

МИРОНЕНКО Є.В., КОВАЛЬОВ В.Д., ВАСИЛЬЧЕНКО Я.В., КЛИМЕНКО Г.П., МИРАНЦОВ С.Л.

СУЧАСНИЙ СТАН ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ БЛОЧНО-MOДУЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

У статті розглянуто аналіз сучасного стану проблеми лезової обробки, розглянуті шляхи підвищення ефективності процесу обробки на важких та унікальних верстатах, системи збірної інструменту, надійність інструменту, зроблено оцінку методів забезпечення задовільного стружкоутворення та їх технологічних можливостей, розглянуті методи багатокритеріальної оптимізації, визначені напрямки наукового пошуку, сформульовано мету та завдання дослідження. Уперше опубліковано наукові основи створення систем блочно-модульного інструменту для важких верстатів, які містять: принципи створення систем блочно-модульного інструменту на основі кваліметричного оцінки станів процесу механічної обробки і можливих відмов технологічної системи, властивостей й критеріїв їхньої оптимізації, визначення вагомостей критеріїв; основи конструювання елементів блочно-модульного інструменту з урахуванням оцінки напружено-деформованого стану та жорсткості їх основних вузлів, створення математичної моделі процесу дробління стружки різальними елементами та його імовірнісної оцінки.

Ключові слова: лезова обробка, важкі токарні верстати, система збірної модульного інструменту, надійність, стружкоутворення, багатокритеріальна оптимізація.

MIRONENKO E.V., KOVALOV V.D., VASYLCHENKO YA.V., KLIMENKO G.P., MYRANTSOV S.L. THE CURRENT STATE OF BLADE MACHINING WITH BLOCK-MODULAR TOOLS ON HEAVY-DUTY CNC MACHINES

The article analyzes the current state of the problem of blade machining, considers ways to improve the efficiency of the machining process on heavy unique machine tools, prefabricated tool systems, tool reliability, evaluates methods for ensuring satisfactory chip formation and their technological capabilities, considers methods of multicriteria optimization, identifies areas of scientific research, and formulates the purpose and objectives of the study. For the first time, the scientific principles of creating block-modular tooling systems for heavy machine tools were published, which include: principles of creating block-modular tooling systems based on qualimetric assessment of the states of the machining process, possible failures of the technological system, properties and criteria for their optimization, determination of the criteria weights; principles of designing block-modular tool elements taking into account the assessment of the stress-strain state and stiffness of the main components, creation of a mathematical model.

Keywords: blade machining, heavy-duty lathes, prefabricated modular tooling system, reliability, chip formation, multi-criteria optimization.

Вступ. В роботі проведений аналіз сучасного стану проблеми лезової обробки, розглянуті шляхи підвищення ефективності процесу обробки на важких та унікальних верстатах, системи збірної інструменту, надійність інструменту, зроблено оцінку методів забезпечення задовільного стружкоутворення та їхніх технологічних можливостей, розглянуті методи багатокритеріальної оптимізації, визначені напрямки наукового пошуку, сформульовано мету і завдання дослідження.

Ефективність процесу механічної обробки деталей на важких верстатах більшою мірою визначається надійністю та універсальністю різального інструменту, які залежать від безлічі випадкових факторів. До 70% операцій механічної обробки, які виконуються на важких токарних верстатах, пов'язані зі зняттям великих перерізів шару, що зрізаються.

Це пояснюється тим, що у важкому машинобудуванні найпоширеніше використовують заготовки, отримані методом лиття, кування, штампування, які характеризуються наявністю великих нерівномірних припусків, пор, раковин, тріщин, неметалевих включень та інших дефектів поверхневого шару. Тому на етапі отримання заготовок виникає необхідність застосування чорнової лезової обробки з метою видалення дефектного поверхневого шару. Трудомісткість обробки різанням таких заготовок дуже велика. Наприклад, для обробки заготовки довжиною (4000 ... 5000) мм й діаметром 1500 мм знадобиться 3 робочі зміни (приблизно 22 години).

Мета дослідження. Основною метою та основними кінцевими завданнями, які мають бути вирішені є дослідження сучасного стану проблеми лезової обробки, розгляд шляхів підвищення ефективності процесу обробки на важких токарних верстатах з ЧПК, вивчення систем збірної модульного інструменту, надійності систем, визначення оцінки й методів забезпечення задовільного стружкоутворення та їхніх технологічних можливостей.

Основна частина.

Особливості обробки на важких токарних верстатах. Після видалення дефектного шару з поковки, деталь піддається термообробці, а подальша лезова обробка проводиться на важких токарних верстатах. При цьому видаляється припуск до 30 мм, з метою кращого наближення форми заготовки до профілю деталі. В результаті перед кінцевими (чистовими) операціями вага деталі становить лише (60 ... 70) % від ваги початкової заготовки. Аналіз застосованих глибин різання [1] під час обробки на важких токарних верстатах показує значне розсіювання і залежність їх від розміру верстата (рис. 1).

У роботах авторів [2, 3] проведені дослідження умов обробки на важких токарних верстатах на підприємствах різних галузей промисловості за допомогою статистичного аналізу. Вивчалися середні значення параметрів, що характеризують умови обробки, їхні розподіли для кожного типорозміру верстата. Розглядали важкі токарні верстати, що випускаються Краматорським заводом важкого верстатобудування з найбільшим діаметром встановлюваного над станиною виробу $D_c = (1250... 4000)$ мм. Максимальні значення параметрів розподілу умовно приймали за такі, що дорівнюють максимальному значенню відповідного параметра, що зустрічається в інформаційному масиві банку даних. На рис. 2 наведені найбільші значення діаметрів заготовок, що обробляються на верстатах даного типорозміру.

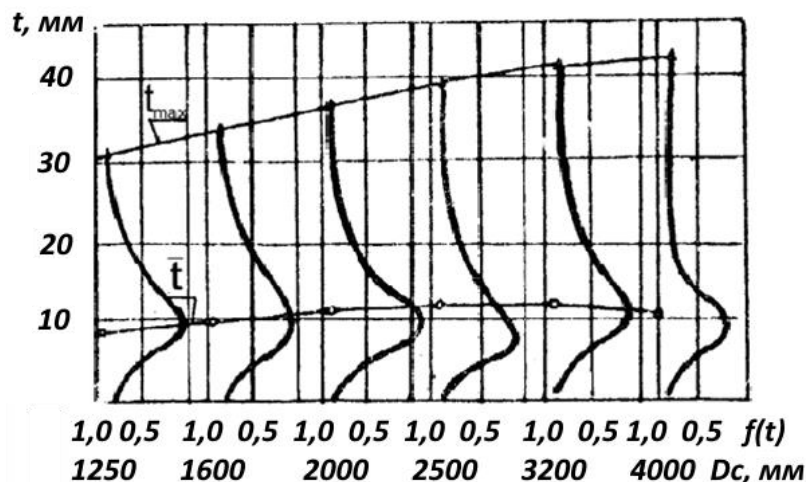


Рис. 1 – Розподіл глибин різання при обробці на важких токарних верстатах різних розмірів (D_c)

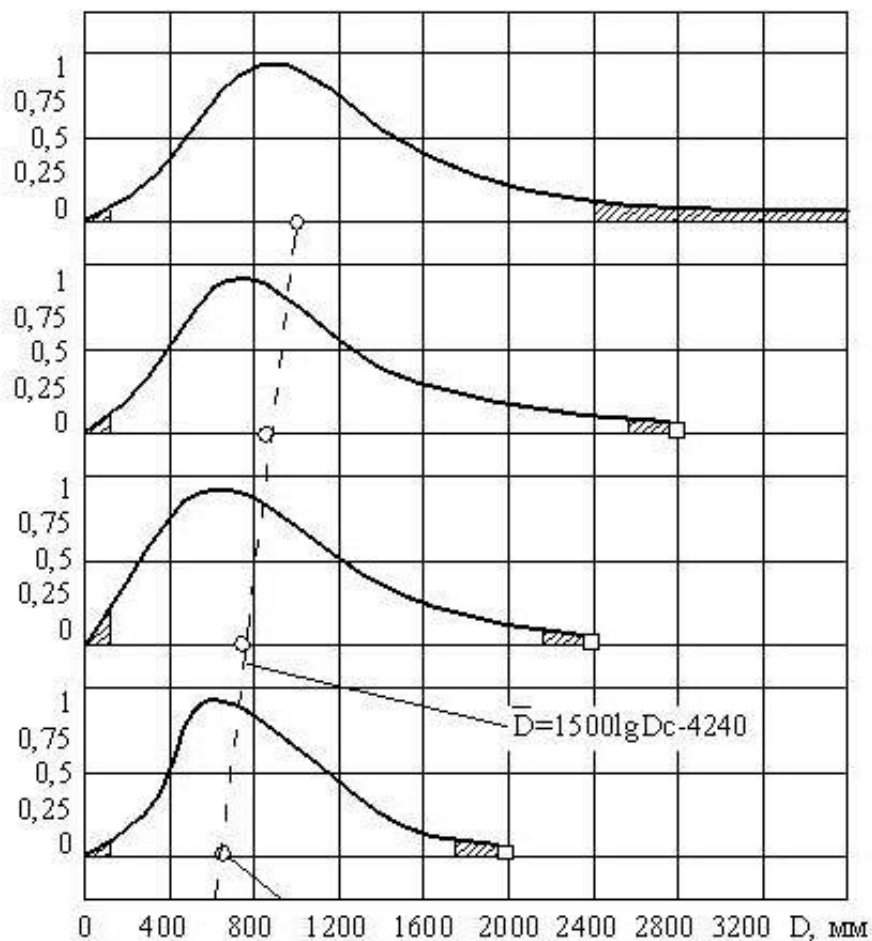


Рис. 2 – Розподіл діаметрів заготовок, що обробляються на важких токарних верстатах

Параметри умов обробки на важких верстатах характеризуються значним розсіюванням. Маса заготовок, що обробляються на цих верстатах, коливається від 0,5 до 250 тонн (рис. 3), діаметри заготовок від 500 до 3750 мм. Значне розсіювання параметрів умов обробки на верстатах різних типорозмірів, що характеризується коефіцієнтом варіації параметра, свідчить про те, що не завжди параметри деталі відповідають розміру верстата.

Це пояснюється тим, що через підвищену вартість обладнання на деяких підприємствах немає всієї розмірної гами важких верстатів.

Номенклатура марок матеріалів, що обробляються на важких верстатах, дуже широка. Встановлено, що 88 % становлять заготовки зі сталей, з них близько 60% легованих нікелем, ванадієм, хромом і молібденом (рис. 4).

Як показали дослідження, проведені в роботі [2, 3, 4], під час обробки валків холодного і гарячого прокату на важких токарних верстатах здебільшого застосовують дві марки твердого сплаву залежно від перерізу шару, що зрізається (рис. 5). На діаграмі можна виділити три зони: 1 - зона застосування Т5К10 для чорнової обробки, 2 - зона застосування сплаву Т15К6 і 3 - перетинання зазначених зон – спільного застосування сплавів.

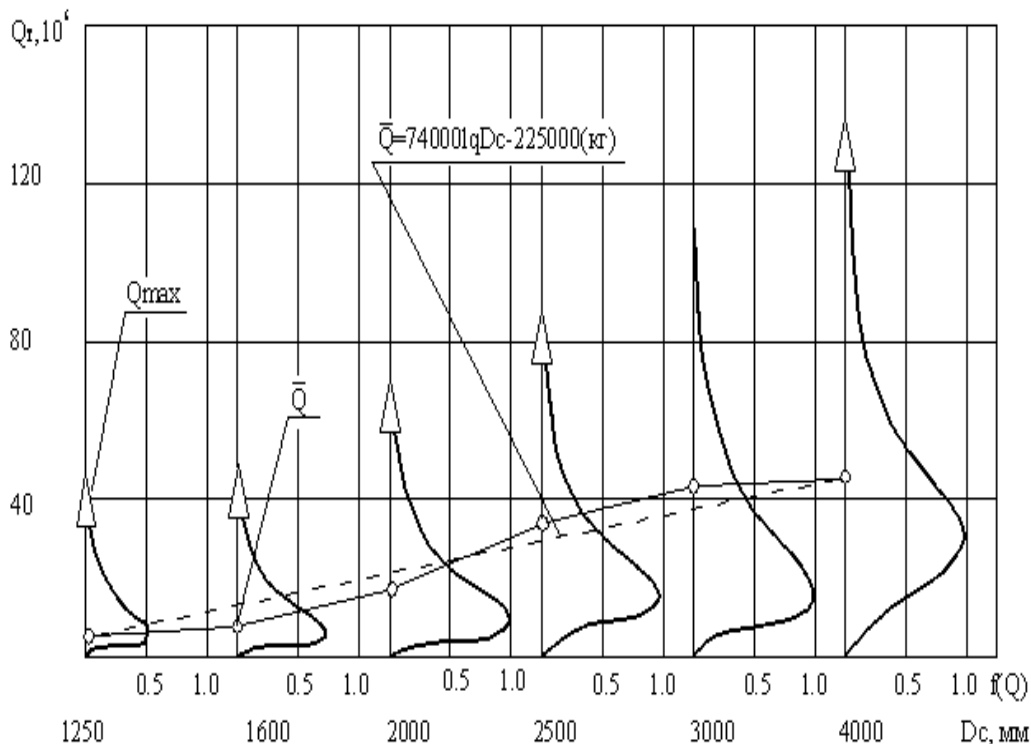


Рис. 3 – Розподіл маси заготовок, що обробляються на важких токарних верстатах

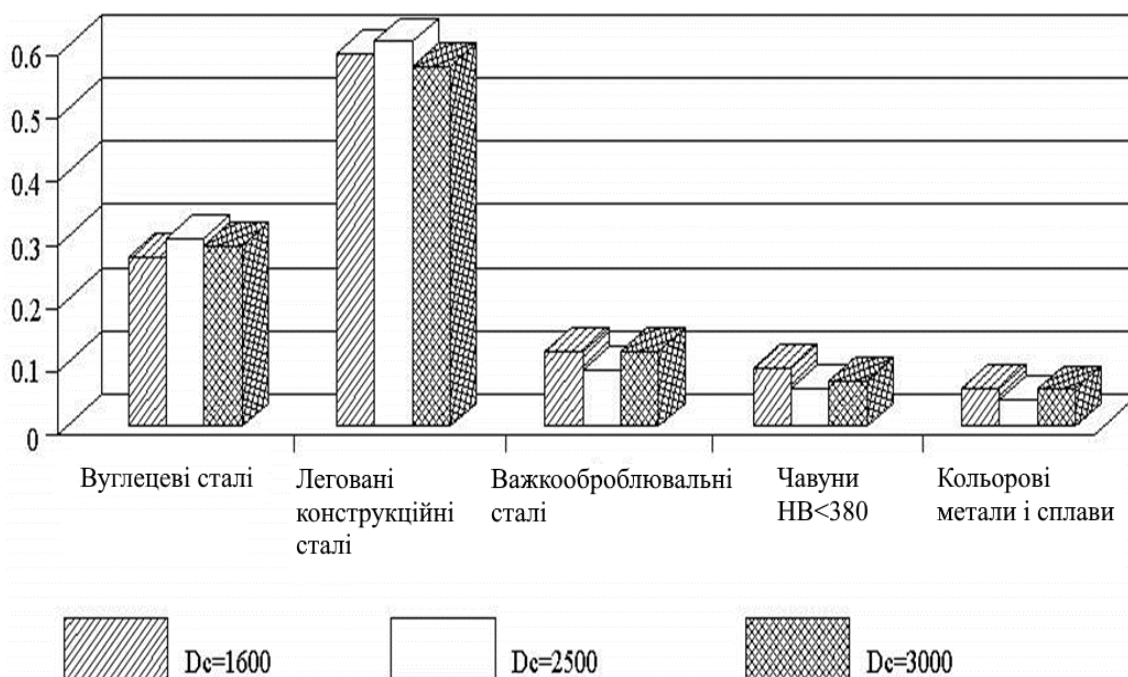


Рис. 4 – Діаграма розподілу матеріалу заготовок, що обробляються на важких токарних верстатах.

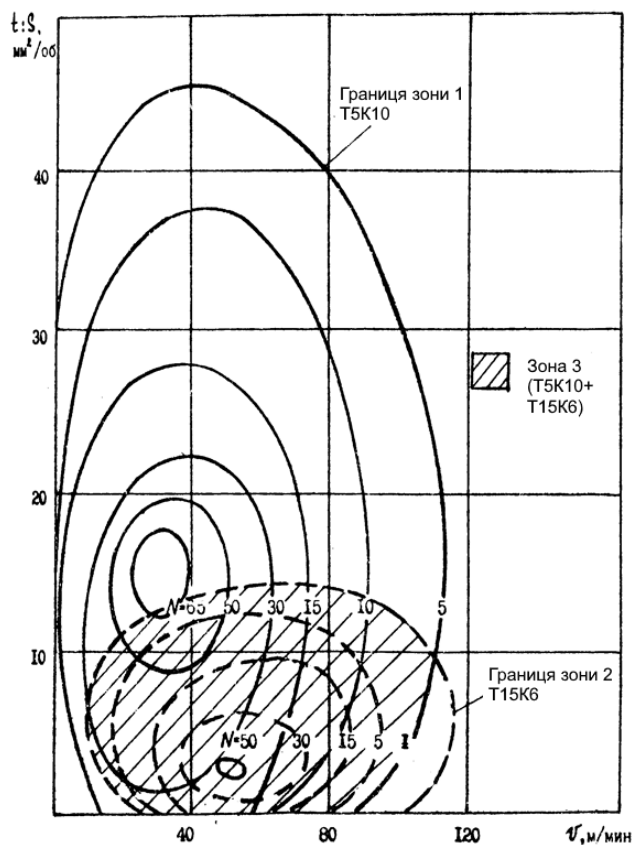


Рис. 5 – Области застосування марок твердого сплаву при обробці валків холодного і гарячого прокату на важких верстатах.

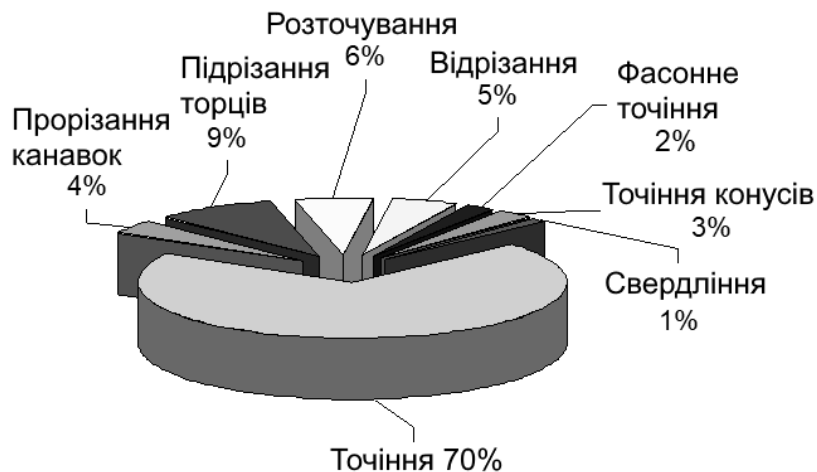


Рис. 6 – Розподіл технологічних переходів під час обробки на важких токарних верстатах.

На важких токарних верстатах виконуються найрізноманітніші операції (рис. 6). Близько 94% становлять операції, що виконуються різцями, причому поздовжнє точіння в середньому становить близько 70%. Умови експлуатації інструменту багато в чому визначаються його конструкцією. На підприємствах, що використовують важкі верстати, нині застосовують головним чином два типи різців: напайні з твердосплавною пластиною, розташованою вздовж передньої поверхні, і збірної конструкції з різальною вставкою, оснащеною пластиною твердого сплаву, розташованою вздовж задньої поверхні.

Стохастичний характер процесів обробки, велике розсіювання властивостей оброблюваних матеріалів та інших параметрів умов обробки призводить до необхідності ймовірного підходу до визначення конструктивних параметрів, який потребує розроблення стосовно різального інструменту, що особливо важливо для важких верстатів з ЧПК.

Спостереження за експлуатацією твердосплавних різців на важких токарних верстатах [4] показали, що

поряд зі зношуванням значну кількість має руйнування різальної частини у вигляді викришування і поломок. Наявність неусувних відмов різців (поломок) має великий вплив на ефективність обробки великих деталей.

Особливості розвитку машинобудування останніми роками змінили характер виробництва у важкому машинобудуванні у зв'язку з освоєнням нової гама важких токарних верстатів, оснащених пластинчастими супортами і ЧПК. Це вплинуло на умови експлуатації інструменту на цих верстатах [3, 5], а розробка і застосування високопродуктивного блочно-модульного інструменту з механічним закріпленням різальних пластин поставлені в основу раціонального використання цього обладнання.

Системи збірного інструменту і принципи їх конструювання. З метою підвищення універсальності інструменту й одночасного спрощення конструкції розроблені блочно-модульні системи інструменту для верстатів різних типів, які забезпечують великий ефект завдяки технології групового виготовлення інструменту.

Системи інструменту, як і будь-які матеріальні системи, являють собою безліч елементів, що перебувають у зв'язках один з одним та утворюють певну єдність. З погляду зовнішніх умов необхідними елементами систем є приєднувальні поверхні, призначені для встановлення і закріплення кріпильної частини різального інструменту в технологічному обладнанні.

Системою інструментів називають сукупність типорозмірних рядів систем базування і закріплення різального інструменту та систем базування і закріплення компоновок інструментів на верстатах, що забезпечує виконання технічних і економічних вимог ефективного використання в автоматизованому виробництві.

Усі застосовані раніше системи інструменту будувалися за схемою, яка наведена на рис. 1.7, заснованою на відомому принципі універсально-налагоджувальних пристосувань [6]. Інструмент, розроблений за цим принципом, отримав назву - блочно-модульного інструменту. З точки зору вибору системи інструменту важливим є виявлення впливу допоміжного інструменту на продуктивність праці та вартість обробки.



Рис. 7 - Принципова схема системи інструменту

Допоміжний інструмент - елемент системи інструменту, за допомогою якого різальний інструмент базується і закріплюється на верстатах з урахуванням низки умов макро- і мікрогеометрії. З його допомогою реалізується зв'язок між робочим органом верстата (шпиндель, супорт) і різальним інструментом.

Маслов А.Р. [7] запропонував під час проектування компоновок допоміжного інструменту для верстатів фрезерно-розточувальної групи враховувати: погрішність встановлення, початковий зсув, переміщення в результаті пружних і контактних деформацій на якість оброблюваної поверхні (рис. 1.8.).

Під час оцінки величини пружних відтиснень, обробці сталі, використовуються емпіричні залежності для розрахунку радіальної сили різання P_1 :

$$\Delta_{np} = \frac{1}{j} C \left(\frac{\delta_b^5}{75} \right)^\alpha t^\beta, \quad (1)$$

де α і β – коефіцієнти, що залежать від матеріалу заготовки і різальної частини; C – коефіцієнт, що

враховує технологічні особливості і геометрію інструменту; j - жорсткість технологічної системи.

Розв'язання зазначеної задачі дає змогу аналізувати можливі варіанти технологічних умов обробки, для яких будується модель, призначена для розрахунку точності оброблюваної поверхні.

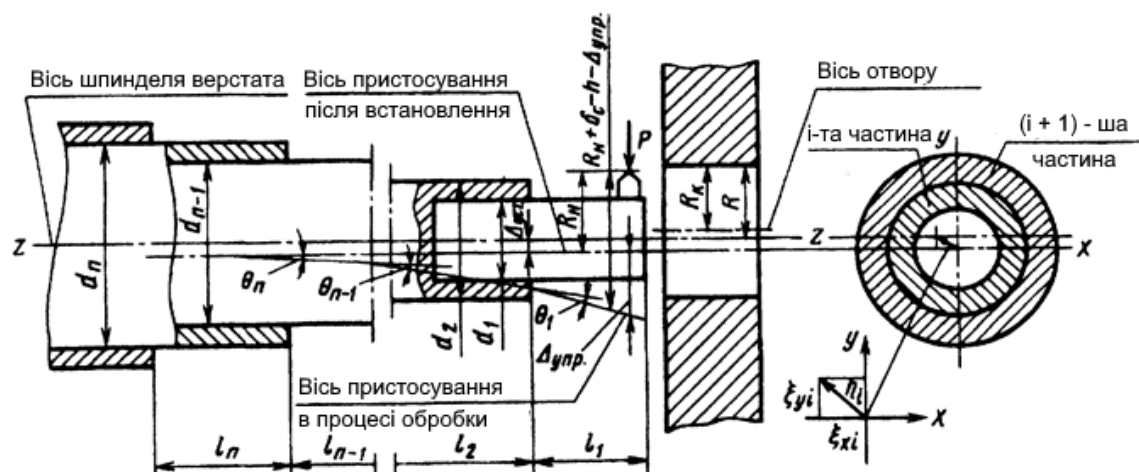


Рис. 8 - Схема утворення відхилень положення різальних кромки інструменту

На другому етапі аналізується розмірний ланцюг компонування системи допоміжного інструменту (рис. 1.9) через порівняння величин відхилень, що допускаються, на присднувальні поверхні базисних агрегатів і змінних налагоджень:

$$\bar{e}_{\Sigma(x)} = \frac{1}{K_{\Sigma(x)}} \sqrt{e_{cp}^2 \sum_1^m A_i^2 K_i^2}, \quad (2)$$

де, e_{cp} - половина середнього допуску на ланки розмірного ланцюга; $K_{\Sigma(x)}$ - коефіцієнт відносного розсіювання величини замикаючої ланки.

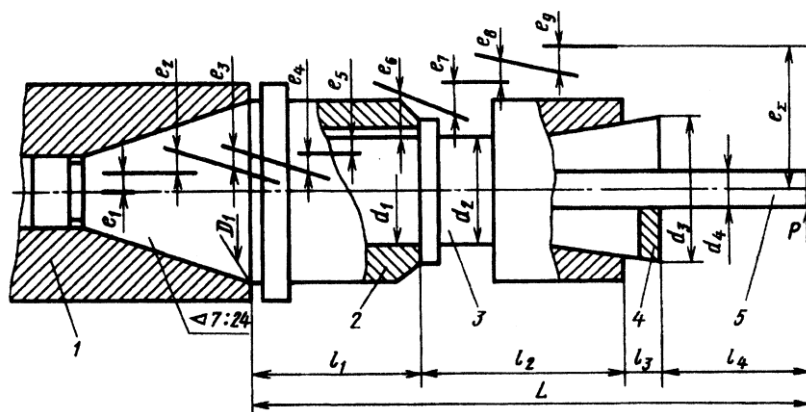


Рис. 9 – Розмірний ланцюг компонування допоміжного інструменту

В якості $e_{\Sigma(x)}$ приймають половину припустимого биття присднувальних поверхнь допоміжного інструменту для конкретного виду різального інструменту. Аналіз розмірного ланцюга дає змогу створювати різні компонування з урахуванням забезпечення вимог точності прецизійної обробки поверхнь корпусних деталей.

Інструмент, що збирається з уніфікованих вузлів і агрегатів, переналагоджують відповідно до зміни оброблюваних деталей простим компонуванням уніфікованих взаємозамінних вузлів. Традиційний інструмент замінюється комплектами, складеними з уніфікованих агрегатів і вузлів, з їхнім частковим або повним розбиранням для подальшого складання в іншому поєднанні. Така конструкція дає змогу замовити не просто інструмент певного типу, а систему інструменту з необхідними змінними пристроями.

Система блочно-модульного інструменту є ефективним засобом задоволення вимог споживачів до комплексного оснащення верстатів з ЧПК, що дає змогу зменшити кількість індивідуальних замовлень.

Для складання інструменту різних типів використовують певну кількість деталей (модулів), які утворюють взаємопов'язаний механізм, що має достатню результуючу жорсткість і точність. Такий інструмент дає змогу створювати комбіновані інструменти, змінювати довжини і діаметри відповідно до

кожного конкретного завдання обробки. Складений інструмент має меншу жорсткість порівняно із суцільним інструментом, проте в низці випадків має більшу здатність до гасіння вібрацій.

Основним і найважливішим вузлом блочно-модульного інструменту є з'єднувальний елемент, який забезпечує не тільки взаємне з'єднання окремих частин інструменту, а й жорсткість, точність і повторюваність складання блоків. У розглянутій системі як з'єднувальним елементом є циліндричний стрижень із різьбою на кінці, що стикується з циліндричним отвором із різьбою. Базування також забезпечується за ретельно обробленими торцевими поверхнями.

Слід зазначити, що принцип "блоковості" певною мірою застосовано в системах допоміжного інструменту для верстатів з ЧПК із пристроями автоматичної зміни інструменту. На практиці такі системи можуть бути ретельно відпрацьовані для різного обладнання. Однією з найдосконаліших систем для токарних верстатів з ЧПК є, зокрема, система блочно-модульного інструменту концерну "Сандвік" (Sandvik, Швеція) (рис. 1.10). Усі різцеві модулі системи мають базові поверхні з циліндричним отвором і пазом у середині хвостовика (рис. 1.10, а). Під час встановлення модуля 1 у гніздо оправки 3 (зверху вниз) блок поверхнями виступу А базується в прямокутному гнізді оправки. При цьому в циліндричний отвір і паз модуля входить фігурний виступ тяги 2 (рис. 1.10, б). Під час зміщення тяги 2 під дією сили Q відбувається закріплення модуля в гнізді оправки 3 (рис. 1.10, в).

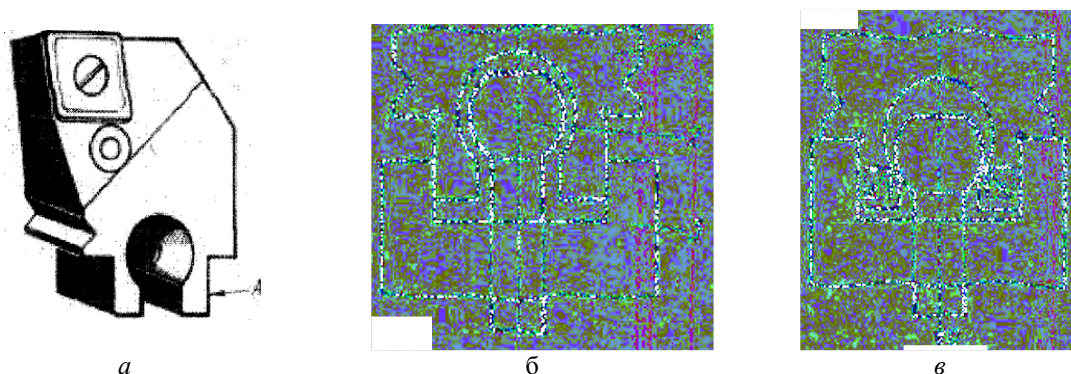
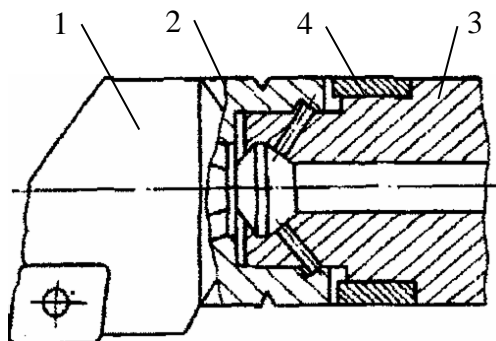


Рис. 10 – Різцевий модуль (а) і схема його кріплення на базовій оправці (б)

У зв'язку із появою верстатів з ЧПК, об'єднанням їх у ГВС, виникла потреба в системах модульного інструменту. У 80-х роках провідні зарубіжні фірми розробили нове покоління блочного інструменту з метою підвищення коефіцієнта використання токарних верстатів з ЧПК і обробних центрів у гнучких технологічних комплексах [8].

Фірмою "Hertel" розроблено оригінальну інструментальну систему "Hertel-FT", що складається з інструментальних модулів і тримачкової частини (рис. 11). Модуль з'єднується з державкою шляхом зачеплення двох плоских зубчастих коліс 3, одержуваних способом холодного видавлювання. В осьовому напрямку модуль затягується цангою 4, яка пелюстками складного профілю захоплює модуль 1. За допомогою тяги 5 цанга 4 переміщається всередину тримачкової частини 2, тягнучи за собою модуль 1. Перехід на цю систему збільшить вартість різального інструменту на (40 ... 60)%, бо модулі складніші й точніші за стандартні різці.



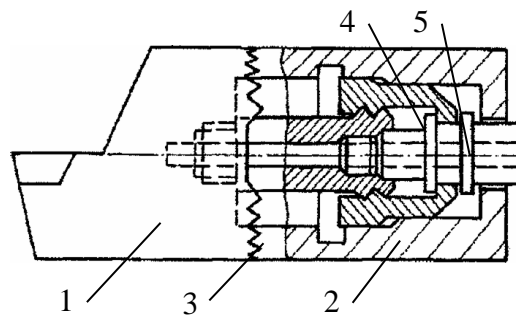
1 – модуль, 2 – циліндрична цапфа, 3 – тяга, 4 – штифт, 5 – кільцева виточка

Рис. 11 – Конструкції блочно-модульних різців "Hertel"

У системі "Multiflex" фірми "Widia-Krupp" (ФРН) змінні модулі мають циліндричні та торцеві базові поверхні (рис. 12). На кінці державки виконано циліндричну цапфу 2, яка входить в отвір корпусу змінного модуля 1. В отворі цапфи розміщена центральна тяга 3, що контактує з чотирма штифтами 4, розташованими похило до осі тяги. Під час переміщення тяги штифти взаємодіють із кільцевою виточкою 5 в отворі модуля і закріплюють її на цапфі державки, підтягуючи модуль в осьовому напрямку до упору в

торець.

Нині широко використовується система уніфікованого інструменту з циліндричним хвостовиком [8] для токарних верстатів із ЧПУ мод. 16K20T1Ф3, 1П756МФ3 тощо (рис. 13). У розглянутій системі всі різцетримачі базуються по циліндру хвостовика (з рифленнями по лисці), що забезпечує точну кутову установку інструменту, і штифтом. Такий інструмент кріпиться в револьверній голівці за допомогою клина, що також має рифлення, але зміщені щодо рифлень хвостовика. Різцетримачі призначені для кріплення різців з перерізом 16×16 до 40×40 мм.



1 – модуль, 2 – державка, 3 – плоске зубчасте колесо, 4 – цанга, 5 – тяга

Рис. 12 – Конструкції блочно-модульних різців "Widia-Krupp"

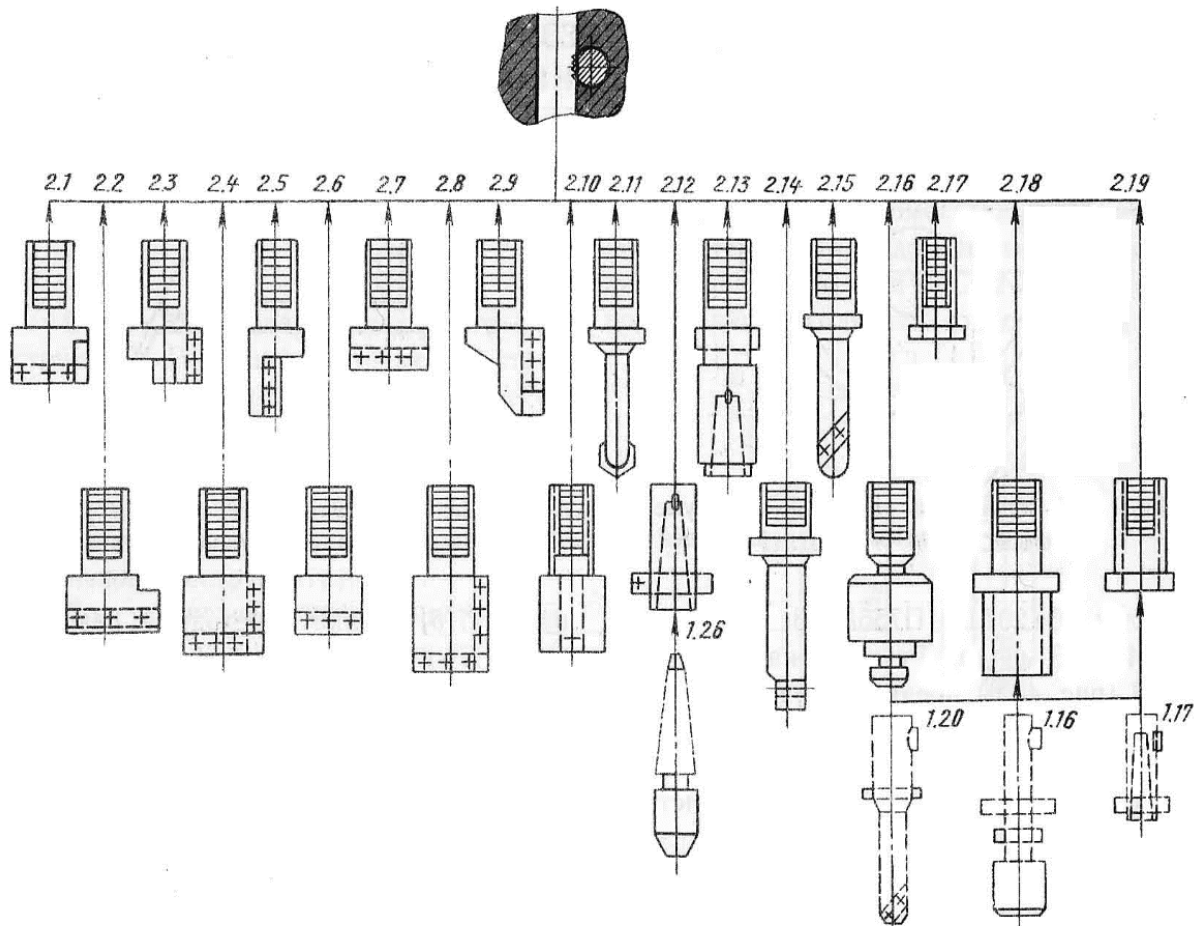


Рис. 13 – Система інструменту з циліндричним хвостовиком

Для верстатів із ЧПК моделей 1A734Ф3, 16K30Ф3 розроблено системи інструменту з базуванням призмою (рис. 14).

Принципи закріплення інструменту прийняті такими самими, як для різцетримачів із циліндричним хвостовиком. Відмінною особливістю різцетримачів з призмою, що базує, є те, що в них можна встановлювати як праві, так і ліві різці. Різцетримачі забезпечують закріплення різців з перерізом державки 16×16 до 40×40 мм. ЕНІМСом (м. Москва) розроблено систему інструменту для багатоцільових верстатів

[8]. До кожної системи пропонується набір основних оправок із відповідним хвостовиком: або з конусністю 7:24, або з розмірами (за ІСО) 30, 40, 45, 50, 60 (рис. 15). Інструменти з конічним хвостовиком можна встановлювати безпосередньо в оправці або через перехідні втулки. Перехідні оправки, закріплені в базовій оправці, дають змогу регулювати виліт інструмента.

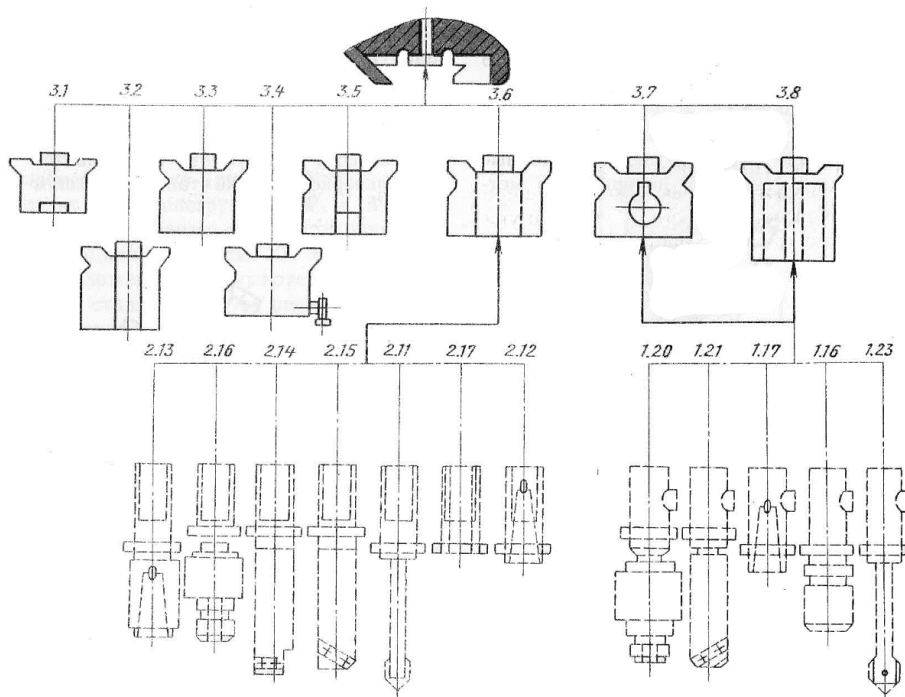


Рис. 15 – Система інструменту з базою-призмою, що базується

Ця система призначена для верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи. Вище перераховані системи кріплення інструментів до корпусу державки призначені для експлуатації на середніх токарних верстатах з ЧПУ для напівчистої і чистої обробки.

Використовуються також короткозатисні різцетримачі [8]. Різцетримач забезпечений циліндричною вкладкою з отворами, встановленими з можливістю повороту в отворі, виконаному в основі, а циліндричні гайки в отворі вкладки передають на неї протилежні моменти сил (рис. 1.16).

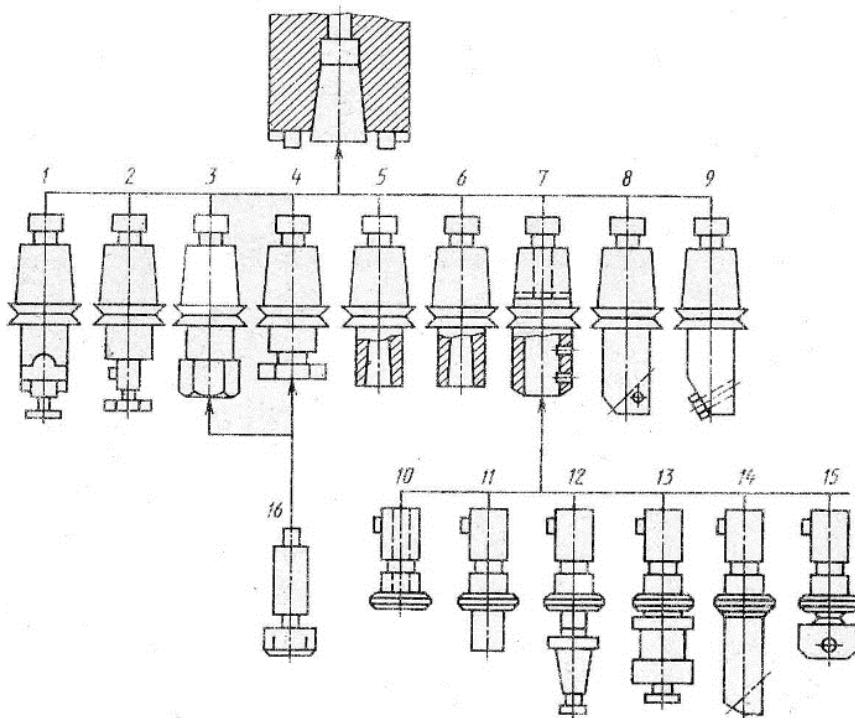


Рис. 16 – Система інструменту з конічним хвостовиком

Короткозатискні різцетримачі призначені тільки для верстатів із ЧПК, мають низьку універсальність і не можуть застосовуватися на верстатах із ручним керуванням.

У Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА) розроблено систему різців для важких токарних верстатів за участю автора [9, 10], основою якої є блок (рис. 17). Вибір блокової конструкції зумовлений необхідністю забезпечення швидкої зміни робочої частини (замінювати весь різець важко у зв'язку з його великою масою). Недоліком розробленої системи є samozаклинювальне з'єднання (ластівчин хвіст), розташоване горизонтально. Для зміни блоку необхідне велике зусилля для вибивання його з корпусу різця, що призводить до деформації корпусу і поломки кріпильних елементів твердосплавної пластини. Другим недоліком системи є низька універсальність, оскільки на одній державці можна кріпити тільки блоки лівого або правого виконання. Це обмежує сферу застосування цієї системи на важких верстатах.

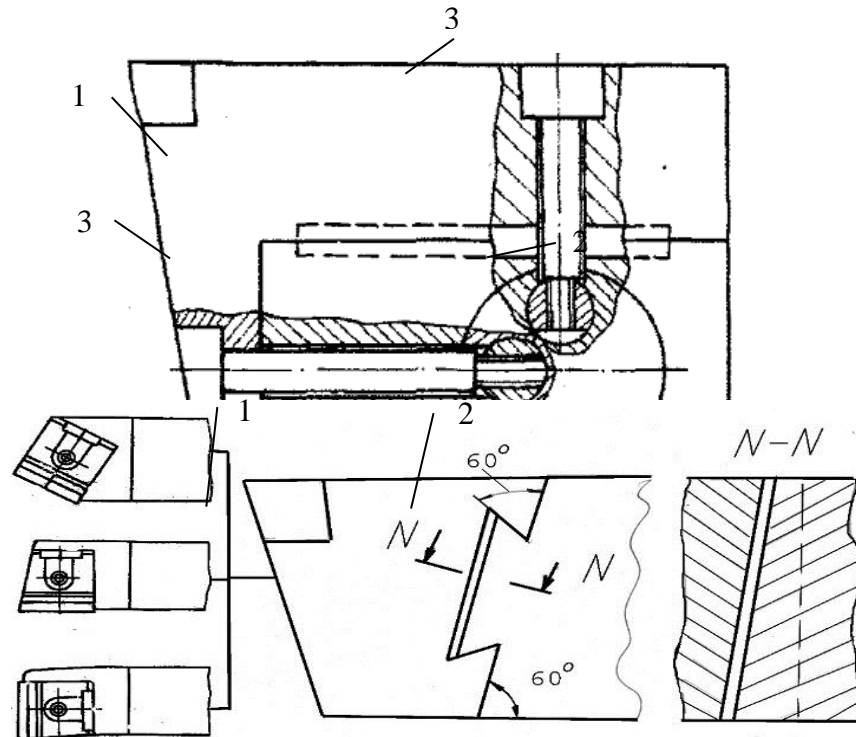


Рис. 17 – Система інструменту для важких токарних верстатів:
1 - блок, 2 – державка

Проведений аналіз наявних систем збірної модульної інструменту дає змогу дійти висновку, що не розроблено універсальних систем блочно-модульної інструменту для важких верстатів з ЧПК, здатних витримувати навантаження до 100 000 Н, які мають підвищену жорсткість і міцність.

На стадії розробки нових конструктивних варіантів модульних різців важливо визначити жорсткість і міцність розрахунковим шляхом. Дослідженню напружено-деформованого стану різального клина інструменту методом скінченних елементів присвячені роботи М.П. Мазура, В.А. Гречишнікова та інших дослідників [11, 12]. Автори як розрахункову схему застосовували різальний клин простої або складної форми, навантажений складовими сили різання. При цьому досліджували напруження, що виникають у безпосередній близькості від вершини клина. Для проведення аналізу різальний інструмент умовно розбивався на кінцеві елементи, точки, з'єднання яких, називаються вузловими точками.

У цьому разі будь-яка складна і фасонна форма різального інструменту може бути розбита на елементи з високим ступенем точності. Професор В.А. Остаф'єв у своїх роботах досліджував напружено-деформований стан різальної частини інструменту методом скінченних елементів і показав, що зміна навантажень призводить до зміни напруженого стану різального інструменту. Поява фаски зносу на задній грані, збільшення радіуса заокруглення призводить до різкого зростання контактних навантажень на задній грані та збільшення температурного поля різальної частини. Розрахунки напружень показують, що в цьому випадку максимальні напруження зосереджуються біля передньої грані біля різальної кромки.

Н.С. Равська, К.Н. Рудаков, О.М. Новіков [13] досліджували різальний зуб відрізної ланцюгової пилки, розв'язуючи при цьому тривимірну задачу теорії пружності. Як критерій міцності для твердосплавного зуба пилки використовувався критерій максимальних октаедричних напружень. Для дискретизації зуба відрізної пилки під час розрахунку напружено-деформованого стану автори використовували скінченні елементи у формі прямокутних паралелепіпедів. Автори встановили розподіл напружень та їхній напрямок за різних умов експлуатації.

У роботах [13, 14] методом скінченних елементів розраховано напруження в твердосплавній різальній пластині, яка кріпиться до державки різця. При цьому встановлено, що метод кріплення різальної пластини,

а також її конструктивні параметри суттєво впливають на напружено-деформований стан різальної частини різця.

Таким чином, на основі аналізу методів дослідження міцності різальних елементів можна зробити висновок, що аналітичні дослідження напружено-деформованого стану були пов'язані переважно з різальними елементами різних видів інструменту, проте не досліджували стан складних блочно-модульних конструкцій інструменту.

Міцність різальної частини інструменту залежить від умов процесу різання, жорсткості системи верстат - пристосування - інструмент - деталь та інших чинників. Коливання інструмента спричиняються вібраціями, які виникають у процесі різання.

У роботах, виконаних у РУДН під керівництвом А.Д. Шустикова, експериментально доведено, що низькочастотні (верстатні) частоти впливають на стійкість твердосплавного збірного інструменту значно менше, ніж високочастотні (інструментальні) частоти коливань. Це дало змогу під час оцінювання жорсткості різального інструменту використовувати ті методики, які вже широко застосовують під час випробувань верстатів та інших об'єктів, - насамперед, амплітудно-частотні характеристики, баланс жорсткості конструкції. Динамічна податливість інструменту має найбільшу інформативну стабільність: що більша динамічна податливість вузла кріплення блоку до корпусу різця, то нижча жорсткість інструменту. У роботах показано, що динамічна податливість вузла кріплення пластини залежить від його статичної податливості. Так, для різців однієї конструкції збільшення статичної податливості вузла кріплення різальної пластини призводить, як правило, до збільшення і його динамічної податливості. На кафедрі технології машинобудування РУДН розроблено стенд для контролю якості збірних прохідних різців із перерізом державки від 10×10 до 40×40 мм. Принцип дії стенду ґрунтується на вимірюванні величини зсуву різальної пластини щодо державки різця під дією навантажувальної сили певної величини й орієнтації, що імітує силу різання. Цей стенд призначений для виробничого контролю різців однієї конструкції перерізом 20 x 20 мм і його не рекомендують застосовувати для отримання порівняльних оцінок жорсткості різних конструкцій різців, тому його не можна використовувати для оцінювання жорсткості збірного і блочно-модульного інструменту перерізом корпусу 80×80 мм і більше.

Дослідженню динамічних характеристик збірних інструментів для важких верстатів присвячені роботи [15, 16].

У теорії ухвалення рішень існує термін "принцип Парето", який полягає в тому, що як розв'язання багатокритеріальної задачі треба вибрати тільки той вектор x , який належить множині Парето. Принцип Парето не виділяє єдиного рішення, а лише звужує безліч альтернатив. Остаточний вибір залишається за особою, яка приймає рішення. Але побудова множини Парето полегшує процедуру вибору. З аналізу літератури можна зробити висновок, що одержувані в результаті багатокритеріальної оптимізації рішення не однозначні і потребують застосування методів математичного моделювання. Як узагальнений критерій найчастіше використовують адитивну згортку, яка не зовсім коректно враховує внесок окремого критерію в узагальнений критерій у разі зміни виробничої ситуації.

Висновки. Розкрито наукові засади та новий напрямок розв'язання науково-технічної проблеми підвищення ефективності процесу механічного оброблення на важких токарних верстатах шляхом створення систем блочно-модульного інструменту, які вирізняються високою працездатністю під час різання з великими перерізами зрізу.

Запропоновано реалізовану на практиці методологію створення блочно-модульного інструменту для важких верстатів на основі системного підходу, що передбачає комплексну кваліметричну оцінку рішень з використанням інтелектуальної системи багатокритеріальної оптимізації, яка дала змогу розробити гнучке інструментальне забезпечення, скоротити час відновлення технологічної системи та зменшити витрати твердого сплаву.

Описано класифікацію видів стружки, що охоплює діапазон параметрів зрізу: від зазвичай застосовуваних чистових до надвеликих чорнових. Розкрито методику математичного опису і розрахунку стружкозавиваючих канавок залежно від елементів режимів різання, з урахуванням довжини різальної кромки. Описано процес стружкозавивання під час зняття великих перерізів зрізу, що враховує напруження, які виникають під час взаємодії стружки з комбінованою формою передньої поверхні, що дало змогу прогнозувати радіус кривизни стружки, яка утворюється, і зони стабільного стружкодовдання.

Показано, що вибір набору критеріїв залежить від багатьох чинників, що зумовлюють конкретну виробничу ситуацію, виду модульного інструменту, задачі, що вирішується під час оптимізації.

Список літератури

1. Теория проектирования инструмента и его информационное обеспечение: маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация. / Г.Л. Хаец, В.С. Гузенко, Л.Г. Хаец, Е.В. Мироненко.: Под общ. Ред. Г.Л. Хаеца. - Краматорск: ДГМА, 1994. -370 с.
2. Клименко Г.П., Основи раціональної експлуатації різального інструменту на важких верстатах. Афтореф. дис. доктора технічних наук. 05.03.01. НТУ України Київський політехнічний інститут. – 2002. – 32 с.
3. Мироненко Е.В. Применение резцов с твердосплавными режущими пластинами с износостойкими покрытиями при получистовой обработке валков прокатных станов / Е. В. Мироненко, В. С. Гузенко, В. В. Калиниченко, В. В. Носков // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2015. – Вип. 37. – С. 40–47. – ISSN 2222-9000.
4. Експлуатація збірних різців / Г.П. Клименко, Є.В. Мироненко, В.С. Гузенко, Я.В. Васильченко, М.В. Шаповалов. – Краматорськ: ДДМА, 2015. – 83 с. ISBN 978-966-379-732-8.
5. Мироненко Є.В. Аналіз шляхів забезпечення енергоефективності процесів механічної обробки деталей у сучасному

машинобудуванні / Є.В. Мироненко, В.В. Калініченко, Д.Є. Гузенко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – Вип 13. – С.159-172. – ISSN 2079-7499.

6. Гречишников В.А. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства [Текст]: Учеб. для машиностр. спец. вузов. / В.А. Гречишников, А.Р. Маслов, Ю.М. Соломенцев и др. – М. Высш. шк. 2001. – 271 с.: ил.

7. Марслов А.Р. Приспособления для металлорежущего оборудования. Справочник [Текст] / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1996. – 241 с. ил.

8. Гжиров Р.И. Инструментальные системы автоматизированного производства [Текст]: Учеб. пособ. / Р.И. Гжиров, В.А. Гречишников, В.Г. Лагошев – Санкт-Петербург: Политехника, 1993. – 399 с. ил.

9. Грабченко А.И. Системные принципы создания агрегатно-модульного инструмента и оптимизации рабочего процесса [Текст] / А.И. Грабченко, Е.В. Мироненко // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. научн. - техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2003. – Вып. 64. – С. 47 - 52.: ил.

10. Проектирование блочно-модульных инструментов для тяжелых токарных станков [Текст] / Е.В. Мироненко, А.Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур). Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2015 - 299 с. ISBN 978-5-906703-01-9.

11. Гречишников В.А., Лукина С.В., Веселов А.Я. Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов. //IV Международный конгресс «Конструкторско-технологическая информатика 2000», Москва, 2000: КТИ – 2000: Тр. конгр. Т1.М.2000. – С.158 – 160.

12. Мироненко Е.В. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния агрегатно-модульных конструкций резцов [Текст] / Е.В. Мироненко // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научн. трудов. – Краматорск – Киев: ДГМА, вып. № 13. 2003. – С. 47 - 51.: ил.

13. Равская Н.С., Рудаков К.Н., Новиков А.Н. Расчет объемного напряженно-деформированного состояния зуба отрезной пилы, армированного твердым сплавом. //Прогрессивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва. – Київ: Вища школа, 1998. – С.369 – 373.

14. Г.П. Клименко Исследование влияния усилий закрепления режущей пластины по цилиндрическому отверстию на динамические характеристики сборного резца / Г.П. Клименко, В.С. Гузенко, И.И. Полупан // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 4 (1113). – С.101-103. – ISSN 2079-004X.

15. Мироненко Е. В. Построение модели технологической системы тяжелого карусельного станка / Е. В. Мироненко, С. Л. Миранцов, Д. Г. Ковалёв // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Технології в машинобудуванні. – 2015. – № 42. – С. 172–182. – ISSN 2079-0023.

16. Myronenko Y. V., Mirantsov S. L., Polupan I. I., Huzenko V. S. Research of fluctuations of combined cutters while wheelset renewal process. In: Modern trends in material processing. Vol. 1: Scientific Monography. Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja: 2018. – 350 pp. – ISBN 978-86-6075-065-7.

References (transliterated):

1. Teoriya proyektirovaniya i instrument yego informatsionnogo obespecheniya: marketing, kvalimetriya, nadezhnost' i optimizatsiya. /G.L. Khayet, V.S. Guzenko, L.G. Khayet, Ye.V. Mironenko.: Pod obshch. red. G.L. Khayeta.- Kramatorsk: DGMA, 1994.-370 s.

2. Klimenko G.P., Osnovy ratsional'noy ekspluatatsii rizal'nogo instrumenta na vazhnykh verstatkakh. Aftoref. dis. doktor tekhnicheskikh nauk. 05.03.01. NTU Ukrainiy Kiyevskiy politekhnicheskiy institut. – 2002. – 32 s.

3. Mironenko Ye.V. Primeneniye reztsov s tverdosplavnymi reztsami s iznosostoykimi pokrytiami pri poluchistovoy obrabotke valkov prokatnykh stanov / Ye. V. Mironenko, V. S. Guzenko, V. V. Kalinichenko, V. V. Noskov // Nadiynist' instrumentu i optimizatsiya tekhnologicheskikh sistem : sbirnik naukovikh prats'. – Kramatorsk, 2015. – Vip. 37. – S. 40–47. – ISSN 2222-9000.

4. Ekspluatatsiya zbirnikh riztsiv / G.P. Klimenko, È.V. Mironenko, V.S. Guzenko, YA.V. Vasil'chenko, M.V. Shapovalov. – Kramatorsk: DDMA, 2015. – 83 s. ISBN 978-966-379-732-8.

5. Mironenko È.V. Analiz shlyakhov zaberezheniya energoefektivnosti protsessov mekhanicheskoy obrabotki detaley u sukhnogo mashinostroyeniya / È.V. Mironenko, V.V. Kalinichenko, D.È. Guzenko // Suchasni tekhnologii v mashinostroyenii: zb. nauk. prats'. – Khar'kov: NTU «KHPÍ». – 2018. – Vip 13. –S.159-172. – ISSN 2079-7499.

6. Grechishnikov V.A. Instrumental'noye obespecheniye bezopasnogo proizvodstva [Tekst]: Ucheb. dlya mashinostr. spets. vuzov. / V.A. Grechishnikov, A.R. Maslov, YU.M. Solomentsev i dr. – M. Vyssheye. shk. 2001. – 271 s.: il.

7. Marslov A.R. Prispobleniya dlya metallorazhushchego oborudovaniya. Spravochnik [Tekst] / A.D. Makarov. – M.: Mashinostroyeniye, 1996. – 241 s. il.

8. Gzhiron R.I. Instrumental'nyye sistemy bezopasnogo proizvodstva [Tekst]: Ucheb. posob. / R.I. Gzhiron, V.A. Grechishnikov, V.G. Lagoshev – Sankt-Peterburg: Politekhnik, 1993. – 399 s. il.

9. Grabchenko A.I. Sistemnyye obosnovaniya sozdaniya agregatno-modul'nogo instrumenta i tselesobraznogo rabocheho protsessa [Tekst] / A.I. Grabchenko, Ye.V. Mironenko // Rezanije i instrument v tekhnologicheskikh protsessakh. – Mezhd. nauchn. - tekhn. sbornik. – Khar'kov: NTU «KHPÍ». 2003. – Vyp. 64. – S. 47 - 52.: il.

10. Proyektirovaniye blochno-modul'nykh instrumentov dlya peredachi tokarnykh stanok [Tekst] / Ye.V. Mironenko, A.N. Kravtsov; Donbasskaya gosudarstvennaya mashinostroyitel'naya akademiya; Zakrytoye aksionerneye ob-vo "ONIKS". Kramatorsk: DGMA; Irbit: ONIKS, 2015 - 299 s. ISBN 978-5-906703-01-9.

11. Grechishnikov V.A., Lukina S.V., Veselov A.YA. Issledovaniye deformirovannogo sostoyaniya sbornogo poiska elementa metodom konechnykh elementov. //IV Mezhdunarodnyy kongress «Konstruktorsko-tekhnologicheskaya informatika 2000», Moskva, 2000: KTI – 2000: Tr. kongr. T1.M.2000. – S.158 – 160.

12. Mironenko Ye.V. Analiticheskiye issledovaniya stress-deformirovannogo sostoyaniya agregatno-modul'nykh struktur reztsov [Tekst] / Ye.V. Mironenko // Nadezhnost' instrumenta i optimizatsiya tekhnologicheskikh sistem. Sb. nauchn. trudov. – Kramatorsk – Kiyev: DGMA, vyp. № 13. 2003. – S. 47 - 51.: il.

13. Ravskaya N.S., Rudakov K.N., Novikov A.N. Raschet ob"yema ostrogo-deformirovannogo sostoyaniya zuba otreznoy pily, armirovannogo tverdym splavom. //Progresivna tekhnika i tekhnologiya mashinostroyeniya, priladobuduvannya i svaryuval'nogo proizvodstva. – Kiyev: Vishcha shkola, 1998. – S.369 – 373.

14. G.P. Klimenko Issledovaniye nablyudeniya sledstviya obnaruzheniya plastin po tsilindricheskomy otverstiyu na tolshchinu kharakteristik sbornogo reztsa / G.P. Klimenko, V.S. Guzenko, I.I. Polupan // Visnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KHPÍ». Zbirnik naukovikh prats'. Seriya: Tekhnologii v mashinostroyenii. – Khar'kov.: NTU «KHPÍ». – 2015. – № 4 (1113). – S.101-103. – ISSN 2079-004X.

15. Mironenko Ye. V. Postroyeniye modeli tekhnologicheskoy sistemy tyazhelogo karusel'nogo stanoka / Ye. V. Mironenko, S. L. Mirantsov, D. G. Kovalov // Visnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta "KHPÍ". Seriya : Tekhnologii v mashinostroyenii. – 2015. – № 42. – S. 172–182. – ISSN 2079-0023.

16. Myronenko Y. V., Mirantsov S. L., Polupan I. I., Huzenko V. S. Research of fluctuations of combined cutters while wheelset renewal process. In: Modern trends in material processing. Vol. 1: Scientific Monography. Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja: 2018. – 350 pp. – ISBN 978-86-6075-065-7.

Поступила (received) 14.02.2023

Мироненко Євген Васильович (Мироненко Евгений Васильевич, Mironenko Evgeny Vasilyevich) – декан, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050)-604-4967; e-mail: evgeny.mironenko@dgma.donetsk.ua;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5440-2900>

Ковальов Віктор Дмитрович (Ковалев Виктор Дмитриевич, Kovalev Victor Dmitrievich) – ректор, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (095)-398-9725; e-mail: kovalov.viktor@gmail.com;

Васильченко Яна Василівна (Васильченко Яна Васильевна, Vasilchenko Yana Vasilievna) – завід. кафедри, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050)-814-7730; e-mail: vasilchenko.ua@gmail.com;

Клименко Галина Петрівна (Klimentko Galina) – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050)-219-8511; e-mail: galynaklymenko1@gmail.com

Миранцов Сергій Леонідович (Myrantsov Serhiy) – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050)-130-9661; e-mail: mirantsov@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1085-3467>