивністю лазерного випромінювання та магнітного поля. При лазерно-магнітному зміцненні, в порівнянні з лазерним зміцненням (в залежності від сорту сталі), спостерігається: збільшення протяжності зони термічного впливу на 20 – 30 %; зростання мікротвердості на 10 – 20 %; зносостійкості в 1,5 – 3 рази; підвищення опору руйнування в 1,5 – 2 рази; зміна характеру зламу з переходом від крихкого до крихко-в'язкого.

Комбінована вакуумно-плазмова поверхнева обробка. При виготовленні свердел малого діаметра з широко застосовуваної сталі Р6М5 їх твердість і теплостійкість виявляються зниженими в порівнянні зі свердлами діаметром понад 3 мм. Це пов'язано з багаторазовими операціями холодної пластичної деформації та проміжними відпалами, яким піддається інструмент в процесі виготовлення. Саме тому свердла малого діаметра часто показують знижену стійкість. Найбільш перспективним і сучасним способом підвищення стійкості інструменту такого типу є іонно-плазмова обробка, що включає азотування та нанесення покриттів. Застосування іонного азотування дозволяє знизити величину зносу свердла по кутку в середньому в 1,7 рази в порівнянні з незміцненим. Разом з тим в 1,1 – 1,2 рази знижується величина зносу свердла по поперечній різальній кромці. Нанесення зносостійкого покриття знижує величину зносу по кутку в 2,2 рази, при цьому спостерігається зниження величини зносу і по поперечній різальній кромці в 1,4 рази в порівнянні з незміцненим свердлом.

4.9. Мінімізація поломок осьового різального інструменту

В процесі експлуатації інструмент відчуває поздовжні та поперечні деформації, що впливають на його працездатність. Так, під час свердління отвору в суцільному матеріалі спостерігається зростання крутного моменту в міру збільшення глибини отвору та при досягненні межі $L/d_0 = (3 \dots 5)$ збільшується ризик руйнування свердла. Вплив осьової сили в значній мірі проявляється при формоутворенні наскрізних отворів в той момент, коли поперечна різальна кромка вийшла з матеріалу. У цей момент відбувається різка подача заготовки на інструмент, в результаті чого відбувається руйнування. Вплив осьової сили спостерігається також на початку процесу свердління, коли в контакт із заготовкою вступає перемичка спірального свердла. Основні причини руйнування спіральних свердел відображені в табл. 4.1.

Спіральне свердло, показане на рис. 4.14, містить хвостовик і робочу частину з двома спіральними стружковідвідними канавками і серцевиною, що має плавне потовщення у напрямку до хвостовика. На робочій частині свердла серцевина виконана постійної товщини, а далі з потовщенням 25 – 35 % на кожні 100 мм довжини. Поперечний переріз свердла має підвищені геометричні характеристики (W_p, J_p) , проте сильно утруднений вихід стружки за рахунок зменшення площі стружкових канавок.

Використання стружкової канавки, яка є прямою щодо центральної поздовжньої осі свердла, підвищує жорсткість свердла та міцність на вигин. Збільшення кута нахилу гвинтової стружкової канавки ω призводить до зниження жорсткості інструмента. Тому для підвищення жорсткості інструмента слід зменшити кут нахилу ω .

Довгі свердла (в т.ч. для глибокого свердління) виходять з ладу не в результаті зносу, а в зв'язку з полошкою на відстані $2/3$ довжини від вершини свердла. Радіальна жорсткість свердел в значній мірі залежить від діаметра його серцевини, збільшення якої від 0,1 до $0,3D$ впливає на зміну жорсткості найбільш різко. Зі збільшенням кута нахилу стружкових канавок ω жорсткість помітно зменшується. Для підвищення динамічної стійкості свердел необхідно збільшувати момент інерції перерізу шляхом збільшення серцевини свердла.

Таблиця 4.1

Основні причини руйнування спіральних свердел

Причини руйнування спіральних свердел	
<i>Механічні</i>	<i>Технологічні</i>
Руйнування зв'язані зі збільшенням крутного моменту: – значні припуски на обробку; – відведення осі свердла; – некоректний вибір геометрії різальної частини спірального свердла; – брикетування стружки в стружкових канавках.	– Відхилення від заданих параметрів точності оброблюваної поверхні деталі. – Некоректно розраховані або обрані режими різання. – Незадовільний стан технологічного оснащення та обладнання. – Низька точність налагодження технологічної системи. – Наявність МОР і її властивості.
Викришування різальних кромок спірального свердла: – Поверхневі деформації; – низька якість інструментального матеріалу; – термічні напруги.	
Руйнування спіральних свердел при недостатній міцності: – дефекти термообробки; – низька якість інструментального матеріалу; – некоректна конструкція різального інструменту.	

Фірмою KENNAMETAL (USA) розроблено спіральне свердло (рис. 4.15), яке має канавки, що містять перший, другий і третій спіральні ділянки. Перша спіральна ділянка (AB) виконана як у свердел стандартної конструкції, при цьому вона плавно переходить в другу спіральну ділянку (BC), яка закручена в напрямку, протилежному напрямку закрутки першої спіральної ділянки. Зроблено це для того щоб збільшити площу поперечного перерізу, тим самим підвищити жорсткість інструменту. Третя спіральна ділянка (CD) закручена в напрямку першої спіральної ділянки.

Порівняльна стійкість спіральних свердел зі змінним кутом нахилу стружкових канавок підвищується в 2 рази.

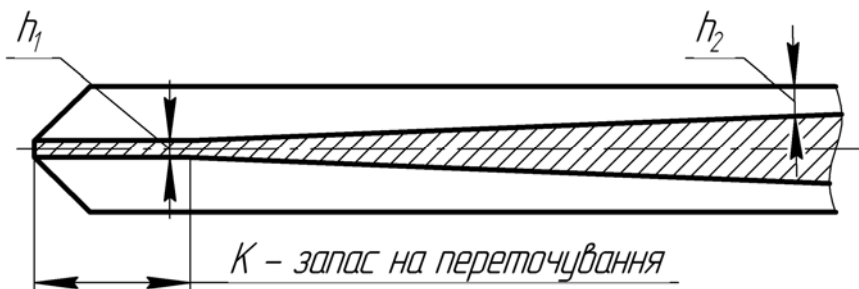


Рис. 4.14. Спиральное сверло с утолщенной сердцевиной

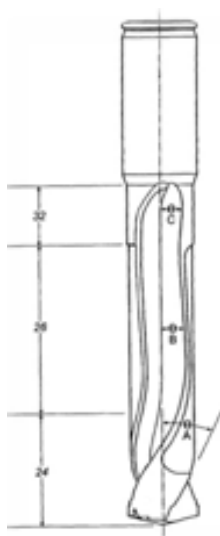


Рис. 4.15. Разработка фирмы KENNAMETAL (USA)

Дрібнорозмірні інструмент діаметрами 2 – 6 мм виготовляють також з біметалічного матеріалу P6M7Ф6K10-МП з рівномірною карбідної фазою, який по ряду показників міцності перевершує стандартну швидкорізальну сталь P6M5. Перспективним способом для виробництва МРІ є процес високотемпературної газової екструзії (ВТГЕ).

Правильний вибір конструкції та геометрії дозволяє в кілька разів підвищити стійкість інструменту. Вимірювання величини крутного моменту в процесі механічної обробки різанням отворів

малого діаметра показало, що є пряма залежність між ним і стійкістю МРІ. Однак, на стійкість інструменту впливає і міцність швидкорізальної сталі, яка в значній мірі залежить від наявності карбідних включень. ВТГЕ є одним з найбільш перспективних процесів, що дозволяють знизити вплив карбідної неоднорідності на властивості сталі. Стійкісні випробування мітчиків і свердел показали високу ефективність застосування даного процесу при виробництві осьового різального інструменту, призначеного для обробки отворів малого діаметра (стійкість збільшилася приблизно в 5,5 і 1,9 рази, відповідно).

Для усунення шкідливих впливів фізичних явищ, недосконалості конструкції свердел і способу подачі МОТС при глибокому безвивідному свердлінні отворів необхідно:

1. Знизити шкідливий вплив адгезійної взаємодії за рахунок застосування тонких зносостійких твердих покриттів з нітриду та карбіду титану, що наносяться на різальну частину спірального свердла, так як зносостійкі покриття знижують вплив сил адгезії в 1,5 рази.

2. Знизити шкідливий вплив механічної взаємодії на контактних поверхнях різального інструменту можливо тільки за рахунок застосування полірування утворюючої поверхні стружкових канавок інструмента.

3. Для зниження процесу наростоутворення та зменшення фрагментів стружки, а також для усунення процесу утворення пакетів в стружкових каналах необхідно на різальній частині інструменту по передній і задній поверхні вводити елементи для подріблення стружки, які дозволяють підвищити глибину обробки отворів до 10 ...15*d* і стійкість різального інструменту на 30 %.

4.10. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРИ ОБРОБЦІ ОТВОРІВ

Зміцнення різанням в середовищі рапсової олії методом попереднього припрацювання виявило ефект підвищення стійкості і за кількістю оброблених отворів незначно поступається свердлам зі зносостійкими покриттями.

Композиційні МОТС на основі рослинних олій і кристалогідратів істотно підвищують відведення тепла від леза різального інструменту та покращують екологічні показники процесу різання. Однак важко

подавати їх в зону різання через складність забезпечення їх тривалої стійкості, пов'язаної з швидким випадінням в осад твердої компоненти, тобто розшаруванням композиції.

Відносно висока вартість екологічно нешкідливих складів МОТС на основі рослинних олій може бути компенсована вдосконаленням різних технологій їх мінімізованої витрати. Так, при використанні мікродоз МОТС у вигляді магнітних мікрокапсул і при зменшенні більш ніж в 10000 разів кількості що подається в контактну зону МОТС стійкість свердел зі сталі Р6М5 збільшується в 1,5 ... 2,0 рази.

З відомих способів подачі МОТС в зону обробки заготовок лезовим інструментом, при виконанні свердильних операцій, «кращим» вважають подачу її під тиском через канали, виконані в інструменті з виходом в зону різання. До «застосовуваних» відносять подачу МОТС на свердло поливом (під тиском 0,02 – 0,03 МПа), або розпиленням у вигляді струменя повітряно-рідинної суміші. До «рідко вживаних» відносять подачу напірним струменем під тиском (від 0,1 до 2,0 МПа), через соплові насадки. В основному цей спосіб застосовується для вимивання із зони різання стружки.

Широко відомі свердла, що містять внутрішні канали для підведення МОТС в зону свердління, вихідні отвори яких розташовані на задній поверхні зубів. На рис. 4.16 показано асиметричне розташування вихідних отворів каналів, з'єднаних з канавками для підведення МОТС. Свердло 1 містить спіральні канали 2, для підводу МОТС. Вихідні отвори 3 каналів 2 розташовані асиметрично щодо поздовжньої осі свердла 1 на задніх поверхнях 4 у різальних крайок 5 зуба 6. Кожний вихідний отвір 3 пов'язан з напівкруглою канавкою 7, розташованою уздовж різальної кромки 5.

В процесі свердління отвору 8 в деталі 9 МОТС від джерела подачі (не показано) надходить по його каналах 2, а через вихідні отвори 3 в канавці 7 на задніх поверхнях 4 кожного зуба 6. МОТС залишає концентрично розташовані сліди охолоджуючої рідини на поверхні 10 свердління деталі 9 і підходить по всій довжині різальних кромки 5 кожного зуба 6. При цьому сліди витічні з канавок 7 МОТС перекривають один одного, утворюючи здвоєні потоки холодної рідини, які охолоджують робочу ділянку свердла 1. Напівкругла поверхня канавки 7 збільшує площу контакту холодної рідини із задньою поверхнею 4 кожного зуба 6 і поверхнею 10 свердління, захоплює і потоком транспортує стружку по гвинтовим канавкам свердла 1. Застосування цієї конструкції дозволяє збільшити довговічність свердла і поліпшити якість свердління отворів.

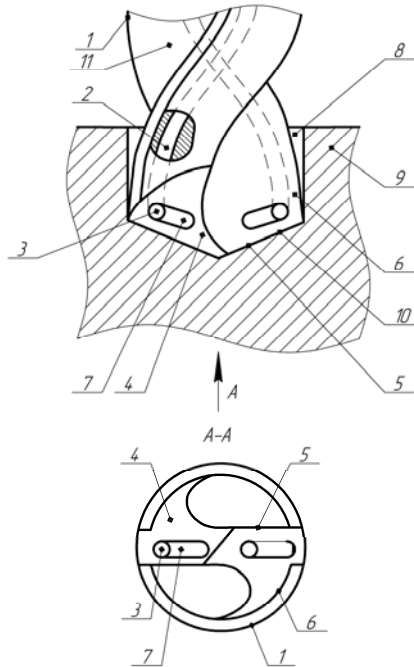


Рис. 4.16. Свердло з каналами для підведення МОТС

Ефективність застосування епіамірованих свердел визначається технологічними умовами обробки – режимами різання, наявністю і видом МОТС:

- при роботі без МОТС період стійкості епіамірованих свердел вище стійкості свердел без покриття і відповідає періоду стійкості інструменту, що працює в присутності масляних МОТС;

- найбільший ефект досягається при свердлінні епіамірованим інструментом із застосуванням масляних МОТС, при цьому при роботі з раціональними технологічними режимами період стійкості свердел підвищується в 1,5 – 2,5 рази в порівнянні з неепіамірованим інструментом, що працює в аналогічних умовах;

- найбільш значущим технологічним фактором, що визначає ефективність експлуатації епіамірованого інструменту, є швидкість різання, яка повинна визначатися за умови температури теплової деградації покриття епілама.

Епілами представляють собою багатокомпонентні системи, що включають фторовмісні поверхнево-активні речовини і регулюють

добавки в різних розчинниках. Сформований в процесі епіламірування на твердій поверхні тонкий шар ($40 - 80 \text{ \AA}$) орієнтованих молекул ФТОР-ПАР знижуючи її поверхневу енергію, дозволяє регулювати прилипання, змочування.

Поверхні з захисною молекулярної плівкою перешкоджають розтіканню масла із зони тертя за рахунок стирання покриття або штучного створення ділянок з різною поверхневою енергією.

При нанесенні молекули ПАР заповнюють мікровпадіння і мікронерівності (шорсткість поверхні знижується в 2 – 2,5 рази), утворюють структури Ленгмюра у вигляді спіралей з нормально спрямованими до поверхні матеріалу осями, що дозволяє надійно утримувати мастильні середовища, забезпечує їх нерозтікаємість.

Застосовують мастильні композиції, в яких в якості антифрикційних добавок використовують тверді матеріали, зокрема, порошки металів, графіту, класичних алмазів, з'єднання молібдену. З металів широко застосовують порошки міді, олова, свинцю, срібла та бронзи. Дуже часто використовують в якості присадок порошки графіту, дисульфідів молібдену та вольфраму. Найкращими антифрикційними властивостями володіють порошки міді, срібла та дисульфиду молібдену; максимальна концентрація порошків в маслі – не більше 5 % ; оптимальні розміри порошків – не менше 1 мкм. Використання цих добавок дозволяє реалізувати полігранічний режим тертя, що забезпечує зниження коефіцієнта тертя та зниження зносу.

Детонаційні наноалмази і алмазовмісна шихта є ефективними модифікаторами тертя в масляних композиціях і сумісні з мінеральними, синтетичними і рослинними оліями. Добавки АШ або ДНА дозволяють досягти наступних ефектів:

- зменшують граничне тертя і знос;
- на поверхнях тертя утворюють захисний шар з наноалмазов, що перешкоджає адгезійною схоплюванню та утворенню задирів;
- знижують коефіцієнт тертя на 20 – 30 %;
- підвищують ресурс інструментів в 1,5 – 4,0 рази, а знос пари тертя зменшують в 1,3 – 3,0 рази;
- забезпечують зростання граничних навантажень на пару тертя в 4 рази.

Обробка глибоких отворів. Стійкість свердел для глибокого свердління з внутрішнім підведенням МОТС визначається часом утворення фаски зносу по задній поверхні. Підвищення тиску МОТС в порожнині «задні поверхні свердла – поверхня різання» сприяє підвищенню стійкості свердел за рахунок кращого проникнення МОТС

під задні поверхні різальних лез, тобто в вузькі зазори між задніми поверхнями свердла і поверхнею різання.

Навіть невелике підвищення тиску в порожнині «задні поверхні свердла – поверхня різання» збільшує стійкість свердел в 3 – 5 разів. Крім того, високі швидкості потоку МОТС сприяють кращим умовам відведення стружки.

Застосування пластичних МОТС. При розробці нових МОТС спостерігається тенденція відмови від хімічно-активних присадок і заміни їх присадками «структурної дії», робота яких пов'язана з ефектом поверхневої надмолекулярної самоорганізації. Друга тенденція – обмежена подача МОТС.

Підвищення стійкості свердел при обробці отворів малих діаметрів є важливою техніко-економічною проблемою. До повного затуплення довжина обробки отворів свердлами малого діаметру становить в залежності від марки матеріалу всього лише 10 – 15 мм. У малі отвори МОР проникає погано, тому часто використовується розчин олеїнової кислоти. Застосування розчину олеїнової кислоти дозволяє збільшувати стійкість свердел між переточуваннями, але шкідливо впливає на здоров'я людей. Можна використовувати олівці твердого змащення (ОТС) різних складів:

- хімічно активні або корозійно-активні, що володіють комплексом різних властивостей і утворюють нові сполуки (сірка, хлор, фосфор, телур та ін.);
- поверхнево-активні, що володіють як мастильним дією, так і адсорбуючим ефектом (що містять карбонові кислоти, наприклад, стеаринову, жири, воски, мила та ін.).

Олівець твердого змащення має форму циліндру діаметром 16 мм і довжиною 50 мм. Олівець є твердим розчином складаючих компонентів на основі стеарину. Стеарин грає позитивну роль як мастильної, так і охолоджуючої речовини. При вмісті стеарину більше 80 % ефективність позитивного впливу твердого змащення зменшується. Стеарин поряд з гарними змащувальні властивостями, має низьку адгезійну здатність, тому ефективність впливу стеарину як твердого змащення зменшується при форсуванні режимів різання. Зменшення кількості стеарину до 75 % і нижче змінює консистенцію складу, погіршує затвердіння розплаву олівців твердого змащення.

Олеїнова кислота має мастильну та охолоджуючу дію. У пропонованих складах кількість олеїнової кислоти більше 18 % небажана, оскільки призводить до зміни сумішей складів, гіршого затвердіння при литві в форми, зменшення її процентного вмісту до

12 % і нижче погіршує ефективність дії мастила при свердлінні. Олеїнова кислота, що знаходиться у зв'язаному стані, не має шкідливого впливу на організм людини.

Солярове масло та солідол підвищують змочуваність, адгезійну здатність і мають антикорозійні властивості.

Олівці твердого змащення також включають в себе різні добавки, які зменшують коефіцієнт тертя під час обробки і надають поліруючу дію.

Застосування наноматеріалів в МОТС. Наночастки в МОТС забезпечують підвищення теплопровідності середовища та його здатності знижувати температуру в зоні обробки, температуру інструменту та обробленого виробу. У МОТС можуть використовуватися як металеві, так і неметалеві наночастинки. Основою наноструктурованих МОТС є вода, масло та інші рідини.

Високу ефективність мають МОТС з вуглецевими наночастинками – фулероїдами (фулерен C-60, фулерен C-70, одно- та багатостінна нанотрубка, багат шарова поліедральна наночастиця – астрален), фулеритом (молекулярними кристалами).

Наявність в МОТС поверхнево-активних речовин (ПАР) підвищує ефективність за рахунок реалізації ефекту Ребіндера. Однак при зростанні навантаження в контактні властивості ПАР знижуються в результаті його десорбції з поверхнями, що труться і можливої деструкції. Підвищити ефективність застосування ПАР можливо за рахунок введення в МОТС наночастинок – наночастинки на стадії диспергування в базовій МОТС формують з його молекул сольватну оболонку, завдяки сорбції на наночастинках молекули ПАР набувають найбільш сприятливу орієнтацію для подальшої їх взаємодії в зоні контакту з поверхнями, що труться, а наявність сольватної оболонки у наночастинок надає їм седиментаційно-агрегативну стійкість, що необхідно для формування об'ємної сітки в рідкому середовищі МОТС.

4.11. ПІВЩЕННЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ОТВОРІВ ВІБРАЦІЙНИМ РІЗАННЯМ

Використання методу вібраційного свердління отворів стосовно малого діаметру дозволяє отримати дрібнодроблену за формою, зручну для видалення із зони обробки стружку і зменшити коефіцієнт тертя стружки об канавки. Так, використання спеціального верстата для вібраційного свердління отворів в гайках зі сталі 1Х18Н9Т

дозволило збільшити продуктивність праці в 2,5 рази і підвищити стійкість інструменту в 3 рази.

Для вібраційної обробки отворів застосовуються різні конструкції інструментів (з внутрішнім, зовнішнім і ежекторним підведенням МОР). Однак для підвищення ефективності обробки доцільно використовувати спеціальні конструкції інструментів (віброствердла, віброзенкери і віборозвертки), геометрія яких адаптована до умов вібраційного різання. Ці інструменти виконуються з внутрішнім підведенням МОР і відрізняються підвищеною жорсткістю завдяки зменшенню перерізу стружковідвідних канавок.

Як інструментальний матеріал для віброствердління широко використовуються тверді сплави, зокрема, ВК80М, ВК100М, ВК15 і ін.

Накладення осьових вібрацій може значно підвищити продуктивність свердління, однак слід враховувати при розрахунку на міцність осьового інструменту циклічні навантаження, які суттєво впливають на стійкість інструменту.

Ультразвукові коливання істотно підвищують ефективність різання важкооброблюваних матеріалів, наприклад, титанових сплавів. Для ультразвукового свердління отворів в важкооброблюваних матеріалах спіральними свердлами слід визнати найбільш доцільною схему обробки з наданням свердлу УЗ коливань, спрямованих уздовж різальних кромок.

Приклад 1. Свердлу надавали поздовжні коливання (уздовж осі) і коливання, спрямовані уздовж різальних кромок (свердло при цьому орієнтували, виставляючи різальні кромки свердла в площині вирізу в концентраторі, що забезпечує його поздовжньо-ізгібніе коливання). Стійкість свердел оцінювали по глибині свердління отвору діаметром 5 мм в сплаві ВТ-3 за одиницю часу (30 с). При звичайному свердлінні обробка практично припиняється на 10-му отворі, тобто свердло затупилося і потребує переточування. При свердлінні з наданням свердлу поздовжніх коливань глибина свердління зростає в середньому на 40 %, а кількість отворів – майже в 2 рази. При наданні свердлу коливань уздовж різальних кромок з раціональною частотою глибина свердління зростає майже в 2 рази, а кількість отворів – в 2,2 рази.

Приклад 2. Використання енергії модульованого УЗ поля для накладення коливань ультразвукової частоти на свердло і МОР дозволяє до 1,9 разів зменшити осьову складову сили різання і до 3 разів зменшити крутний момент при глибокому свердлінні

маломірних отворів. Їх застосування при глибокому свердлінні маломірних отворів в порівнянні з традиційною технологією дозволяє:

- підвищити період стійкості різального інструменту в 1,6 – 1,8 рази;

- зменшити відведення осі свердла і розбивку отворів до 40 %;

- істотно зменшити значення осьової складової сили різання, крутного моменту і контактної температури в зоні різання.

5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФРЕЗ

5.1. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ФРЕЗ

Особливостями фрезерування є:

- змінність товщини зрізаного шару $a = f(t)$;
- переміжність холостого та робочого ходів кожного зуба фрези;
- змінність довжини контакту по стрічці зуба через наявність кута нахилу гвинтової канавки.

Чергування холостого і робочого ходів, періодичність не тільки механічного, але і теплового навантаження, а також різке його зняття (в разі зустрічного фрезерування) або виникнення (при попутній схемі) висувають цілий ряд вимог до інструментального матеріалу: витривалість, теплостійкість, оптимальне значення коефіцієнта лінійного розширення. Основною причиною виходу з ладу твердосплавного різального інструменту є його розтріскування через різкий перепад температур при зміні холостого ходу на робочий (або навпаки).

Змінність довжини контакту по стрічці зуба через наявність кута нахилу гвинтової канавки відсутня у фрез з «прямим» зубом, проте всі фрези що випускаються для виробництва мають гвинтовий нахил. Наявність гвинтового нахилу зуба фрези пом'якшує удар при врізанні, знижує силу різання, час перехідного процесу, сприяє гасінню вібрацій, знижує загальне навантаження на шпиндель при обробці декількома зубами одночасно. У сучасних фрез кожен зуб має свій кут нахилу гвинтової канавки. Такі фрези мають значно меншу ймовірність виникнення вібрації при обробці.

При торцевому фрезеруванні проявляється ефект «розвантажувального удару». Негативний вплив «розвантажувального удару» полягає в зростанні напруги плинності оброблюваного

матеріалу в 1,5 – 2 рази в зоні виходу різального зуба з заготовки в порівнянні з зоною сталого різання, збільшення навантажень, що діють на різальний клин, а також до їх перерозподілу по передній і задній поверхнях. При цьому згинальні напруги, що виникають в різальному клині, зростають в 1,5 – 2 рази і концентруються при вершині зуба, що призводить до різкого зниження його стійкості, а при певних умовах до відколів і викришування. Причиною, яка призводить до виникнення «розвантажувального удару» є різке зниження товщини шару, що зрізається (практично до нуля) в зоні виходу, що призводить до значного зростання швидкості деформації та зниження температури різання.

Забезпечити зниження напружень в крайовій зоні можна забезпечити: а) за рахунок зниження подачі на зуб (товщини зрізаного шару), б) ширини зрізаного шару, в) зміною фізико-механічних характеристик заготовки, г) накладенням на зону виходу додаткових фізичних впливів.

Для зниження негативного впливу «розвантажувального удару» і підвищення стійкості інструменту можна змінити умови виходу різального зуба з заготовки, наприклад, за рахунок зміни траєкторії врізання інструменту в зону обробки. Одним із прикладів криволінійної траєкторії, що дозволяє управляти параметрами зрізаного шару на виході різальних кромок із зони обробки, є врізання та обвід кутів по дузі кола, радіус якої дорівнює радіусу розташування різальних зубів інструменту при торцевому фрезеруванні плоскій поверхні. Зміною умов виходу зуба з заготовки можна підвищити стійкість інструменту в 10 і більше разів.

Зниження товщини зрізаного шару можна забезпечити за рахунок зміни траєкторії руху торцевої фрези з криволінійними елементами у вигляді чверті еліпса на ділянці входу фрези і ділянках обвіда зовнішніх кутів заготовки при обробці плоскої поверхні (рис. 5.1).

Обробку роблять на двокоординатних фрезерних верстатах з ЧПУ. Інструменту повідомляють головний рух ω , доводять до торкання з заготовкою в точці, розташованій на торці обробленої поверхні і віддаленої від краю заготовки на відстань $d/2 + 0,2D$, точка 1 (рис. 5.1). Потім інструменту задають два руху подачі S_x та S_y , що лежать в площині фрезерування. Вектор подачі S_y спрямований в тіло заготовки нормально до її торця, а вектор подачі S_x повернутий

на 90° щодо вектора S_y в напрямку, протилежному напрямку головного обертального руху ω_v .

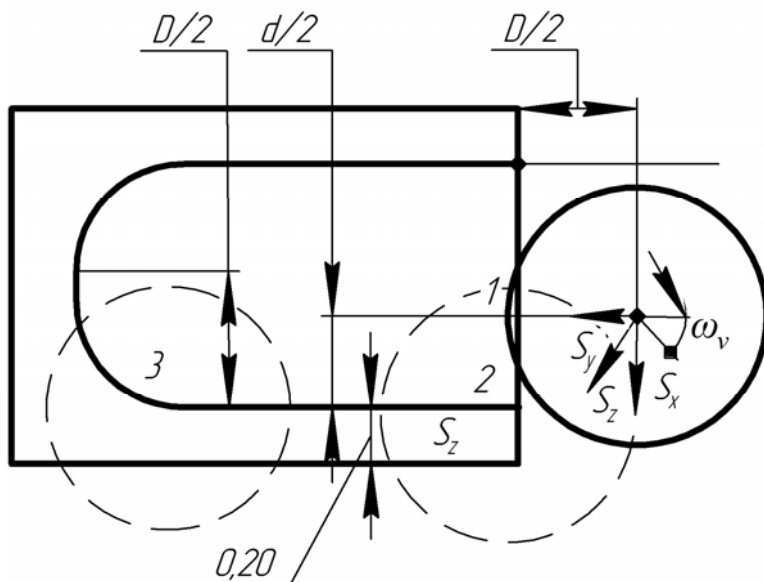


Рис. 5.1. Схема процесу обробки плоскої поверхні

Подачі S_x та S_y узгоджують таким чином, що траєкторія врізання фрези є чверть еліпса, велика вісь якого дорівнює діаметру фрези D , а менша визначається за формулою:

$$d = D \frac{S_z - 2\rho}{S_z},$$

де D – діаметр фрези, S_z – подача на зуб, ρ – радіус округлення різальної кромки.

Нелінійно-узгоджені рухи подачі припиняють при досягненні центром фрези точки 2 знаходиться на перерізі торцевої та обробленої поверхонь, і розташованої на відстані $0,2D$ від краю заготовки (це положення фрези представлено пунктирною лінією). Потім інструменту повідомляється прямолінійний рух подачі, вектор якого

спрямований в тіло заготовки, нормально до малої півосі еліпса попередньої криволінійної ділянки траєкторії, а величина подачі дорівнює результуючої подачі на зуб S_z . Після досягнення центром фрези точки 3, розташованої на відстані $d/2 + 0,2D$ від протилежного краю заготовки, їй знову повідомляють два рухи подачі S_x та S_y , що лежать в площині фрезерування і узгоджених таким чином, що траєкторія врізання фрези є описана вище чверть еліпса, але повернену на 90° щодо її початкового положення в напрямку головного руху ω . Фрезерування продовжують подібним чином до остаточної обробки всієї поверхні.

Цей спосіб обробки дозволяє знизити негативний вплив «розвантажувального удару» за рахунок зниження товщини шару, що зрізається до мінімуму, який визначається радіусом округлення різальної кромки. Довжина еліптичної ділянки обробки менше довжини радіусної ділянки за способом фірми Sandvik Coromant (Швеція), що дозволяє підвищити продуктивність на криволінійних ділянках в 1,5 рази.

Приклад 1. Знос різальних зубів фрези при торцевому фрезеруванні з різними траєкторіями врізання інструменту при обробці по еліптичній траєкторії з відношенням малого діаметра до більшого $d/D = 0,5$ при швидкостях різання $V = 150$ м/хв, подачі на зуб $S_z = 0,1$ мм, глибині різання $t = 0,5$ мм при обробці сталей 45, X12, 40X13 зменшується до 2-х разів. Продуктивність за рахунок зменшення довжини еліптичної траєкторії в порівнянні з радіусною траєкторією збільшується до 25 % при рівній величині зносу.

Приклад 2. При обробці стали 40 і X12 кінцевими фрезами діаметром 10 мм, виготовленими зі швидкорізальної сталі Р6М5 і Р6М5К5 знос фрез, які працювали по еліптичній траєкторії знижується на 15 – 20 % в порівнянні з фрезами, які працювали по траєкторії врізання і обвіда кутів по дузі окружності.

5.2. ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФРЕЗ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ

Форма зубів фрез повинна бути такою, щоб: 1) забезпечувалася необхідна міцність зуба; 2) допускалася якомога більша кількість переточувань; 3) об'єм канавок між зубами був достатнім для розміщення стружки. За конструкцією зубів фрези діляться на дві групи, з загостреними та затилованими зубами.

При правильно обраному передньому куті γ фрезерування протікає спокійно і стійкість фрези збільшується. При позитивному передньому куті γ стійкість інструменту зазвичай вище, ніж при негативному. При роботі інструментами з негативним переднім кутом зростає сила різання. При швидкісному торцевому фрезеруванні стали зміна переднього кута від $\gamma = +10^\circ$ до $\gamma = -10^\circ$ викликає збільшення сили різання та витрачається потужності більш, ніж в 1,25 рази. Зменшення позитивного переднього кута на 1° викликає збільшення потужності, що витрачається приблизно на 1 – 1,5 %. Тому при фрезеруванні прагнуть застосовувати позитивні передні кути.

При обробці сталей невисокої міцності та чавуну твердосплавні фрези зазвичай мають передній кут $\gamma = +5^\circ \dots +10^\circ$ і тільки при обробці спеціальних марок чавуну, наприклад, хромонікелевого, передній кут зменшують до $0 \dots 2^\circ$. При фрезеруванні сталі високої міцності, особливо при великих пріпусках, переходять на негативні передні кути. Але і в цих випадках часто досить заточити невеликий негативний передній кут $3 \dots 5^\circ$ на вузькій «зміцнюючій» фаске поблизу різальної кромки, а на решті частини передньої поверхні передній кут зробити позитивним.

Задній кут α також дуже впливає на стійкість інструментів. Для досягнення найбільшої стійкості потрібно вибирати задній кут відповідно до товщини шару, що зрізається. Чим менше припуски, тим більшим може бути задній кут. При малій товщині шару, що зрізається оптимальний задній кут досягає $30 \dots 40^\circ$. Задній кут у фрез, армованих твердим сплавом, повинен бути більше, ніж у швидкорізальних, оскільки стійкість твердосплавних фрез визначається головним чином зносом по задній поверхні, тоді як у швидкорізальних фрез знос може відбуватися і по передній поверхні.

Однак зі збільшенням заднього кута знижується міцність різальної кромки і збільшується небезпека її викришування.

Подача менше впливає на стійкість інструменту, ніж швидкість різання, тому за рахунок подачі вигідніше збільшувати продуктивність. Подачу на зуб можна збільшити двома способами: збільшенням товщини зрізаного шару, або збільшенням ширини цього шару. При збільшенні ширини зрізаного шару при інших рівних умовах в 3 рази, стійкість фрези зменшиться на $1/3$, а при збільшенні в 3 рази товщини зрізаного шару стійкість зменшиться в 5 разів. Зі зменшенням головного кута в плані збільшується «активна» довжина різальної кромки, тобто, довжина зіткнення різальної кромки з оброблюваним металом. Внаслідок цього відведення теплоти від різальної кромки в тіло інструмента поліпшується, знижується температура різальної кромки і, відповідно, підвищується стійкість фрези. Таким чином, підвищувати подачу вигідніше збільшенням ширини зрізаного шару, залишаючи товщину його незмінною.

Поряд зі збільшенням «активної» довжини різальної кромки, зменшення кута в плані (при незмінній подачі) веде до зменшення товщини зрізаного шару і відповідного зниження навантаження на різальну кромку та зменшення кількості тепла в зоні різання. Однак торцеві фрези з головним кутом в плані менше 30° не застосовують.

Найчастіше застосовують кути не менше 45° , щоб уникнути виникнення вібрацій, особливо при недостатній жорсткості верстата або оброблюваної деталі.

Підвищити продуктивність можна також і за рахунок допоміжного кута в плані φ_1 . Це відноситься перш за все до роботи торцевими фрезами на чистових операціях. Працюючи такими фрезами при $\varphi_1 > 0$, ми обмежені у виборі подачі, так як при великих подачах збільшується шорсткість обробленої поверхні. Щоб підвищити подачу і зберегти низьку шорсткість поверхні, потрібно зробити на кожному зубі невелику кромку з $\varphi_1 = 0^\circ$, причому ця кромка повинна бути по довжині більше подачі на оборот фрези. Тоді подачу можна значно збільшити аж до подач, що застосовуються при чорновому фрезеруванні.

При чорновому фрезеруванні також бажано застосовувати фрези з невеликими допоміжними кутами в плані $10 \dots 12^\circ$, що відрізняються підвищеною стійкістю, якщо тільки дозволяє жорсткість верстата та

оброблюваної деталі. При малих кутах φ_1 різко зростає відтискання фрези від заготовки і створюються сприятливі умови для появи вібрацій.

Маючи в своєму розпорядженні перехідну кромку, що з'єднує головну і допоміжну різальні кромки під малим кутом в плані φ_0 , або закругляя вершину зуба по радіусу, можна значно збільшити міцність зуба. Одночасно поліпшується відвід тепла від вершини зуба, стійкість фрези зростає. Кут φ_0 зазвичай роблять удвічі меншим, ніж головний кут в плані.

Зуби фрези повинні бути не тільки правильно заточені, але і доведені. Ретельне доведення дозволяє в 1,5 – 2 рази підвищити стійкість інструментів. При контролі заточки, установці фрез на верстаті, заміні зношених зубів, потрібно домагатися мінімального биття. Особливо шкідливо биття зубів для фрез, оснащених твердим сплавом. У них найбільш виступаючий зуб швидко викришується, відразу ж різко зростає навантаження на наступний зуб, він теж викришується, а за ним і інші зуби.

Переточування гострих зубів по задній поверхні, де в основному зосереджен знос при фрезеруванні, дозволяє зменшити припуск на переточування, збільшити термін служби фрези, зменшити обсяг зубів і головне – збільшити їх число z , від якого пропорційно залежить продуктивність процесу фрезерування. При збільшенні числа зубів фрези знижується шорсткість обробленої поверхні та зменшується нерівномірність процесу різання.

На практиці набули поширення три форми гострих зубів: трапецієвидна, параболічна та посилена.

Трапецієвидная форма найбільш проста у виготовленні, але при цьому зуб кілька ослаблений, тому має невелику висоту і малий обсяг стружкової канавки. У міру переточування зуба по задній грані (фаска $f = 1 \dots 2$ мм) його висота зменшується, і він стає більш міцним. Однак така форма зубів допускає невелике число переточувань і застосовується на фрезах для чистової обробки. При цьому число зубів через їх малий об'єм може бути максимально можливим. При переточуванні висота зуба зменшується, тому сумарна стійкість таких фрез невелика, так як вони допускають лише 6 – 8 переточувань. Радіус западини зуба береться рівним 0,5 ... 2,0 мм.

Параболічна форма зуба має найбільшу міцність на вигин, так як спинка зуба, оформлена по параболі, забезпечує рівномірність у всіх перерізах по висоті зуба. Недоліком цієї форми є необхідність для

кожної висоти зуба мати свою складну фасонну канавочну фрезу. Тому з метою спрощення профілю спинки таких фрез параболу часто замінюють дугою кола радіусом $R = (0,3 \dots 0,4)d$.

На передній поверхні зубів параболічної форми передбачено прямолінійну ділянку, від довжини якої залежить кількість переточувань фрези. Причому переточування допускаються тільки по задній поверхні (фаска f), при цьому задній кут α повинен бути менше кута α_1 на $10 \dots 15^\circ$ (α_1 – кут між дотичною до параболи в точці A). Інакше при переточуванні ширина стрічки буде сильно змінюватися.

Посилена форма зуба застосовується для важких робіт замість параболічної форми. Такий зуб має ламану спинку, а також збільшені товщину і висоту. Отримують ці зуби подвійним фрезеруванням кутовими фрезами з кутами $\alpha_1 = 28 \dots 30^\circ$ і α_2 . Хоча при цьому число операцій збільшується вдвічі, такі зуби простіше у виготовленні, ніж параболічні. Вони мають більший запас на переточування і високу міцність. При цьому використовуються стандартні канавочні фрези з прямолінійними різальними кромками. При переточуванні зуби заточуються по задній поверхні під кутом α до гостра з обов'язковим виходжування щоб уникнути биття різальних кромок. Іноді залишають невеликі циліндричні стрічки шириною $f_n = 0,02 \dots 0,03$ мм, які спрощують контроль биття зубів фрези.

Затилований зуб зовні відрізняється більшою товщиною, а головне – формою задньої поверхні, яка виконується на спеціальній операції, званої затилуванням, з метою створення задніх кутів у всіх точках різальних кромок. Досягається це за рахунок того, що радіальний переріз зуба, що містить фасонний профіль, у міру повороту фрези навколо осі зміщується в напрямку до центра за допомогою фасонного різця або шліфувального круга. Завдяки затилуванню профіль різальної кромки зуба при переточуваннях по передній грані у всіх радіальних перерізах залишається незмінним незалежно від його складності. Це є основною перевагою таких фрез поряд з вельми простою та нетрудомісткою по виконанню операцією переточки. Крім того, зуби такої форми мають високу міцність, а в міру переточування обсяг канавок для розміщення стружки збільшується, що сприятливо позначається на роботі фрези. У той же час фрези з затилowanними зубами мають ряд суттєвих недоліків, головні з яких:

- число зубів у затилованих фрез значно менше, ніж у фрез з гострими зубами. Це пояснюється тим, що затиловані зуби мають велику товщину, так як при переточуванні по передній поверхні доводиться знімати більший припуск, щоб позбутися від зносу, який зосереджений на задній поверхні зуба;

- при переточуванні спостерігається велике радіальне биття зубів, що призводить до збільшення шорсткості обробленої поверхні та зниження стійкості фрез;

- у фрез з нешліфованим профілем зубів після термообробки залишається знеуглецьовані ділянки на задній поверхні, що знижують їх стійкість;

- залишкові термічні напруги можуть викликати спотворення профілю різальних кромок фрези.

Тому фрези з затилованими зубами поступаються по продуктивності та якості обробленої поверхні фрезам з гострими зубами. Однак через простоту переточки вони широко використовуються при обробці фасонних поверхонь.

Фрези з гострими зубами. Доцільно вибирати найбільший діаметр фрези, так як з цим пов'язано число зубів, їх розміри і форма, товщина тіла корпусу. Для гострих фрез найбільш поширена трапецеїдальна форма зуба, яка застосовується у чистових фрез. Зуб такої форми заточується по задній поверхні. Число зубів вибирається з умов забезпечення рівномірності фрезерування. Для гвинтових фрез рівномірність фрезерування досягається за умови, коли ширина фрезерування кратна осьовому кроку інструменту.

Фрези з механічним кріпленням змінних багатограних пластин (ЗБП) забезпечують більшу стійкість і продуктивність в порівнянні з фрезами інших конструкцій, допускають використання різних інструментальних матеріалів. Виняток операцій пайки і заточування ножів знижує брак і дає можливість використовувати сплави, що важко піддаються паянню.

Для обробки загартованих сталей і високоміцних чавунів застосовують фрези, оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) різних марок і керамікою. У порівнянні з твердосплавними такі фрези забезпечують підвищені в 4...10 разів швидкості різання, але при зменшених до 4 разів подачах на зуб, при цьому досягається шорсткість обробленої поверхні як при шліфуванні.

Переваги та недоліки фрез з загостреними та затилованими зубами:

1. При переточуваннях у загостреними фрез простір для розміщення стружки різко зменшується, а у затилованих, навпаки, збільшується.

2. Затилуванні фрези допускають більшу кількість переточувань, ніж фрези з острозаточеними зубами.

3. Затилуванні фрези дають гіршу чистоту та велику шорсткість обробленої поверхні, ніж фрези загострені, так як вони не піддаються круглому шліфуванню (зуби розташовані на різній відстані від осі фрези і мають менше число зубів, в результаті працюють неспокійно).

4. Профіль затилованої фрези, як правило, не шліфується, не видаляється зневуглецьований шар при термообробці, тому стійкість затилованих фрез нижче.

Фрези, затилуванні по спіралі Архімеда, поряд з очевидними перевагами, мають серйозний недолік: не дозволяють сильно збільшувати головний задній кут α [2], через що бічні задні кути виявляються незначними. З цієї причини: 1) збільшується знос бічних кромek; 2) знижується стійкість фрези; 3) зростає шорсткість поверхні оброблюваної деталі; 4) знижується продуктивність через необхідність роботи на знижених режимах.

Кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі із гвинтовою різальною частиною набули найбільшого поширення. Вони мають більш високу стійкість в порівнянні з прямозубими фрезами. Складові та збірні конструкції фрез з гвинтовими пластинами зі швидкорізальної сталі не знаходять досить широкого застосування. Основною причиною цього є технічні труднощі, що виникають при отриманні точних гвинтових пластин з швидкорізальної сталі та їх з'єднання з корпусом інструменту. Удосконалення технології виготовлення кінцевих фрез проводять також на основі застосування складеної конструкції інструменту з гвинтовими пластинами зі швидкорізальної сталі, отриманими методом холодної завивки.

Прикладом вдосконалення конструкції служать кінцеві фрези зі змінним кутом підйому гвинтової лінії. Така конструкція, в порівнянні з постійним кутом підйому, надає операціям набагато більшу стабільність, що призводить до зниження вібрацій інструменту навіть на верстатах з ЧПУ. В результаті – підвищення якості обробленої поверхні та збільшення стійкості інструменту.

На рис. 5.2 наведені напрямні гвинтової поверхні змінного, зменшуючогося кроку, розташовані на циліндрі $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$. Якщо гвинтовий параметр – p для поверхні постійного кроку є

константою, та визначається як $p = T/2$, то для випадку змінного кроку гвинтової параметр – p є змінною, яка залежить від поточного значення кута ν і визначається з виразу $p = (T + \Delta)/2$, де T – початкове значення кроку, Δ – величина характеризує зміну кроку.

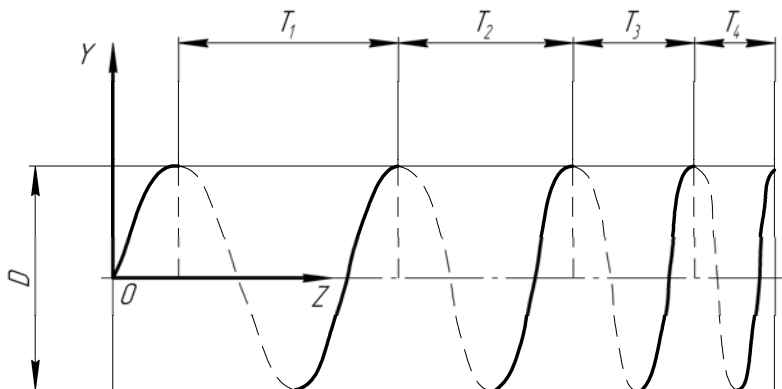


Рис. 5.2. Напрямні гвинтової поверхні змінного, зменшуючогося кроку

Змінний кут підйому гвинтової лінії забезпечує: більш високі значення подачі і глибини різання при високошвидкісному різанні; поліпшення контролю розмірів заготовки; зменшення викривування різальних кромок; підвищення швидкості зйому матеріалу.

Розроблена збірна циліндрична (кінцева) фреза підвищеної працездатності з ЗБП, що містить ряд дискових модулів, насаджених на втулку та закріплених від осьового зсуву і провертання, на кожному дисковому модулі встановлені по периферії змінні багатогранні пластини. При чорновій обробці заготовок зі сталі 40Х із застосуванням пластин 4-х гранної форми зі сплаву Т5К10 кількість оброблених деталей збільшилася приблизно в 2 рази.

Особливості конструкцій фрез, оснащених твердим сплавом. Напайні пластини використовують тільки при виготовленні малорозмірних фрез, в яких не вдається розмістити елементи механічного кріплення пластин. При різанні важкооброблюваних матеріалів перевага віддається монолітним фрезам, виготовленим повністю з твердого сплаву. У конструкціях фрез середніх і великих розмірів напайку на корпуси інструментів використовується для різальних твердосплавних пластин фасонної форми.

Основними напрямками в використанні ЗБП є: кріплення пластин безпосередньо на корпусі або його складових частинах; використання вкладишів з двома-трьома базами під пластини; використання механізму регулювання положення різальних кромок пластин відносно осі обертання фрези.

Фрези з кріпленням пластин в гніздах корпусу найбільш прості за конструкцією, компактні, мають мінімальне число деталей, але корпуси цих фрез складні у виготовленні. Серйозними недоліками цих фрез є: небезпека механічного пошкодження корпусів в процесі експлуатації та підвищене биття різальних кромок, що викликається похибками виготовлення гнізд під пластини.

При використанні вкладишів для кріплення пластин корпус виходить технологічним, а кріплення забезпечує мале биття різальних кромок. Використання вкладишів під різальні пластини дозволяє уникати пошкодження дорогого корпусу при поломці пластин та здійснювати їх швидку заміну.

Для забезпечення високої точності розташування різальних кромок щодо осі обертання фрези створений ряд конструкцій фрез з регулюванням в осьовому напрямку положення вкладишів в пазах корпусу за допомогою гвинтів або клинів, в результаті чого вдається довести торцеве биття до 0,005 мм. При цьому в залежності від діаметра фрези радіальне биття становить 0,05...0,10 мм, що досягається за рахунок високої точності виконання корпусів фрез, касет і використання прецизійних пластин.

Для фрез з тангенціальним по відношенню до корпусу розташуванням пластин різко збільшується їх міцність при ударному навантаженні. Такі фрези дозволяють значно збільшити подачу і, відповідно, продуктивність, але через зменшеної довжини різальних кромок вони придатні тільки для зняття невеликих припусків.

Для фрезерування заготовок з великими припусками рекомендуються фрези зі ступінчастим уздовж осі розташуванням пластин, яке забезпечує гарний розподіл припуску по ширині та безвібраційну роботу інструменту, що особливо важливо для фрез, оснащених твердим сплавом.

Фірмою «Sandvik Coromant» (Швеція) розроблені дискові фрези діаметром $d = 80 \dots 250$ мм з безпосереднім кріпленням спеціальних пластин гвинтами з двох сторін корпусу. Ці пластини мають позитивні передні кути. При тангенціальному кріпленні вони володіють найбільшою міцністю, а при наявності чотирьох різальних кромок – більшою стійкістю.

Для обробки площин, пазів, уступів і важкооброблюваних матеріалів може бути використана торцекінцева фреза з різальними елементами з НТМ, що забезпечує регулювання різальних інструментів по діаметру фрези (рис. 5.3).

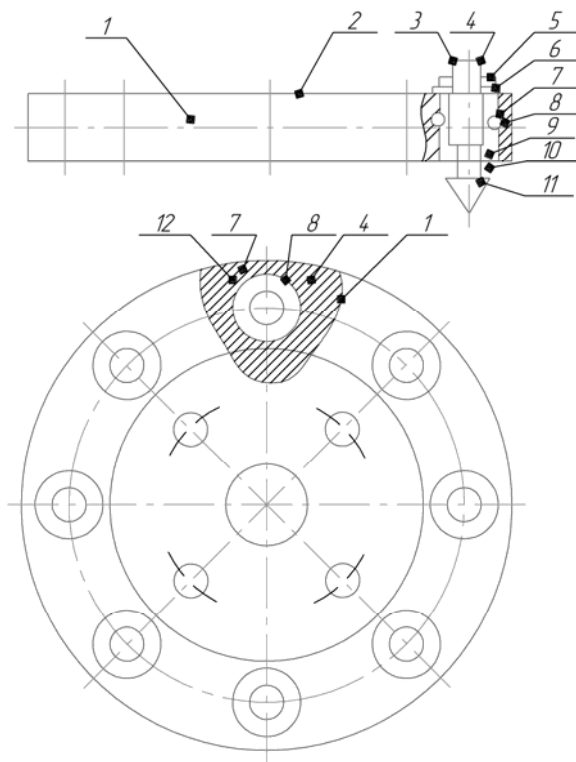


Рис. 5.3. Конструкція збірної торцекінцевої фрези, оснащеною різальними вставками з НТМ: 1 – корпус; 2 – торцева поверхня фрези; 3 – різьблення, 4 – різальні вставки; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – стрижень; 8 – ексцентрикові втулки; 9 – різьблення; 10 – регульовальна гайка; 11 – різальні елементи; 12 – різьблення

Фрези діляться по амплітудах A віброприскорень на два класи. До першого класу відносяться фрези з клиновим кріпленням пластин, у яких амплітуди віброприскорень мають резонансні піки близько $1500 \dots 2000 \text{ м/с}^2$. До другого класу відносяться фрези, у яких резонансні піки близько $3000 \dots 4000 \text{ м/с}^2$.

Найкращі показники по вібростійкості має спосіб кріплення гвинтом пластин з отвором при базуванні ЗБП на три точки по бічних поверхнях із забезпеченням силового замикання на опорну поверхню. Статичною характеристикою якості фрез є піддатливість $\Delta \delta_g$ різальної пластини при навантаженні силою P в діапазоні від 0 до 1500 Н.

Фреза типу з подвійною негативною геометрією. При клиновому кріпленні пластин від точності виконання елементів конструкції залежать площа контактів пластин з прилеглими елементами і зазори між ними, які впливають на жорсткість і вібростійкість конструкції, що, в кінцевому рахунку, позначається на стійкості інструменту і якості обробленої поверхні. Особливо велике значення це має для фрез, оснащених СМП з різальною кераміки.

В системі торцевих фрез застосовуються різцеві касети, на яких можуть закріплюватися ЗБП широкої номенклатури з різноманітними розмірами і геометричними параметрами. При роботі на одних і тих же режимах стійкість касетних фрез вище стійкості стандартних фрез, причому зі збільшенням подачі ця різниця стає більш відчутною та на подачах понад 0,3 мм/зуб стає дворазовою. Область раціональних подач, виходячи з максимального обсягу зрізаного матеріалу за один період стійкості інструменту, становить для стандартних фрез 0,1... 0,2 мм/зуб, а для нових фрез 0,3... 0,4 мм/зуб. Фрези з негативною геометрією мають підвищену жорсткість і вібростійкість та забезпечують більш високу продуктивність фрезерування, але вимагають більш високих показників потужності та жорсткості верстата.

Тангенціальне кріплення ЗБП в корпусах торцевих фрез забезпечує максимальну міцність твердого сплаву та дозволяє працювати з великою товщиною зрізаного шару.

При фрезеруванні можливі наступні похибки обробки, пов'язані зі станом інструменту:

1. похибки форми (неплощинність, непрямолінійність) при обробці заготовок з великою глибиною фрезерування, особливо з нерівномірним припуском при недостатній жорсткості системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь» (ВПІД);
2. при обробці набором фрез неправильне їх розташування на оправці або неправильний вибір розміру фрез;
3. знижений клас шорсткості поверхні внаслідок неправильної заточки фрези, биття фрези, великого зносу або викришування різальних кромок зубів, неправильного вибору режимів різання та

МОТС, недостатньо жорсткого закріплення заготовки, недостатньої твердості оправки і т.д.;

4. вібрація при фрезеруванні. Наявність вібрації чинить негативний вплив не тільки на шорсткість обробленої поверхні, але і значно скорочує стійкість фрези та зменшує термін служби верстата.

Фрезами, оснащеними мінералокерамікою та надтвердими матеріалами, можна обробляти сталі, загартовані до твердості $60 HRC$, виключаючи в ряді випадків операції шліфування.

5.3. Знос фрез

Знос різального клина відбувається на деякій відстані від безпосередньої зони стружкоутворення, в зоні, яка дорівнює приблизно половині номінальної довжини контакту (рис. 5.4), що пояснюється наявністю загальмованого шару. Однак при фрезеруванні спостерігається інша картина. На зношених різальних кромках фрезерного інструменту спостерігається наявність зносу по всій ефективній довжині контакту.

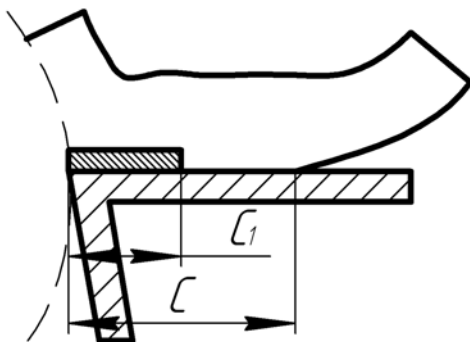


Рис. 5.4. Дві ділянки тертя на передній поверхні

Такий характер зносу обумовлений особливостями експлуатації фрезерного інструменту. При зустрічному фрезеруванні стружкоутворення передують пластичне деформування оброблюваної поверхні. При виконанні умови перевищення товщиною зрізаного шару a радіуса заокруглення різального клина φ або при досягненні граничного значення деформації руйнування e_p утворюється

«випереджальна» тріщина або розпушена область в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу. При попутному фрезеруванні зуб фрези починає свою роботу з ударного врізання з максимальним значенням товщини зрізаного шару і, відповідно, з максимального навантаження, що поступово зменшується до нуля. Обидва варіанти поєднання руху призводять до того, що найбільші навантаження відчуває зона C_1 , що і призводить до такої особливості зносу.

Найбільш характерним для твердосплавних торцевих фрез є утворення поздовжніх (перпендикулярних різальній кромці) і поперечних (паралельних різальній кромці) тріщин на передній поверхні та крихке руйнування різальної частини інструменту у вигляді викришування та відколів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Види руйнування ножів твердосплавних фрез

Види руйнування			
Руйнування, які усуваються подальшою переточкою	1	Знос	8 %
	2	Тріщини в зоні контакту	
	3	Викришування: а) мікровикрашіваніє розміром 0,05 ... 0,30 мм;	
		б) середнє вищербленнє розміром 0,3 ... 1,0 мм;	5 %
		в) велике вищербленнє розміром 1,0 ... 3,0 мм	
Руйнування, які не усуваються подальшою переточкою	4	Скол: а) скол вершини на всю товщину пластини; б) зріз леза уздовж задньої поверхні; в) великий скол	7 %
	5	Зсув або вирив пластини з гнізда державки	10 %

Крихке руйнування твердосплавних фрез поділяють на викришування і місцеві відколи, як внутрішньоконтактні види руйнування, та сколювання різальної частини інструменту, що приводить до виходу його з ладу. Головною причиною викришування є приварювання стружки до контактних площадок зуба фрези при його виході з контакту із заготівлею. При повторному врізанні

відбувається, відрив цієї стружки від контактної площадки разом з частинками інструментального матеріалу. Причиною викришування є періодичне відділення застійної зони від контактних поверхонь в момент припинення стружкоутворення. Такі викришування твердосплавного інструменту пов'язані з поверхневими дефектами, неоднорідністю структури інструментального матеріалу та служать додатковими концентраторами напружень. Періодичне відділення застійної зони від контактних площадок створює циклічні розтягувальні напруги в різальному клині, сприяючи руйнуванню інструмента в результаті явища втоми.

Утворення тріщин в різальній частини твердосплавного інструменту, що є причиною виникнення сколів і викришування, зв'язується з втомним руйнуванням твердого сплаву в результаті впливу змінних силових і особливо теплових навантажень. Під час холостого ходу поверхневі шари інструменту охолоджуються більш інтенсивно, ніж росташовані нижче, і прагнуть стиснутися, а нижні шари перешкоджають цьому. В результаті в поверхневих шарах виникають напруги розтягнення, які і призводять до утворення тріщин. Виникнення поздовжніх тріщин релаксує напруги в даному мікрообсязі різальної частини, тоді як в сусідніх мікрооб'ємах через умови деформування, близьких до площинних, зберігаються високі напруги, поки там теж не виникне тріщина. В результаті на контактних площадках інструменту утворюється велика кількість тріщин, перпендикулярних до найбільших головним напруженням. Поздовжні, і поперечні тріщини утворюються в результаті дії змінних температур, а механізм місцевих відколів, розміри яких не перевищують розмірів контактних площадок, обумовлений саме термічним тріщиноутворенням.

Якщо інструмент працює в менш важких умовах, наприклад, при напівчистовому та чистовому фрезеруванні сталі, вигідніше оснащувати інструмент теплостійкими сплавами Т15К6 і Т15К6Т. При чорновому фрезеруванні чавуну та кольорових металів з невеликими припусками рекомендують для інструментів сплави ВК4В, ВК6, ВК8. Ці ж сплави часто застосовують при напівчистовому та чистовому фрезеруванні нержавіючої сталі, а також при фрезеруванні пластичних мас.

Чистове фрезерування сталевих деталей з малими припусками ведуть на високих швидкостях різання фрезою, оснащеною сплавом Т30К4. Якщо ж деталь чавунна, з кольорового металу або неметалічного матеріалу, найкраще вибрати фрезу з зубами зі сплаву ВК2 або ВК3.

Для твердого сплаву Т5К12В і сплавів, які містять 3 % карбиду танталу, ТТ7К12 і ТТ7К15, виробничими випробуваннями і спеціальними дослідженнями встановлено можливість успішного застосування їх для фрезерування. У порівнянні зі сплавами Т5К10 і ВК8 ці сплави відрізняються більш високою міцністю при важких роботах.

Застосовуючи сплави ТТ7К12 і ТТ7К15 для зняття великих нерівномірних припусків по кінці можна в 1,5 – 2,5 рази збільшити подачу в порівнянні з подачею, допустимою для сплаву Т5К10, не знижуючи при цьому швидкість різання. У той же час при невеликому навантаженні на інструмент, роботі з малими подачами, нові сплави менш ефективні, в таких умовах вони виявляються менш зносостійкими, ніж інші тверді сплави, які широко застосовуються на заводах.

Поряд з твердосплавними фрезами, широко застосовують фрези і з інших інструментальних матеріалів. Фасонні фрези складної форми, вузькі фрези для обробки пазів і деякі інші важко оснастити твердим сплавом, тому їх роблять зі швидкорізальної сталі Р18, а іноді зі сталі Р9. Швидкорізальні циліндричні дискові та кінцеві фрези добре працюють при обдирному фрезеруванні з великими подачами, якщо швидкість різання порівняно невелика та температура в зоні різання не перевищує 500 – 600 °С. Прорізні, фасонні та кінцеві фрези невеликих діаметрів, що працюють при маленьких подачах (до 0,05 мм/зуб) і швидкостях різання 20 – 30 м/хв, коли температура в зоні різання не перевищує 200 – 250 °С часто виготовляють з вуглецевої сталі У12А або з інших легованих сталей ХГ, ХВ5, 9ХС або ХВГ.

Для обробки деталей з жароміцних сталей або сплавів використовують найбільш міцні марки твердих сплавів, а також швидкорізальні сталі марок Р18Ф2, Р9К10 і Р9К5, що відрізняються від сталей Р18 і Р9 підвищеним вмістом ванадію і кобальту, і сталь Р24, що має в своєму складі більше вольфраму, ніж сталь Р18. Фасонні фрези зі швидкорізальної сталі марки Р18Ф2 при обробці литого жароміцного високолегованого сплаву на нікелевій основі мають стійкість в 3 – 4 рази вище, ніж фрези зі сталі Р18. При обробці кінцевими фрезами жароміцного сплаву типу ХН77ТЮ (ЕІ437) стійкість фрез з сталей Р9К10, Р18Ф2 в 1,5 – 2,5 рази вище стійкості фрез зі сталі Р18. Сталь Р9К5 володіє приблизно такими ж різальними здібностями, що і Р18.

5.4. МІЦНІСТЬ ФРЕЗ

При недостатній міцності різальної частини інструменту її руйнування відбувається шляхом крихкого сколювання і викришування або в результаті пластичної деформації та подальшого зрізу. На практиці при обробці багатьох матеріалів, щоб уникнути руйнування інструменту знижують режими різання.

Сколювання різальної частини інструменту відбувається в той момент, коли напруження розтягу в небезпечній зоні передньої поверхні на відстані $l = (2 \dots 2,5) l_k$ від різальної кромки досягають межі міцності. Утворюється мікротріщина, яка, розвиваючись, перетворюється в макротріщини і в результаті відбувається відкол. Такого характеру руйнування супроводжується сколами щодо великих обсягів інструментального матеріалу.

Гранична товщина зрізу для стругання за інших рівних умов має бути приблизно в 1,3 – 1,4 рази менше, ніж для точіння, а для фрезерування – в 2,4 – 2,7 разів менше, так як l_{max} зростає в 1,7 рази, а границя міцності внаслідок знакозмінності циклічного навантаження повина бути занижена в 1,4 – 1,6 рази.

Не менш важливим чинником, що викликає крихке руйнування різального інструменту, є виникаючі в процесі різання термічні напруги σ_0 . При фрезеруванні вуглецевої сталі та жароміцних сплавів на нікелевій основі в нагрітому стані їх величина може досягти межі міцності інструментального матеріалу. Наприклад, для твердого сплаву ВК8 ($E = 540$ ГПа; $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; $\nu = 0,22$; $\lambda = 104,75$ Дж/(м·с); $\omega_t = 4 \cdot 10^{-5}$ м²/с) при $t = 0,01$ с і температурі 1273 К стискають напруги на глибині 0,5 мм від різальної кромки дорівнюють, відповідно, 3,25 та 1,95 ГПа. При тих же умовах, що розтягують термічні напруги в процесі охолодження на повітрі протягом 1 секунди дорівнюють 0,406 і 0,325 ГПа, а при охолодженні водою – 1,138 і 1,04 ГПа відповідно. Напруження на поверхні інструменту перевищують границю міцності сплаву ВК8 при одноосьовому розтягуванні, і вони можуть бути причиною руйнування інструменту.

Для запобігання утворенню термічних тріщин і подальшого руйнування ріжучої частини інструменту при фрезеруванні слід знижувати температурний градієнт, а отже, швидкість охолодження, використовуючи для цього різні способи, аж до попереднього підігріву

інструменту на певну температуру, або підбираючи інструментальний матеріал з низьким модулем пружності, коефіцієнтом лінійного розширення, з високою теплопровідністю і ін.

Для запобігання пластичного руйнування різальної частини інструменту (при $\gamma = 0 \dots 10^\circ$) одною з необхідних умов є вимога, щоб твердість інструменту перевищувала твердість зрізаного шару в зоні стружкоутворення приблизно в 1,4 рази і більше.

Підвищення працездатності збірних фрез шляхом зняття внутрішніх напружень ЗБП. Попередній підігрів різальної частини дозволяє підвищити працездатність металорізального інструменту. Це пояснюється виведенням інструментального твердого сплаву з крихкого в крихко-пластичний стан, що дозволяє інструменту працювати з великими навантаженнями.

Відповідно до ефекту Пельтьє, якщо через примезову область між двома дотичними різними металами, наприклад пластинами з твердого сплаву групи ТК (TiC-Co) і титану (Ti), пропустити електричний струм, то електрони, проходячи через цю область, будуть в залежності від напрямку струму або прискорюватися контактним полем, або гальмуватися. У першому випадку в примезовому шарі спостерігається виділення тепла, а в другому – поглинання тепла.

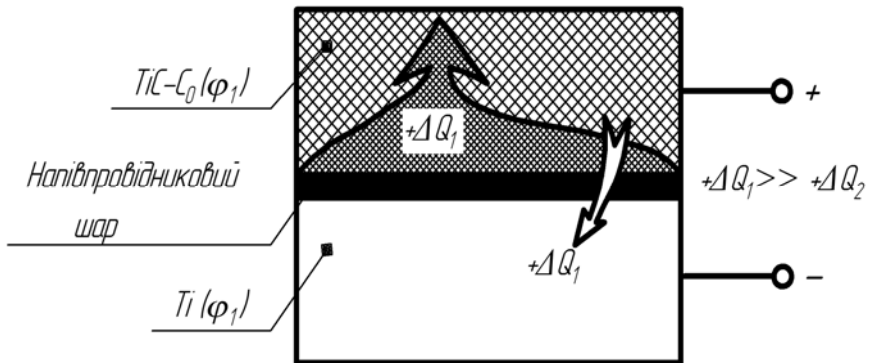


Рис. 5.5. Схема попереднього нагрівання різальної пластини з напівпровідниковим шаром

Однак при нагріванні твердосплавних різальних пластини на основі ефекту Пельтьє відбувається інтенсивний теплообмін з титановою пластинною. Щоб підвищити температуру нагрівання ЗБП з групи ТК і знизити тепловідвід в титанову пластину, додатково

вводять між пластинами напівпровідниковий шар, що складається з дисульфиду молібдену з рідким склом, який поряд з підвищенням ефективності нагріву різальної пластини дозволяє знизити нагрів титанової пластини (рис. 5.5).

Завдяки підвищенню тріщиностійкості різальної пластини в початковий період фрезерування і подальшій її підтримці за рахунок режиму фрезерування максимальний пройдений шлях фрезерування ЗБП металорізального інструменту до руйнування збільшується на 60 – 70 %.

5.5. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОТС ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ

Для важких фрезерних робіт потрібна рідина, яка утворює на інструменті міцну масляну плівку, що не руйнується при високому тиску та температурі. Такими рідинами служать сульфозфрезоли – осірковані мінеральні масла, що представляють собою хімічні сполуки сірки з мінеральним маслом, і осірковані жири.

При чистовому та напівчистовому фрезеруванні застосовують різні емульсії, наприклад водну емульсію, що представляє 6 % розчин емульсолів. Емульсол складається з 70 – 80 % мінерального масла, 18 – 20 % мила, 2,5 – 5 % спирту та 4 – 5 % води. Охолоджувальною рідиною може служити також содова вода. Сода додається в воду в кількості 5 – 10 % з тим, щоб запобігти корозії частин верстата та оброблюваних деталей.

Допустима величина зносу фрез, перевищення якої призводить до катастрофічного наростання зносу, також залежить від застосовуваної МОР. При фрезеруванні всуху ($V = 98$ м/хв) середня величина допустимого зносу фрез по кутках не перевищує 0,3 мм (часто руйнування починалося і при зносі 0,25 мм), а з водними МОР вона становила 0,35 – 0,4 мм. Із застосуванням масляних МОР фрези зберігають різальні властивості при зносі по головній задній грані, що дорівнює 0,4 – 0,5 мм, а при МОР МР-4 – 0,8 – 0,9 мм. З підвищенням швидкості різання до 154 м/хв допустима величина зносу зменшується при роботі з усіма МОР. Знос, відповідний закінченню періода припрацювання, при різанні з водними МОР в 1,5 – 2 рази вище, ніж при роботі з маслами, причому зі збільшенням швидкості різання він зменшується.

Особливості фрезерування обумовлюють і технологічні особливості подачі МОТС. Традиційна подача МОТС поливом з

невеликим тиском (аж до «самопливу») в разі фрезерування виявляється малоефективною, а іноді навіть робить негативний вплив через різкий перепад температур (ефект «теплого» удару). Тиск стружки на передню поверхню різальної кромки в десятки разів перевершує «вантажопідйомність» МОТС, що призводить до розриву суцільного шару між поверхнями, що труться.

Найбільший ефект від застосування рідин виходить при їх попаданні безпосередньо в зону різання. Досить подавати рідину тонким струменем (але під високим тиском) або в розпиленому стані з боку задніх поверхонь інструменту. У першому випадку тонкий струмінь рідини подається насосом під тиском 15-20 ат через спеціальну насадку. Рідина охолоджує інструмент та деталь і частково випаровується. Стійкість швидкорізального інструменту таким способом підвищується в 6 – 10 разів, твердосплавного в 3 – 5 разів. Якщо рідину подавати розпиленням (для цього використовують стиснене повітря), то можна підвищити стійкість фрез в 2 – 4 рази.

Застосування МОТС на стадії попереднього припрацювання знижується площа контакту стружки з передньою поверхнею інструменту та підвищуються рівень нормальних навантажувальних напруг, тим самим посилюючи деформаційні процеси на робочих поверхнях інструменту, забезпечують формування контактних шарів зміцненої зносостійкої структури.

Сучасні фрези виробляються з урахуванням цих особливостей – в них передбачена можливість внутрішнього підведення МОТС через спеціальні отвори в корпусі інструменту. Це дозволяє доставляти МОТС максимально близько до зони обробки, а високий її тиск (в деяких сучасних верстатах реалізовано робочий тиск МОТС до 80 ат) здатен додатково згинати стружку, частково виконуючи роль стружколома. Однак такий інструмент в середньому на 40 % дорожче аналогічного без внутрішнього підведення МОТС і може бути застосований тільки в верстатах кабінетного типу.

Застосування рідинних МОТС призводить до розтріскування інструменту внаслідок термоудару. Для охолодження фрез використовують обдування зони різання, аерозольну подачу рідких МОТС, масляний туман. Застосовують вуглекислий газ, азот, охолоджене стиснене повітря. Заміна рідинних МОТС на обдув повітрям веде до поліпшення екологічної обстановки навколо верстата, скорочення мийних і сушильних операцій, скорочення витрат на обслуговування системи подачі МОТС, але не завжди повітряне охолодження є досить ефективним. Основним недоліком

повітря в якості МОТС є погана змащувальна здатність. Більш ефективним методом повітряного охолодження зони різання є застосування охладженного іонізованого повітря (ОІВ). Іонізація повітря поповнює змащувальну функцію газоподібних МОТС за рахунок прискорення утворення окисних плівок на поверхнях інструменту.

Вуглекислота подається до верстата в балоні в рідкому стані під великим тиском (близько 60 ат). З балона через спеціальний наконечник вуглекислота подається в зону різання. При виході з балона вуглекислота переходить в газоподібний стан і сильно охолоджується (до -40°C). Охолодження вуглекислим газом успішно застосовують при фрезеруванні важкооброблюваних матеріалів (титану, нікелю, хрому та інших). Стійкість фрез підвищується в 2 – 3 рази.

При обробці сталей аустенітного класу, наприклад, стали 12Х18Н10Т, одним з перспективних напрямків підвищення працездатності фрез зі сталі Р6М5 є застосування МОТС на основі рослинних олій з використанням технології мінімального змащування. Використання рослинних олій (касторової та ріпакової) значно підвищує стійкість зубів фрез в порівнянні з сухою обробкою і з використанням таких МОТС як МР-99 і І-20А. Для чистової обробки найбільш ефективно застосувати в якості МОТС з використанням технології мінімального змащування касторове масло. При фрезеруванні з глибинами різання більше 0,5 – 0,8 мм доцільно застосовувати ріпакове масло.

МОТС разової дії. Високошвидкісне фрезерування характеризується погіршенням доступу МОР в зону різання і зниженням її технологічної ефективності. Фрезерування із застосуванням МОТС «разової дії» здійснюють, наприклад, шляхом заповнення перед початком обробки простору між зубами фрези твердим МОТС, виплавляють в процесі обробки, або шляхом безперервної в процесі обробки подачі пластичного МОТС в цей простір через систему каналів, виконаних в корпусі фрези.

В обох випадках має місце перехід від різання звичайної фрезою до різання «композиційною» фрезою, робоча поверхня якої включає чергуються різальних ділянок (зуби) з включеннями з твердого або пластичного МОТС. Останні крім відводу теплоти від нагрітих поверхонь інструменту та заготовки за рахунок плавлення, ефективно транспортуються в зону обробки і змащують пари тертя в контакті, а також демпфують ударні навантаження в процесі різання.

5.6. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ФРЕЗ

Фрези виготовляють з швидкорізальних Р18, Р12, Р9 і легованих 9ХС, ХВГ сталей. По конфігурації та умовам роботи розрізняють фрези: 1) у яких робоча частина розташована по всій висоті, і, отже, їх необхідно повністю гартувати з отриманням високої твердості; до таких фрез відносяться черв'ячні, циліндричні, торцеві, насадні та дискові, пазові, відрізні (пилки круглі) і підрізні (шліцьові), напівкруглі опуклі і увігнуті; 2) мають робочу і хвостову частини (кінцеві, шпонкові, для верстатних Т-подібних пазів); кінцеві та шпонкові фрези діаметром понад 10 мм виготовляють складовими (зварними): робоча частина – з швидкорізальної сталі, хвостова частина – з вуглецевої сталі.

До фрез першої групи відносяться дискові фрези зі сталі Р18, які обробляються в такій послідовності: перший нагрів до 450°C , другий – до $830 - 850^{\circ}\text{C}$, остаточний нагрів – до $1250 - 1290^{\circ}\text{C}$, охолодження в NaOH , нагрітої до 500°C , з подальшим охолодженням на повітрі; промивка при температурі понад 70°C і травлення; промивка при 20°C і пасивування; триразовий відпуск в іншому агрегаті або в печах при температурі 560°C (витримка 1 рік).

Дискові прорізні і відрізні фрези великого діаметра та малої товщини при нагріванні можуть деформуватися під впливом власної маси, і тому їх слід нагрівати в вертикальному положенні на оправці. Охолоджувати прорізні і відрізні фрези доцільно в спеціальному пресі для загартування в штампах з охолоджуючими робочими поверхнями. При загартуванні циліндричні фрези занурюють в охолоджуючу рідину в вертикальному положенні на спеціальному пристрої. Черв'ячні фрези охолоджують в горизонтальному положенні. Процес термічної обробки фрез другої групи в основному такий же, як і зварних свердел.

Термічну обробку дискових фрез зі сталі Р6М5 діаметром до 280 мм здійснюють в магнітному полі на установці, що представляє собою подвійний коаксіальний електромагніт для збудження постійного магнітного поля напруженістю 1600 кА/м . Вплив магнітним полем в температурному інтервалі надпластичності стали в процесі утворення мартенситу напруги і охолодження дозволяє виробляти бездеформаційне загартування виробів за рахунок

«внутрішньої» правки виробів і зниження рівня структурних напруг через розпаду мартенситу в період гартувального охолодження. Застосування магнітного гарту виключає необхідність гарту під пресом, підвищує експлуатаційну стійкість фрез в 1,6 – 1,8 рази.

5.7. ПОВЕРХНЕВА ЗМІЦНЮЮЧА ОБРОБКА ФРЕЗ

Використовуються такі методи зміцнення фрез: нанесення зносостійких покриттів; нанесення антифрикційних покриттів; механічне зміцнення (дробоструменна обробка та віброобробка); хіміко-термічна обробка (азотування, цементація, карбонітрація та т.п.); гальванічне зміцнення; зміцнення з використанням фізичних методів (обробка в магнітному полі, лазерне зміцнення, обробка глибоким холодом).

Інноваційним рішенням є зміцнення різальної частини фрез зі швидкорізальної сталі динамічним мікролегуванням (ДМ). Фрези, виготовлені із застосуванням ДМ, при фрезеруванні на вертикально-фрезерному верстаті пазів в деталях зі сплавом ХН68МВТЮК-ВД з охолодженням емульсією показали в 1,24 рази більшу зносостійкість в порівнянні з контрольними.

Використання лазерно-плазмової обробки для зміцнення відрізних і прорізних фрез зі швидкорізальної сталі А11РЗМЗФ2 збільшує їх стійкість до 10 разів (традиційні методи підвищують стійкість інструменту не більше ніж в 1,5 – 3,0 рази). Лазерно-плазмова обробка формує в поверхневому шарі інструментальної сталі А11РЗМЗФ2 наноструктурні шари.

Технологія імпульсного лазерного зміцнення відрізних, прорізних фрез з швидкорізальних сталей Р6М5, Р6М5К5, Р9К5, Р18 на твердотільному технологічному лазері моделі НТФ-200, яка дозволяє: підвищити стійкість фрез до 10 разів; зменшити адгезійне схоплювання особливо при обробці кольорових сплавів; збільшити швидкість різання.

Іонна імплантація азотом фрез зі сталі Р6М5 зменшує їх знос до 1,5 – 2 разів.

5.8. НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ФРЕЗИ

Для інструменту з покриттям при торцевому фрезеруванні характерне утворення великої кількості поздовжніх тріщин в покритті на деякому віддаленні від різальної кромки в перші хвилини різання. Надалі формується кілька поздовжніх тріщин в інструментальній основі, які виходять на різальну кромку. Поява тріщин на контактних площадках інструменту з покриттям відбувається швидше, ніж для інструменту без покриття, але швидкість їх зростання значно менше. Крім того, на контактних площадках інструменту виникають поперечні тріщини в інструментальній основі і сітка тріщин в покритті. Причиною утворення поздовжніх тріщин в інструментальній основі різального клина є проростання поздовжніх тріщин з покриття в основу. Для інструменту з покриттям TiC, отриманим методами ДТ і ГТ, характерно більш пізніше утворення тріщин на контактних площадках і менша швидкість їх росту, ніж для інструменту з покриттям TiN (КІВ). Низька тріщиностійкість покриття TiN пояснюється стовпчатою структурою, яка має високу анізотропією.

Утворення поздовжніх і поперечних тріщин в покриттях TiC-TiCNTiN (ГТ) різної товщини при торцевому фрезеруванні викликано різкими перепадами температур під час робочого і холостого ходів, відмінністю коефіцієнтів термічного розширення, перепадом температур по товщині покриття і пластичною деформацією різального клина. Зниження числа поздовжніх тріщин в покритті зі зменшенням його товщини пояснюється збільшенням пластичності покриття і зменшенням в ньому дефектів.

Для максимального підвищення ефективності різального інструменту при торцевому фрезеруванні необхідно створити покриття, яке одночасно має високу міцність і тріщиностійкість, низьку адгезію до оброблюваного матеріалу та властивість максимально знижувати рівень теплових і силових навантажень на інструмент.

Цю проблему вирішує застосування багат шарових покриттів. Багат шарові покриття мають підвищену опірність крихкому руйнуванню в умовах змінних механічних навантажень, підвищеної схильності різальної частини інструменту до термопластичних деформувань і високотемпературної повзучості завдяки тому, що поперемінні тонкі шари дозволяють надзвичайно ефективно гальмувати розвиток закритичних тріщин. Найбільший вплив на

інтенсивність зносу інструменту надає товщина шару (Ti, Zr)N, дещо менше – шару TiN і мінімальну – TiCN.

Покриття, що володіють високими мікротвердістю, міцністю зчеплення з інструментальною основою і тріщиностійкістю, мають низьку інтенсивність зносу. При фрезеруванні з високою швидкістю різання і великою подачею найменшу інтенсивність зносу мають пластини з багатшаровими покриттями товщиною 6 мкм при товщині шарів TiCN і (Ti, Zr)N, рівних відповідно 33 % та 33 – 42 % від його загальної товщини. Дані покриття забезпечують зниження інтенсивності зносу інструменту в порівнянні з двошаровим покриттям TiCN-TiN в 1,6 рази, а в порівнянні з одношаровим покриттям TiN – в 2,9 рази. Дані покриття, завдяки низькому коефіцієнту тріщиностійкості K_{np} , більш ефективно стримують процеси тріщиноутворення, інтенсивність яких зростає при фрезеруванні на високих швидкостях різання та великих подачах на зуб. При фрезеруванні на більш низьких швидкостях різання і подачах на зуб ($V = 157$ м/хв, $S_z = 0,25$ мм/зуб) теплова напруженість процесу різання нижче. У цих умовах меншу інтенсивність зносу мають інструменти з покриттями загальною товщиною 4,5 мкм і співвідношенням товщини шарів TiCN і (Ti, Zr)N, аналогічним багатшаровому покриттю товщиною 6 мкм. Інтенсивність зносу інструменту з даними покриттями в більшій мірі залежить від товщини верхнього шару TiN і менше від товщини шару (Ti, Zr)N. Більш висока ефективність даних покриттів при фрезеруванні на зазначеному режимі різання пояснюється іншим механізмом руйнування покриття. Фрезерування на низькій швидкості різання з меншою подачею на зуб супроводжується значно меншою інтенсивністю процесів тріщиноутворення і в руйнуванні покриття превалюють адгезійно-втомні процеси, яким краще чинять опір більш тонкі покриття. Зниження інтенсивності процесів руйнування покриття сприяє і більш висока міцність зчеплення з інструментальною основою тонких покриттів в порівнянні з покриттями більшої товщини. У порівнянні з двошаровими покриттями TiCN-TiN нанесення тришарових покриттів товщиною 4,5 мкм на зазначеному вище режимі різання знижує інтенсивність зносу інструменту в 1,43 рази, а в порівнянні з одношаровим покриттям TiN – в 2,55 рази.

Приклад 1. При торцевому фрезеруванні шестерні провідної головної передачі заднього моста зі сталі 20ХН2М із застосуванням МОР ($V = 92$ м/хв, $S_z = 0,18$ мм/зуб, $t = 2,5$ мм, $B = 80$ мм) нанесення двошарових покриттів TiCN-TiN і (Ti, Zr) CN-TiN підвищило період стійкості торцевих фрез з пластинами Т5К10, відповідно, в 2,1 та 3,8 рази, в той час як нанесення покриття TiN – в 1,2 рази. При торцевому фрезеруванні картера коробки передач з чавуну СЧ18 без застосування МОР ($V = 94,6$ м/хв, $S_z = 0,2$ мм/зуб, $t = 2,5$ мм, $B = 230$ мм) період стійкості фрез з пластинами ВК8 з зазначеними покриттями підвищився в 2,5 та 4,6 рази, а при обробці корпусу поворотного кулака переднього моста з чавуну КЧ35-10 із застосуванням МОР (фреза з пластинами ВК6, $V = 55,8$ м/хв, $S_z = 0,11$ мм/зуб, $t = 1,0$ мм, $B = 90$ мм) – відповідно в 1,6 та 2,6 рази в порівнянні з інструментом без покриття.

Приклад 2. Обробляли торцевими фрезами з пластинами Т5К10 заготовки в відпаленому стані з сталей 20 і 45 ($V = 123$ м/хв, $S_{min} = 160 - 250$ мм/хв, $t = 3,0$ мм, $B = 125$ мм) і кінцевими фрезами зі сплаву ВК6 – з сталей ХВГ, 12Х18Н9Т і 4Х5МФС ($V = 25 - 40$ м/хв, $S_{min} = 20 - 80$ мм/хв, $t = 1,5 - 2,0$ мм), а також заготовки з сталей ХВГ і 4Х5МФС в загартованому стані $HRC\ 48 \dots 52$, ($V = 2,5$ м/хв, $S_{min} = \text{ручна}$, $t = 1,0$ мм). Нанесення тришарових покриттів підвищило період стійкості фрез в 1,3 – 3,5 разів в залежності від умов різання. При цьому використання одношарових покриттів TiN на деяких операціях не забезпечувало підвищення періоду стійкості.

Як проміжний шар багатошарового покриття необхідно використовувати складний нітрид титану і цирконію (Ti, Zr)N, який має найбільшу здатність гальмування рост тріщин в порівнянні з іншими покриттями. Підбираючи властивості верхнього та нижнього шарів багатошарового покриття (шляхом зміни технологічних параметрів їх конденсації), можна впливати на напружений стан його границь, міцність зчеплення між шарами і з інструментальною основою та тим самим змінювати його тріщиностійкість і адгезійно-міцнісні властивості.

Застосування багатошарових покриттів при фрезеруванні заготовок з вуглецевих і низьколегованих сталей підвищує період стійкості торцевих фрез в 2,8 – 4,8 рази в порівнянні з одношаровим

покриттям TiN в залежності від конструкції покриття, режиму різання і оброблюваного матеріалу.

Способи нанесення тонкоплівкових покриттів шляхом фізичного (PVD) і хімічного (CVD) осадження з газової фази мають істотні недоліки: високий інтегральний нагрів основи і енергоємність. Процес фінішного плазмового зміцнення (ФПЗ) дозволяє компенсувати вищезгадані недоліки, а саме:

1. нагрів виробу в процесі ФПЗ (не більше $100 - 150^{\circ}\text{C}$) не викликає деформацій деталей, а також дозволяє виконувати зміцнення інструментальних сталей з низькою температурою відпуску;

2. процес ФПЗ, що проводиться на повітрі при температурі навколишнього середовища, не вимагає вакуумних або інших камер і дає можливість зміцнення виробів будь-яких розмірів.

Сутність ФПЗ полягає в нанесенні тонкоплівкового (близько 3 мкм) аморфного покриття SiC з одночасним здійсненням процесу плазмового гарту тонкого приповерхневого шару. Після комбінованої зміцнюючої обробки – вакуумного азотування та фінішного плазмового зміцнення – (ВАФП) спостерігається підвищення періоду стійкості фрез зі сталі Р6М5 в 2 – 5 разів залежно від режимів різання.

Застосування технології електроакустичного нанесення покриттів (ЕЛАНП) і електроакустичного методу легування дозволяє вирішити завдання підвищення експлуатаційних властивостей фрез. Для дискових фрез з ЕЛАН покриттям характерно збільшення швидкості різання при приблизно однакової подачі на зуб. Це обумовлює підвищення продуктивності і збільшення стійкості інструменту, а також істотне зниження вартості обробки. Так, при обробці холоднокатаної сталі зі швидкістю різання 9,0 м/хв і подачею 0,07 мм/зуб обсяг металу, що зрізається за період стійкості кінцевої фрези, збільшується з 85 см³ (фреза без покриття) до 155 см³ (фреза з покриттям); при швидкості різання 18 м/хв і тієї ж подачі ці цифри становлять 30 і 180 см³ відповідно. При обробці нержавіючої сталі (12Х18Н9Т) зі швидкістю різання 12,5 м/хв і подачею 0,07 мм/зуб та швидкістю різання 25,6 м/хв і тієї ж подачею обсяг металу, що зрізається збільшується зі 130 до 220 см³ і з 180 до 360 см³ відповідно, при цьому в другому випадку обсяг металу, що зрізається за період стійкості кінцевої фрезою з покриттям після переточування, становить 340 см³. Фрези кінцеві і шпонкові піддають зміцненню після кожної переточки.

5.9. ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ФРЕЗ

Застосовують методи комплексної поверхневої обробки, що поєднують процеси іонно-плазмового нанесення покриттів і поверхневої зміцнюючої обробки (зазвичай іонне азотування). Попередня поверхнева обробка сприяє зростанню опірності різального клина РІ пружним прогинам і формостійкості, що призводить до підвищення працездатності РІ. У той же час така попередня поверхнева обробка не впливає на властивості матеріалу покриття та міцність адгезійного зв'язку покриття з інструментальною основою, які суттєво впливають на процес руйнування покриття. Підвищення зазначених характеристик може бути досягнуто шляхом додаткової, після нанесення покриття, зміцнюючої обробки.

Лазерна обробка багатошарового покриття збільшує міцність зв'язку покриття з інструментальною основою та когезійну міцність покриття. Лазерна обробка покриттів, забезпечує максимальне зниження зносу різального інструменту як по передній, так і по задній поверхнях у порівнянні з покриттями, що не пройшли лазерної обробки. Для двошарових покриттів TiN-TiCN і TiCN-TiN мінімальний знос різального інструменту забезпечують конструкції з товщиною внутрішнього твердого шару, що становить 75 % від загальної товщини покриття і пройшли лазерну обробку при щільності потужності лазерного випромінювання близько 2,4 Вт/см². Найбільше підвищення стійкості різального інструменту спостерігалось з покриттям TiCN-TiN після лазерної обробки, і це підвищення склало 3,67 в порівнянні з покриттям TiN.

Застосування комбінованої іонно-лазерної зміцнюючої обробки дозволяє в середньому в 1,8 – 2,5 рази підвищити період стійкості прорізних фрез, що застосовуються на операції фрезерування пазів в язичкових голках в'язальних машин, в 2 – 3 рази знизити шорсткість оброблюваної поверхні.

Кінцеві фрези (Ø8 мм) з швидкорізальних сталей S6-5-2, P6M5, P18, P6M5K5 піддавали зміцнюючій термоциклічній обробці та подальшій низькотемпературної наногідрохімічної обробці (НГХО). При фрезеруванні зі швидкістю різання 29,9 м/хв, подачі 0,01 мм/зуб, глибині фрезерування 2 мм і ширині 8 мм експлуатаційна стійкість збільшувалася в 1,6 – 10,8 разів у порівнянні з фрезами після звичайної термічної обробки. Як критерій зносу брали утворення лунки зносу 0,25 мм.

6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОТЯЖЕК

6.1. Нові способи протягання

Швидкісне протягання, наприклад, замків лопаток компресора з титанових сплавів BT8 і BT3-1 і жароміцних нікелевих сплавів EI787ВД і ВЖЛ14, на швидкостях різання 25 – 30 м/хв у порівнянні з низькошвидкісним методом 1,5 – 4 м/хв) сприяє встановленню оптимальних температур процесу і істотному зниженню зносу протяжек, сил різання та усадки стружки. При оптимальній температурі (наприклад, 700 °С для сплаву EI787ВД) відбувається різке зниження пластичності матеріалу (мінімум відносного звуження ψ і подовження δ) при зниженні його міцності властивостей σ_{σ} . Швидкісне протягання твердосплавними протяжками скорочує машинний час в 10 і більше разів, забезпечує підвищення середньої стійкості протяжек, наприклад, в 10,5 рази при протяганні замків лопаток з жароміцного сплаву EI787ВД, в 27 разів при протяганні замків з титанового сплаву BT3-1 і в 31 раз при протяганні замків зі сталі EI736Ш.

Мінімальна інтенсивність зносу протяжек спостерігалася при різних оптимальних швидкостях різання V_0 для різних подач на зуб S_z , але при одній і тій же оптимальній температурі різання $T_0 = 700$ °С, що збігається з температурою провалу пластичності T_{nn} .

Для усунення прискореного зносу дорогих протяжек, що виникає при обробці жароміцних і легованих сталей, наприклад хромистих, а також невисокої якості поверхні важкооброблюваних матеріалів розроблені дорни і різально-вигладжуючі протяжки. Перші, що працюють з великими натягами, складні в проектуванні та не видаляють дефектний шар, другі не вирішують проблему низької стійкості різальних зубів. Тому розроблений метод деформаційно-різального протягання (ДРП), який дозволяє вирішити проблему

стійкості різальних зубів за рахунок зниження сили різання по механічно зміцненому шару та одночасно підвищити якість обробки. Однак недоліком деформаційно-різальних протяжок, основною відмінністю яких є різання з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД), є відколи на опорних торцях втулок, що виникають із-за перенаклепа та збільшення припуску на різання до опорного торця і утворення сходинок на обробленій поверхні через пружною усадки втулок.

ДРП дозволяє інтенсифікувати процес протягання і застосовувати більш короткі інструменти (підвищити продуктивність процесу). При зрізанні попередньо механічно зміцненого поверхневого шару завтовшки від 0,02 до 0,07 мм, незважаючи на підвищення твердості сили різання знижуються на 30 ... 40 %, а зниження сили різання сприяє підвищенню розмірної стійкості різальних зубів.

Висока точність і зміцнення поверхневого шару забезпечуються деформаційно-різальним протяганням з косокутним різанням (ДРП з КР) (рис. 6.1).

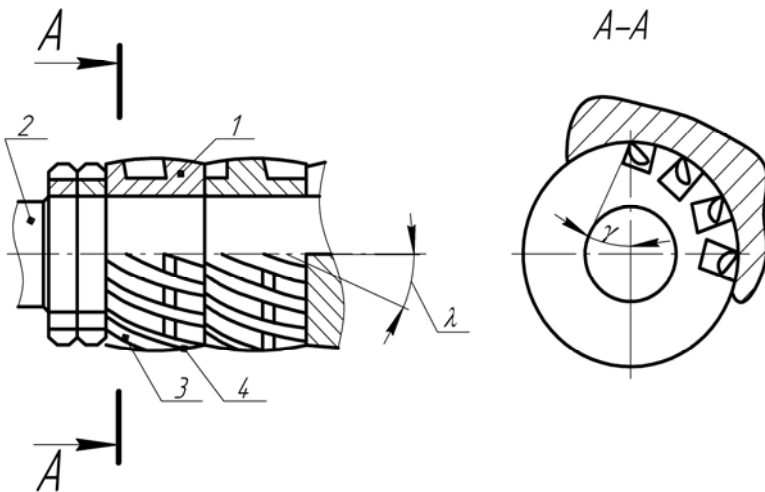


Рис. 6.1. Деформаційно-різальна протяжка з косокутним різанням

На рис. 6.1 представлено розташування деформаційно-різальних елементів 1, змонтованих на оправці 2. Ширина виконаних на робочій поверхні канавок 3 дорівнює ширині утворених виступів 4. Канавки виконані під кутом γ до осі протяжки в площині поперечного

перерізу, і під кутом λ до осі протяжки в горизонтальній площині. Високий ступінь стійкості різальних зубів дозволяє проводити обробку з великими натягами для підвищення мікротвердості та глибини зміцнення.

6.2. НОВІ МАТЕРІАЛИ І ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ПРОТЯЖЕК

Крім традиційних швидкорізальних сталей для виготовлення протяжного інструменту все більше промислове застосування знаходять порошкові швидкорізальні стали типу Р6М6Ф3-МП, Р7М2Ф6-МП, Р12МФ5-МП, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП та ін. Такі стали в порівнянні зі сталями аналогічного хімічного складу, виготовленими за традиційною технологією, мають однорідну структуру, є більш міцними і краще шліфуються, а їх застосування дозволяє підвищити стійкість інструменту в 1,3 ... 2 рази. Однак при обробці жароміцних сплавів на нікелевій основі типу ХН77ТЮР (ЕІ437БУ), ХН73МБТЮ (ЕІ698), ХН62БМКТЮ (ЕП742) та ін., які використовуються для виготовлення дисків турбін, стійкість протяжного інструменту з порошкової швидкорізальної сталі не завжди є достатньою. Процес протягання зазначеної групи матеріалів супроводжується підвищеним зносом протяжного інструменту.

Товщина зрізу, яка дорівнює підйому на зуб, має великий вплив на процес протягання. Чим більше буде вона, тим коротше буде протяжка, тим менше її вартість і вище продуктивність протягання. Однак при збільшенні товщини зрізу зростають зусилля різання, що може привести до розриву протяжки, погіршення чистоти обробленої поверхні, підвищенню інтенсивності зносу інструменту. При дуже малій товщині зрізу радіус округлення різальної кромки стає порівнянним з товщиною зрізу та окремі зуби протяжки замість різання здійснюють вдавнення матеріалу заготовки. Це призводить до зростання зусиль різання, інтенсивності зносу, нерівномірному завантаженню різальних зубів, погіршенню якості протягнутою поверхні. Тому не слід брати товщину шару, що зрізається менше 0,015 мм. Стійкість протяжок формується величиною зносу тільки чорнових зубів, які приймають на себе основну роботу зняття загального припуску.

Більш високу працездатність мають протяжки, різальна частина, яких виготовляється з композиції швидкорізальних сталей, наприклад, з композицій двох швидкорізальних сталей Р18 і Р18К5Ф2.

Приклад. В протяжках по ГОСТ 25160-82 всі різальні частини були виготовлені зі сталі Р6М5К5. Всі випробовувані протяжки були виготовлені однієї довжини. Чорнові – 20 од., перехідні та чистові – 12 од. Зуби різальної частини композиційних протяжок виготовлялися з швидкорізальної кобальтової сталі Р18К5Ф2. Останні 11 калібруючих зубів виготовлялися зі сталі Р18. На відміну від стандартної протяжки, композиційна протяжка мала у чорнових зубів підйом на зуб на 71 % більше.

Застосування композиції швидкорізальних сталей (Р18К5Ф2 і Р18) дозволяє збільшити ресурс протяжок в 6,7 – 8,2 рази.

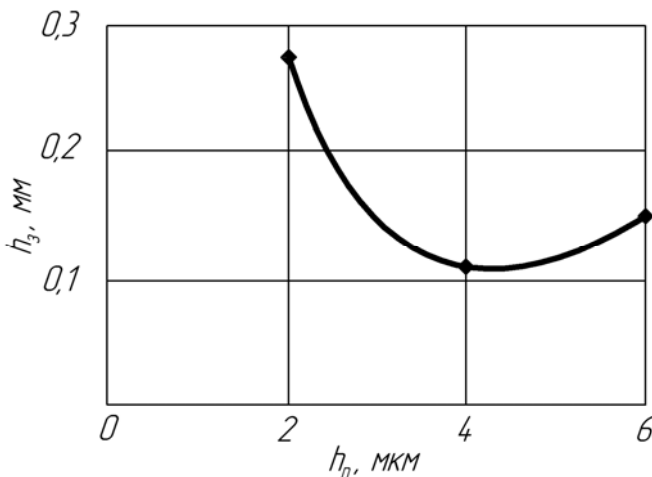


Рис. 6.2. Вплив товщини покриття на знос по задній поверхні зуба протяжки зі сталі Р6М5 + TiN

Широко застосовуються протяжки з захисними покриттями, в т.ч. з вакуумно-плазмовими. Зростання товщини покриття сприятливо позначається на підвищенні зносостійкості інструменту, з іншого боку помітно збільшується кількість дефектів в покритті, зменшується міцність зчеплення покриття з інструментальним матеріалом, погіршується здатність покриття опору крихкому руйнуванню. Вплив товщини покриття на знос по задній поверхні різального зуба протяжки зі сталі Р6М5 + TiN при постійній довжині протягування заготовок зі сталі 45 ($HB\ 300$) ($V = 15$ м/хв, $S_z = 0,15$ мм/зуб, $L = 75$ м) показано на рис. 6.2.

Найменший зносом мають різальні зуби з товщиною покриття $h_n = 3 \dots 4$ мкм. Як зі зменшенням товщини покриття, так і зі збільшенням його понад $3 \dots 4$ мкм знос різальних зубів зростає.

Найбільша товщина покриття, через розташування інструменту щодо потоку плазми спостерігається на задній поверхні та спинці зуба, найменша товщина на передній і бічних поверхнях, причому зі зменшенням в міру віддалення від задньої поверхні.

Іонне азотування в безводневих середовищах, як спосіб модифікації поверхні інструменту, відрізняє висока технологічність процесу, можливість отримання необхідних фізико-механічних властивостей, структури, фазового складу і експлуатаційних параметрів покриття, економічність, безпеки умов праці та екологічності.

6.3. ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОГО КЛИНА І КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОТЯЖЕК

При високих вимогах до шорсткості обробленої поверхні слід використовувати комбіновану схему, при якій два-три останніх різальних і калібруючих зуби працюють за профільною, а решта – за генераторною схемою.

Зуби протяжки повинні відповідати таким основним вимогам:

- забезпечувати якомога більшу кількість переточувань;
- мати певний запас міцності і тим самим протистояти впливаючим на нього силам;
- мати геометрію, при якій забезпечується найбільша стійкість протяжки;
- форма і розміри стружкової канавки повинні забезпечувати завивання стружки в щільний виток, а об'єм канавки повинен бути достатнім для вільного розміщення стружки, що зрізується за час контакту зуба з заготовкою.

Поверхні канавок рекомендується полірувати з метою поліпшення завивання стружки та легкого звільнення від неї після припинення процесу різання.

Зуби внутрішніх протяжек переточують тільки по передній поверхні і при переточуванні їх діаметр зменшується, на чорнових зубах задній кут $\alpha = 3^\circ$, на чистових $\alpha = 2^\circ$, а на калібруючих $\alpha = 0 \dots 1^\circ$. Ці значення задніх кутів значно менше оптимальних, в

результаті чого знижується стійкість інструменту. Однак збільшувати їх не можна, так як це призвело б до швидкої втрати розміру протяжки при переточуваннях.

До особливостей зовнішніх протяжек відноситься можливість призначати набагато більші, близькі до оптимальних, задні кути $\alpha = 8 \dots 10^\circ$, так як розмір протяжки по висоті при переточуванні не залежить від розміру деталі. Він може регулюватися за допомогою клинів, гвинтів і підкладок. Завдяки цьому сумарна стійкість зовнішніх протяжек значно більше стійкості внутрішніх протяжек.

При протяганні довгих поверхонь для забезпечення безперервного видалення стружки із зони різання у зовнішніх протяжек зуби роблять похилими з кутом $\beta = 70 \dots 80^\circ$. При цьому забезпечується рівномірна робота протяжки.

Використання твердих сплавів для оснащення протяжек. Умови роботи зубів протяжек несприятливі для оснащення їх твердими сплавами, так як вони знімають тонкі і широкі стружки і працюють при низьких швидкостях різання. Це викликає коливання сили протягання і може привести до руйнування твердого сплаву. Крім того, застосування твердих сплавів значно підвищує вартість протяжек і обмежується складністю їх виготовлення. У той же час використання твердих сплавів дозволяє в кілька разів підвищити стійкість протяжек, особливо при обробці чавунів, високолегованих сталей і сплавів, а також точність і якість обробленої поверхні.

Тверді сплави використовуються у внутрішніх протяжках у вигляді цілісних кілець або з напайними пластинами (рис. 6.3, а). Кільця встановлюються на сталевий державке протяжки і закріплюються гайками. При цьому змінні кільця зміщують відносно один одного шляхом повороту навколо осі таким чином, щоб проміжки між пластинами грали роль стружкоделітельние канавок.

Недоліки твердосплавних протяжек з напайними пластинками (рис. 6.3, б):

- в процесі напайки і заточування зубів протяжек спостерігаються тріщини в твердому сплаві від напружень при нагріванні і охолодженні;

- переточування протяжек проводиться нерівномірно по передній і задній поверхні індивідуально для кожного зуба, що змінює перепади між зубами, призводить до передчасного виходу протяжки з роботи;

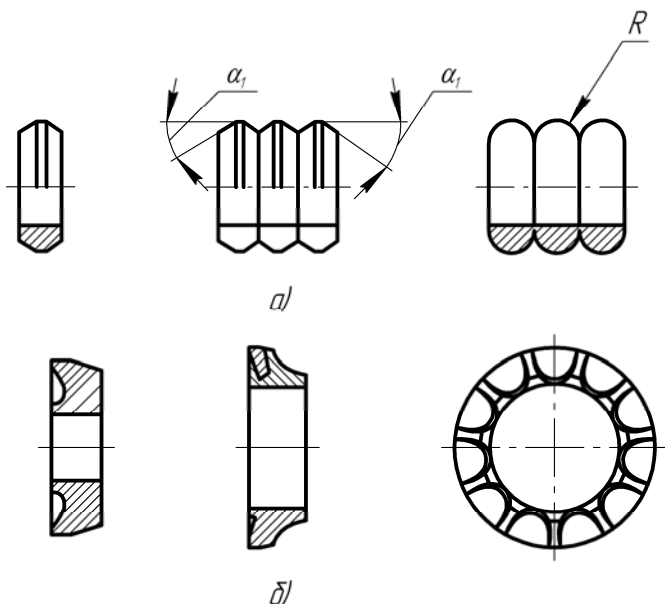


Рис. 6.3. Вигладжувальні та різальні твердосплавні зуби внутрішніх протяжок:
 а – вигладжувачі кільця та блоки;
 б – різальні цільні та напайні твердосплавні кільця

– крихке катастрофічне руйнування одного-двох зубів протяжки призводить до знімання та заміни всієї протяжки;

– знос зубів протяжок нерівномірний, а заміна протяжок проводиться за найбільш вразливим зубом, хоча інші зуби можуть ще довго працювати;

– корпус протяжки повторно не використовується, а відправляється в металобрухт;

– у механічному цеху для переточки протяжок потрібно мати заточне відділення з кваліфікованими заточниками, високоточним обладнанням і високоякісними абразивними кругами та ін.

Кріплення клинами або штифтами з лисками (рис. 6.4, б) забезпечують хороші умови для розміщення стружки в канавці, можливість регулювання по висоті зубів за допомогою підкладок і надійне кріплення пластин. При цьому виключаються внутрішні напруги в пластинах.

Протяжки зі вставними ножами (рис. 6.4, в) забезпечують можливості: роздільного заточування ножів з подальшим точним

складанням; швидкої заміни ножів без зняття протяжки з верстата; кріплення твердосплавних пластин на ножах способами пайки або механічного кріплення; регулювання розмірів зубів по висоті поза верстатом. Однак через необхідність розміщення елементів кріплення трохи збільшуються розміри протяжки.

Для швидкісного протягання жароміцних і титанових сплавів EI787ВД, ВЖЛ14 і ВТ8 застосовують спеціальні конструкції протяжок з напайними пластинами з твердого сплаву ВК8, мають стійкість в 10 – 15 разів вище в порівнянні з швидкорізальними протяжками. При цьому швидкість протягання збільшилася з 2 м/хв до 26 м/хв.

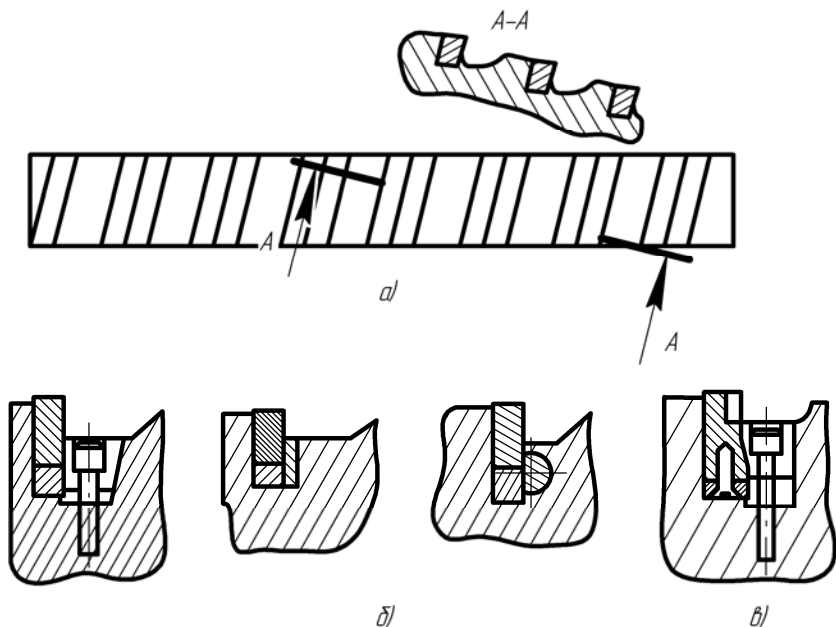


Рис. 6.4. Різальні твердосплавні зуби зовнішніх протяжок:
 а – протяжка з напайними твердосплавними пластинами;
 б – механічне кріплення твердосплавних пластин клином і штифтом;
 в – механічне кріплення ножів з твердосплавними пластинами

Протяжки з ЗБП (рис. 6.5), в порівнянні з напайними, більш надійні та довговічні, забезпечують економію інструментального матеріалу та конструкційної сталі, менше розсіювання стійкості, велику продуктивність (на 15 – 20 %). Вони застосовуються при

менших подачах, але у всіх випадках при більшій швидкості різання, що і забезпечує зростання продуктивності. Можливе підвищення режимів обробки при збереженні якості оброблюваної поверхні за рахунок використання пластин з зносостійким покриттям.

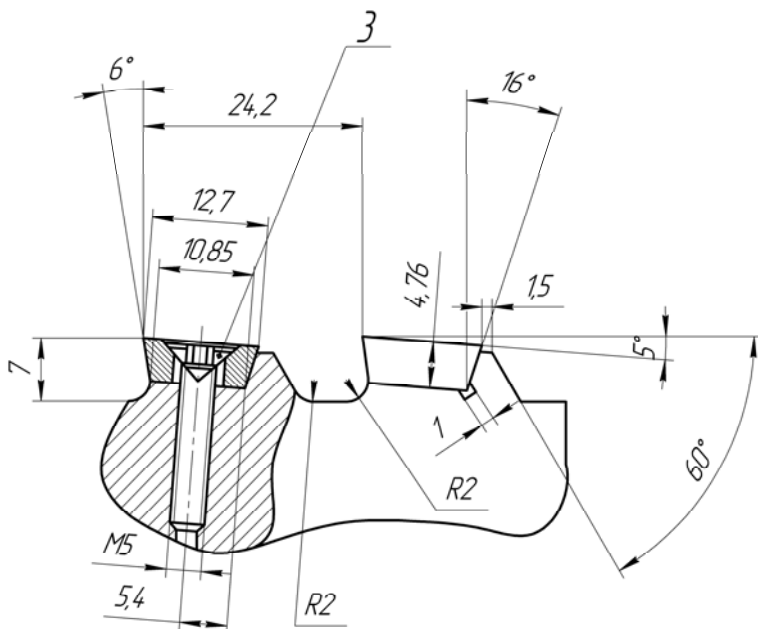


Рис. 6.5. Схема кріплення багатогранної змінної пластини на корпусі протяжки

6.4. Знос протяжек

Допустимий знос зубів внутрішніх протяжек. При типових для протягання толщинах зрізаного шару в межах $a_z = 0,02 \dots 0,15$ мм різальні зуби протяжек зношуються тільки по задніх поверхнях. Уздовж головних різальних лез задні поверхні зношуються рівномірно та знос h_z значно менше зносу h_{zy} в місцях сполучення головних і допоміжних різальних кромки (рис. 6.6). Стійкість протяжек оцінюється по максимальному допустимому лінійному зносу

$h_{з max} = 0,4$ мм незалежно від того, на якому різальному зубі і в якому місці леза знос досяг цього граничного значення. Обмеження граничного допустимого зносу зубів у протяжек визначається допустимими відхиленнями поперечних розмірів зубів протяжек, які дуже малі, а також необхідністю забезпечити в межах заданої точності розмірів двох-трьох повторних переточувань для відновлення різальних властивостей протяжки.

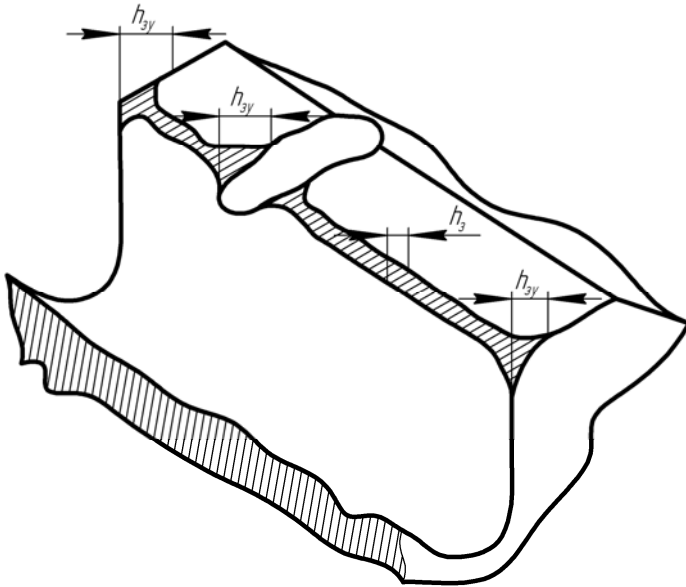


Рис. 6.6. Знос лез зубів протяжек

Протяжки переточують тільки по передній поверхні зубів. За кожне переточування з передньої поверхні зуба сточується шар товщиною близько 0,5 мм.

Допустимий знос зубів у зовнішніх протяжках. У призматичних протяжках, які монтуються на плитах протяжних блоків, допускається максимальний знос по задній поверхні $h_{з max} = 0,6$ мм. Призматичні зовнішні протяжки перетачивають по задніх поверхнях лез і потім зачищають по передніх поверхнях. Вихідні розміри змонтованого протяжного блоку з переточених протяжек забезпечують,

встановлюючи під переточені призматичні протяжки проміжні мірні прокладки.

При низьких і середніх швидкостях різання, коли дифузійні процеси внаслідок низьких температур в зоні контакту (до 500 °C) малоімовірні, причиною зношування передньої і задньої поверхонь інструменту є інтегрально протікаючи процеси абразивного, адгезійного і адгезивно-втомного видів зносу. Це справедливо як для зубів, так і для деформувальних елементів (ДЕ), виготовлених з широкого спектру інструментальних матеріалів, зокрема, твердого сплаву марки ВК15 і швидкорізальних або легованих сталей марок Р6М5 і ХВГ, як типових при виготовленні комбінованих протяжок. Епюра нормальних напружень на передній поверхні різальної частини і робочого конуса деформуючої частини є високоградієнтною, тобто значення контактного тиску можуть відрізнятися уздовж епюри в 2 – 10 разів і досягати значення 4 ГПа. Цим і пояснюється різна ступінь зношування уздовж площі контакту, яка після певного часу роботи протяжки набуває форму поверхні, описуваної плоскими кривими другого порядку типу спіралі, конхоїда, евольвенти, циклоїди. Для зниження градієнта епюри контактного тиску і, підвищення зносостійкості інструменту, його робочим поверхням надають криволінійну форму, яку має епюра тисків при плоскій робочій поверхні. Значно знизити градієнт епюри контактних тисків також можна, використовуючи наростоутворення.

У поверхневому шарі деталей, протягнутих на підвищених швидкостях різання 25 ... 30 м/хв, не виявлені структурно-фазові перетворення і міститься в 2 ... 2,5 рази менше частинок інструментального матеріалу, який зруйнувався при адгезійному зносі протяжок, ніж при обробці на низьких швидкостях 1,5 ... 2 м/хв.

Крихке руйнування зубів твердосплавних протяжок викликано несприятливими умовами в зоні різання в момент виходу зубів протяжки з оброблюваної деталі. Через багаторазове посилення контактних тисків на передній і задній поверхнях зуба протяжки в момент виходу з деталі відбувається контактне адгезійне зварювання кінця стружки з різальною кромкою зуба як по передній, так і по задній поверхнях. В процесі стружковидалення, при повороті стружки відбувається її відрив разом з частинками інструментального матеріалу з передньої і задньої поверхонь, з руйнуванням різальної кромки зуба протяжки. Для запобігання крихкому руйнуванню зубів протяжки розроблений метод підпору вихідного торця деталі чавунної підкладкою оптимальної твердості.

6.5. МІЦНІСТЬ ПРОТЯЖЕК

При протяганні на різних режимах різання має місце в основному крихке руйнування різальних кромek твердосплавних зубів. Поява викришування на різальних зубах протяжек призводить до різкого збільшення подачі на наступному за викришеним зубом і його руйнування. Поступово відбувається лавиноподібне руйнування всіх наступних різальних і чистових зубів протяжек, що викликає погіршення шорсткості протягнутих поверхонь деталей.

Для мінімізації викришування кромek необхідно змінити умови деформування матеріалу крайової зони деталі таким чином, щоб в зубі протяжки не виникали або виникали мінімальні за значенням напруження розтягу. Для цього можна використовувати такі способи: зменшення величини контактних навантажень на робочих поверхнях зуба шляхом зменшення товщини зрізаного шару; зміна геометричної форми крайової зони шляхом створення фасок на торці деталі; установка технологічних упорів на вихідному торці деталі для виключення вигину крайової зони. Наприклад, без використання технологічного упору з чавуну вдалося зробити не більше 40 різів і зуби протяжки викришилися. Установка чавунного упору дозволило зробити 800 різів одним зубом, при цьому спостерігається рівномірне зношення по задній грані.

6.6. ТЕРМООБРОБКА ПРОТЯЖЕК

Для зменшення деформації термообробку довгих протяжек виконують 3 рази: після попередньої обробки різанням, після остаточної обробки різанням і після шліфування.

При термообробці протяжек необхідно дотримуватися таких умов: при всіх операціях протяжки повинні перебувати у вертикальному положенні в підвішеному стані, остаточний нагрів протяжек малої довжини слід проводити в соляній ванні, а довгих – в шахтній печі (при відсутності таких нагрів ведуть в горизонтальній печі на підставках); при охолодженні під час загартування підвішену протяжку слід переміщати вгору і вниз (плоскі протяжки невеликих перерізів для зменшення деформації затискають при охолодженні між охолоджуваними плитами або під пресом); правку після гарту та відпуску необхідно проводити в гарячому стані; правку після

очищення слід проводити при підігріві зварювальним пальником до температури відпуску.

В якості зміцнюючих технологій протяжек використовуються: імпульсна змінно-градієнтна кристалізація; заливка рідкого металу в графітовий кокіль, підігрітий до 300 °С і з подальшим його охолодженням в рідкому азоті; термоцикліруюча обробка (ТЦО); застосування зміцнюючих покриттів; вакуумна термічна обробка, обробка імпульсним магнітним полем (ОІМП), застосування порошкових інструментальних сталей. Дані технології дозволяють управляти макро- і мікроструктурою, міцності та експлуатаційними характеристиками.

6.7. БЕЗПРИЖОГОВА ТЕХНОЛОГІЯ ШЛІФУВАННЯ ПРОТЯЖЕК

Складнолеговані та важкооброблюємі швидкорізальні стали дуже чутливі до термодинамічного впливу. При їх шліфуванні завжди великий ризик появи прижогів на оброблюваних поверхнях і інших структурно-фазових змін в поверхневому шарі різальних лез, що призводить до зниження працездатності протяжек. Це актуально також і для інструменту з зміцнюючими зносостійкими покриттями.

Радикальним технологічним рішенням проблеми високопродуктивного та якісного профільного шліфування фасонного інструменту є застосування шліфувальних кругів з підвищеною різальною здатністю на оптимальних параметрах режиму обробки.

Профілювання протяжек. Механічна обробка протяжек із загартованих швидкорізальних сталей, твердість яких складає 65 HRC і більш, на початковому етапі формування робочої частини проводиться профільним шліфуванням з використанням шліфувальних кругів на основі традиційних абразивів на керамічній зв'язці.

Для бездефектного профілювання протяжки з швидкорізальних сталей використовуються високопористі шліфувальні круги з електрокорунду білого зернистістю 10 ... 16, твердістю M1 ... M2 та з номером структури 12, характеристики яких залежать від вимог до обробки.

Однак найбільший ефект при шліфуванні швидкорізальних сталей підвищеної твердості може бути отриманий при використанні кругів на основі мікросталічного корунду (золь-гель корунду –

сітеркорунду, azures, abral і інші торгові марки). Через особливості своєї будови зерно золь-гель корунду в таких умовах забезпечує більш високу різальну здатність і розмірну стійкість абразивного інструменту. За своїми фізико-механічними властивостями зерно сітеркорунда перевершує електрокорунд білий і наближається до ельбору, а за вартістю суттєво – до 3000 разів дешевше останнього.

Мікрокристалічна будова зерна з розмірами кристала 0,2 ... 0,5 мкм, що в 20 – 50 разів дрібніше, ніж у електрокорунду, забезпечує сітеркорунду до 3-х разів більшу міцність і роботу в режимі помірного самозагострювання шляхом відновлення нових різальних кромки з мінімальним зносом. Стійкість шліфувального круга з сітеркорунда може бути в 10 – 20 разів вище, ніж у звичайних електрокорундових кругів.

Приклад. Формування профілю шліфувальними кругами виконувалося при швидкості шліфування 30 м/с з глибиною різання за прохід 0,002 ... 0,005 мм і швидкістю поздовжньої подачі 12 м/хв. Для охолодження зони шліфування використовувалася емульсія «Укринол», що подається під тиском 6,5 бар з витратою до 20 л/хв. Круг з золь-гель корунду по точності і шорсткості обробленої поверхні забезпечує вимоги креслення та технології. Задана точність профілю протяжки забезпечується точним профілюванням робочої поверхні круга спеціальним алмазним роликком і зберігається в допустимих межах протягом усього циклу шліфування внаслідок підвищеної розмірної стійкості круга на основі золь-гель корунду. У порівнянні з кругами з електрокорунду білого інструмент з мікрокристалічного корунду працює в режимі помірного самозагострювання, що дозволяє скоротити кількість проміжних правок.

Високопористі круги внаслідок свого особливості об'ємно-структурної будови сприяють забезпеченню високопродуктивної і безприжогової обробки робочої частини, що є запорукою забезпечення необхідної стійкості і ресурсу експлуатації різального інструменту. Але електрокорундові круги при профільній обробці довгомірного фасонного інструменту, наприклад, протяжек, не завжди здатні зберігати необхідну геометричну точність по всій довжині профілю. Тому для остаточного формування протяжек рекомендується використовувати шліфувальні круги з більш зносостійких абразивних матеріалів, наприклад, з кубічного нітриду бору (ельбор) на керамічній зв'язці.

6.8. КОМБІНОВАНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПРОТЯЖЕК

Комплексна іонно-плазмова обробка, яка включає в себе послідовне застосування двох технологічних процесів – іонного азотування та подальшого нанесення зносостійких покриттів. Вибір конструкції зносостійкого комплексу залежить від оброблюваного матеріалу. При протяганні жароміцних сплавів типу ЕП609Ш найбільш ефективним видом зміцнення інструменту з порошкової швидкорізальної сталі є нанесення одношарового складнолегованого покриття (NbTiAl)N. Для обробки жароміцних нікелевих сплавів ЕП741НП доцільно використовувати протяжки з комплексним зміцненням, що включає іонне азотування і подальше осадження складнолегованого покриття (NbTiAl)N. Азотований шар має підвищену твердість в поєднанні з високою теплостійкістю та високий опір мікропластичної деформації. Все це сприяє гальмуванню процесів знеміцнення у задній поверхні. Збільшення концентрації азоту в середовищі азот / аргон до 40 % при азотуванні трохи знижує ефективність використання комплексного зміцнення протяжного інструменту при обробці жароміцного нікелевого сплаву ЕП741НП. Підвищений вміст азоту, збільшуючи твердість різального клина протяжки, знижує його міцність і створює «сприятливі» умови для утворення крихких мікротріщин на різальній кромці інструменту, що призводить до його більш інтенсивного зношування.

На етапі припрацювання не спостерігається істотного впливу варіантів зміцнення на інтенсивність зношування. Вплив зміцнюючої обробки проявляється на етапі стабілізації і, більшою мірою, на етапі сталого режиму роботи протяжки.

Оптимальним режимом зміцнюючої обробки протяжного інструменту з порошкової швидкорізальної сталі Р12М3К5Ф2-МП при швидкісному протяганні $V_{np.} = 10$ м/хв пазів в дисках турбіни з жароміцних сталей типу ЕП517, ЕП609, є: іонне очищення і прогрів інструменту до температури 300 °С в режимі двоступеневого вакуумно-дугового розряду (ДВДР); нанесення складнолегованого покриття (NbTiAl)N при температурі 450 – 4800 °С протягом 70 хв.

Оптимальним режимом для зміцнюючої обробки протяжного інструменту, призначеного для роботи з жароміцними сплавами типу ЕП741НП, є: азотування протягом 30 хв при температурі 4800 °С з співвідношенням газів аргон / азот = 70 / 30 % в режимі ДВДР; іонне

очищення в режимі ДВДР 5 – 7 хв; нанесення складнолегованного покриття (NbTiAl)N при температурі 450 – 480 °C протягом 75 хв.

Інструмент зі сталі Р12МЗК5Ф2-МП з іонно-плазмовим зміцненням дозволяє використовувати режими швидкісного протягання при обробці жароміцних сталей типу ЕП609Ш. При протягуванні жароміцних сталей на швидкості $V_{np.} = 17,5$ м/хв підвищується зносостійкість зміцненого інструменту в порівнянні з вихідним (незміцненим) більш ніж в 1,5 рази. При швидкості протягування $V_{np.} = 25$ м/хв при обробці жароміцних сталей застосування інструменту з іонно-плазмовим зміцненням дозволяє знизити величину зносу по задній поверхні до 5 разів у порівнянні з незміцненим інструментом.

При протягуванні жароміцних нікелевих сплавів типу ЕП741НП на швидкості $V_{np.} = 1,5$ м/хв комплексна іонно-плазмова обробка інструменту зі швидкорізальної сталі дозволяє підвищити стійкість в порівнянні з незміцненим інструментом в 2 рази.

Комплексний підхід підвищення зносостійкості протяжок зі сталі Р6М5 профільно-змінної схеми різання, використовуваних при протяганні переривчастих отворів з площинами стику, включає в себе підбір конструктивної геометрії різальної кромки інструменту адаптованої до конкретного техпроцесу, застосування термообробки з ПТВ (попереднім гартом і відпуском) швидкорізальних сталей помірної теплостійкості, а також використання електроіскрового легування для нанесення зносостійкого твердосплавного покриття.

Нанесення за допомогою електроіскрового легування покриття твердого сплаву Т15К6 товщиною 0,020 ... 0,030 мм на задні поверхні калібруючих зубів круглих протяжок збірної конструкції, що працюють за профільно-змінною схемою різання при обробці переривчастих отворів з площинами стику підвищує поверхневу твердість до HRC 89 ... 90 і в комплексі з іншими методами збільшує зносостійкість інструменту в 1,35 ... 1,40 рази.

Регулярний мікрорельєф (РМР), утворений на поверхні інструменту перед нанесенням покриття забезпечує його рівну товщину по всій довжині поверхні і найменшу шорсткість. Певна форма РМР забезпечує в зоні контакту інструмента з оброблюваним матеріалом режим рідинного тертя. Наявність на інструменті РМР знижує шорсткість поверхні та збільшує ступінь її зміцнення за рахунок малоамплітудної циклічної деформації.

Використання деформуючих і деформуючо-різальних протяжок і прошивок з нанесеними на робочі поверхні зносостійких покриттів і РМР в різних поєднаннях дозволяє підвищити якість обробки, а також використовувати в якості матеріалу деформуючих елементів швидкорізальні та інструментальні стали, які раніше не могли бути застосовані через катастрофічний адгезійний знос.

6.9. Застосування МОТС при протяганні

Мастильно-охолоджуючі рідини при протяганні дуже впливають на зусилля протягання, стійкість протяжок, чистоту і точність оброблюваної поверхні. Вибір мастильно-охолоджувальної рідини залежить перш за все від матеріалу оброблюваної деталі, заданої чистоти і розміру оброблюваної поверхні. Витрата рідини в середньому 10 – 12 л/хв.

При протяганні чавунних заготовок застосування водних емульсій, що містять масло і олеїнову кислоту, для поливу зони різання крім зменшення зносу покращує якість оброблених поверхонь і зменшує забруднення цехового приміщення мелкодисперсними частками чавуну, які поширюються в повітряному середовищі при роботі всуху.

Протягання сталевих заготовок завжди ведеться з застосуванням водно-масляних емульсій або масел для змащення і охолодження протяжок та оброблюваних заготовок. Найкращими мастильно-охолоджуючими рідинами при протяганні сталевих виробів є рослинні олії – лляна, конопляна, соняшникова, свиріпова та інші.

При калібруванні отворів обов'язкове застосування мастильно-охолоджувальної рідини.

Для швидкісного протягання загартованої сталі розроблена спеціальна мастильно-охолоджуюча рідина Cut-Max BR30 – що не містить хлор, середньов'язка МОР, розроблена на основі спеціально відібраних очищених масел, змішаних з полярними речовинами, протівозадірними, протизношувальними та змашувальними присадками. Спеціальний комплекс присадок забезпечує більш тривалий термін служби інструменту в порівнянні з продуктами, що містять хлор, при швидкості до 60 м/с. Застосування МОТС при протяганні чавунів швидкорізальними протяжками доцільно тільки в разі, коли вимоги до якості обробленої поверхні є першорядними.

Стабільність протікання процесу деформаційного протягання (відсутність схоплювання між інструментом і оброблюваним матеріалом) забезпечується застосуванням технологічних мастил, підбір яких повинен здійснюватися індивідуально для кожного поєднання інструментального та оброблюваного матеріалів. Твердий сплав ВК15 має найбільш сприятливе поєднанням механічних і триботехнічних властивостей, що забезпечують надійність його застосування в якості матеріалу робочих елементів деформаційних протяжок. При деформаційному протяганні деталей з конструкційних вуглецевих сталей надійну роботу інструмента забезпечує використання рідких технологічних мастил, традиційно застосовуваних у процесах обробки металів тиском (сульфозфрезол, мастила типу МР, на основі індустріального масла). Однак застосування їх при обробці деталей з кольорових металів і сплавів (в тому числі сплавів титану), як правило, неможливо внаслідок схоплювання оброблюваного матеріалу з інструментом. У цих випадках можуть бути застосовані тверді мастила з високою екрануючою здатністю. Наприклад, для деформуючого протягання заготовок з нержавіючих сталей застосовують тверді мастила на основі дисульфиду молібдену, для обробки титанових сплавів – йодистий кадмій. Смазка на основі дисульфиду молібдену при обробці титанових сплавів неефективна – не може забезпечити обробку без схоплювання. Застосування ж йодистого кадмію небажано внаслідок його токсичності. При цьому використання твердих мастил істотно ускладнює технологію обробки, тому що вимагає додаткових операцій по їх нанесенню та видаленню після протягання.

Технологічне мастило на основі полімерних композитів (на основі епоксидіанових смол) без наповнювача, дозволяє виробляти багатоциклове деформуюче протягання титанових деталей при контактних тисках до 1,6 ГПа. Введення до складу мастила наповнювачів дозволило істотно підняти її екрануючі властивості і виробляти багатоциклове деформуюче протягання деталей з титанових сплавів ВТ10 і ВТ22 при контактних тисках до 2,2 ГПа і 3,1 ГПа відповідно.

7. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗУБОРІЗНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

7.1. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАРІЗУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Розвиток зубооброблювальних операцій дозволяє зробити наступні висновки:

- традиційний технологічний ланцюжок «фрезерування стандартної черв'ячної фрезою – шевінгування» дозволяє отримати зубчасті вінці 7 ступеня точності за нормами плавності і 6 ступеня кінематичної точності;

- застосування сучасних черв'ячних фрез зменшеного діаметру дозволяє збільшити точність обробки за нормами плавності на 1 ступінь;

- технологічний ланцюжок «нарізування вінця кругодіагональним протяганням – шевінгування» дозволяє отримувати зубчасті вінці 6 ступеня точності;

- застосування чистового калібрування замість шевінгування дозволяє отримати вінці 6 ступеня точності зі зменшеною шорсткістю робочої поверхні зуба.

Сучасні технології виготовлення прямозубих конічних коліс використовують верстати з ЧПУ і інструмент, який володіє високою стійкістю та забезпечує значні швидкості обробки. За вживаності мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ розрізняють верстати, розраховані на роботу: а) з МОТС; б) без застосування МОТС, що працюють за так званою технологією «сухого» різання; в) в тому і в іншому режимах.

Високошвидкісна суха обробка новими інструментами для зубофрезерування стала можливою завдяки застосуванню теплоізоляційних покриттів, які сприяють відведенню тепла в стружку і не дають проникати йому в матеріал інструменту. А порошкова швидкорізальна сталь одночасно з цим дозволила знімати більший

припуск за один прохід. Це істотно збільшило продуктивність процесу зубофрезерування.

Черв'ячні фрези з твердого сплаву дозволяють обробляти загартовані зубчасті вінці. Для зубчастих коліс загального призначення технологічний процес нарізування зубів може бути прив'язаний до одного верстата з швидкозмінними черв'ячними фрезами.

Високі швидкості обробки і тверде різання з достатньою точністю і якістю неможливі на традиційних верстатах. Це пов'язано з надмірними навантаженнями і вібраціями, що надають вплив не тільки на різальний інструмент і деталь, а й через них на приводи і далі на весь верстат. Для ефективного застосування нових матеріалів потрібні спеціальні верстати (Liebherr, Gleason, Samputensili).

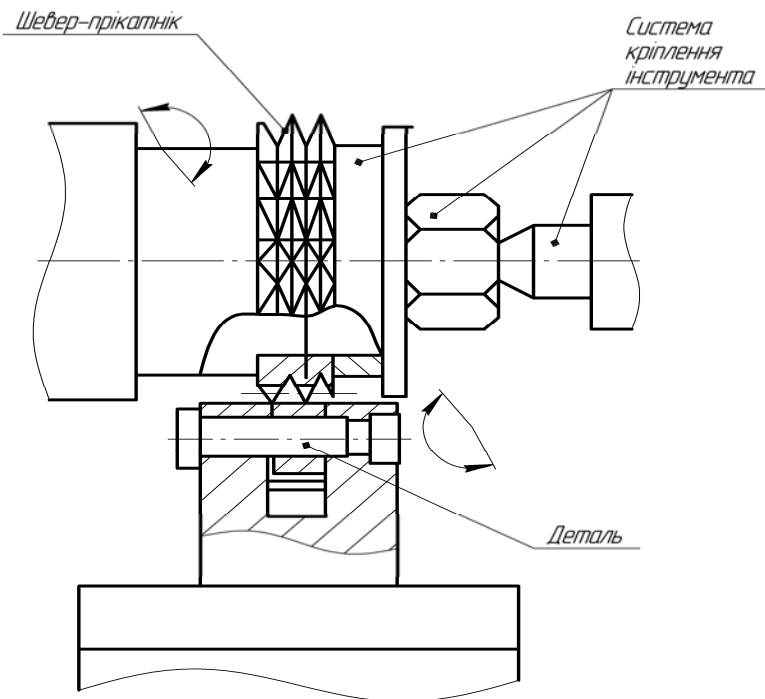


Рис. 7.1. Схема обкатки одним шевер-прікатніком

Комбінований інструмент – шевер-прікатнік є шевер, умовно розділений на дві частини: частина з вертикальними стружковими

канавками на зубах шевера і частина з гладкими зубами. Використовується спеціальний верстат, який використовує силовий обкат одночасно зі схрещеною віссю інструменту і заготовки. Спочатку обробляється зубчастий вінець входить в зачеплення з шеверною частиною інструменту і відбувається його шевінгування, потім вінець переміщається в зачеплення з прікатною частиною і протягом декількох секунд піддається пластичній деформації.

Інша модифікація шевера-прікатника – це інструмент, що поєднує в собі геометрію шевера та накатника (рис. 7.1). В процесі роботи здійснюється зрізання тонких шарів стружки різальними кромками шевера і одночасно з цим вигладжування бічних поверхонь зубів заготовки через профільне проковзування.

Через стискаючі напруги, що утворюються при накоєнні, подальша термічна обробка шестерні є неможливою, тому що існує ймовірність відшарування накатаного і згодом загартованого шару через надмірне посилення стискаючих напруг.

Поєднане з ультразвуковими коливаннями (УЗК) зубофрезерування дрібномодульних коліс забезпечує більш високий рівень обробки поверхонь, які мають підвищену навантажувальну здатність (зменшення шорсткості з одночасним підвищенням точності).

7.2. ГЕОМЕТРІЯ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЗУБООБРОБНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Дискові зуборізні фрези переточують по передній грані. Зуби фрези, як правило, затилованні, мають далеко не оптимальну геометрію різальних кромок, що призводить до зниження режимів різання і стійкості інструменту.

Число зубів у фрез з затилованим зубом через необхідність мати великий припуск на переточування мало, що також негативно позначається на продуктивності і якості обробленої поверхні. Тому даним інструментом нарізаються колеса найнижчого (9-го і 10-го) ступеня точності.

Передній кут у стандартних фрез дорівнює нулю, що погіршує умови різання, але спрощує виготовлення, переточування і контроль профілю зубів фрез.

З метою підвищення продуктивності для попереднього (чорнового) фрезерування коліс великих модулів використовують

фрези зі вставними ножами, часто оснащеними напайними твердосплавними пластинами. В цьому випадку профіль зубів можна брати спрощений – прямобочний або трапецеподібний. Зуби краще виконувати не затилованими, а загостреними з заточкою по передній і задній гранях. Це дає можливість збільшити значення задніх кутів до оптимальних величин, збільшити число зубів, а, отже, підвищити стійкість і продуктивність фрез. Передні кути беруть позитивними до $\gamma = 10 \dots 15^\circ$, що полегшує процес різання. З цією ж метою використовують набори з 2 – 4 фрез, посаджених на одну оправку.

У цьому випадку кожна фреза видаляє певну частину металу із западини між зубами колеса. Після проходження набору фрез колесо повертається на один зуб за допомогою ділильного пристрою. Таким чином попереднє нарізування зубів проводиться методом бесцентроїдного огибання з розподілом припуску між фрезами в наборі. Остаточно профіль западини формується чистовою фрезою, припуск на яку завдяки такій схемі різання знижується. Це сприяє підвищенню точності нарізованих коліс та стійкості фрез.

Істотними недоліками пальцевих фрез є низька продуктивність і мала точність нарізованих коліс.

Черв'ячні зуборізні фрези. Основні напрямки вдосконалення конструкцій фрез:

- економія інструментальних матеріалів за рахунок застосування збірних конструкцій і використання більш ефективних з них;

- зміна схем різання та профілю різальних кромок;

- створення фрез з незатилованими зубами, що мають в той же час сприятливу геометрію різальних кромок.

Черв'ячні фрези дуже складні у виготовленні й дорого коштують, застосування нових інструментальних матеріалів, таких як швидкорізальні сталі з підвищеним вмістом кобальту і ванадію, тверді сплави і композити, дає значний економічний ефект за рахунок збільшення швидкості різання і стійкості інструменту.

У стандартних фрез активно використовується 15 ... 20 % довжини різальних крайок по периметру, а найбільший об'єм зрізаного металу доводиться на вершинні різальні кромки, особливо тих зубів, які першими вступають в різання. Ці зуби швидше зношуються і роблять визначальний вплив на період стійкості інструменту. Цей недолік прагнуть змінити застосуванням черв'ячних фрез з збірними конусом, а також фрез з диференційованими схемами різання. Фрези з збірним конусом більш ефективні при діагональному

методі фрезерування, коли супорт з фрезою одночасно переміщається в двох напрямках: вздовж осі фрези і уздовж осі колеса. При цьому значно збільшується число огинають різців і знижується шорсткість оброблених поверхонь зубів колеса і найголовніше – зуби фрези зношуються рівномірно по всій її довжині.

При одночасній роботі вершинної та бічних різальних кромки зуба фрези зрізуваний шар має складну форму, що призводить до підвищення ступеня його деформації, температури різання і інтенсивності зносу інструменту. Для створення більш сприятливих умов різання на всіх різальних кромках розміри зубів змінюють по висоті і ширині через один зуб, як показано на рис. 7.2. В результаті зрізуються більш товсті та короткі стружки окремо вершинними і бічними різальними кромками. Стійкість таких фрез істотно зростає.

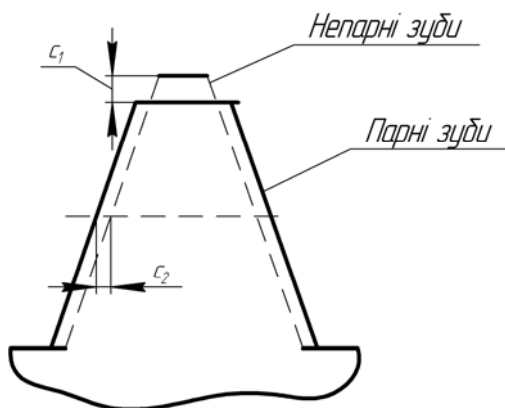


Рис. 7.2. Оптимальная схема резания при зубофрезеровании

Черв'ячні фрези з затилованими зубами хоча і отримали найбільше застосування, однак мають ряд недоліків, що знижують їх стійкість: операція затилування складна і трудомістка, вимагає виготовлення спеціальних кулачків і інструменту, залишає сліди удару на різальних зубах; задні кути на бічних різальних кромках малі, що знижує стійкість фрез. Тому з'явилося багато варіантів конструкцій збірних фрез з вставними і поворотними рейками, у яких процес затилування замінений шліфуванням по колу і по гвинтовим бічним поверхнях.

У масовому виробництві крупномодульних коліс використовують різні конструкції фрез зі зменшеним кутом профілю

до 15° при куті зачеплення 20° , які забезпечують більш високу продуктивність і стійкість за рахунок перерозподілу навантаження між різальними кромками зубів фрези і збільшення числа профілюючих різальних кромок. Так як при цьому знижується шорсткість поверхні, їх можна робити багатозаходними.

Шевери зазвичай виготовляються з швидкорізальних сталей марок Р6М5, Р6М5К5, Р18. Для обробки коліс з твердістю 35...48 HRC₂ і вище шевери оснащують твердосплавними пластинами. Іноді застосовують покриття зубів шевера композитами з кубічного нітриду бору.

Інструменти для нарізування конічних коліс з криволінійними зубами. Найбільше застосування отримали зуборізні головки. За конструкцією вони представляють собою насадні торцеві фрези, які здійснюють крім обертання рух подачі уздовж своєї осі. Корпус зуборізної головки виготовляють з конструкційної сталі, а потім піддають гарту та шліфовці. Різці виготовляють з швидкорізальної сталі.

Для чорнового нарізування зубів застосовують зуборізні головки дво- і тристороннього різання. Це найбільш трудомістка операція, так як вона протікає в умовах роботи з ударами, при знятті великих припусків (до 80 % видаляється матеріалу) і, відповідно, з великими навантаженнями. Через низьку стійкості різців збільшуються витрати на зміну, заточку інструменту і налагодження верстатів. Тому на чорнових операціях зазвичай зайнято в 2 – 3 рази більше верстатів, ніж на чистових операціях.

Конструкції зуборізних головок і методи зубонарізування конічних коліс постійно удосконалюються в наступних напрямках: підвищення жорсткості корпусів і способів кріплення різців у голівці та кріплення головки на верстаті; зміна схеми різання; застосування верстатів для нарізування зубів з безперервною обкаткою; підвищення стійкості інструменту за рахунок заміни затилованих різців загостреними; створення головок з різцями, оснащеними твердим сплавом забезпечує підвищення продуктивності в 2 – 2,5 рази, зменшення числа головок, їх налагоджень, різців, підкладок та інших змінних деталей; зміна в необхідних випадках конструкції і параметрів коліс і зуборізних інструментів.

Зуби стандартних фрез працюють у важких умовах невірного різання, зрізуючи Г- або П-подібні шари, робота зубів відбувається в несприятливих умовах через малість задніх кутів на бічних різальних

кромках, що обумовлено міркуваннями збереження профілю зуба при якомога більшій кількості переточувань. Тому характерною тенденцією вдосконалення черв'ячних фрез є застосування конструкцій зі схемами різання, що забезпечують роздільне стружкоутворення.

Максимальний знос мають задні поверхні в куточках вихідної різальної кромки, що пов'язано з гальмуванням вільного сходу стружки і взаємодією стружок, що знімаються вершинної і двома бічними кромками.

По-друге, низька стійкість черв'ячних фрез пов'язана з тим, що робота бічних кромок різальних зубів відбувається в несприятливих умовах різання через малість задніх кутів. Збільшення їх не представляється можливим з міркувань забезпечення умов багаторазової переточки зношених черв'ячних фрез, затіланих по спіралі Архімеда.

При зміні схеми різання зі стандартної на прогресивну зменшуються напруги при усадці стружки, яка зрізується бічними кромками, змінюється напрямок сходу стружки, що веде до підвищення стійкості в 2-3 рази. У той же час є ряд недоліків, характерних для прогресивної схеми різання: по-перше, це підвищений знос висотних зубів; по-друге, збільшення огранки зубів що нарізуються за рахунок двократного зменшення числа профілюючих зубів; по-третє, що не вирішуються проблеми збільшення задніх кутів на бічних різальних кромках.

Проблема збільшення задніх кутів на бічних різальних кромках може бути вирішена з використанням конструкцій непереточуваних черв'ячних фрез.

Черв'ячно-модульні фрези, при всіх своїх перевагах, мають істотний недолік – низьку стійкість і нерівномірним зносом зубів як по витку, так і за профілем. В результаті, найбільш зношеними виявляються 1 – 2 зуба на витку фрези, які і визначають ступінь зносу інструменту в цілому. В результаті, при переточуванні фрези більше 80 % дорогого інструментального матеріалу сточується даремно, так як переточуванню піддаються не тільки зношені зуби, але і всі інші, на яких знос ледь проглядається. Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення стійкості і продуктивності інструменту з точки зору застосування модифікованих схем різання є застосування фрез зі стружкорозділюючими елементами у вигляді взаємоперекриваючихся фасок.

Застосування твердих сплавів замість швидкорізальних сталей дозволяє підвищити продуктивність обробки в 3 – 6 разів при швидкості різання 100 – 300 м/хв.

Застосування збірних ЧМФ забезпечує значне підвищення ефективності операції зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс при використанні збірних черв'ячних фрез з поворотними зубчастими рейками.

Застосування многозаходних ЧМФ. Практика використання таких фрез дозволяє знизити основний час зубофрезерування в 2 – 3 рази і підвищити стійкість інструменту в 3,5 – 5 разів.

Особливу групу черв'ячних фрез із спеціальним напрямком стружкових канавок складають чорнові фрези з крутим підйомом стружкових канавок, фрези з канавками подвійного напрямку і великими кутами підйому, двосекційні фрези з канавками лівого і правого спрямування.

Забезпечення плавності зубофрезерування можливо за рахунок застосування фрез, що працюють за методом косого різання. Загальним недоліком в роботі цих фрез є відмінність в умовах стружкоутворення лівих і правих бічних сторін зубів, що призводить до значних осьових навантажень в шпіндельному вузлі верстата. Використання осьових канавок полегшує виготовлення фрез, підвищує рівномірність фрезерування і точність обробки.

Підвищення стійкості інструменту можна досягти також вибором оптимальної геометрії різальної частини. Ряд дослідників пропонують призначати передні кути до 15° , а задні кути – від 9° до 15° . В результаті такої геометрії зусилля різання знижуються на 30 – 40 %, а подачу можна збільшити на 40 – 50 %.

7.3. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБОРІЗНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Одним з найбільш значущих нововведень в області матеріалів зубообробки є створення, і застосування порошкової швидкорізальної сталі для виготовлення інструменту, головним чином черв'ячних фрез. Звичайна швидкорізальна сталь має в якості основи залізо і вуглець, але легується до 30 % ванадієм, вольфрамом, хромом, молібденом, кобальтом і деякими іншими, що були додані в певній пропорції. Однак при отриманні сталі традиційними способами виникають структурні дефекти, головні з яких – нерівномірність розподілу легуючих елементів в об'ємі сталі, в тому числі їх карбідів. В результаті цього виникає неоднорідність металургійних характеристик сталі, зайва твердість і крихкість в окремих зонах,

погана оброблюваність, високий рівень деформацій при термічній обробці.

У порошкових швидкорізальних сталях карбіди мають малий розмір і дуже добре розподілені по всій масі матеріалу. До того ж при такому способі виробництва легше контролювати вміст легуючих речовин і збільшувати вміст деяких з них, покращуючи різальну здатність сталі. Також порошкова швидкорізальна сталь має дрібнозернисту структуру, відсутність домішок і високу однорідність по всьому об'єму заготовки.

Черв'ячні фрези, виготовлені з твердого сплаву, мають достатню твердість, щоб обробляти вже термооброблені заготовки. Однак, з огляду на те що матеріал інструменту порошковий, їм можливо обробляти заготовки тільки «всуху» без застосування МОР. Це пов'язано з тим, що охолоджуюча рідина різко знижує температуру зуба інструмента після виходу із зони різання. У зв'язку з цим відбувається термошок і існує небезпека викришування твердих карбідів і вимивання кобальту з сплаву. Також від перепадів температур можливо розкришення і порошкової швидкорізальної сталі.

7.4. ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗУБООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Найбільш поширеним на сьогоднішній день зносостійким покриттям для черв'ячних фрез є нітрид титану TiN. Висока твердість покриття забезпечує опірність, як абразивному зносу, так і лунковому зносу. В результаті стає можливим збільшення режимів обробки, при цьому знос інструменту залишається на тому ж рівні, що у інструментів без покриття. В результаті нанесення покриття TiN можна збільшити стійкість черв'ячної фрези в 2 – 12 разів.

Оскільки робоча температура цього покриття не перевищує 600 °C, швидкість різання може бути збільшена в певних межах. Обмеження по робочій температурі зумовлює використання інструментів з покриттям TiN тільки із застосуванням МОР.

Традиційне покриття карбонітриду титану TiCN відрізняє від покриття TiN більш висока твердість. Висока твердість (обумовлена наявністю вуглецю в кристалічній решітці) в поєднанні з низьким коефіцієнтом тертя визначає широку область застосування даного покриття як в якості твердого покриття на інструмент. При

використанні інструментів з покриттям TiCN обов'язково застосовується МОР (через низьку температурну стійкість покриття). Покриття часто наноситься у вигляді багат шарового або градієнтного з поступовим збільшенням вмісту вуглецю до поверхні.

Частка покриттів (Ti, Al)N в загальному обсязі зносостійких покриттів останні роки постійно збільшується. Перевага цих покриттів у високій стійкості до окислення при дуже високій твердості і низькій теплопровідності. Покриття (Ti, Al)N створює тепловий бар'єр, практично ізолюючий інструментальний матеріал від впливу тепла, що утворюється при різанні. Відбувається перерозподіл теплових потоків, і велика частина тепла йде в стружку. Крім того, на відміну від інших видів покриття, зі збільшенням температури різання на поверхні цього покриття утворюється плівка оксиду алюмінію, що має більш низький коефіцієнт тертя. В результаті знижуються зусилля при обробці. Як наслідок, областю застосування інструментів з покриттям (Ti, Al)N є обробка з великими термічними навантаженнями на інструмент. До таких операцій належить високопродуктивна обробка, коли підвищення режимів різання призводить до збільшення температури в зоні контакту між заготовкою і інструментом, і обробка без застосування МОР.

Покриття AlCrN, яке не містить титану, вже знайшло широке поширення, насамперед саме для черв'ячних фрез. Більш висока зносостійкість покриття забезпечує збільшення стійкості і скорочення витрат на інструмент. У порівнянні з розглянутими вище видами покриття, покриття AlCrN характеризується стійкістю до окислення при температурах до 1100 °C, зберігаючи при цих температурах високу хімічну стабільність. Це покриття може бути нанесено на черв'ячні фрези як з порошкової швидкорізальної сталі, так і з твердого сплаву. У порівнянні з покриттями TiAlN у цьому випадку забезпечується зростання стійкості (в деяких випадках дворазове).

Покриття nAlCrO за хімічним складом збігається з покриттям AlCrN, але має нанокомпозитну структуру. Нанокомпозитна структура являє собою нанокристалічні зерна матеріалу покриття, прониклі в аморфну матрицю.

В результаті при більш високій твердості це покриття одночасно є і більш еластичним, хоча зазвичай ці два параметри є взаємно виключаючі. Збільшення твердості і зниження коефіцієнта тертя сприятливо позначається на стійкості інструментів з нанокомпозитним покриттям.

Можливі комбінації інструментального матеріалу і покриттів для черв'ячних фрез. На звичайну швидкорізальну сталь наносять, як правило, покриття TiN, TiCN та TiAlN. Покриття TiN застосовується для обробки різних матеріалів із застосуванням МОР на швидкостях різання, що не перевищують 100 м/хв. Покриття TiCN також вимагає обов'язкового використання МОР і застосовується для обробки матеріалів високої твердості. Фрези зі звичайної швидкорізальної сталі досить рідко застосовуються для сухої обробки. Якщо все ж така комбінація має місце, то на фрезу наносять покриття TiAlN. Швидкості різання в цьому випадку не перевищують 110 м/хв, що визначається властивостями швидкорізальної сталі. На порошкову швидкорізальну сталь можуть наноситися всі розглянуті вище види зносостійких покриттів.

Будь-яке з цих покриттів може бути застосоване в разі обробки із застосуванням МОР. Швидкості різання в цьому випадку можуть бути збільшені до 130 м/хв. Черв'ячні фрези з покриттями, що містять алюміній, застосовуються також для сухої обробки (без МОР). Швидкості різання в цьому випадку можуть бути збільшені до 180 м/хв. Відзначимо, що на фрези для сухої обробки в процесі відновлення різальних властивостей після переточування обов'язково наноситься нове покриття для запобігання виникненню лункового зносу. Рішення про повторне нанесення покриття на черв'ячні фрези, що працюють з МОР, приймається в залежності від умов їх експлуатації. Вибір покриття на твердий сплав також залежить від того, передбачається чи застосування МОР на даній операції. Покриття AlCrN може бути застосоване в усіх випадках. Покриття TiN не застосовується. Покриття TiCN застосовується тільки для обробки з МОР. Покриття TiAlN на твердому сплаві застосовується у вигляді одношарового покриття для сухого різання.

Покриття може наноситися на нові черв'ячні фрези і відновлюватися після переточування. Різними в цьому випадку є перші, підготовчі, операції. Після виготовлення нової черв'ячної фрези вона надходить на ділянку підготовки перед нанесенням покриття. Основною операцією на цьому етапі є струменева обробка спеціально підібраним абразивом. Метою цієї обробки є видалення задирок, що утворилися на кромках фрези після шліфування зубів по передній поверхні, і очищення задніх поверхонь зубів для кращої зчіплюваності покриття з інструментальним матеріалом. Операція проводиться на спеціальних автоматизованих струменевих установках. Після струменевої обробки черв'ячні фрези, як правило, потрапляють безпосередньо на операцію нанесення покриття. В окремих випадках

вони можуть проходити через спеціалізовану мийку, однак, при нормальній струменевій обробці це не потрібно (в цьому полягає основна відмінність нанесення покриттів на черв'ячні фрези від нанесення покриттів на більшість інших інструментів, коли мийка є обов'язковим етапом). Черв'ячні фрези завантажуються в камеру нанесення покриття у вертикальному положенні на поворотні стійки. Після завершення циклу нанесення покриття здійснюється контроль покриття. Оскільки контролювати саму фрезу досить важко через її складну форму, в камеру нанесення покриття поміщається невеликий зразок (свідок) з того ж інструментального матеріалу, що і черв'ячна фреза. На зразок наноситься таке ж покриття, як і на фрезу і на ньому воно і контролюється.

Технологія нанесення зносостійкого покриття в процесі відновлення різальних властивостей інструменту відрізняється від розглянутої вище технології нанесення покриття на нові фрези тільки підготовчими операціями. Спочатку треба вирішити, чи буде відновлюватися зносостійке покриття. У деяких випадках покриття не наноситься заново, фрези просто переточують по передній поверхні і з них знімаються задирки. Це відбувається в тому випадку, коли фреза працює на низьких швидкостях різання і не потрібно обов'язкової наявності покриття на передній поверхні для захисту від лункового зносу. В цьому випадку переточування фрези здійснюється «по покриттю», що знижує стійкість шліфувальних кругів. Якщо необхідно відновити зносостійке покриття і на задній і на передній поверхнях інструменту, то першою операцією є видалення старого покриття. Покриття видаляються хімічним способом (розчиняються) в спеціально підібраних розчинах і умови видалення покриття дуже сильно розрізняються залежно від виду покриття та технології його нанесення. Наприклад, для видалення хромового покриття потрібно електролітичний процес. Особливо обережно треба видаляти покриття з твердого сплаву, так як при неправильно підбраному хімічному складі розчину або недотриманні технології з поверхневого шару твердого сплаву «вимивається» кобальт, що призводить до зменшення в'язкості твердого сплаву. Після видалення покриття черв'ячні фрези проходять операцію струменевого очищення і надходять на заточку. Заточена червячна фреза повинна обов'язково пройти процедуру струменевої обробки для видалення задирок і підготовки поверхні під подальше нанесення покриття. З цього моменту процес нанесення покриття на відновлювані фрези повністю збігається з процесом покриття нових фрез, розглянутим вище.

Крім правильного вибору зносостійкого покриття так само має значення його товщина. Покриття товщиною більше 6 мкм може привести до спотворення профілю. Для чистових операцій краще наносити покриття товщиною близько 3 мкм. Покриття товщиною 6 мкм на фрезі з заднім кутом 3° допускає теоретичний знос різальних кромek 0,14 мм. При збільшенні зносу відбувається прорив покриття і видна основа.

7.5. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЗУБООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Причинами підвищеного зносу висотних зубів черв'ячної фрези з прогресивною схемою різання є: 1) Профільюючі зуби працюють в кращих умовах, ніж висотні. Незважаючи на те, що вони знімають П-подібні шари (мається на увазі зуби перших двох витків, найбільш навантажених), стружка по периметру має майже однакову товщину, або на вершинній кромці стружка тонше. Таким чином, відхилення стружки в сторону вихідній кромки незначно, зуби працюють при відносно невисоких деформаціях зрізаних шарів, незважаючи на те, що їх бічні кромки знімають більш товсті шари в порівнянні зі стандартними фрезами. 2) Висотні зуби зрізають Г-подібні шари, причому стружка на вершинній кромці має значно більшу товщину в порівнянні зі стружкою на вхідній бічній кромці. Отже, на останній будуть відносно великі деформації зсуву і, можливо, зминання, що і призводить до більшого, ніж на профільних зубах, зносу.

Величини корекції зубів повинні бути більше або рівними максимальної товщини відповідних зрізаних шарів. Тому слід більш диференційовано поставитися до призначення параметрів цих величин, і тим самим створити більш сприятливі умови різання, що позитивно позначиться на стійкості черв'ячних фрез.

Приклад. Середня стійкість зубів с заднім кутом на вершинній кромці 15° склала 850 хвилин, що в 3,54 рази вище стійкості зуба стандартної черв'ячної фрези між переточуваннями при тих же режимах різання. Стійкість зуба з заднім кутом на вершинній кромці 18° – 930 хвилин (в 3,86 рази вище стійкості стандартної фрези). С заднім кутом на вершинній кромці 20° – 890 хвилин (в 3,71 рази вище стійкості стандартної фрези).

При зносі довбача понад 0,3 мм по вершинах задніх поверхонь зуба довбача точність зубчастих коліс з модулями 0,75 ... 2 мм стає нижче 8-го ступеня точності (ГОСТ 1643-81). Іноді рекомендується закругляти вершини зуба довбача на максимально допустиму величину. Заокруглення радіусом в 0,5 мм підвищує стійкість інструменту на 30 %. У інструментів працюючих з приведенню конструктивною подачею – східчастих довбачів, найбільше зношується вхідне різальне лезо чорнової ступені – найбільш навантажене. Крім того, зі збільшенням кругової подачі величина зносу вихідного різального леза чистової ступені залишається незмінною, а у чорнової ступені – дещо збільшується.

При зубообрбці за класичною схемою найбільш поширений тип U-подіного сходу стружки (рис. 7.3, а), при якому вхідна 1 і вершина 2 різальні кромки зрізують ширші стружки, ніж вихідна різальна кромка 3.

Виникнення локального зносу на вихідний різальний кромці інструменту пояснюється видавлюванням тонких стружок, зрізаних вихідною різальною кромкою зуба, широкими стружками в зазорі між бічною стороною інструменту та оброблюваною поверхнею, де вони стираються на ділянці стику вершинної і вихідної різальних кромки. В результаті утворюється лунка локального зносу по передній поверхні.

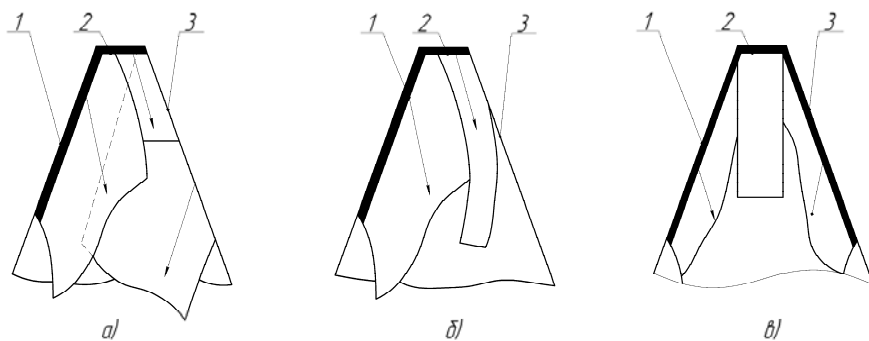


Рис. 7.3. Схема сходу стружок при зубоструганні

Для зменшення швидкості виникнення локального зносу на вихідний різальний кромці використовують ряд технологічних прийомів:

1. зміна напрямку руху обкатки перед обробкою чергової деталі. В цьому випадку локальний знос утворюється симетрично на

вхідний і вихідний різальних кромках, однак інтенсивність його розвитку сповільнюється приблизно в 2 рази;

2. модифікація схеми різання, яка забезпечує зрізання замість U-подібної більш простої L-подібної стружки (рис. 7.3, б). В цьому випадку L-подібна стружка сходиться безперешкодно і не викликає великих деформацій на границі між цими кромками;

3. створення умов різання, при яких товщина стружки, що зрізується вхідний і вихідний різальними кромками, буде однакою (рис. 7.3, в). В цьому випадку стружки, що мають однакову товщину, викликають рівну взаємну деформацію і сходяться в стику між вершинною та бічними різальними кромками в однакових умовах. Внаслідок взаємної деформації передня поверхня різального інструменту піддається рівномірним силовим і тепловим навантаженням. Утворення зони локалізованого зносу зсувається в часі і відбувається її перерозподіл на обидві бічні різальні кромки.

Знос зубостругальних різців по периметру різального леза неоднаковий. Найбільший знос має задня поверхня ділянки вихідної різальної кромки чистової ступені.

Стійкість інструментів з паралельною схемою різання збільшується в порівнянні зі звичайними різцями в 1,2 – 1,5 рази. Стійкість інструментів з розподіленою схемою різання збільшується в порівнянні зі звичайними різцями в 1,6 – 2 рази. Це пояснюється тим, що при роботі різця з диференційованими схемами створюються сприятливі умови різання, що впливають на лімітуючу по стійкості чистову щабель різця, який при паралельній схемі різання має однакову товщину зрізаних шарів металу уздовж різальних лез, що обумовлено конструкцією інструмента. Деформація зрізаного в процесі шару зменшується, і знос по бічним різальним лезам вирівнюється. При розподільній схемі різання геометрія шарів металу, зрізаних вершинним лезом чорнкової ступені і бічними різальними лезами чистової ступені, значно спрощується, що і зумовлює збільшення стійкості інструменту в цьому випадку.

Встановлено:

- продуктивність процесу зубостругання прямокутних конічних коліс при використанні інструменту з диференційованими схемами різання підвищується в 1,5 – 1,8 рази при збереженні точностних параметрів за рахунок збільшення подачі та скорочення числа проходів;

- використання різців з диференційованими схемами різання відкритого типу дозволяє підвищити точність оброблюваних коліс на

одну ступінь при збереженні продуктивності процесу за рахунок зниження амплітуди сили різання і більш рівномірного розподілу навантаження по східцях інструменту. Закритий тип різців знижує кінематичну точність на 15 % порівняно з відкритим.

Фізична картина зносу зубообробного інструменту. Знос зубообробного інструменту описують залежністю величини зносу від машинного часу (крива А на рис. 7.4), яка одержується при постійних, незмінних умовах різання. Початковий інтенсивний знос, який відповідає періоду припрацьовування, пояснюється формуванням оптимальної геометрії, і стану поверхневого шару різальної частини зубообробного інструменту (радіус округлення різальної кромки і вершин зубообробного інструменту, шорсткості, мікротвердість і залишкові напруги різальної частини зубообробного інструменту), характерних для даних умов обробки (оброблюємих матеріал, матеріал різальної частини інструменту, режими різання, стабілізація сил різання, МОР, жорсткість технологічної системи). У цей період відбувається інтенсивний молекулярний знос, і руйнування виступів шорсткості робочої частини зубообробного інструменту на ділянках найбільших тисків. Це призводить до зміни геометрії і мікрогеометрії різальної ділянки зубообробного інструменту, що сприяє поступовому вирівнюванню робочих тисків в зоні різання і рівномірності зносу різних ділянок різального клина (рис. 7.5).

Стан поверхневого шару робочих ділянок вершин, різальних кромок, задніх і передньої поверхні зубообробного інструменту також зазнають змін, набуваючи поступово так званий «рівноважний стан». Все це призводить до поступового переходу до нормального зносу зубообробного інструменту, якому відповідала би сформована оптимальна геометрія та стан поверхневого шару різальної частини інструменту для даних умов обробки. Причому цей перехід буває плавним і часто важко строго розмежувати ділянку припрацьовування та нормального зносу. Поступове накопичення втоми в поверхневому шарі матеріалу різальної частини зубообробного інструменту призводить до його руйнування, тобто до початку катастрофічного зносу.

Однак, ця фізична картина періодичності зносу властива для зубообробного інструменту, що працює при постійних незмінних умовах обробки (серійне, великосерійне виробництво зубчастих рейкових передач).

При дрібносерійному і індивідуальному виробництві інструмент, як правило, працює при змінних умовах обробки (оброблюваний

матеріал, режими різання). Це призводить до того, що їхня робоча частина повинна постійно пристосовуватися до нових умов обробки. Розмірний знос зубообробного інструменту для даного випадку можна описати кривою *Б* (рис. 7.4). Причому в залежності від кількості деталей в партії знос зубообробного інструменту може і не вийти з періоду припрацювання (рис. 7.4, ділянка 1, кривої *Б*), так як зміна умови обробки приведе до нового періоду припрацювання (рис. 7.4, ділянка 2, кривої *Б*).

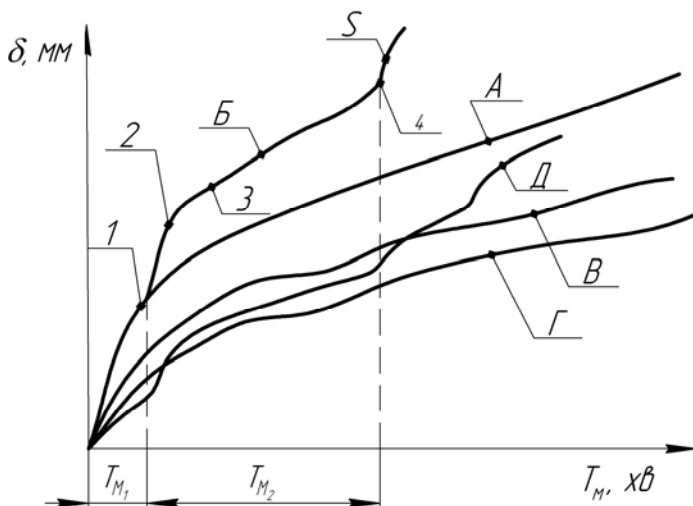


Рис. 7.4. Криві зносу різальної частини зуборізних дискових фрез по задній поверхні при зустрічному фрезеруванні: *А* – для незмінних умов різання; *Б* – для звичайних фрез при змінних умовах різання; *В* – для незмінних умов різання при оптимальній геометрії фрез; *Г* – для постійних умов роботи фрез при оптимальній геометрії з нанесеним зносостійким покриттям; *Д* – для фрез з швидким припрацюванням при змінних умовах різання;
 $T_{м1}$ – період припрацювання; $T_{м2}$ – період нормального зносу

Математичний опис інтенсивності зносу зубообробного інструменту розраховується за формулою:

$$I_h = \frac{\chi}{n \lambda} \cdot \sqrt{\frac{h}{\rho}} \cdot \frac{A_r}{A},$$

де n – число циклів впливу, яке призводить до руйнування матеріалу. Поверхневі залишкові напруги призводять до відповідної зміни даного числа циклів. Ця зміна враховується за допомогою коефіцієнта, який визначається з рівності; λ – параметр, що розраховується за формулою:

$$\lambda = \left(\frac{\sigma_{\sigma} - \sigma_r}{\sigma_a} \right)^{t_y},$$

де σ_{σ} – тимчасовий опір розриву; σ_r – межа плинності; σ_a – діюча величина амплітудної напруги в робочому шарі; t_y – параметр фрикційної втоми матеріалу різальної частини зубообробного інструменту при пружному контакті:

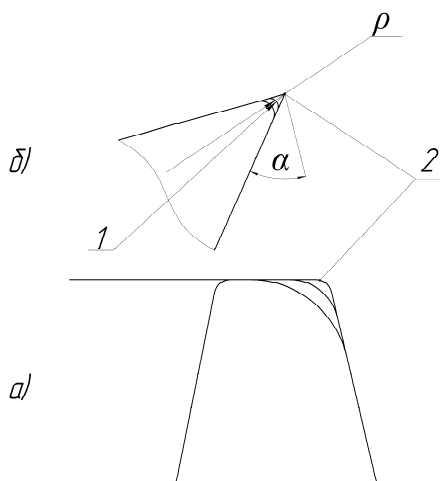


Рис. 7.5. Знос вершин профільної частини дискових зуборізних фрез:
 а – формування радіуса при вершині; б – формування радіуса округлення
 різальної кромки. 1 – період припрацювання; 2 – період нормального зносу;
 ρ – радіус округлення різального леза інструменту; α – задній кут фрези

$$\chi = \frac{1}{2(\nu + 1)} \cdot \sqrt{\frac{\nu}{2 \alpha_k}},$$

де α_k – коефіцієнт, що враховує відміну площі перерізу виступів на рівні ρ від величини фактичної площі контакту на тому ж рівні. Відповідно до теорії контактної взаємодії $\alpha_k = 1$; ν – параметр опорної кривої профілю шорсткості вершин зубообробного інструменту ($\nu = 2$).

Враховуючи значний контактний тиск при фрезеруванні, можна приймати, що фактична площа контакту інструменту з оброблюваної заготовкою дорівнює номінальній площі, т е $A_p = A$, і, отже, $A_p = A = 1$. З цих же міркувань $h = R_z$. При фрезеруванні, для розрахунку інтенсивності зносу, як локального виступу шорсткості можна приймати радіус округлення різальної кромки зубообробного інструменту.

При досить великому машинному часі обробки нової партії деталей T_{m2} , знос зубообробного інструменту перейде до нормального (рис. 7.4, ділянка 3, кривої B). Однак зміна умов обробки (виготовлення нової партії деталей) призведе до нового періоду припрацювання (рис. 7.4, ділянка 4, кривої B) і т.д. Природно, що змінні умови роботи зубообробного інструменту призводять до прискорення катастрофічного зносу (рис. 7.4, ділянка 5, кривої B) і до зниження якості оброблюваної поверхні.

Для зубообробних інструментів, що працюють при певних, незмінних умовах, на стадії їх виготовлення, необхідно забезпечити оптимальну геометрію і стан поверхневого шару його робочої частини. Так, оптимальні значення радіуса округлення різальної кромки зубообробного інструменту з різних матеріалів в залежності від оброблюваного матеріалу зубчастих виробів наведені в табл. 7.1.

Забезпечення оптимального значення цього радіуса здійснюється технологією заточування зубообробного інструменту і доведення різальної кромки. Оптимальний стан поверхневого шару робочих ділянок зубообробного інструменту визначається їх матеріалом і досягається технологією заточування та термообробки.

Вдаються також до нанесення різних зносостійких покриттів для твердосплавних пластинок і для інструментів, виготовлених з швидкорізальних сталей, шляхом насичення дисульфідом молібдену термодифузійним способом з подальшою обробкою в рідкому азоті.

Таблиця 7.1

**Оптимальний радіус округлення різальної кромки ρ
PI при обробці різних матеріалів зубчастих рейок і коліс**

Оброблюваний матеріал	Матеріал різального леза зубообробного інструмента	Оптимальний радіус округлення, ρ , мкм
Сталь 45	P6M5	10
Сталь 40X	P6M5	8
Сталь АЦ40Х	P6M5	10
Сталь 45	BK8	55
Сталь 40X	BK8M	50
Сталь АЦ40Х	BK8	55
Чугун СЧ18	BK8	60

**7.6. ЗАСТОСУВАННЯ СУХОГО ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО
ОХОЛОДЖЕННЯ (СЕО) ПРИ НАРІЗАННІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

Сухе різання є альтернативою обробці з використанням мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) внаслідок високої екологічності та економічної ефективності. Охолодження зони різання іонізованим повітрям є одним з найбільш перспективних напрямків технології металообробки без МОР.

При зубодовбанні на інструмент впливає висока термічні та механічні навантаження. Основна маса металу зрізається вершиною і вхідною бічною стороною профілю зуба довбача, при цьому вершина зуба знімає найбільш товсті зрізи. Максимальна товщина зрізу знімається в момент входу вершинної кромки в заготовку. В результаті виникає знос різальних кромки інструмента. Механізм зносу залежить від способу радіальної подачі. При ступінчастій радіальній подачі переважає знос задньої поверхні різального інструменту. Для методу зі спіральною радіальною подачею характерне утворення лунки зносу на передній поверхні довбача. Саме при сухій обробці завдяки лунці зносу досягається максимальна точність виготовлення, так як різальна кромка залишається стабільною до моменту розлому фаски перед лункою, якість виробу залишається постійною.

Приклад. Обробку заготовок зі сталі 12ХН2 шириною 25 та 50 мм здійснювали при радіальній подачі 0,03 мм/дв.ход довбача, на швидкості різання 40 м/хв, на заготовці нарізати 52 зуба на верстаті 5А140. Інструмент – довбач по ГОСТ 10059-80 зі сталі Р6М5. Критерій затуплення інструменту – знос по задній поверхні 0,2 мм. Обробка велася насухо і з використанням іонізованого середовища.

При використанні СЕО на операціях зубодовбання (рис. 7.6) сопло-іонізатор кріпиться нерухомо з боку задньої поверхні. Відстань від торця сопла до інструменту 5 ... 10 мм. Режим роботи установки СЕО: тиском повітря – 0,4 Мпа; діаметр сопла – 4 мм; виліт голки – 0,8 мм.

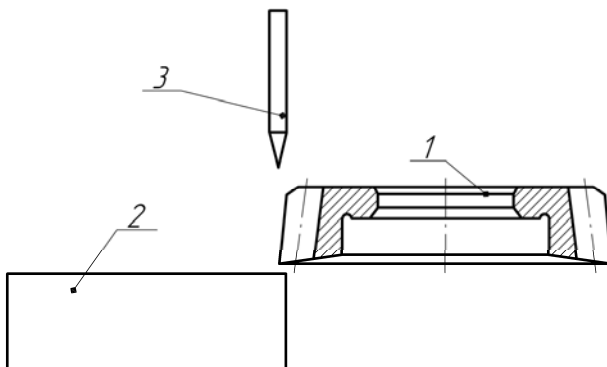


Рис. 7.6. Налагодження СЕО при зубодовбанні:
1 – довбач; 2 – заготовка; 3 – сопло

Найбільше підвищення стійкості (42 %) спостерігається при обробці заготовки шириною 25 мм. У меншій мірі (25 %) ефект СЕО виражений при обробці заготовки з шириною вінця 50 мм. Це пояснюється тим, що сопло знаходиться далі від зони різання і ефект від електростатичного охолодження слабшає. Крім відмінності величин стійкості при обробці насухо і з використанням СЕО відрізняється характер зносу довбача.

При обробці без охолодження найбільша величина зносу спостерігається на ребрах перерізу вершинної і бічної задніх поверхонь. На вихідний бічний стороні максимальний знос виникає біля вершини зуба, тобто на ділянці різального леза, що знімає зрізи, товщина яких наближається до нуля. Знос на передній поверхні виражається лункою в безпосередній близькості від різальної кромки. При використанні СЕО лунка зносу на передній поверхні менше і

знаходиться далі від різальної кромки. Таким чином, знижується можливість руйнування фаски перед лункою зносу і виходу з ладу різального інструменту.

Пояснити відмінності зносу інструменту при обробці насухо і з СЕО можна при розгляді контактних процесів взаємодії довбача та заготовки. Ділянки бічного леза вихідного боку, що примикають до вершини зуба, які найбільш зношені при обробці всуху, знімають надзвичайно тонкі зрізи і часто йде не процес різання, а процес ППД. Відповідно, значний вплив на знос інструменту надає характер тертя між довбачем і заготовкою. При використанні СЕО відбувається знеміцнення найбільш м'якого матеріалу пари тертя, крім цього використання СЕО призводить до утворення окисних плівок на поверхнях заготовки та інструменту і як наслідок зниження коефіцієнта тертя і в результаті зниження зносу різального інструменту.

8. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТЬ РІЗЬБОНАРІЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ

8.1. КРИТЕРІЇ ЗНОШУВАННЯ РІЗЬБООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Основним «нормальним» зносом є знос по задній поверхні, що характеризується шириною зношеної площадки h_z і поширюється на куточки зубів h_y . Значення допустимого зносу визначається придатністю нарізування різьби. Зазвичай допускається знос інструменту тільки до певного, оптимального значення, при якому забезпечується максимальний термін його служби з урахуванням повторних заточек. Крім «нормального» зносу може мати місце «катастрофічний» знос, коли відбуваються викришування різальних зубів і поломка інструменту (раптова відмова). Крім зносу причиною виходу різьбонарізного інструменту з ладу може бути налипання оброблюваного матеріалу на передній поверхні або між різальними зубами.

Основною причиною зносу різьбонарізного інструменту є викришування витків різьби внаслідок втомного руйнування металу інструментів в зоні дії змінних сил, що виникають при накопленні. Іноді знос супроводжується деформацією (зминанням) витків. Зношування починається з мікровикришувань на вершині витка, збільшуються у міру експлуатації, внаслідок чого зменшується висота профілю. При цьому збільшується шорсткість поверхні різьби і змінюється її діаметр.

Знос витків безстружкових мітчиків спочатку проявляється в появі та збільшенні радіусів заокруглення на вершині та бічних сторонах профілю, що призводить в подальшому до зменшення зовнішнього діаметра d і втрати заданого розміру.

8.2. ЗАСТОСУВАННЯ МОТС ПРИ НАРІЗАННІ РІЗЬБИ

При нарізуванні різьб застосовують масляні мастильно-охолоджуючі рідини (МОР), водні емульсії, синтетичні МОР і іноді пластичні мастильні матеріали. Масляні рідини більш ефективні в якості мастильного матеріалу, так як вони зменшують кількість теплоти, що утворюється при різанні металу, а водні емульсії краще відводять вже теплоту, яка утворилась і діють, головним чином, як охолоджуючі засоби. При накоєнні зовнішньої і внутрішньої різьби краще застосовувати масляні рідини.

Застосування МОТС забезпечує підвищення стійкості різьбоутворюючого інструменту і покращує якість різьби. Для автоматичних ліній, агрегатних верстатів та іншого багато інструментального обладнання застосовують, як правило, універсальні МОТС з властивостями, що задовольняють умовам роботи більшості інструментів і не завжди оптимальними для різьбооброблювального інструменту. У подібних випадках, якщо можливо, передбачають автономну подачу МОР на операції різьбообробки.

При різьбообробці МОР найчастіше подається шляхом поливу в зону різання вільно падаючими струменями. У деяких випадках, наприклад при нарізанні різьби в важкооброблюваних матеріалах, МОР подають під тиском через канали в інструменті (мітчики), що покращує умови змащення, забезпечує відведення теплоти, видалення стружки, підвищує стійкість інструменту. При нарізуванні мітчиками рекомендується тиск напірного струменя 1,0 – 1,5 МПа, норма подачі МОР 5 – 10 л/хв. Для підведення МОР до обертових інструментів застосовують спеціальні патрони або муфти. Мітчик має канали, що підводять МОР або в торець, або в стружкові канавки.

На автоматичних лініях, агрегатних верстатах, верстатах з ЧПУ іноді виконують подачу МОР розпиленням у вигляді повітряно-рідинних аерозолів. При цьому потрібна витяжна вентиляція, що обмежує сферу застосування цього способу.

Пластичні мастильні матеріали, що застосовуються при накоєнні внутрішньої різьби, наносяться, як правило, пензликами або тампонами періодично, після обробки певного числа заготовок.

Нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби в заготовках з сірих чавунів, бронзи, латуні і накоєння на заготовках з кольорових сплавів можливо без застосування СОТС.

8.3. Захисні покриття резьбонарізного інструменту

При резьбонарізанні заклинювання і схоплювання інструменту призводять до появи практично невилправного браку – дефектів різьби (задирки, велика шорсткість, викришування). Покриття для резьбонарізного інструменту повинні мати достатню міцність зчеплення з основним матеріалом і підвищені антифрикційні властивості (низький коефіцієнт тертя, мінімальна тривалість припрацювання, мінімальне тепловиділення при терті). Використовують наступні види покриттів: нано-покриття; з багатофазною структурою різного типу; зі змінним по товщині складом; з шаруватою структурою; із застосуванням твердорозчинного зміцнення; з аморфно-кристалічною або аморфною будовою.

Покриття на контактних площадках інструменту полегшує процес пластичної деформації при нарізанні різьби і зменшує частку деформаційних та силових навантажень, зумовленої «стисненістю» процесу різання. Середні контактні навантаження монотонно зменшуються від першого проходу нарізного різця до останнього в середньому на 10 – 20 % при генераторній і на 20 – 30 % при профільній схемах різання, що пов'язано зі збільшенням площі зрізаного шару при підвищенні кількості проходів різця.

Як теплофізичні властивості покриття, так і зміна умов контактної взаємодії на передній поверхні інструменту може привести до перерозподілу теплових потоків між заготовкою, інструментом і стружкою. Частка теплоти, що надходить в різець, буде зменшуватися, а в стружку – зростати.

Верхній шар багатошарового покриття повинен сприяти максимальному зниженню напруги в різальному клині для підвищення його формостійкості та мати високі залишкові стискаючі напруги для забезпечення в покритті в процесі різання високих нормальних стискаючих напружень, що знижують інтенсивність процесу утворення тріщин, а нижній шар повинен забезпечити високу міцність зчеплення покриття з основою.

Як верхній шар багатошарового покриття рекомендуються трьохелементні нітрідні покриття TiAlCrN , TiCrAlN і TiCrZrN . Дані покриття мають високий рівень стискаючих залишкових напруг, сприяючих формуванню в них в процесі різання високих нормальних стискаючих напруг, і забезпечують найкращий тепловий і напружений стан різального клина інструмента. У якості нижнього шару

багатшарового покриття рекомендуються двоелементний покриття TiAlN і TiCrN , які забезпечують більш високу міцність адгезії (мають найменший коефіцієнт відшарування K_0), в порівнянні з трьохелементним покриттями.

Архітектури багатшарових покриттів для токарних відрізних і різьбових різців представлені на рис. 8.1. В якості таких покриттів застосовують такі системи: TiCrN-TiCrZrN , TiCrN-TiCrAlN і TiZrN-TiZrAlN .

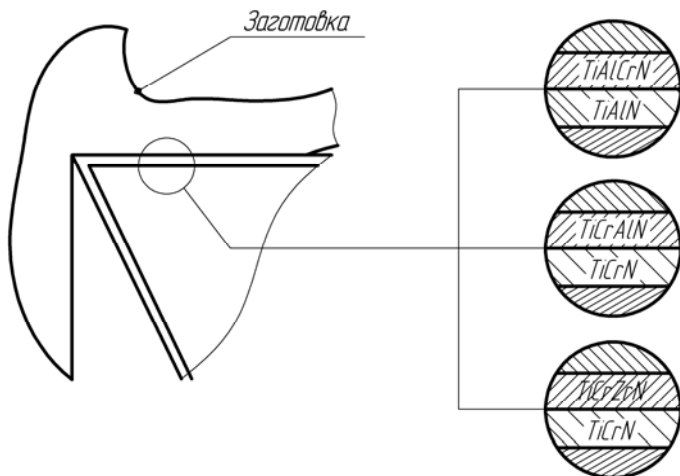


Рис. 8.1. Архітектури багатшарових покриттів для токарних відрізних і різьбових різців

На інтенсивність зношування різьбових різців впливає товщина верхнього шару TiCrZrN . Зміна інтенсивності зношування нарізного різця від товщини верхнього шару носить екстремальний характер (рис. 8.2, 8.3). Зі збільшенням товщини шару TiCrZrN інтенсивність зношування зменшується, досягає мінімуму і при подальшому зростанні товщини верхнього шару зростає. Мінімальну інтенсивність зношування різального інструменту забезпечує багатшарове покриття загальною товщиною 7 мкм і товщиною верхнього шару, що дорівнює 50 – 65 % від його загальної товщини.

При нарізуванні різьби (рис. 8.4) на заготовках з сталі 38ХГН застосування багатшарового покриття TiCrN-TiCrAlN підвищує період стійкості в залежності від режиму різання в 2,4 – 3,8 рази, а багатшарового покриття TiCrN-TiCrZrN – в 3,7 – 4,6 рази в порівнянні

з нарізним різцем без покриття, а в порівнянні з різцями з покриттям TiN – в 2,5 – 3,0 рази.

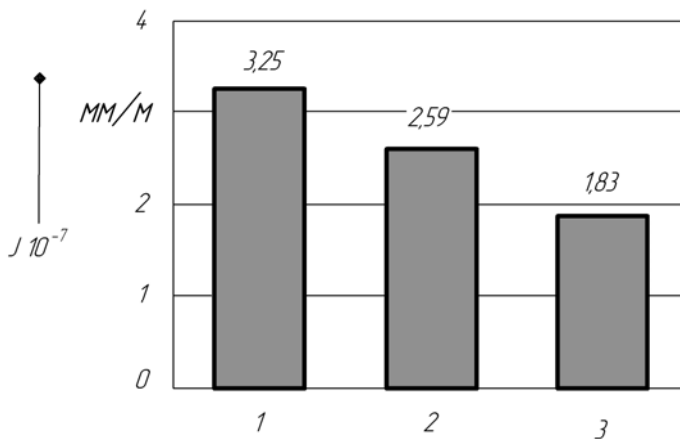


Рис. 8.2. Вплив загальної товщини багатoshарового покриття TiCrN-TiCrZrN на інтенсивність зношування нарізного різця: загальна товщина покриття – 5 мкм (1), 6 мкм (2), 7 мкм (3)

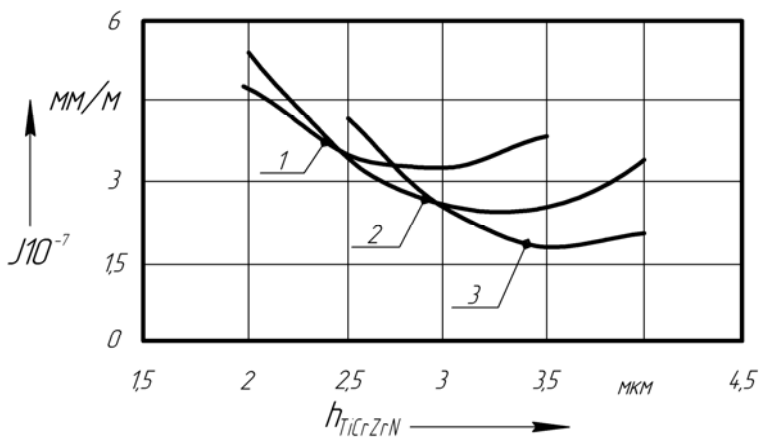


Рис. 8.3. Вплив конструкції покриття на інтенсивність зношування нарізного різця при нарізуванні різьби на заготовках з сталі 38ХГН: загальна товщина покриття – 5 мкм (1), 6 мкм (2), 7 мкм (3)

При нарізанні різьби на заготовках з сталі 12Х18Н10Т ефективність багат шарових покриттів нижче. Застосування багат шарових покриттів TiCrN-TiCrAlN і TiCrN-TiCrZrN підвищує період стійкості різбових різців в 1,8 – 2,0 рази в порівнянні з інструментом без покриття і в 1,3 – 1,5 рази в порівнянні з покриттям TiN. Як і у випадку з обробкою заготовок зі сталі 38ХГН найбільш ефективним є покриття TiCrN-TiCrZrN. При нарізанні різьблення застосування багат шарових покриттів підвищило період стійкості різбових різців в 1,67 – 1,74 рази в порівнянні з різцями з покриттям TiN і в 3,5 – 4,0 рази, в порівнянні з нарізним різцем без покриття.

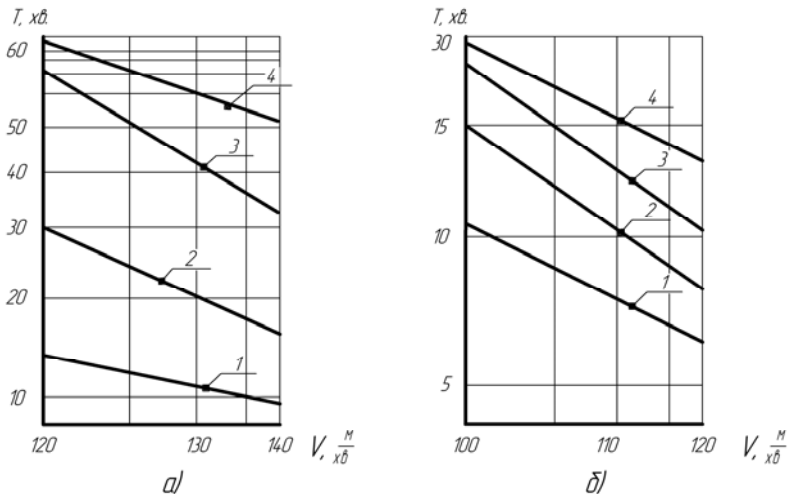


Рис. 8.4. Вплив швидкості різання V на період T стійкості пластин Н13А при нарізанні різьби на заготовках з сталі 38ХГН (а) та 12Х18Н10Т (б):
1 – покриття; 2 – TiN; 3 – TiCrN-TiCrAlN; 4 – TiCrN-TiCrZrN

Фінішним плазмовим зміцненням отримують нанокompозитні багат шарові покриття з аморфно-кристалічною гетерогенною структурою системи Si-O-C-N товщиною 1 мкм, що має мінімальний коефіцієнт тертя, який більш ніж в 5 разів менше коефіцієнта тертя покриття Ti-Al-N і матеріалу основи. Залежно від матеріалу оброблюваної заготовки стійкість мітчиків зі сталі Р6М5 підвищується в 2,2 – 10 разів.

8.4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВИХ РІЗЦІВ І ГРЕБІНОК

8.4.1. Вплив геометрії та конструктивних особливостей різців

Характеристика основних методів нарізування різьби різцями приведена в табл. 8.1.

Таблицю 8.1

Характеристика методів нарізуванні різьби різцями

Радіальне врізання	Врізання вздовж однієї зі сторін профілю різьби	Врізання вздовж однієї зі сторін профілю різьби з боковим зміщенням	Врізання з почерговим бічним зміщенням
Переваги			
Простота використання. (Стандартний цикл для різьбонарізування) Широке застосування. (Проста зміна режимів різання.) Рівномірний знос правої та лівої сторін різальної кромки.	Відносно легке використання. (Полустандартний цикл для різьбонарізування.) Знижується сила різання. Придатний для різьбонарізування великого кроку або легкооброблюваних матеріалів. Гарне відведення стружки.	Запобігає бічному зносу по правій стороні різальної кромки. Знижується сила різання. Придатний для різьбонарізування великого кроку або легкооброблюваних матеріалів. Гарне відведення стружки.	Рівномірний бічний знос правої та лівої сторін різальної кромки. Знижується сила різання. Придатний для різьбонарізування великого кроку або легкооброблюваних матеріалів.
Недоліки			
Важке стружкоутворення. Схильність до вібрації на останніх стадіях різання. Неефективний для різьбонарізування великих кроків. Велике навантаження на радіус при вершині.	Значний бічний знос по правій стороні різальної кромки. Відносно утруднена зміна глибини різання. (Складне програмування).	Складне програмування обробки. Утруднена зміна глибини різання.	Складне програмування обробки. Утруднена зміна глибини різання. Важке стружкоутворення.

Для збільшення терміну служби інструменту та уникнення пошкоджень радіуса при вершині рекомендується застосування методу скоригованого бічного врізання. Для отримання рівномірного бічного зносу на обох сторонах різальної кромки рекомендується метод радіального врізання. Для запобігання ямкового зносу рекомендується метод бічного врізання.

У деяких конструкціях гребінок наскрізні отвори для подачі МОР і стружколоми направляють МОР під високим тиском (до 210 бар) точно на різальні кромки, оптимізуючи стружкоутворення та ефективність видалення стружки і збільшуючи термін служби інструменту.

8.4.2. Застосування ЗБП для нарізування різьби

При нарізуванні різьби на загартованих заготовках рекомендується використовувати твердосплавні пластинки з зміцнюючим покриттям. Змінні багатогранні переточувані пластинки (ЗБНП) випускаються для нарізування різних типів різьби з повним і неповним профілем.

Керамічні пластинки мають значно більшу червоностійкість і твердість, ніж твердосплавні металокерамічні, однак мають меншу пластичність і згинальну міцність, тобто вони більш крихкі. Збільшення нормативного терміну експлуатації ЗБП можна досягти повторним використанням ЗБП на інших операціях, що допускають велику величину зносу, наприклад, получістових, або при обробці більш жорстких деталей і т.п.

Другий напрямок передбачає переточування затуплених ЗБП по передній поверхні навіть при наявності на них зносостійких покриттів. Правомочність такого рішення обґрунтовується тим, що при чистовому точінні переважному зносу піддається задня поверхня. При такому переточуванні на передній поверхні необхідно сформувати уступ, який буде виконувати функції віддалених стружкоформуючих елементів ЗБП.

Замість 2-х різців можна використовувати один комбінований з 2-ма вершинами. Це дозволить скоротити допоміжний час, пов'язаний із заміною чорнового різця на чистовий, що вельми важливо при невисоких швидкостях холостих ходів.

8.4.3. Наплавлення різьбових різців

Похибки базування та нещільне прилягання пластин до корпусу при паянні призводять до недостатньої міцності з'єднання, та зниження стійкості і передчасного виходу з ладу інструменту. Недостатня міцність з'єднання дозволяє при переточуваннях використовувати близько 50 % довжини пластини. Використання напавленої різальної частини, міцність з'єднання якої з корпусом різця вище, дає можливість переточувати інструмент по всій довжині різальної частини. Різець після напавлення піддається однократному відпуску при $t = 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом однієї години. За запасом технологічної міцності для виготовлення корпусу рекомендується сталь 30ХГСА.

Охолоджувальні формуючі пластини, виготовлені з міді, забезпечують високу якість поверхні напавленого металу та мають тривалий термін служби (до тисячі циклів напавлення). Після напавлення та механічної обробки заготовки піддавали зміцненню ударним поверхнево-пластичним деформуванням в процесі охолодження при виконанні відпуску. При виготовленні різця із застосуванням технології напавлення скорочується витрата швидкорізальної сталі, більш ніж в три рази. Стійкість напавленого інструменту вище нормативної на 25 ... 30 %.

8.5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МІТЧИКІВ

8.5.1. Вплив геометрії та конструктивних особливостей митчиків

Умови різання при знятті стружки митчиком дуже важкі через невелике різання, великі сили різання та тертя, а також ускладнені умови видалення стружки. Крім того, митчики мають знижену міцність через ослаблений поперечний переріз. Особливо негативно це позначається при нарізанні різби в в'язких матеріалах митчиками малих діаметрів, які часто виходять з ладу через поломки, викликаних пакетуванням стружки.

Перевагами митчиків є: простота і технологічність конструкції; можливість нарізування різби за рахунок самоподачі; висока точність різби, яка визначається точністю виготовлення митчиків.

Різальна частина мітчика і визначає точність різьби і його стійкість. Забірна (різальна) частина мітчика виконує основну роботу різання та повинна бути якомога коротше, так як при цьому знижується машинний час, зменшуються питома сила різання і навантаження на інструмент в зв'язку зі збільшенням товщини зрізу, сила тертя і защемлення стружки, а також небезпека поломки мітчика, зменшується крутний момент.

Калібруюча частина мітчика служить для зачистки поверхонь різьби, додання їй правильної геометричної форми і остаточних розмірів, а також для направлення мітчика в процесі формування різьби забірною частиною. Для зменшення розбивки і тертя між мітчиком і отвором різьби калібруюча частина має зворотну конусність (0,05 ... 0,10 мм на 100 мм довжини робочої частини). Розбивка буде тим менше, ніж коротше калібруюча частина, менше ширина пір'їв і їх кількість.

Геометричні параметри зубів різальної частини мітчика показані на рис. 8.5. Передній кут γ у зубів мітчика – це кут між дотичною до передньої поверхні та радіусом, проведеним в точку різальної кромки, через який проходить основна площина.

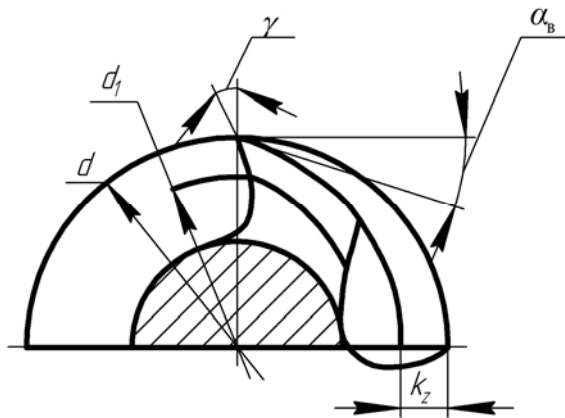


Рис. 8.5. Геометричні параметри різальних зубів мітчика

З огляду на важкі умови роботи мітчика, передній кут, як правило, беруть позитивним. Для обробки сталей середньої твердості рекомендується брати кут $\gamma = 12 \dots 15^\circ$, для крихких матеріалів (чавун,

бронза, латунь), а також для твердої сталі $\gamma = 0 \dots 5^\circ$, для кольорових металів і сплавів $\gamma = 16 \dots 25^\circ$.

Задній кут α_g на головних вершинних кромках – це кут між вектором швидкості різання, через який проходить площина різання, і дотичний до задньої поверхні. Він створюється шляхом затилування вершинних різальних кромки зубів по Архімедовій спіралі. Рекомендується брати $\alpha_g = 6 \dots 12^\circ$ (менше значення приймається для ручних мітчиків). На бічних різальних кромках при генераторній схемі різання задні кути відсутні, так як товщина зрізаних шарів невелика.

Форма стружкових канавок і пір'їв мітчика дуже впливає на його працездатність. Об'єм канавок повинен бути достатнім для розміщення стружки, особливо при нарізанні різьби в глухих отворах. Форма канавки повинна сприяти більш якісному формуванню та відведенню стружки із зони різання.

Незважаючи на простоту конструкцій мітчиків, в практиці знайшли застосування різні варіанти їх виконання стосовно до вирішення конкретних завдань виробництва (рис. 8.6).

При нарізуванні різьби в в'язких сталях і важкооброблюваних матеріалах звичайні мітчики часто ламаються і не дають чистої різьби. Процес різання супроводжується великими силами тертя між витками інструменту і деталі, пресуванням стружки і защемленням мітчика в отворі. Мітчики з шаховим розташуванням зубів (рис. 8.6, б) рекомендується використовувати для нарізування різьб в таких матеріалах, так як вони виключають заклинювання витків інструменту в процесі різання внаслідок зменшення сил тертя. При цьому зрізання зубів мітчика здійснюється зазвичай тільки на його калібруючій частині. При обробці маломіцних в'язких матеріалів зуби зрізаються як на $1/3$ довжини забірної частини, так і по всій її довжині. Ефект зменшення сил тертя тим вище, чим більше крок різьби.

Безканавкові мітчики (рис. 8.6, в) мають велику міцність, забезпечують кращу якість різьби, полегшують умови різання та відведення стружки вперед, більш повне використання матеріалу з-за багаторазового подовження канавки після сточування пера по ширині. Бажана область застосування безканавкових мітчиків – для обробки легких сплавів, кольорових металів, в'язкої сталі, нержавіючої сталі та чавуну. Мітчики мають короткі канавки змінної глибини з кутом нахилу дна канавки до осі $\psi = 5 \dots 10^\circ$ і осьовим кутом $\lambda = 9 \dots 12^\circ$.

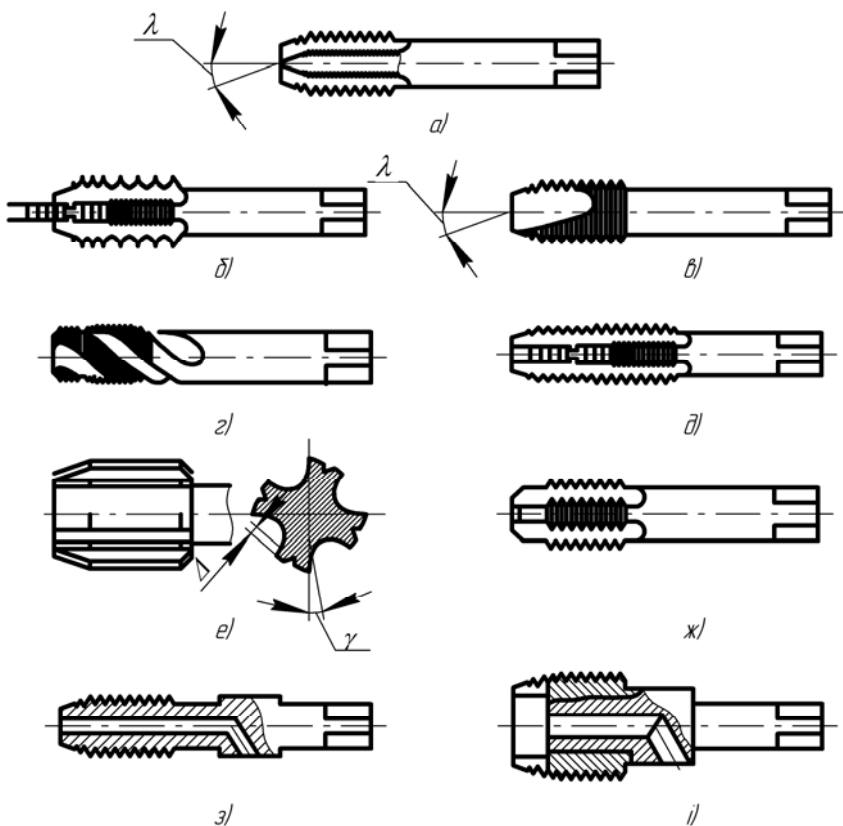


Рис. 8.6. Конструкції деяких типів мітчиків:

- а – слюсарний (ручний); б – з шаховим розташуванням зубів;
- в – безканавковий; г – з гвинтовими канавками;
- д – ступінчастий; е – з різально-вигладжуючими зубами;
- ж – з направляючою частиною; з – з внутрішнім підведенням МОР;
- і – дзвонового типу

У порівнянні зі звичайними мітчиками ці мітчики із-за великого поперечного перерізу більш міцні. Довжина канавок приблизно дорівнює подвоєній довжині забірного конуса. Щоб уникнути підвищеного моменту тертя через відсутність канавок на більшій довжині незатілованій калібруючій частині роблять велику зворотну конусність по зовнішньому діаметру (до 0,2 мм на 100 мм довжини). Такі мітчики рекомендується застосовувати для нарізування резьби

діаметром до 10 мм в наскрізних отворах. Вони забезпечують також високу точність і низьку шорсткість поверхні різьби.

Мітчики з гвинтовою канавкою (рис. 8.6, г) застосовують для обробки високоміцних і в'язких матеріалів. Така конструкція забезпечує краще відведення стружки при нарізуванні циліндричних різьб в отворах з переривчастою поверхнею, в довгих глухих отворах. Гвинтові стружкові канавки зменшують осьові сили, забезпечують кращий доступ МОР і без зменшення міцності підвищують фактичні передні кути.

Ступінчасті мітчики (рис. 8.6, д) мають подвійну різальну частину і дозволяють реалізувати в одному мітчику будь-яку комбінацію схем різання. Наприклад, перша частина, що має заниження за профілем, може обробляти різьби за генераторною схемою, а друга – за профільною. При цьому можна нарізати високоточні різьби. Ця конструкція зручна і для таких комбінованих схем, в яких одна частина виконує різання, а друга – вигладжування різьби.

Мітчики з різально-вигладжуючими зубами (рис. 8.6, е) мають пір'я з різальними та відучими ділянками. Канавки, що розділяють різальні та відучі частини мітчика, служать для підведення МОР і виходу абразивного круга при шліфуванні профілю різьби.

Мітчики з направляючими частинами (рис. 8.6, ж) застосовуються для обробки деталей з точним взаємним розташуванням поверхонь декількох отворів. У мітчиків для наскрізних отворів напрямна частина розташовується попереду різальної частини, а для глухих – після калібруючої частини. Направна частина, розташована після калібруючої, має збільшений діаметр і вимагає застосування кондукторної втулки.

Мітчики з внутрішнім підведенням МОР (рис. 8.6, з) мають стійкість в 3 ... 4 рази вище через кращі умови охолодження, змащення та відвід стружки, але вимагають спеціальних пристроїв для підведення МОР.

Мітчики дзвонового типу (рис. 8.6, і) застосовують при нарізанні різьби в наскрізних отворах великих діаметрів $d = 50 \dots 400$ мм у важкому машинобудуванні. Вони виконуються цільними або складовими. В останньому випадку робоча частина мітчика насадна, яка складається з різальної та калібруючої частин. Внутрішня порожнина мітчика забезпечує підведення МОР і має великий простір для розміщення стружки. Число пір'їв у таких мітчиків доходить до 16.

Мітчик-протяжка (рис. 8.7) дозволяє нарізати в наскрізних отворах різьби будь-яких профілів і довжини, з будь-яким числом заходів. Мітчик-протяжка в порівнянні зі звичайними мітчиками і різьбовими різцями забезпечує підвищення продуктивності в кілька разів при високій точності і низькою шорсткості різьби.

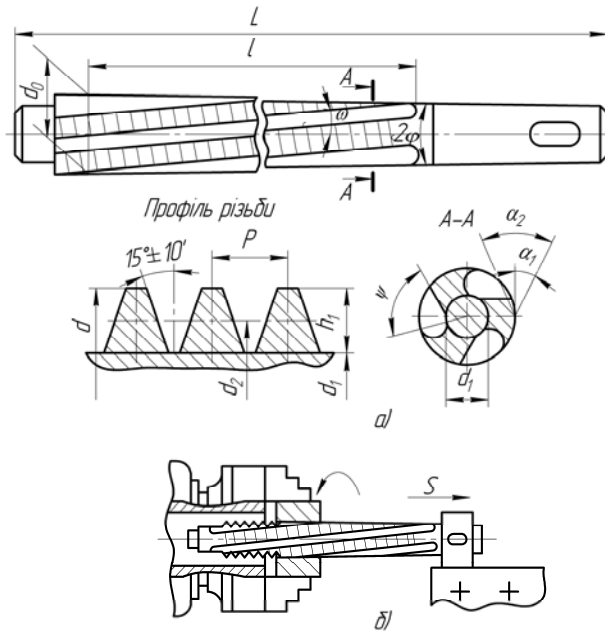


Рис. 8.7. Мітчик-протяжка:
а – конструкція; б – схема протягання внутрішньої різьби

Виконавчі розміри мітчика визначаються з урахуванням розбиття отвору $\delta_{розб}$ і запасу на знос $\delta_{знос}$, а також досяжної точності виготовлення $\delta_{виг}$ і забезпечення розмірів гайки.

Запас на знос по середньому діаметру різьби чистового мітчика залежить від кроку різьби і вибирається за формулою

$$\delta_{знос} = \frac{16\sqrt{p}}{1000},$$

где p – шаг резьбы.

Запас на знос $\delta_{знос}$ по зовнішньому діаметру чистового мітчика призначається більше, ніж по середньому діаметру, так як на цьому діаметрі швидкість різання максимальна, а міцність вершини зуба знижена. Для всіх типів мітчиків запас на знос приймається однаковим і рівним допуску по IT 9 :

$$\delta_{знос} = 0,086p - IT\ 9.$$

Мітчики з внутрішнім розміщенням стружки мають ряд переваг в порівнянні зі звичайними мітчиками, зокрема зниження кількості поломок інструменту, краще центрування та направлення його в отворі заготовки, що призводить до більш стабільних показників точності нарізуваних різьб.

Основною конструктивною відмінністю цих мітчиків (рис. 8.8) від стандартних є наявність внутрішньої циліндричної порожнини для розміщення стружки і подачі МОР в зону різання діаметром d_0 і довжиною l_0 , вісь якої збігається з віссю інструменту. Це дозволяє виконати направляючу частину у вигляді безперервної циліндричної різьбової поверхні. На хвостовій частині є циліндрична ділянка діаметром d_4 для розміщення муфти подачі МОР і канал уздовж осі інструменту для її підведення всередину робочої частини. Переточування мітчиків може проводитися як по передній поверхні зуба, так і по задній поверхні. Мітчики для глухих отворів зазвичай заточуються по передній поверхні.

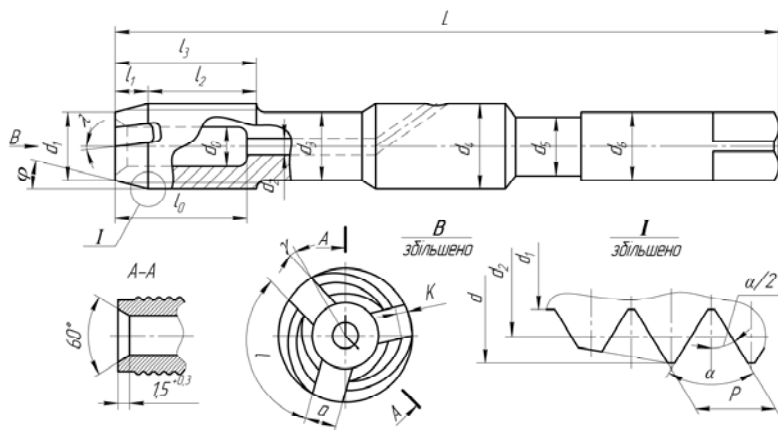


Рис. 8.8. Мітчик з внутрішнім розміщенням стружки

Твердосплавні мітчики дозволяють в 2...5 разів підвищити продуктивність при нарізанні різьби в чавунних і сталевих (загартованих) деталях, і в 5...10 разів підвищити стійкість при обробці загартованих і високоміцних сталей. За конструкцією твердосплавні мітчики бувають: цільними твердосплавними (монолітними); з монолітною твердоспальною робочою частиною; з напаяними пластинами твердого сплаву; насадними з припаяними пластинами твердого сплаву; збірними з монолітною твердоспальною робочою частиною.

Монолітні твердосплавні мітчики М8 ... М10 з пластифікованих заготовок доцільно використовувати в особливо важких умовах різьбонарізування з великим виділенням тепла, коли застосування напайних мітчиків з пластинами твердого сплаву недоцільно. Мітчики М8 ... М12 з монолітною робочою частиною, припаяною до сталевому хвостовику, доцільно застосовувати для обробки чавунів, високоміцних сталей і матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями.

Фірма TaeguTec для високоефективної обробки наскрізних отворів розробила мітчики з прямими канавками і гвинтовим підточуванням, західна частина яких має 4 – 5 ниток. Застосування такої геометрії мітчиків полегшує процес нарізування внутрішньої різьби завдяки вільному виштовхуванню стружки в напрямку подачі. Для нарізування різьб в глухих отворах розроблені спеціальні конструкції мітчиків з правосторонніми спіральними канавками під кутом 40° і західною частиною в 2 – 3 нитки, що дозволяє виводити стружку вгору, не допускаючи її пакетування на дні отвору і пошкодження різальних кромок.

Плоска заточка задніх поверхонь найбільш проста, дозволяє затилувати мітчики з сточеними центрами і не вимагає спеціальних верстатів і пристосувань. Мітчики з подвійною плоскою задньою поверхнею показали підвищену стійкість при нарізанні різьби в титановому сплаві ВТ-3.

Комбінована заточка застосовується для мітчиків при нарізанні різьби в відносно в'язких сталях, коли однією з головних причин передчасного виходу інструменту з ладу є відколи зубів на забірної частини.

Інформація про відносну стійкості та раціональної області застосування мітчиків різних типів наведена в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Вплив конструкції мітчиків на їх стійкість

Мітчики	Діаметр мітчика d , мм	Відносна стійкість*	Рациональна область застосування мітчиків
1	2	3	4
З прямими канавками точності: нормальної підвищеної	1 – 52 6 – 52	1,0 0,8	Для обробки матеріалів з нормальною оброблюваністю
З осьовим кутом нахилу різальної кромки	5 – 52	1,3 – 2,0	При транспортуванні стружки перед мітчиком
З шаховим розташуванням зубів	4 – 52	1,3 – 2,5	Для обробки маловуглецевих, корозійно-стійких і жароміцних сталей, легких сплавів
1	2	3	4
Посилені: – з посиленою серцевиною – безканавкові	5 – 12 2 – 6	1,3 – 3,0 1,3 – 2,5	Для обробки важкооброблюваних матеріалів
З гвинтовими канавками	3 – 52	1,3 – 2,5	Для видалення зливної стружки з глухих отворів
ступінчасті: – різальні – різально- накатувальні	10 – 20 16 – 36	1,3 – 1,6 1,3 – 1,6	Для обробки точних отворів, які не мають обмежень по стоку різьби
З різально- вигладжувальними зубами: – бочкоподібні – блокові	6 – 12 12 – 72	1 1	Для отримання точної різьби в в'язких матеріалах
Безстружкові	1 – 36	2 – 10	Для обробки кольорових сплавів і маловуглецевих сталей, переважно для мітчиків діаметром 1-8 мм
Твердосплавні: – монолітні – з напайними пластинами	5 – 12 14 – 72	3 – 10 3 – 10	Для обробки важкооброблюваних матеріалів і чавунів

Продовження табл. 8.2

1	2	3	4
З направляючою частиною: – передньою – задньою	6 – 30 16 – 52	1 1	При малих допусках взаємного розташування поверхонь
З внутрішніми каналами для підведення МОР	10 – 52	1,5 – 3	Для обробки сталей підвищеної міцності і твердості
Дзвонового типу: – монолітні – насадні	20 – 52 60 – 400	2 – 6 2 – 6	Для виготовлення крупної різби в важкому машинобудуванні

*За одиницю прийнята стійкість мітчика з прямими канавками ступеня точності НЗ при обробці матеріалів нормальної оброблюваності.

При цьому можна отримати наступні ступені точності різби, нарізанні мітчиками: підвищеної точності та безстружковими – 2-6; ступінчастими з гвинтовими канавками і різально-вигладжувальними зубами – 4-6; іншими – 6-7. Приблизна кількість повторних заточок зазначено в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Число повторних заточок мітчиків і круглих гребінок

Діаметр різби, мм	Число повторних заточок	
	машинні мітчики	круглі гребінки
3 – 5	1 – 2	–
6 – 10	2 – 4	40 – 60
12 – 18	3 – 5	60 – 80
20 – 36	4 – 6	50 – 80
40 – 52	8 – 10	40 – 70

Так само, як і по стійкості, існують геометричні параметри і елементи конструкції інструменту, оптимальні за точністю обробки. Причому на точності обробки вони позначаються не самі по собі, а через явища, що супроводжують процес різання, головним чином через питомі тиски (тиски на одиницю довжини різальної кромки або на одиницю площі опорних поверхонь інструменту) від сил, що впливають на інструмент і деталь під час різання. Ці сили порушують закон гвинтового руху мітчика. Так, наприклад, збільшення переднього кута мітчика зменшує сили різання, в тому числі і осьові, які є головною причиною розбиття різби.

Якщо осьові сили сприймаються нарізуваною різбою (нарізування різби методом самозатягування мітчика), то найбільш

сильний вплив на розбиття різьби надають задні допоміжні кути мітчика, які забезпечуються затилуванням мітчика за профілем різьби. Чим більше затилування (більше допоміжні задні кути), тим більше розбиття різьби.

Головний кут в плані мітчика позначається на розмірах різьб через різницю радіальних сил на його пір'ях. Чим більше ця різниця, тим більше розбиття.

Кут нахилу стружкових канавок впливає на значення вектора суми осьових сил. Середнє значення оптимального за точністю кута нахилу стружкових канавок становить 30° .

Оскільки головною причиною низької точності різьби є порушення закону гвинтового руху мітчика від впливу осьових і радіальних сил, то для підвищення точності необхідно зменшувати ці сили або обмежувати, а можливо, і нейтралізувати їх вплив. Нейтралізувати вплив осьових сил можна за рахунок профільної або комбінованої схем різання, але найкращим рішенням є забезпечення мітчику примусової осьової подачі по різьбовому копіру.

Обмеження впливу осьових сил можливо за рахунок параметрів самого мітчика: опорні бочкоподібні елементи на бокових сторонах профілю його різьби; зменшена аж до нуля величина затилування за профілем; затилування за профілем не на всій ширині пера; обмеження різальної здатності бічних опорних різальних кромek шляхом їх притуплення абразивним бруском.

При необхідності зменшити сили можна шляхом належного вибору схеми різання та геометричних параметрів мітчика. Найбільш ефективні з них групова схема різання, можлива при нарізанні різьби великого кроку, і тридцятиградусний кут нахилу гвинтових стружкових канавок мітчика – правих для правої різьби і лівих для лівої.

Зменшення вектора суми радіальних сил досягається зменшенням радіального биття головних різальних кромek і вибором оптимального значення кута в плані, вирівнюючого довжини різальних кромek на пір'ях мітчика, а також зменшенням радіального биття шпинделя верстата, підвищенням точності установки мітчика та використанням патронів сільфонного типу.

Часткова нейтралізація дії радіальних сил можлива шляхом обмеження радіальних коливань мітчика за рахунок точного напрямку по кондукторній втулці або нарізуванному отвору. Можливе використання горбоподібних елементів, виконаних на затиловочних поверхнях забірної частини мітчика і сприймаючих радіальну силу.

Деформацією мітчика, що впливає на розбиття, є його закручування під дією крутного моменту. В результаті пір'я мітчика, якщо вони були паралельні осі, перекошуються та стають злегка похилими або гвинтовими. Позитивні результати досягаються за рахунок багатопрохідного нарізування або інших методів зменшення крутного моменту. В умовах масового виробництва можливо нарізування різьби на спеціальних верстатах мітчиками, що обертаються за два хвостика: звичайний задній і додатковий передній. Імовірність поломок мітчиків в таких випадках теж зменшується.

Зміна поперечної форми кромek лез може принести додаткові позитивні високі ефекти. Округлення кромek цих лез призводить до їх зміцнення та збільшення стійкості мітчика. Застосовуючи магнітно-абразивну обробку мітчиків, вдається створювати на лезах зміцнююче округлення різальних кромek.

8.5.2. Матеріали і покриття для виготовлення мітчиків

Марка швидкорізальної сталі для виготовлення робочої частини мітчика вибирається залежно від властивостей оброблюваного матеріалу, стану поверхневого шару отвору заготовки і технологічних вимог на операцію резьбонарізування (шорсткість поверхні, точність і т.п.). Для нарізування різьби в вуглецевих сталях звичайної якості, конструкційних вуглецевих якісних сталях, низьколегованих сталях, кольорових металах, сплавах і пластмасах рекомендується швидкорізальна сталь марки P6M5. Для нарізування різьби в високолегованих, важкооброблюваних, жароміцних, корозійностійких сталях і сплавах рекомендується швидкорізальна сталь марки P6M5K5 (основна), а також сталі P9M4KB, P9K1C. Машинно-ручні мітчики діаметром від 1,0 до 2,5 мм допускається виготовляти з вуглецевої сталі марок Y11A і Y12A.

Твердосплавні мітчики мають високу твердість, зносостійкість, червоностійкість, жароміцність, здатні працювати на максимальних швидкостях різання та з високою продуктивністю, але іноді їм не вистачає міцності (адже чим вище твердість, тим нижче міцність), саме в цих випадках застосовують мітчики з порошкової швидкорізальної сталі, що мають високу міцність і практично такі ж характеристики як у твердого сплава.

Провідні світові фірми розробляють і застосовують нові інструментальні матеріали і покриття. У табл. 8.4 наведені характеристики матеріалів і покриттів мітчиків, застосовуваних фірмою WIDIA Products Group.

Таблиця 8.4

**Характеристика інструментальних матеріалів і покриттів мітчиків
фірми WIDIA Products Group**

Марка	Характеристика інструментальних матеріалів
1	2
WN38MG	Основа з швидкорізальної сталі HSS-E, покрита чорною оксидною плівкою. Рекомендується для обробки різних матеріалів, включаючи сталь, нержавіючу сталь і ковкий чавун. Не рекомендується для обробки кольорових металів.
WS32MG	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM з покриттям. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS, збагачена ванадієм і кобальтом, з жаро- і зносостійким PVD покриттям, що включає високоміцний нижній шар TiCN. Рекомендується для нарізування різьби в деталях з термообробленої стали твердістю 44 – 55 HRC і жароміцних сплавів на основі кобальту або нікелю.
WU40EG	Основа з швидкорізальної сталі HSS-E без покриття, з полірованою поверхнею. Універсальний сплав для легкооброблюємих матеріалів.
WU41EG	Основа з швидкорізальної сталі HSS-E з PVD покриттям TiN. Рекомендується для виконання багатьох операцій, включаючи обробку деталей зі сталі, нержавіючої сталі, ковкого чавуну та алюмінієвого лиття.
GM6515	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM з покриттям. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS, збагачена ванадієм і кобальтом, з жаро- і зносостійким PVD покриттям. Покриття включає антифрикційний шар CrC/C і зносостійкий шар TiN. Рекомендується для нарізування різьби мітчиком в деталях з нержавіючої сталі і кольорових металів.
GN1515	Твердий сплав з покриттям. Двошарове PVD покриття нанесено на дрібнозернисту твердосплавну основу. Покриття включає антифрикційний шар CrC/C і зносостійкий шар TiN. Шар CrC/C запобігає налипанню оброблюваних кольорових металів на мітчик. Сплав забезпечує чудову продуктивність при нарізуванні різьби в деталях з алюмінієвого лиття та інших кольорових металів.
GP4535	Твердий сплав з покриттям. Багатошарове PVD покриття TiAlN і TiN нанесено на міцну твердосплавну основу, спеціально розроблену для різенарізальних операцій. Використання цього сплаву для обробки стали твердістю до 32 HRC і чавуну дозволяє до чотирьох разів збільшити швидкість різання в порівнянні з мітчиками зі швидкорізальної сталі HSS-E-PM.

1	2
GP6520	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM з покриттям. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS, збагачена ванадієм і кобальтом, з жаро- і зносостійким PVD покриттям з базовим шаром TiCN. Рекомендується для обробки сталі, чавуну та алюмінієвого лиття, що містить кремній.
WN16PG	Твердий сплав з покриттям. Двошарове PVD покриття, що включає жароміцний нижній шар TiAlN і антифрикційний верхній шар MoS ₂ , нанесено на твердосплавну основу. Сплав рекомендується для обробки загартованої сталі твердістю 55 – 63 HRC .
WN35MG	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS-E з двошаровим PVD покриттям. Нижній шар TiN і верхній шар DLC, що перешкоджає налипанню кольорових металів на мітчик. Рекомендується для нарізування різьби в деталях з титану. Не рекомендується використовувати для обробки в'язких сталей.
WN38MG	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM з покриттям. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS-E з покриттям DLC (алмазоподібне вуглецеве покриття), нанесеним методом PVD. Рекомендуються для накатування різьби на деталях з алюмінію. Не рекомендується використовувати для обробки сталей.
WN48EG	Швидкорізальна сталь HSS-E з покриттям. Основа з швидкорізальної сталі HSS-E з низьким вмістом ванадію і покриттям DLC, нанесеним методом PVD. Рекомендується для нарізування різьби в деталях з кольорових металів з низькими температурами різання, наприклад, деформівного алюмінієвого сплаву. Не рекомендується використовувати для обробки стали.
WP31MG	Швидкорізальна сталь HSS-E-PM з покриттям. Основа з швидкорізальної порошкової сталі HSS-E з PVD покриттям TiN. Рекомендується для нарізування різьби в сталі твердістю до 32 – 44 HRC і для накатування різьби на деталях зі сталі 32 HRC твердістю до .
WP42EG	Основа з швидкорізальної сталі HSS-E з PVD покриттям TiCN. Рекомендується для виконання багатьох операцій, включаючи обробку деталей зі сталі, нержавіючої сталі, ковкого чавуну та алюмінієвого лиття. Сплав WP42EG володіє більш високою стійкістю до абразивного зносу, ніж WU41EG.

Для забезпечення високої стійкості мітчиків на середніх і високих режимах різання фірма TaeguTec застосовує воронування. При

цьому утворюється оксидна плівка, яка забезпечує ідеальні умови для відводу стружки, а також зменшує нарост на різальних кромках. Воронування при нарізанні різьби $M6 \times 1$ зі швидкістю 25 м/хв в деталях зі сталі 40 забезпечує стійкість мітчиків при обробці 1300 отворів. TiAlN-PVD покриття має максимально високу зносостійкість різальних кромок. Воно забезпечує підвищену стійкість і стабільність протікання процесу нарізування різьби в різних матеріалах. При нарізуванні різьби в деталях з високоміцного чавуну ВЧ40 при швидкості різання 25 м/хв забезпечується стійкість мітчиків 3500 отворів. Алмазоподібні покриття при нарізанні різьби $M8 \times 1,25$ в деталях з А1-сплаву забезпечує стійкість 8000 отворів.

Для економії інструментальної сталі мітчик рекомендується виконувати складовим: робочу частину – з швидкорізальної сталі Р6М5, хвостовик – з більш дешевих конструкційних сталей 45, 40Х. Зсув зварених торців, непровар, мікротріщини, утворення крихкої зони знеуглецьованого шару призводять до зниження міцності та стійкості інструменту. Застосовують мітчики з біметалів, працездатність яких при нарізуванні метричної різьби в отворі сталевих деталей в середньому на 13 % перевищує працездатність для стандартних мітчиків $M12 \times 1,25$ зі сталі Р6М5.

8.5.3. Виникнення відмов мітчиків

Збільшення радіусу округлення різальних кромок істотно впливає на величину сили різання та ініціює відколи, викришування різальних лез, що особливо сильно проявляється при малих товщинах зрізального шару.

Причиною нерівномірного зносу різальних профілів мітчиків є відмінності в силових і теплових навантаженнях, що припадають на окремі профілі, обумовлені їх розташуванням на різальній частині мітчика, а також відмінності в умовах стружкоутворення при їх роботі.

Процес зношування різальних профілів мітчиків по задній поверхні супроводжується повільно протікаючим процесом зношування напрямних профілів по зовнішньому діаметру. Після декількох переточувань настає параметрична відмова, інструмент переходить в граничний стан і стає невідновлюваним.

Мінімальна інтенсивність зносу мітчиків з внутрішнім розміщенням (МВРС) стружки спостерігається в діапазоні швидкостей різання від 9 до 12 м/хв. При обробці глухих отворів без МОТС МВРС

забезпечують підвищення стійкості на 25 ... 35 %, а для обробки наскрізних отворів при використанні МОТС на 40 ... 50 %.

При роботі зі швидкістю різання $V \approx 10$ м/хв збільшення діаметра мітчиків призводить до поступового підвищення їх стійкості. Це пояснюється поліпшенням умов тепловідводу із зони різання в тіло інструмента та поліпшенням розміщення стружки навколо центрального отвору. Збільшення кроку мітчиків призводить до поступового зменшення їх стійкості. Збільшення кроку при постійному значенні кута різальної частини φ призводить до збільшення товщини зрізаемого шару. Стійкість мітчиків знижується в міру їх переточувань. Зменшення стійкості від переточки до переточки може змінюватися в 1,2 і більше разів. Це пояснюється поступовим накопиченням неусувних дефектів на робочих поверхнях інструменту при різанні, до яких відносяться: зміна форм різальних профілів і шорсткості опорних поверхонь; накопичення втомних напруг, мікроналіпаний на контактуючих поверхнях. При нарізуванні різьби в глухих отворах умови стружковідведення утруднені: при реверсі під робочі поверхні мітчика потрапляють частинки стружки, іноді великі її фрагменти, які призводять до мікроподряпин і сколів лез інструмента.

8.5.4. Зміцнення мітчиків

На відміну від свердел мітчики можуть не мати високої твердості по всьому перерізу. При в'язкої серцевині зменшується небезпека поломки мітчиків при правці або роботі. Під загартування мітчиків малих діаметрів з дрібним кроком різьби їх нагрівають до нижньої межі технологічних температур.

Застосовують різні методи поверхневого зміцнення мітчиків, в тому числі нанесенням покриттів. Магнітно-імпульсна обробка забезпечує підвищення стійкості мітчиків зі швидкорізальної сталі Р18 на 30 %. Магнітно-абразивна обробка мітчиків дозволяє підвищити стійкість в 2 – 3 рази. Стійкість збільшується за рахунок зменшення часу припрацювання інструменту, збільшення мікротвердості поверхні робочої частини інструменту, зменшення коефіцієнта тертя та структурних змін матеріалу.

Застосування модифікування дією низькотемпературної плазми комбінованого розряду мітчиків М12×1,25 мм, виготовлених зі сталі Р6М5, забезпечило обробку 400 деталей зі сталі 42ХМФА, твердість по НВ 246 ... 286 , при нормативній кількості 300.

Для підвищення ефективності модифікування та подальшого використання мітчиків можливо при виконанні наступних рекомендацій:

- підбір найбільш відповідного до існуючих умов різання інструментального матеріалу;

- забезпечення регламентованої стандартом геометрії різальної (забірної) частини: при нарізанні різьби на прохід довжину різальної частини приймати рівною 6-ти крокам різьби, при нарізанні глухої різьби – 2-м її крокам (коротка різальна частина забезпечує зменшення питомого зусилля різання (внаслідок зняття стружки більшого перерізу), крутного моменту, сил тертя та защемлення стружки, викривлення мітчика при термічній обробці);

- зменшення числа канавок (для мітчиків M8...M14 – до трьох), оскільки в іншому випадку забезпечується поганий відвід стружки внаслідок зменшення об'єму канавок і послаблюється серцевина мітчика;

- рівномірне розташування різальних кромок по колу з метою виключення розбивки;

- виконання переточки по конусу забірної частини з метою усунення ефекту ослаблення різальних витків в результаті неправильної заточки при великих передніх кутах;

- недопущення утворення прижогов при шліфуванні профілю різьби і виконанні затилювання всіх витків калібруючої частини для усунення ефекту «заварювання» інструменту внаслідок налипання оброблюваного матеріалу (особливо в'язкого) до задніх і калібруючих поверхонь.

Використання процесу високотемпературної газової екструзії ВТГЕ для виробництва мітчиків з швидкорізальних сталей дозволяє підвищити їх стійкість від 2 до 5,5 разів.

Ефективно поєднання термообробки швидкорізальних сталей до твердості 53 – 57 HRC з подальшою рідинною карбонітрацією, дозволяє підвищити стійкість мітчиків в середньому на 75 %.

Ціанування швидкорізальних сталей в карбонітридній соляній ванні дуже ефективно для підвищення їх стійкості, при цьому різниця в стійкості інструментів зі сталі P18 і більш дешевих сталей P6M5 і P6M3 в результаті ціанування зводиться до мінімуму. З економічної точки зору стає більш вигідним застосування ціанованих вольфрамомолібденових сталей P5M5 і P6M3 замість набагато дорожчої швидкорізальної сталі P18.

8.5.5. Застосування МОТС для підвищення працездатності мітчиків

Від 20 до 70 % мітчиків виходять з ладу через поломки. Найбільше число викришувань і відмов мітчиків відбувається при реверсі (понад 75 % випадків) на $90-120^\circ$ першого обороту вигвинчування мітчика. Основними факторами зниження загальної працездатності мітчиків, в основному є, викришування різальних кромок і заклинювання, особливо в процесі реверсу. При реверсі мітчика крутний момент має максимальне значення внаслідок защемлення зубів інструменту зрізаною стружкою. У цих умовах виникають значні пластичні деформації, наклеп, наростоутворення і інтенсивні процеси адгезійного схоплювання, що призводить до зносу різального інструменту, зриву витків різьби, погіршення якості поверхні різьби і втрати точності її профілю.

Дані проблеми можуть бути мінімізовані при використанні модифікованих складів МОТС. Останні допомогли б зменшити сили тертя між третьовою парою «інструмент – деталь» і поліпшити механічні властивості оброблюваної поверхні.

При використанні соняшникової олії та мінерального масла крутний момент має найбільш високе значення, однак при подачі в зону обробки емульсії і свинячого жиру спостерігається помітне зниження крутного моменту, як при прямому ході, так і при реверсі інструменту.

У плані впливу мінерального масла та соняшникової олії на знос і стійкість мітчика в порівнянні з полноструйним поливом емульсією 10-ти % концентрації виявлено незначний ефект зниження зносу (близько 20 – 40 %). Найбільший ефект зниження зносу (перевищує 200 %) при експлуатації мітчика в середовищі свинячого жиру.

8.6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОНАКАТУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

8.6.1. Загальні відомості

Для підвищення статичної і втомної міцності різьбових з'єднань, а також зносостійкості гайок в гвинтових парах, застосовують розкатники і комбіновані мітчики, що дозволили підвищити точність і якість поверхні різьби.

Накатні мітчики – це інструмент для безстружкового виготовлення внутрішньої різьби, при якому матеріал зазнає холодну деформацію не перериваючи так званий «напрямок волокон». На відміну від нарізування різьби метал з заготовки не вирізається, а різьбоформування відбувається шляхом витиснення. Спіраль різьби накатного мітчика з рівномірним кроком різьби «вгвинчується» в попередньо розсвердлену заготовку. Переріз накатного мітчика має форму багатокутника, що забезпечує поступове вдавнення різьбової частини в матеріал заготовки. Матеріал радіально зміщується, «пливе» вздовж профілю різьби в вільну зону основи зуба і утворює, таким чином, внутрішній діаметр гайкової різьби.

Переваги накатування різьби: відсутність стружки; різьба в наскрізних і глухих отворах може бути виготовлена одним і тим же інструментом; можна обробляти різноманітні матеріали; виключається підрізання різьби; виключаються похибки в кроці різьби і в куті при вершині профілю, що зустрічаються при нарізанні різьби; накатана внутрішня різьба через, так звані, «безперервні напрямки волокон» і наклеп особливо в несучій бічній поверхні профілю зуба має більш високу міцність; різьба має більш якісну поверхню; безстружкові мітчики можуть працювати на підвищеній швидкості різання, так як пластична деформація багатьох матеріалів збільшується зі швидкістю накатування. Негативний вплив на стійкість при цьому відсутній, інструмент практично не ламається завдяки своїй міцній конструкції.

При накатуванні різьби МОР перешкоджає налипанню матеріалу і знижує навантаження, які виникають при формуванні різьби, рекомендується застосовувати маслянисту МОР, яка містить графіт.

Фірма LMT Tools розробила розкатник з внутрішнім осьовим підведенням МОР. Він має амортизуючий «м'який» сталевий корпус, значно більшу торсійну жорсткість в порівнянні з твердосплавними розкатниками. Заборна частина має жорстку і стійку до зношування мелкозернисту основу з покриттям, що гарантує тривалий термін служби інструменту. Такий метод охолодження найбільш ефективний при обробці глухих отворів (особливо в горизонтальному напрямку) і глибокої різьби, оскільки мастильно-охолоджувальна рідина подається безпосередньо в робочу зону. Випускаються інструменти з внутрішнім охолодженням для наскрізних отворів (IKR, радіальний вихід) і для глухих отворів (IKZ, осьовий вихід). Термін служби нових інструментів в порівнянні з колишніми збільшився на 400 %, а час циклу скоротилася на 70 %.

Діаметр заготовки впливає не тільки на точність і якість поверхні накатаної різьби, але і на стійкість різьбонакатувального інструменту. Для різьби з кроком до 1 мм радіальне биття не повинно перевищувати 0,01 мм. Для різьби більшого кроку найбільш раціональним представляється радіальне биття в межах 0,01 ... 0,04 мм, так як радіальне биття менше 0,01 мм важко досягне, а радіальне биття більше 0,04 мм викликає значну нерівномірність навантаження, що призводить до суттєвого зниження стійкості інструменту.

Розширити сферу застосування різьбонакатування можна за допомогою комбінованої різально-деформуючої обробки (накатування різьби по попередньо нарізанному профілю) (рис. 8.9). Зрізання частини припуску дозволяє зменшити ступінь деформації при подальшому накатуванні. Різьби з великим кроком і різьби на деталях твердістю більш 50 HRC доцільно отримувати обробкою різанням (наприклад вихровою обробкою) з подальшим зміцненням поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

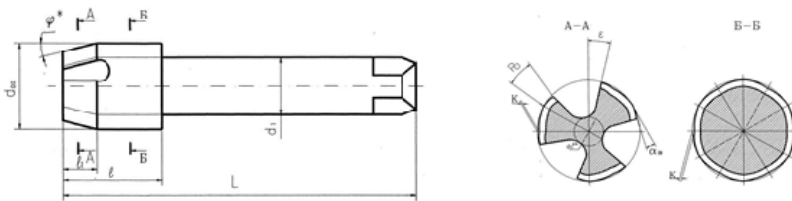


Рис. 8.9. Мітчик комбінований (різально-деформуючий)

Стійкість різально-деформуючих мітчиків вище в 6 ... 8 разів стійкості різальних і в 1,8 ... 2 рази стійкості деформуючих мітчиків при обробці алюмінієвих сплавів, що характеризуються високим ступенем адгезії, крутний момент при роботі різально-деформуючих мітчиків нижче на 12 %, ніж при роботі деформуючих мітчиків. При експлуатації різально-деформуючих мітчиків рекомендується вибирати швидкість різання до $V = 0,09$ м/с.

8.6.2. Підвищення стійкості різьбонакатувального інструменту

Стійкість різьбонакатувального інструменту може бути значно підвищена шляхом конструктивних удосконалень, застосування

зносостійких покриттів, а також хіміко-термічної і зміцнюючої обробки різних видів.

Одним із способів підвищення стійкості інструменту є збільшення числа робочих сторін до двох для роликів і сегментів та до чотирьох – для плоских плашок. Однак застосування цього способу обмежене довжиною накатуваної різьби і можливостями різьбонакатувального обладнання.

Застосуванням струменевої абразивної обробки також досягається підвищення стійкості інструменту. Ця обробка є зміцнювальною та забезпечує зняття залишкових напруг, а також часткове видалення дефектного шару (мікротріщини, спрямовані сліди обробки, знеуглецьований шар) після шліфування різьби на інструменті, створює оптимальну мікрогеометрію поверхні, завдяки чому краще утримується мастильна рідина.

Найбільша стійкість інструменту досягається удосконаленням технологічного процесу його виготовлення, що полягає в спеціальній термообробці, яка дозволяє отримати підвищений вміст залишкового аустеніту (до 20 – 30 % замість звичайних 10 %), шліфуванні поверхні різьби та інших поверхонь ельборовими кругами, а також низькотемпературному відпуску для зняття залишкових напруг. Цей спосіб рекомендується для інструменту зі сталей X12M, X12Ф1. У інструментів, виготовлених за звичайною технологією, карбіди розташовані шарами – у вигляді паралельних ліній, а за вдосконаленою – вони розташовані рівномірно по всьому об'єму. Така структура досягається багаторазовим проковуванням або електрошлаковою переплавою при подальшій спеціальній термообробці. При цьому повинна бути досягнута твердість на 2 – 3 одиниці HRC вище звичайної, тобто HRC 61 ... 62). Стійкість при цьому підвищується в кілька разів, так як аустеніт збільшує пластичність, що при високій поверхневій твердості зменшує відколи і викришування різьбових ниток. Крім того, підвищений вміст аустеніту сприяє самозміцненню металу інструменту в процесі накатування різьби.

Нижче дані коефіцієнти підвищення стійкості від застосування різних способів збільшення працездатності різьбонакатувального інструменту. Можливе застосування одночасно декількох способів.

Стійкість шліфованого і накатного інструментів, за інших рівних умов, має співвідношення від 1 : 0,75 до 1 : 0,85 . Стійкість шліфованого і фрезерованого інструментів має співвідношення від 1 : 0,5 до 1 : 0,7 .

В середньому приймають наступне співвідношення стійкості шліфованого, накатаного і фрезерованого інструментів: 1 : 0,8 : 0,6 .

Спосіб підвищення стійкості	Коефіцієнт підвищення стійкості
Струменева абразивна обробка	1,2 – 1,3
Збільшення числа робочих сторін: – ролики і сегменти – плоскі плашки	2,0 2,0; 4,0
Підвищений вміст залишкового аустеніту до 20 – 30 %	2,5 – 3,0

Вельми відчутні результати по стійкості може дати застосування комплексу конструкторських і технологічних заходів. Так, при двухроліковому накатуванні різьби М 30 × 1,5-6g на заготівці зі сталі 40Х стійкість інструменту вдалося підвищити в 6 ... 8 разів внаслідок збільшення діаметра роликів з 150 до 180 мм і ширини до 60 мм (замість 50 мм), що дозволило зробити їх двосторонніми, виготовлення роликів зі сталі Х12М і застосування струменевого абразивного оброблення.

Застосування сталевих заготовок, отриманих електрошлаковим переплавом, рафінуючі метал від небажаних домішок і поліпшуючі його мікроструктуру, роблячи її більш рівномірною по всьому об'єму, дозволяє підвищити стійкість інструменту в 1,5 – 2 рази. Карбохромовання та борування дозволяють підвищити стійкість інструменту в 3 – 4 рази внаслідок наявності твердого зносостійкого дифузійного покриття в поверхневому шарі. Однак область їхнього застосування обмежена через деформації, що відбуваються при високих температурах (1000 °С), характерних для цих процесів.

На працездатність різьбонакатувального інструменту великий вплив чинить також точність взаємного розташування його робочої поверхні до опорного торця і похибки кроку між його різьбоутворюючими нитками. Найбільше значення вони приймають при карбохромованні і найменше – при термообробці на підвищений вміст аустеніту. Похибка кроку (мм) при цих видах додаткової обробки для інструменту з жорсткістю $K_{\text{жс}} = 3 \dots 7$: при карбохромованні 0,058 ... 0,038 мм; при боруванні 0,038 ... 0,035; при термообробці на аустеніт 0,027 ... 0,024. Відхилення від перпендикулярності (мм)

робочої частини по відношенню до опорного торця; при карбохромуванні 0,068 ... 0,05 мм; при боруванні 0,049 ... 0,048; при термообробці на аустеніт 0,035 ... 0,032. Таким чином, деформації при боруванні до 1,5 раз, а при термообробці на аустеніт до 2 разів менше, ніж при карбохромуванні.

Застосування в якості матеріалу робочих частин плашок твердих сплавів замість інструментальних сталей забезпечує зниження величини зносу в 1,5 – 1,7 рази. Розроблено нову конструкцію накатних плашок, у яких в спеціальному пазу в кінці забірної і початку калібруючої частин встановлюється вставка з високоміцного зносостійкого матеріалу. При досягненні певної міри зносу робочої частини вставки є можливість регулювання її положення в пазу за допомогою гвинтів, що дозволяє підвищити термін служби плашок.

Причиною незадовільно низькою стійкості роликів при накатуванні крупнопрофільних різьб (з кроками більше 6 мм) є неприпустимо великі величини контактних напружень. Збільшення кількості проходів призводить до зменшення величини зміцнення заготовки та контактного тиску і, як наслідок, до високої стійкості різьбонакатувальних роликів.

Для різьби з кроком до 1 мм радіальне биття не повинно перевищувати 0,01 мм. Для різьби більшого кроку найбільш раціональним представляється радіальне биття в межах 0,01 ... 0,04 мм, так як радіальне биття менше 0,01 мм важко досягне, а радіальне биття більше 0,04 мм викликає значну нерівномірність навантаження, що призводить до суттєвого зниження стійкості інструменту.

Для підвищення продуктивності і стійкості інструменту, а також для зменшення навантаження на інструмент, робочу частину збірного розкатника виготовляють з матеріалу на основі наноструктурованого кубічного нітриду бору КНБ-нано таких марок, як Нанокompакт cBN-wBN, нанокompозит Алмаз-20SiC, Нанокompакт BN або нанокompозит BN-30AlN (далі НТМ).

У насадні диски розкатника в попередньо підготовлені гнізда припаювають пластини з НТМ у вакуумній печі для загартування і пайки. Подальша обробка профілю робочої частини розкатника проводиться на 5-ти координатному шліфувально-заточному центрі алмазними кругами на металевій зв'язці типу АС2.

У порівнянні з іншими розкатниками з робочою частиною зі швидкорізальної сталі або твердого сплаву для планетарного формоутворення внутрішньої різьби розкатник з НТМ забезпечує швидкість обробки в 2 – 6 разів вище, а шорсткість оброблюваної поверхні в 2 – 4 рази нижче.

8.7. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПЛАШОК І РІЗЬБОНАРІЗНИХ ГОЛОВОК

Плашки з великим переднім кутом використовуються для обробки матеріалів, які дають зливну стружку, використання плашок з малим кутом доцільно для матеріалів, що дають стружку надлому. Плашки, що застосовуються на верстатах автоматах, оснащуються гвинтовою заточкою для спрямованого відводу стружки. Гвинтова заточка знижує силу різання, підвищує стійкість плашок і загальну якість роботи.

Термообробка плашок. Плашки повинні мати підвищену в'язкість. З метою запобігання спотворення різальної частини їх нагрівають під гарт до нижньої межі інтервалу температур з мінімальною витримкою.

Плоскі плашки для зменшення жолоблення охолоджують під пресом між плитами, охолоджуваними водою.

Різьбонарізні головки. Основні недоліки круглих плашок – низька якість різальних поверхонь, невеликий ресурс, пов'язаний з незначним періодом стійкості і рідко використовуваною можливістю переточувань після затуплення, відсутність регулювання діаметрів нарізуваних різьб і т.п. – призводить до необхідності розробки альтернативної конструкції різьбонарізного інструменту, позбавленого або хоча б мінімізуючого ці недоліки. Розроблено конструкції різьбонарізних головок, різальні елементи яких – гребінки – затилуються по гвинтовій поверхні для отримання необхідних задніх кутів в одному, технологічному положенні, а потім встановлюються в інше, робоче положення, в якому відбувається нарізування різьби на заготовках.

Стійкість плашок, нарізати різьбу в заготовках з важкооброблюваних матеріалів, збільшується зі збільшенням числа ниток на забірному конусі. Збільшення діаметра заготовки під накатування знижує стійкість плашок через збільшення тиску. Конусність і еліптичність заготовки викликають нерівномірний знос плашок.

Сульфідкування значно підвищує стійкість різального інструмента. Наприклад, стійкість плашок при нарізанні болтів М10, М12 і М16 в середньому зростає в 3 – 3,5 рази, а стійкість розгортки і зенкерів, виготовлених зі сталі марок У8 і ХВГ, – в 1,5 – 2 рази.

8.8. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВИХ ФРЕЗ

Застосування фрезерування замість точіння при нарізанні зовнішньої і внутрішньої різьби забезпечує значне підвищення продуктивності за рахунок: 1) використання багатозубого інструменту з великою сумарною активною довжиною різальних кромek, які одночасно знімають стружку (гребінчаті фрези); 2) збільшення товщини зрізу на один зуб (дискові фрези); 3) збільшення швидкості різання за рахунок оснащення різців твердим сплавом (головки для вихрового нарізування різьби). Твердосплавні різьбові фрези забезпечують можливість обробки матеріалів твердістю до 63 HRC і високу якість різьби.

Для виготовлення різьбових фрез WIDIA-GTD™ використовують наступні марки твердих сплавів:

Маркування	Опис марки твердого сплаву
WU12PV	Дрібнозерниста твердосплавна основа з високотвердим PVD покриттям TiCN. Універсальний сплав для нарізування різьби в широкому спектрі матеріалів.
WU13PV	Твердосплавна основа з жароміцним PVD покриттям TiAlN. Універсальний сплав для нарізування різьби в широкому спектрі матеріалів.
WU16PV	Твердосплавна основа з двошаровим PVD покриттям, що включає жароміцний нижній шар TiAlN і антифрикційний верхній шар MoS ₂ . Рекомендується для нарізування різьби в різних матеріалах, включаючи матеріали підвищеної твердості.

Застосування змінних багатограних пластин істотно підвищує ефективність процесу різьбообробки завдяки багаторазовому використанню корпусів, багаторазовому використанню пластин, гарному стружколанню фасонної передньої поверхні пластин, високої міцності леза через відсутність внутрішніх напружень, що виникають при паянні пластин у напайних різців, високої надійності та довговічності інструменту, внаслідок високої твердості опорної поверхні під різальною пластиною, конструктивно не може бути застосована в напайних різцах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бернштейн М.Л., Пустовойт В.Н.* Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле. – М.: Машиностроение, 1987. – 251 с.
2. *Васин С.А., Хлудов С.Я.* Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы. – М.: Машиностроение, 2006. – 352 с.
3. *Верещака А.С.* Резание материалов: учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009. – 535 с.
4. *Воробьева Г.А., Усков В.Н.* Аэротермоакустическая обработка сталей и сплавов: учеб. пособие. – СПб.: Изд.-во БГТУ. «ВОЕНМЕХ», 2012. – 130 с.
5. *Грановский Г.И., Грановский В.Г.* Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
6. *Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н.* Технология упрочнения машиностроительных материалов: Учебное пособие-справочник / Под редакцией д.т.н., проф. В.Д. Евдокимова. – Одесса – Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.
7. *Инструментальные материалы:* учебн. пособие / Г.А. Воробьева, Е.Е. Складнова, А.Ф. Леонов, В.К. Ерофеев. – СПб.: Политехника, 2005. – 268 с.
8. *Кушнер В.С.* Изнашивание режущих инструментов и рациональные режимы резания: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1998. – 138 с.
9. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
10. *Маслов А.Р.* Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник. – М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.
11. *Петрушин С.И., Грубый С.В.* Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.
12. *Петрушин С.И., Даниленко Б.Д., Ретюнский О.Ю.* Оптимизация свойств материала в композиционной режущей части лезвийных инструментов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 99 с.
13. *Режущий инструмент:* учебник для вузов / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев, А.Г. Схиртладзе / Под ред. С.В. Кирсанова. – 3-е изд. М.: Машиностроение, 2007. – 528 с.
14. *Режущий инструмент:* учебное пособие / А.А. Рыжкин, К.Г. Шучев, А.Г. Схиртладзе, А.И. Боков, М.М. Алиев – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 405 с.
15. *Сверхтвердые материалы.* Получение и применение: в 6-ти т. / под общ.ред. Н.В.Новикова. – Т.5: Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А.Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.

16. *Смазочно-охлаждающие* технические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Л.В.Худобин [и др.]; под общ.ред. Л.В.Худобина. М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
17. *Табаков В.П., Сагитов Д.И.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями в условиях стесненного резания – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 179 с.
18. *Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В.* Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 152 с.
19. *Табаков В.П., Чихранов А.В.* Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 255 с.
20. *Шагун В.И.* Режущий инструмент: Проектирование. Производство. Эксплуатация: Учеб.пособие. – Мн.: НПО «ПИОН», 2002. – 496 с.
21. *Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А.* Режущий инструмент. Эксплуатация: учеб. пособие – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 256 с.
22. *Якухик В.Г., Ставров В.А.* Изготовление резьбы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ВІДМОВИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	5
1.1. Класифікація відмов	5
1.2. Знос лез різальних інструментів	6
1.3. Низька стійкість інструменту	9
1.4. Викришування різальних кромок і поломки інструменту	10
1.5. Вібрації	12
1.6. Наліпання оброблюваного металу	12
2. ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	14
2.1. Загальн положення	14
2.2. Удосконалення конструкцій різального інструменту	15
2.3. Удосконалення інструментальних матеріалів	20
2.4. Підвищення жорсткості та вібростійкості технологічної системи різання	24
2.5. Вплив стану кромок лез на експлуатаційні властивості різальних інструментів	25
2.6. Застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ	27
2.7. Оптимізація форми різальних лез інструмента та режимів чорнової обробки	29
2.8. Оптимізація умов чистової лезової обробки	35
3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗЦІВ.....	40
3.1. Оптимальні періоди стійкості різців	40
3.2. Критерії вибору різального інструменту	42
3.3. Застосування змінних багатогранних пластин	44
3.3.1. Особливості зношування змінних багатогранних пластин	44
3.3.2. Забезпечення рівномірного зношування змінних багатогранних пластин	46
3.3.3. Різальні змінні пластини підвищеної теплопровідності	48

3.3.4. Температурна сумісність і інтенсивність напружень в різальній пластині	50
3.3.5. Підвищення міцності змінних пластин	53
3.4. Модифікування контактних площадок різців	56
3.5. Покриття на контактних площадках різців	58
3.6. Застосування комбінованих методів зміцнення різців	59
3.7. Підвищення надійності відрізних і канавкових різців	60
4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ	64
4.1. Вплив геометрії та конструктивних особливостей осьового інструменту	64
4.1.1. Геометрія та конструктивні особливості свердел	64
4.1.1.1. Свердла з поліпшеними експлуатаційними властивостями	66
4.1.1.2. Заточка спіральних свердел	70
4.1.2. Геометрія і конструктивні особливості зенкерів	74
4.1.3. Геометрія та конструктивні особливості розверток	76
4.2. Вплив умов різання	80
4.3. Підвищення стійкості різального інструмента методом електроізоляції	83
4.4. Знос осьового інструменту та шляхи його зниження	83
4.5. Модифікування поверхонь різальної частини осьового інструменту	85
4.6. Зміцнення осьового інструменту імпульсною магнітною обробкою	88
4.8. Застосування комбінованих методів зміцнення осьового інструменту	91
4.9. Мінімізація поломок осьового різального інструменту	92
4.10. Особливості застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ при обробці отворів	95
4.11. Підвищення обробки отворів отворів вібраційним різання	100
5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФРЕЗ	103
5.1. Умови експлуатації фрез	103
5.2. Вплив геометрії та конструктивних особливостей фрез на їх надійність	107
5.3. Знос фрез	117
5.4. Міцність фрез	121
5.5. Особливості застосування МОТС при фрезеруванні	123
5.6. Термічна обробка фрез	126

5.7. Поверхнева зміцнююча обробка фрез	127
5.8. Нанесення покриттів на фрези.....	128
5.9. Застосування комбінованих методів зміцнення фрез.....	132
6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОТЯЖЕК	133
6.1. Нові способи протягання	133
6.2. Нові матеріали і захисні покриття протяжек.....	135
6.3. Вплив геометрії різального клина і конструктивних особливостей протяжек.....	137
6.4. Знос протяжек	141
6.5. Міцність протяжек.....	144
6.6. Термообробка протяжек.....	144
6.7. Безприжогова технологія шліфування протяжек.....	145
6.8. Комбіноване зміцнення протяжек.....	147
6.9. Застосування МОТС при протяганні	149
7. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗУБОРІЗНИХ ІНСТРУМЕНТІВ.....	151
7.1. Нові технології та обладнання для нарізування зубчастих коліс... 151	
7.2. Геометрія та конструктивні особливості основних видів зубообробних інструментів	153
7.3. Матеріали для виготовлення зуборізних інструментів	158
7.4. Покриття для зубообробного інструменту	159
7.5. Зносостійкість зубообробного інструменту	163
7.6. Застосування сухого електростатичного охолодження (CEO) при нарізанні зубчастих коліс	170
8. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗЬБОНАРИЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ	173
8.1. Критерії зношування різьбообробного інструменту	173
8.2. Застосування МОТС при нарізанні різьби.....	174
8.3. Захисні покриття різьбонарізного інструменту.....	175
8.4. Забезпечення працездатності різьбових різців і гребінок.....	179
8.4.1. Вплив геометрії та конструктивних особливостей різців	179
8.4.2. Застосування ЗБП для нарізування різьби.....	180
8.4.3. Наплавлення різьбових різців.....	181
8.5. Забезпечення працездатності мітчиків	181
8.5.1. Вплив геометрії та конструктивних особливостей мітчиків....	181
8.5.2. Матеріали і покриття для виготовлення мітчиків.....	192
8.5.3. Виникнення відмов мітчиків.....	195
8.5.4. Зміцнення мітчиків	196

8.5.5. Застосування МОТС для підвищення працездатності мітчиків.....	198
8.6. Забезпечення працездатності різьбонакатувального інструменту.....	198
8.6.1. Загальні відомості.....	198
8.6.2. Підвищення стійкості різьбонакатувального інструменту	200
8.7. Забезпечення працездатності плашок і різьбонарізних головок	204
8.8. Забезпечення працездатності різьбових фрез	205
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	206

Навчальне видання

ХАРЛАМОВ Юрій Олександрович
СОКОЛОВ Володимир Ілліч
КРОЛЬ Олег Соломонович
МІЦИК Андрій Володимирович
РОМАНЧЕНКО Олексій Володимирович

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Друкується в авторській редакції

Оригінал-макет

Могильна О.В.

Підписано до друку 5.02.2019.

Формат 60×84¹/₁₆ Папір типограф. Гарнітура Kudryashev.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. 12,32. Обл.-вид. арк. 12.8.

Тираж 100 екз. Вид. № 3203. Замов № _____. Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію: ДК № 1620 від 18.12.2003 р.

Адреса університета: пр. Центральний, 59-А,

м. Северодонецьк, 93400, Україна

Телефон/факс +380 (6452) 4-03-42

E-mail: uni@snu.edu.ua

www.snu.edu.ua

Надруковано у типографії Мадрид, ООО

Свідоцтво про реєстрацію: ДК № 4399 від 27.08.2012 р.

Адреса видавництва: вул. Ольминського, 11,

м. Харків, 61024, Україна

Телефон/факс +38 (057) 756-53-25

E-mail: info@madrid.in.ua

www.madrid.in.ua