

ВСТУП

Наукові досягнення та відкриття у галузі фундаментальних і прикладних наук протягом останніх десятиліть зумовили створення нових прогресивних матеріало- і енергоощадних технологій, які отримали назву “високих технологій”. Для них характерні такі ознаки, як наукоємність; системність; математичне та фізичне моделювання і структурно-параметрична оптимізація; прогресивні робочі процеси розмірної обробки та формоутворення; автоматизація усіх етапів розроблення та виготовлення продукції за допомогою сучасного ефективного технологічного обладнання, устаткування та інструменту, висококваліфікованих виконавців та комп’ютерного технологічного середовища; висока стабільність і надійність; екологічна чистота. Продукція виробничих процесів, які базуються на таких засадах, має високий рівень експлуатаційних, функціональних, естетичних та екологічних властивостей.

Новітні технології та їхні робочі процеси в машинобудуванні є основою пришвидшеного науково-технічного розвитку усіх галузей промисловості. Вирішальне значення для максимальної ефективності виробництва має якість основних технологічних процесів.

У виробництві сучасних машин процес оброблення різанням є найпоширенішим методом виготовлення деталей, який полягає в усуненні з поверхні заготовки шару металу за допомогою різального інструменту під час відносного переміщення інструмента і заготовки на металорізальних верстатах. Метою цього процесу є отримання деталей заданої форми та розмірів із дотриманням вимог технічних умов до точності та якості поверхонь, а критеріями ефективності можуть бути різноманітні техніко-економічні показники і параметри, наприклад, технологічна собівартість операції.

Метал, який усувають із поверхні заготовки в процесах різання, – це побічний продукт, який називають стружкою. Усі способи і види оброблення різанням, основані на зрізанні припуску та перетворенні його на стружку, об’єднані загальною назвою “Різання металів”. Отже, наявність стружки під час виготовлення деталей чи поверхонь є ознакою цього процесу. Наприклад, розділення металу на гільйотинних ножицях, газоплазмове розрізання, оброблення поверхні лазерним променем, механічними щітками, електроіскрове оброблення, коли не утворюється стружки, не належать до різання, тоді як розділення сортового вальцювання механічною ножівкою або розрізання прутка дисковою фрезою здійснюється різанням.

Історична довідка

Оброблення матеріалів різанням є одним із найважливіших та найдавніших із відомих процесів праці, який значно вплинув на розвиток людства. Перші знаряддя праці в епоху неоліту були з каменю у вигляді різців, сокир, наконечників, кинджалів, молотків, доліт, мотик, голок тощо. У III–I тисячолітті до н. е. на зміну крихкому та ламкому каменю прийшли мідь, олово і бронза. Проте знаряддя, виготовлені з цих металів, хоч були міцніші, проте не мали достатньої твердості. Розвиток ремісництва вимагав такого матеріалу, який би поєднував у собі міцність бронзи і твердість каменю, яким стало залізо, а в подальшому – чавун, сталь та її сплави.

Значним поштовхом у розвитку виробничих сил суспільства став перехід від мануфактурного виробництва до машинної індустрії, внаслідок чого ручну працю замінили машини, а безпосередній вплив на предмет праці передано механізмам. Заміна ремісничого періоду мануфактурним та супутній розподіл праці спричинили диференціацію знарядь праці, закріплення їх за відповідними операціями промислового виробництва товарів та виробів.

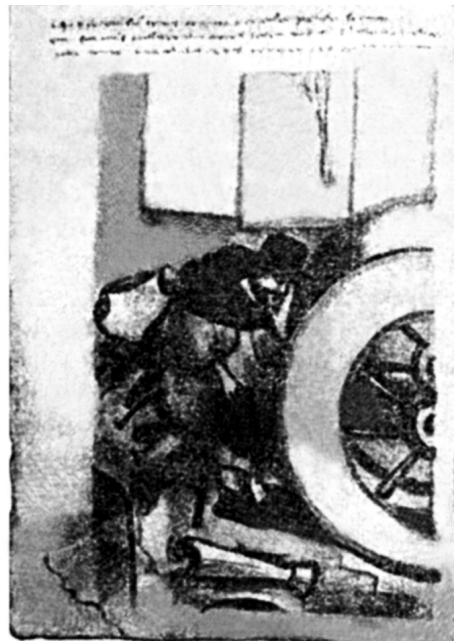


Рис. 1. Обточування дерев'яного вала на пристрої з ручним приводом (а) та полірування поверхні на верстаті з водяним приводом (б)

Виникнення оброблення металів різанням відносять до XV століття. Верстати XV–XVII ст. приводились у рух вручну, за допомогою коней або водяними млинами. Першими із відомих були токарні, свердлильні та полірувальні пристрої, які дуже віддалено нагадують сучасне технологічне обладнання. Різальні інструменти довгий час утримували руками, як це показано на рис. 1; супорт було винайдено лише у XVIII ст.

Розвиток нових технологій відбувався передусім у техніці виготовлення зброї. Жак Бессон (1578 р.) описав та проілюстрував методи нарізання різі на токарному верстаті з ходовим гвинтом та ручним приводом (рис. 2, а) і точіння овалу за шаблоном (рис. 2, б). Смітт і Вілкінсон розробили спосіб свердління циліндричних отворів (1776 р.) з водяним приводом, (рис. 3), що дало змогу кількакратно підвищити якість оброблюваних деталей та допомогло винахіднику першої парової машини Джеймсу Ватту впровадити її у промислове виробництво.

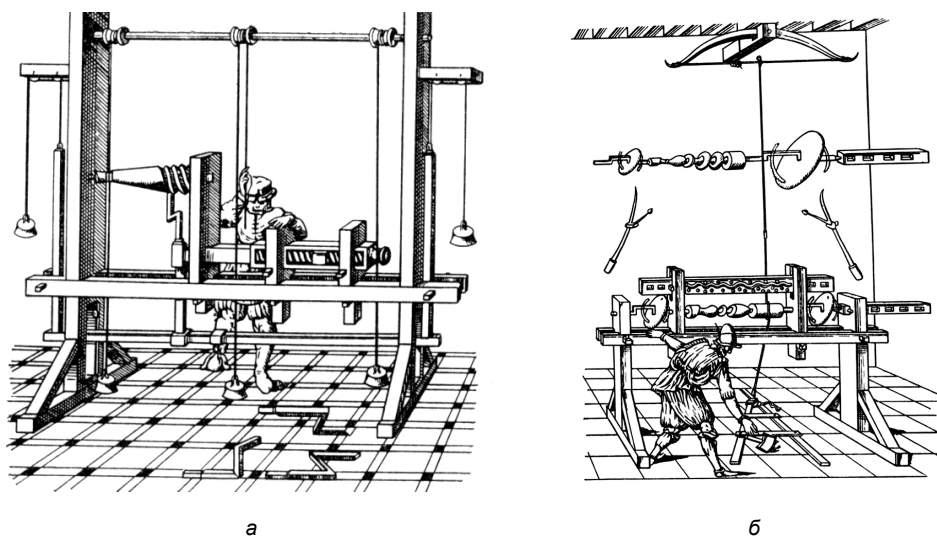


Рис. 2. Нарізання різі на токарному верстаті з ходовим гвинтом (а)
та точіння овалу за шаблоном (б)

Велика кількість винаходів і удосконалень, створення нових способів оброблення в XVIII ст. спричинили докорінні зміни в усіх галузях виробництва. Основним технічним засобом для обробки металів у цей період був токарний верстат, на якому робітник, тримаючи в руках різець під час роботи, пересував його в необхідному напрямі залежно від форми оброблюваної деталі, проте надалі виникла потреба в механізмі, який замінив би руку людини. Таким

механізмом став супорт токарного верстата, який винайшов А. К. Нартов. Це дало змогу застосувати машинний інструмент, створити високопродуктивні, багатоінструментальні верстати, зумовило бурхливий розвиток різальних інструментів, створення їх нових видів і типів. Конструкцію токарного верстата Менделєя з механічним приводом подачі з утриманням різального інструмента вручну та за допомогою супорта наведено на рис. 4.

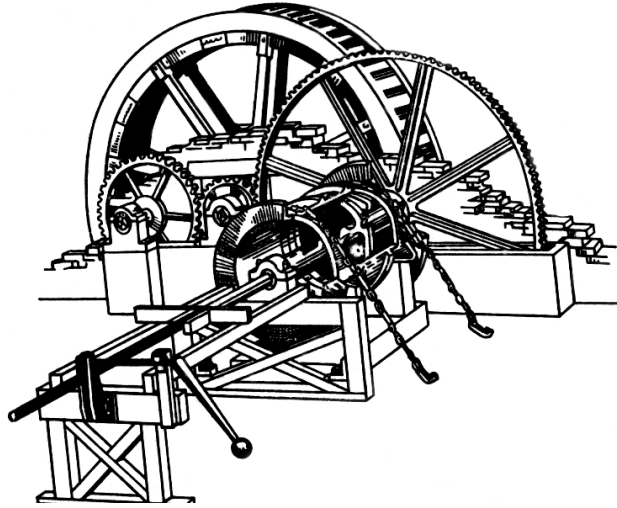


Рис. 3. Спосіб свердління циліндричного отвору за Вілкінсоном

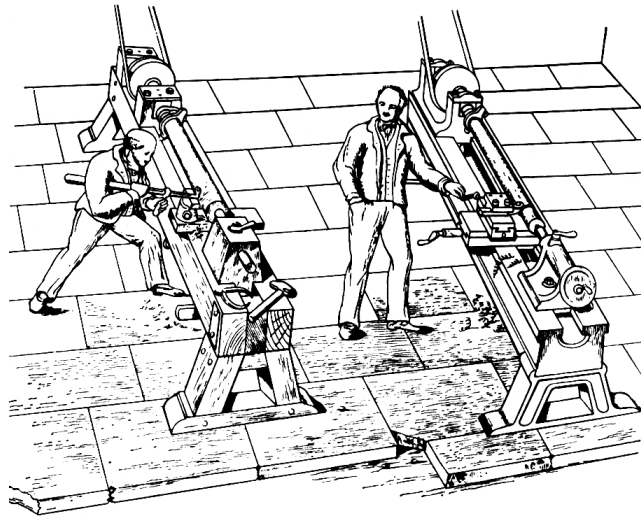


Рис. 4. Оброблення на токарному верстаті з механічним приводом подачі вручну та за допомогою супорта

Прогрес в обробленні металів супроводжувався розвитком та удосконаленням методів оброблення, металорізальних верстатів та різальних інструментів. У кінці XIX – на початку XX ст. груповий трансмісійний привід поступився місцем індивідуальним приводам, виникли нові типи верстатів та відповідні різальні інструменти: спіральне свердло, зенкер, розвертка, різні типи фрез, серед них фасонні та затиловані. В 20-ті роки XIX століття у виробництві навчилися виготовляти зубчасті колеса та почали використовувати шнекові фрези, зубонарізувальні довбачі, гребінки.

Після закладення наукових основ будови металів і металургії, яка дала промисловості новий інструментальний матеріал – швидкорізальні вуглецеві сталі – значно підвищилися режими різання: якщо інструменти з вуглецевих сталей могли працювати при швидкостях різання до 10 м/хв, то з використанням швидкорізальної сталі вона підвищилася до 30–40 м/хв. Ця обставина вплинула на зміну конструкції металорізальних верстатів, їх жорсткість, вагу, швидкохідність. Поширилися комбіновані інструменти, створено протязку, яка і сьогодні є прогресивним інструментом у масовому виробництві.

Успіхи та досягнення у галузі оброблення деталей різанням стали можливими завдяки науковим дослідженням. Перші експериментальні дослідження процесу різання металів виконав у Франції в середині XIX століття капітан французької артилерії Кокілья. Вони стосувалися дослідження процесу свердління отворів у гарматних стволах та визначення роботи процесу різання під час свердління. Продовжили дослідження свердління під час оброблення різноманітних матеріалів француз Кларинваль і англієць Коквілхет, який опублікував першу наукову працю з теорії різання. В 1864 році французький дослідник Джоссель зробив повідомлення про вплив геометрії різця на силу різання.

Першу ґрунтовну наукову працю з теорії різання матеріалів написав професор Санкт-Петербурзького гірничого інституту І. А. Тіме, який виявив та узагальнив особливості деформування різноманітних матеріалів, у т. ч. металу під дією різального інструмента, та науково пояснив фізичні явища, які відбуваються під час різання. Експериментально процеси стружкоутворення, осадження стружки, сили деформування зрізаного шару Тіме вивчав на Луганському ливарному заводі, зокрема особливості різання на стругальному верстаті сталі, заліза, чавуну, бронзи, свинцю, дерева. Результати досліджень він опублікував у 1870 р. у книзі “Опір металів і дерева різанню”, після чого здобув світове визнання як засновник науки про різання металів. Перші формули для розрахунку сили різання, класифікація типів стружок, фізика процесу стружкоутворення, вчення про пластичне деформування зрізаного шару, які дослідив та описав професор І. А. Тіме, не втратили актуальності й сьогодні.

Збагатив теорію різання металів К. О. Зворикін – професор Харківського, а згодом – Київського політехнічного інституту, який після Тіме досліджував силу різання. Він спроектував перший гідродинамометр для експериментального вивчення навантажень на технологічну систему, запропонував сучасну схему розподілу сили різання на складові, у якій враховано тертя на поверхнях різального клину.

Вперше терміни в галузі різання матеріалів, якими ми користуємося і сьогодні, “різальне лезо”, “передня грань” “задня грань”, “кут загострення”, “задній кут”, “передній кут” – увів капітан артилерії А. Брікс. З іноземних вчених найбільший внесок у становлення науки різання металів зробив американський дослідник Ф. Тейлор, який вивчав силові закономірності та вплив на них швидкості різання. Важливим доробком у вивчення теплових явищ і наросту, які супроводжують процес різання, стали наукові праці вченого Я. Г. Усачова, а впливу мастильно-охолоджувальних рідин на перебіг процесу різання – Н. Н. Савіна.

За час існування СРСР, протягом 1924–1991 рр., було створено передову школу різання металів, яка отримала світове визнання. Значний внесок у розвиток науки про оброблення металів різанням зробили учені С. С. Рудник, М. М. Зорев, М. Ф. Полетика, М. І. Клушин, О. М. Розенберг, М. І. Резников, В. Ф. Бобров, Т. Н. Лоладзе, А. Н. Єрьомін, А. І. Ісаєв, Г. І. Грановський, О. Я. Малкін, О. Н. Резников, О. О. Маталін, О. І. Каширін, О. М. Данієлян, О. П. Соколовський, В. М. Бакуль, С. С. Силін, А. І. Грабченко, В. О. Залого, Ю. М. Внуков, М. П. Мазур, завдяки діяльності яких теорія різання збагатилася теоретичними та експериментальними знаннями й сформувалася як наука в сучасному вигляді. За кордоном у цей період наукового розвитку найбільшої слави здобули вчені П. Окслі, І. Д. Армарега, М. Мерчант, І. Шлезінгер, Н. Такаяма.

1. Значення процесів оброблення різанням у машинобудуванні

Сьогодні частка оброблення різанням у виготовленні більшості машин є значною. В різних галузях машинобудування на оброблення різанням припадає від 20–30 % до 70–80 % загальної працемісткості продукції цих галузей. Загалом структура працемісткості машин за групами технологічних процесів є такою:

- виробництво заготовок – 20–30 %;
- оброблення поверхонь різанням – 50–70 %;
- складання 10–20 %.

Процеси виготовлення деталей різанням залишаються головними методами формоутворення деталей машин та збережуть своє провідне значення у перспективі. Такий стан пояснюється так.

1. Процеси різання характеризуються найвищою універсальністю, оскільки для них немає обмежень за формою, розмірами та матеріалами об'єктів виготовлення, а також за обсягами випуску продукції і типом виробництва.

Створення та впровадження нових способів та методів формоутворення не змінили істотно балансу між процесами різання та іншими способами і методами виготовлення деталей і поверхонь машин, що склався протягом тривалого часу. Відомі сьогодні різноманітні прогресивні технологічні процеси виготовлення деталей без зняття стружки займають вужчі ніші та використовуються значно рідше. Зокрема, методи точного литва: литво у кокіллі, відцентрове литво, литво під тиском, порошкова металургія, методи прецизійного штампування тощо ефективні лише за дуже великих обсягів випуску продукції, що в сучасних умовах зустрічається рідко.

Електрофізичні методи оброблення – електроіскрове, електронно-променеве, плазмове, оброблення лазерним променем – обмежені за масою та габаритами деталей, окрім того, є енерговитратними та недостатньо продуктивними. Ці самі недоліки характерні також для електрохімічного оброблення, суть якого полягає в анодному розчиненні припуску в середовищі електроліту за час утворення іскри між інструментом та виробом.

Ультразвукові методи, що ґрунтуються на кавітації й ударній дії абразивних часток, застосовують лише для деталей із неелектропровідних матеріалів. Газоплазмові та гідроабразивні методи мають обмеження за складністю конструкції деталей, які підлягають обробленню.

Найбільш прогресивною та ефективною з усіх нетрадиційних способів формування стала технологія швидкого прототипування ("Rapid prototyping"), яка дає змогу отримувати вироби не відділенням припуску із заготовки, а покроковим послідовним нарощуванням шарів модельного матеріалу до отримання завершеної об'ємної моделі виробу. До найпоширеніших видів швидкого прототипування належать трикоординатний друк, стереолітографія, лазерне спікання.

Основою для роботи RP-системи є тривимірна твердотільна комп'ютерна модель деталі, або складальної одиниці, створена в одній з існуючих програм 3D-САПР. Процес пошарового синтезу нарощуванням матеріалу фізичної моделі здійснюється в автоматизованому режимі без присутності людини. Формується структура виробу під час переходу від рідкого або порошкоподібного стану матеріалу до його твердого стану. Для послідовного

з'єднання шарів матеріалу використовують термопресування, лазерне спікання, спеціальні клеєві суміші або полімери, які затвердівають.

На рис. 5 показано установку для швидкого прототипування на основі тривимірного глибокого друку. Робоча смінь 3D-принтера заповнюється порошком, на який по контуру, що відповідає перерізу комп'ютерної 3D-моделі, наноситься з'єднувальний матеріал, наприклад, епоксидна смола. Після цього робоча платформа опускається на певну висоту (не більше 0,1 мм), і цикл повторюється для формування наступного перерізу та до відтворення у фізичному тілі 3D-моделі. Після затвердіння моделі вона буде готова до використання.

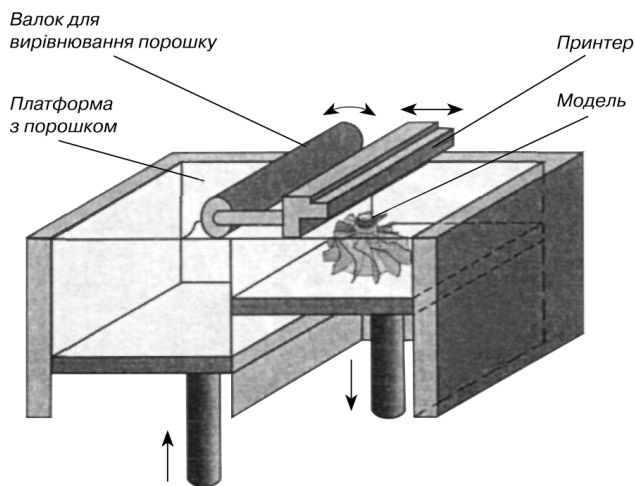


Рис. 5. Схема будови і роботи 3D-принтера для формування фізичної моделі у техніці тривимірного друку

RP-технології дозволяють виготовляти вироби будь-якої складності з різних конструкційних матеріалів. Швидке зменшення вартості RP-установок і промислових лазерів робить цей спосіб придатним для практичного використання, зокрема, для виготовлення ливарних оболонкових та прес-форм, дослідних зразків деталей, відпрацювання конструктивних варіантів виробів складної форми, але область використання методу обмежується дрібносерійним виробництвом.

2. Якість виготовлення деталей та процесів складання в машинобудуванні є необхідною умовою високої експлуатаційної якості машин. Різанням можна досягти найвищої точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь та параметрів шорсткості. Сьогодні став можливим перехід від

мікрометричного рівня якості, за яким відхилення обробленої поверхні мали порядок 0,1 мкм до відхилень у нанометричному діапазоні – до 0,001 мкм.

3. Технологічні процеси виготовлення деталей, які ґрунтуються на обробленні різанням, є найгнучкішими та найманевренішими, що особливо важливо в сучасних умовах. Частка серійного виробництва в машинобудуванні становить понад 80 %, а продукція машинобудування перебуває у стані перманентної зміни та удосконалення і неперервно поновлюється завдяки прискореному розвитку науки. У США серіями до 50 одиниць випускають понад 70 % усієї продукції. Навіть такі галузі, які традиційно випускали продукцію масово та великими серіями, зокрема автомобілебудування, виробництво побутової техніки, засобів зв'язку та інші, сьогодні зменшують річні програми та розширяють асортимент виробів. За таких умов виробництво потребує частоті і швидкої перебудови, скорочення строків технологічної підготовки за одночасного ускладнення конструкцій машин. Тут процеси різання мають істотну перевагу, бо здатні в найкоротші терміни переорієнтуватися на створення нових виробів. Ці процеси також легко піддаються автоматизації, що підтверджується поширенням комплексних систем, в які інтегровано процеси конструювання, інженерних розрахунків, оброблення і формоутворення різанням, автоматизованого програмування для верстатів з числовим керуванням.

4. Процеси оброблення різанням, порівняно з іншими способами і методами формоутворення та виготовлення деталей і поверхонь, є найекономічнішими, вони потребують менших витрат усіх видів енергії на їх здійснення.

Наявність стружки є недоліком процесів різання. За даними вчених В. Г. Гостева і М. І. Клушина, у 70-ті роки минулого століття в СРСР із річної сукупної маси заготовок понад 20 млн т у стружку переводилося 8 млн т. Доводиться миритися з тим, що на утворення цього побічного продукту, відходів процесів різання витрачається частина виробничих ресурсів – обладнання та інструментів, силової енергії, матеріалів, сировини тощо. Скорочення цих непродуктивних витрат можливе, насамперед, з підвищенням точності виготовлення заготовок, отримуваних методами пластичного деформування та литва (зокрема, порошковою металургією), а також максимального наближення їх форми і розмірів до готових деталей і зменшення припусків під механічне оброблення поверхонь. Цієї мети можна досягти також розширенням номенклатури типорозмірів та різновидів сортового прокату, який постачає металургійна промисловість

Отже, незважаючи на різноманітність відомих сьогодні способів та методів оброблення поверхонь та виготовлення деталей, можна стверджувати,

що процеси різання у виготовленні деталей та продукції сучасного машинобудування є основними і домінуючими, а їхні значення, незважаючи на створення та впровадження різноманітних нових прогресивних технологій, сьогодні та у майбутньому не зменшуватиметься.

2. Основні напрями розвитку науки різання металів

На сучасному етапі машинобудування наука різання металів інтенсивно розвивається у таких напрямках, як створення інтегрованих технологій, що базуються на обробленні різанням та інтегрують конструкторські, інженерні, технічні, технологічні та організаційні рішення при автоматизованому створенні продукції; пошук нових ефективних інструментальних матеріалів для лезового та абразивного оброблення сучасних конструкційних сталей і сплавів; поглиблене вивчення механіки різання на основі фізики пластичного деформування і руйнування матеріалу; математичне та імітаційне моделювання процесів руйнування, стружкоутворення, механічного деформування і теплогенерування, контактних явищ і тертя на поверхнях формування утворених поверхонь; створення нових ефективних мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ; підвищення якості утворених поверхонь; впровадження технологій високошвидкісного різання ("*HSC-HSM*"), часто без використання МОТС; дослідження та систематизація досвіду оброблюваності високоміцних і жаростійких сталей і сплавів, синтетичних матеріалів із різноманітними властивостями, розроблення технічних нормативів на усі відомі види оброблення різанням; оптимізація режимів різання та технологічних переходів, операцій і процесів, зокрема, на автоматизованому обладнанні з ЧПК.

Відмінності у підходах до дослідження процесів різання сьогодні полягають у тому, що на зміну вивченню умов пластичного деформування та розділення заготовки і усунення припуску, процесу стружкоутворення і контактної взаємодії, які панували в науці різання металів до цього, об'єктом дослідження стають закономірності утворення нових поверхонь, утворюваних різанням, умови досягнення їх заданої якості, формування необхідних структури, топології і мікронерівностей, які повинні відповідати умовам функціонування спряжених поверхонь, забезпечувати їхню максимальну ефективність у процесі експлуатації та функціонування виробів згідно з їхнім призначенням.

Особливу увагу сьогодні приділяють дослідженням процесів механооброблення сучасних конструкційних матеріалів, які мають підвищені фізичні і механічні властивості. Це високоміцні, жаростійкі та жароміцні сталі і сплави, які належать до важкооброблюваних. Наукові дослідження процесів різання

деталей з таких сталей і сплавів мають на меті удосконалення і розвиток нових інструментальних матеріалів, розроблення нових різальних інструментів, нанесення захисних покриттів на їх робочі поверхні, оптимізацію режимів різання для забезпечення необхідних властивостей структури і якості поверхонь в результаті механічного оброблення, забезпечення максимального ресурсу різальних інструментів, зменшення технологічних витрат, підвищення надійності виробничих систем.

3. Основні тенденції розвитку інструментального виробництва

1. Застосування ефективних надтвердих синтетичних інструментальних матеріалів (штучні алмази, ельбор, гексаніт тощо), а також різальної кераміки. Завдяки здатності обробляти деталі будь-якої твердості, зберігаючи тривалий час стійкість, ці матеріали забезпечують надійну роботу в умовах автоматизованих виробництв. Лезові інструменти з надтвердих інструментальних матеріалів все частіше використовують для оброблення високоміцних і твердих конструкційних матеріалів, зокрема тих, які пройшли операції поверхневого зміцнення, замість шліфування, забезпечуючи високу продуктивність, точність та якість оброблюваної поверхні.

2. Використання в різальних інструментах – різцях, фрезах, свердлах, зенкерах, розвертках тощо – багатограних непереагострювальних пластин (БНП) з механічним кріпленням з надтвердих синтетичних матеріалів, твердих сплавів та різальної кераміки, що дає змогу істотно скоротити допоміжний час технологічних операцій і підвищити продуктивність механічного оброблення.

3. Використання твердосплавних інструментів малих розмірів у монолітному виконанні, що дозволило поширити тверді сплави на практично всі діапазони розмірів, а також застосовувати їх для різенарізних, дрібномодульних зуборізальних та інших інструментів, які до цього виготовляли із швидкорізальних сталей; внаслідок цього зменшуються витрати на інструмент та підвищується продуктивність праці.

4. Застосування одно- і багатошарових зносостійких покриттів, які наносять на тверді сплави і швидкорізальні інструментальні сталі. Ці тонкі (декілька мікрометрів) шари карбідів, оксидів титану, нітридів, оксидів танталу, ніобію, цирконію та інших елементів, отриманих на різальних поверхнях інструментів різними методами (осадженням із газової фази, конденсацією з іонним бомбардуванням тощо), підвищують стійкість інструментів в два і більше рази. Завдяки мінімальному розмірному зношуванню інструменти з такими по-

криттями можна використовувати в автоматизованому виробництві, забезпечуючи високу точність виготовлення.

5. Розроблення конструкцій збірних інструментів із загостренням ножів поза корпусом з регулюванням положення різальних лез для компенсації спрацювання; розроблення оптимальних конструкцій та геометричних параметрів інструментів для алмазного загострення.

6. Підвищення точності виготовлення різальних інструментів. Дотримуючись цього, сучасне інструментальне виробництво забезпечує зменшення взаємного розташування різальних лез багатолезових інструментів до 2–5 мкм, відхилення різальних лез пластин із твердих сплавів від ідеального багатогранника не перевищує 1 мкм, завдяки чому забезпечується збереження точного положення різального леза у разі зміни положення пластини або її повної заміни.

7. Удосконалення систем керування інструментальними системами на верстатах з ЧПК – автоматизованою діагностикою стану інструментів, адаптивного регулювання їх положення під час оброблення, позиціонування та заміни.

7. Розроблення інструментальних модульних систем та модульних інструментальних блоків, які органічно поєднують групи різальних і допоміжних інструментів, що підвищує універсальність інструментів автоматизованого виробництва, скорочує кількість елементів у наборі, розширює можливості металорізальних верстатів та зменшує масу замінюваних елементів технологічного спорядження.

8. Поліпшення умов експлуатації різальних інструментів завдяки подачі мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ безпосередньо до ділянки різання, покращення умов усунення стружки.