

УДК 621.921.34:621.9.02

Антонюк В.С.¹, Волкогон В.М.², Муковоз Ю.О.³, Владимиров А.Ю.⁴, Білоусов В.М.⁴, Волошин О.І.⁵, Григоращенко В.М.⁴, Ковальов В.Д.⁶, Кориткін В.І.⁴, Палашек О.Г.⁴

¹ Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Україна, Київ.

² Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України. Україна, Київ.

³ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Україна, Київ.

⁴ ВАТ "Краматорський завод важкого верстатобудування". Україна, Краматорськ.

⁵ АТ "Новокраматорський машинобудівний завод". Україна, Краматорськ.

⁶ Донбаська державна машинобудівна академія. Україна, Краматорськ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ З ЧПК

Анотація

Наведено основні результати науково-дослідних, експериментальних, технологічних та конструкторських розробок по створенню та впровадженню високоефективних конкурентоспроможних важких токарних верстатів підвищеної точності з числовим програмним керуванням, нових інструментальних матеріалів та технологій для оснащення підприємств важкого машинобудування. Доведена висока технічна ефективність та соціально-економічна значимість розробки.

Abstract

The basic results of research, experimental, technological and engineering developments on creation and adoption of programmable high-performance competitive able heavy lathes of the heightened accuracy, new instrumental materials and technologies for the equipment of enterprises of heavy engineering industry are presented. High technical efficiency and socio-economic significance of development is shown.

Важкі токарні верстати становлять основу оснащення важкого машинобудування, що включає металургійну, енергетичну та транспортну галузі України, можливості розвитку яких визначаються рівнем досконалості цього обладнання. Тому створення таких сучасних конкурентоспроможних на світовому ринку верстатів є надзвичайно важливою задачею, вирішення якої має велике соціально-економічне та технічне значення.

Специфіка виробів, які оброблюються на важких верстатах — великі маси й габарити деталей, їхня унікальність, висока вартість і трудомісткість механічної обробки — висувають особливі вимоги до конструкції верстатів та умов їх експлуатації, які істотно відрізняються від традиційних рішень для малих і середніх верстатів [1].

Для забезпечення таких експлуатаційних показників як продуктивність, точність розмірів і форми та якість оброблюваних поверхонь деталей необхідно задовольнити критеріям жорсткості і динамічної стійкості верстатів. На відміну від верстатів середнього розміру, невелика кількість важких верстатів на окремо взятому заводі висуває вимоги до можливості здійснення як чорнових операцій з великими навантаженнями на робочі механізми і поверхні, так і чистових операцій із збереженням точності та якості обробки, що обумовлює необхідність забезпечення мінімального зношування основних вузлів.

Дослідження статичної жорсткості важких токарних верстатів включали:

- вимірювання на натурних зразках верстатів фактичної сумарної податливості — деформацій всіх елементів, що приведені до вершини різальної кромки інструменту для важких токарних верстатів;

- вимірювання деформацій елементів і аналіз балансу жорсткості верстатів різної конструкції з оцінкою питомого впливу на сумарну величину деформацій окремих механізмів, груп механізмів, базових і корпусних деталей, а також способів їх зчленування один з одним.

Встановлено, що основний вплив на точність і загальний баланс жорсткості верстатів токарної групи мають деформації системи супорта і асиметричні деформації опор шпинделя внаслідок їх нерівномірної жорсткості [2].

Аналіз детального балансу пружних перемішень основних механізмів супортів, салазок, шпиндельних вузлів, дозволив оцінити вплив різних видів деформацій (в рухомих і нерухомих стиках, власних деформацій деталей) на загальну жорсткість вузлів [3, 4].

Дослідження податливості корпусних і базових деталей здійснювалося шляхом твердотільного моделювання за допомогою оригінальних

програмних засобів, пакетів COSMOS Works, ANSYS. Крім того, застосовували натурне моделювання. На моделях в масштабі 1:5 варіантів корпусів передніх бабок, відлитих з силуміну, з різною товщиною та розташуванням стінок і ребер були знайдені оптимальні варіанти для токарних верстатів нового покоління. Зокрема, випробування моделі передньої бабки верстата 1К670Ф3 підтвердили, що при всіх комбінаціях навантажень вісь шпинделя залишається паралельною вісі центрів ненавантаженого верстата.

Для аналізу напруженого стану застосовувались методи фото пружності, для чого була освоєна методика дослідження корпусних деталей з органічного скла. З урахуванням масштабу і коефіцієнтів подібності створювалися моделі люнетів і планшайб важких токарних верстатів нового покоління. Встановлено вплив особливостей конструкції на її жорсткість та показано, що при раціональному перерозподілі металу в відливці можна збільшити жорсткість до 28% при тій же масі. Для пошуку оптимальної форми поперечного перетину станин, яка забезпечує найбільшу жорсткість і вібростійкість верстатів, порівняно напружений стан варіантів конструкцій запропонованих станин з відомими вітчизняними і іноземними аналогами.

При розрахунку пружних і теплових деформацій застосовувався метод скінчених елементів. Загальними вихідними даними були форма і розміри вузлів верстата, модулі пружності та температурні коефіцієнти лінійного й об'ємного розширення матеріалу цих вузлів. Крім того, для моделювання пружних деформацій визначено вектори сил, що діють на вузли верстата, а для моделювання теплових деформацій — розподіл температурних полів по об'єму деталей верстата.

Виміри температури проводилися за допомогою радіаційних пірометрів у декількох точках поверхонь несучих деталей верстата. Крок сітки опорних точок, який вибирали з урахуванням розмірів найменших елементів відповідних деталей, становив для станини й фундаменту 400 мм у поздовжньому напрямку. У вертикальному й поперечному напрямку точки були розташовані у два ряди вздовж кожної балки станини, тобто по 16 точок вздовж кожної напрямної й по 16 точок вздовж основи кожної балки (усього 64 точки для станини, 32 — для фундаменту). Точки виміру температури фундаменту відстояли від башмаків станини на 100 мм у поперечному напрямку.

Твердотільні моделі станини й фундаменту виконані в пакеті Solid Works. На станину накладено дискретне теплове поле відповідно до даних вимірів. Теплове поле фундаменту інтерпольовано із застосуванням засобів Cosmos Works у припущенні, що температура на бічних і нижніх гранях

фундаменту постійна й дорівнює температурі ґрунту. Температура ґрунту вимірялася поблизу дна стружкоприймальної ями й становила на час проведення експерименту 24,2°C. З урахуванням теплових полів і схеми закріплення станини на фундаменті були промодельовані температурні деформації станини на початку й наприкінці обробки за допомогою програмного пакета Cosmos Works. Результати моделювання приведені на рисунках 1 і 2.

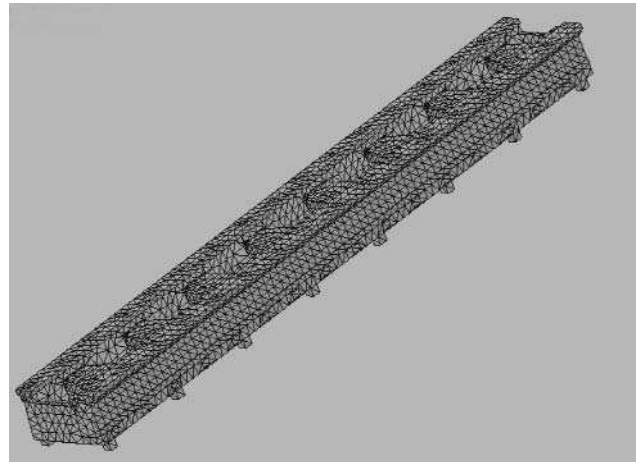


Рис. 1. Сітка скінчених елементів

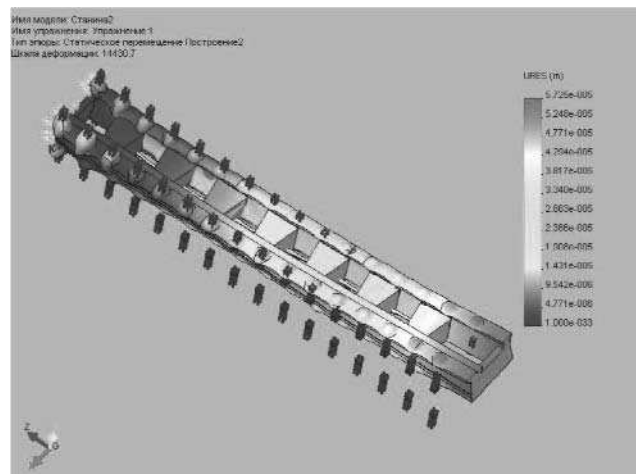


Рис. 2. Епюра переміщень

Виміри пружних деформацій проводилися в напрямках поперечної й поздовжньої подачі із різними зусиллями різання при обробці деталей різної маси, у тому числі граничної для верстата, в трьох точках на відстанях 200 мм, 1000 мм і 2000 мм від планшайби і склали 2 мкм, 3 мкм, 2 мкм відповідно.

Проведено комплекс робіт з вивчення динамічної стійкості важких верстатів. Дослідженнями

сил різання і граничних подач при поперечному точінні на токарних верстатах виявлено, що складова сили різання P_x може досягати і навіть перевершувати складову P_z при обробці прокатних валків з вибілених чавунів твердістю від 320 до 700 НВ, величини сил P_x і P_z досягають 100–120 кН, а ширина стружки — до 200 мм.

Поперечні коливання оброблюваного валка, що виникають через зміни P_z і $M_{кр}$, спричиняють крутильні коливання механізмів приводу головного руху з широким спектром частот. За результатами досліджень розроблено і впроваджено фрикційний віброгаситель крутильних коливань [5], посилено конструкції люнетів, підвищена жорсткість супортів шляхом зменшення кількості стиків і надання спеціальної форми і розмірів лобовим напрямним верхньої частини супорта [6].

Досліджено вібростійкість важких токарних верстатів, визначені границі вібростійкості важких токарних верстатів. Застосування конструкції раціональної жорсткості дозволили отримати режими обробки, які знаходяться значно (у 1,34–1,6 рази) нижче межі вібростійкості.

Якість роботи важких верстатів значною мірою залежить від статичних і, особливо, динамічних характеристик шпиндельних вузлів, до яких пред'являються високі вимоги щодо точності положення, точності й плавності обертання, жорсткості й вібростійкості. У верстатах застосовуються шпиндельні вузли, як на підшипниках кочення, так і на гідростатичних опорах. Критерієм вибору типу шпиндельних опор є необхідна точність оброблюваних на верстаті деталей при заданій вантажопідйомності. У шпиндельних вузлах особливо точних важких верстатів знайшли застосування гідростатичні підшипники [7–11]. Така схема дозволяє одержати всі переваги гідростатичних опор, а саме забезпечити високу точність обертання, високу демпфуючу здатність [12], що підвищує вібростійкість шпиндельного вузла, забезпечує високу довговічність і, в той же час, не ускладнює системи живлення гідростатичних опор.

Результати вивчення характеру навантажень шпиндельного вузла токарних верстатів за допомогою приведено на рис. 3–5.

Моделювання супорта проводилось з навантаженням $P_z = 12$ кН, при цьому напруження на стиках дорівнювало 5,45 МПа. На рис. 6 і рис. 7 приведені результати моделювання одного з варіантів конструкції супорта зі збільшеною висотою центрів за рахунок встановлених під нижніми ползками супорта плити висотою 300 мм.

Досліджено вплив жорсткості супорта (як найменш жорсткого вузла верстата) на точність обробки на важкому токарному верстаті при точінні, шліфуванні і накочуванні на різних режимах [13]. Жорсткість супорта змінювалася шляхом підтягу-

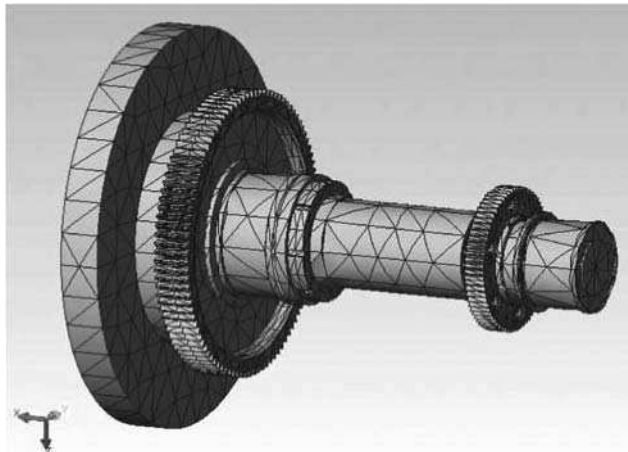


Рис. 3. Модель шпиндельного вузла на гідростатичних опорах з сіткою скінчених елементів

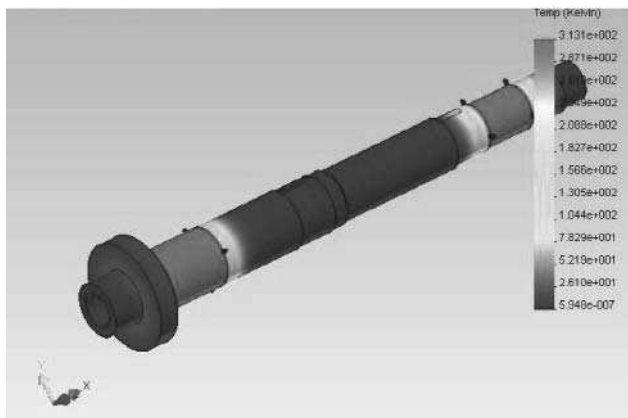


Рис. 4. Розподіл теплового поля шпинделя

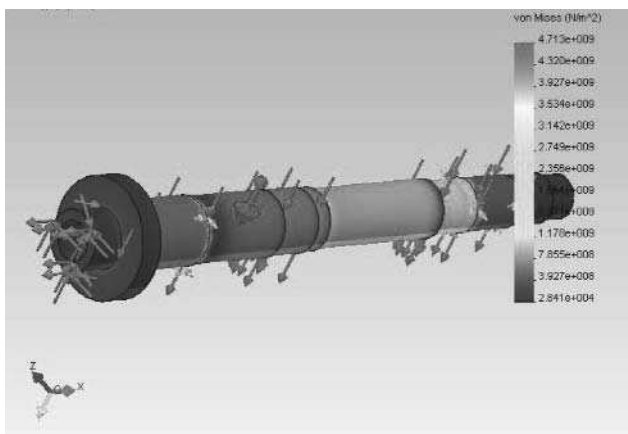


Рис. 5. Навантажено-деформований стан шпинделя

вання клинів. У процесі різання виникають пружні коливання деталі і різальної кромки інструменту, тому для досягнення високої точності обробки необхідно не тільки проводити статичний аналіз взаємного розташування оброблюваної деталі й інструмента, але й аналізувати динамічну систему

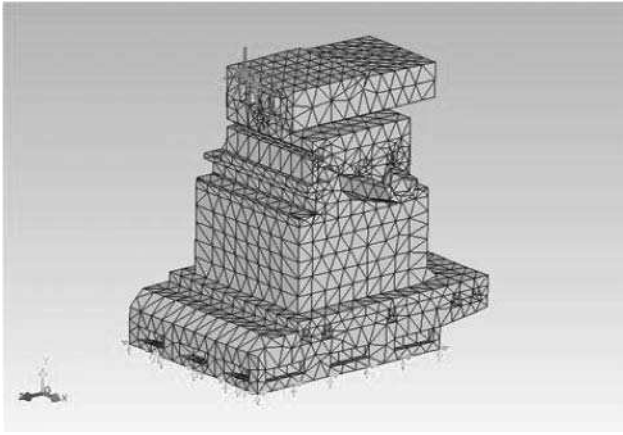


Рис. 6. Сітка скінчених елементів

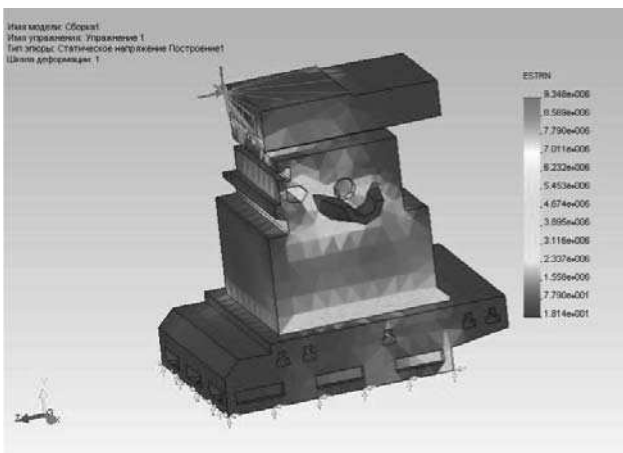


Рис. 7. Результати розрахунку конструкції при $P_2 = 12$ кН

верстат — інструмент — деталь (ВІД). Створивши в коливальній системі ВІД сили різання з високою частотою регулярних синусоїдальних коливань, вдалося досягнути незмінності положення інструменту відносно оброблюваної деталі. Це дозволило підвищити точність обробки й поліпшити якість обробленої поверхні за рахунок зниження сил тертя та уникнення переміщення супорта та підвищити точність позиціонування. Розроблено принципово нову схему демпфування коливань у приводах подач важких верстатів із застосуванням привода на основі лінійного двигуна з гідропідсилювачем [14, 15].

Шляхом аналізу способів підвищення працездатності та надійності верстатного устаткування визначені найбільш ефективні засоби збільшення геометричної і кінематичної точності, жорсткості, вібростійкості, теплостійкості, зносостійкості.

Підвищення якості опорних вузлів верстата, зокрема, заміна змішаного тертя і тертя кочення рідинним тертям, тобто застосування гідравлічних опор і передач в шпиндельних вузлах, направляю-

чих, люнетках та інших вузлах верстатів (рис. 8) є одним із найефективніших і економічно виправданих шляхів збільшення точності і продуктивності обробки деталей.

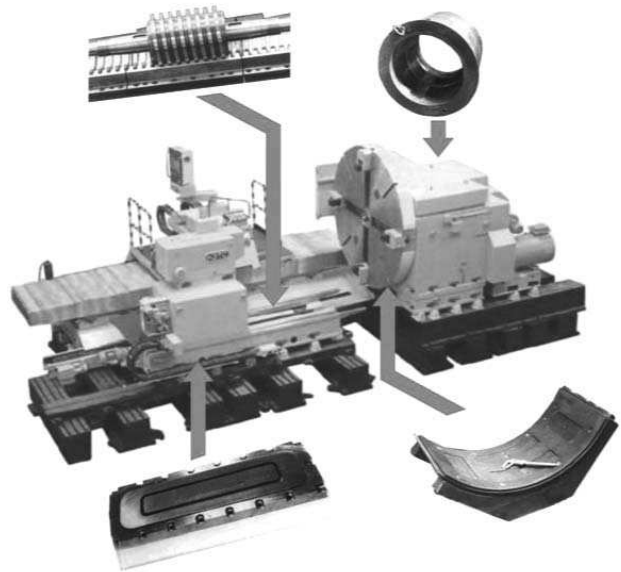


Рис. 8. Опори й передачі рідинного тертя для важкого верстата

У надважких верстатах у якості напрямних поздовжніх і поперечних подач запропоновано гідростатичні напрямні, що дозволяють одержувати як високу точність переміщення, так і високу жорсткість за рахунок використання автоматичних регуляторів товщини мастильного шару [16]. Перевагою гідростатичних напрямних є високі демпфуючі властивості у нормальному напрямку відсутність зношування й компенсація неточностей виготовлення й установки станини. На основі аналізу проблеми використання опор з рідинним режимом тертя у верстатному устаткуванні, розроблено загальний підхід до досліджень гідравлічних опор верстату, загальну теорію та методику розрахунку опор різних форм і типів [17–21].

Методи досліджень і розрахунків гідравлічних опор верстатів враховують деформативність опорних поверхонь, їх відносний рух, нелінійність діючих на них розподілених навантажень. Це дозволяє визначати конструктивні параметри опор і систем їх живлення, аналізувати працездатність опорних вузлів в аварійних режимах, підвищити точність обробки, надійність і безпеку верстатів. Розроблені методи дослідження і розрахунку опор верстатів, засновані на спільному розв'язанні задач теорії пружності і задач течії рідини для дослідження деформацій поверхонь опори і впливу деформацій на експлуатаційні характеристики [22]. Вивчено і обґрунтовано

питання визначення раціональних конструктивних параметрів опор [23].

Конструкції опор і передач удосконалені шляхом забезпечення рідинного режиму тертя, керування точністю переміщень та жорсткістю верстатних вузлів, компенсації деформацій, розробки опор спеціальних форм, адаптивних опор тощо [24].

В результаті досліджень залежностей експлуатаційних характеристик від конструктивних параметрів опор різних форм рекомендовані їх співвідношення та системи живлення для верстатних вузлів тертя різних форм і типів, які забезпечують високу точність переміщень, жорсткість та рідинний режим тертя (рис. 9).

Отримані результати теоретичного аналізу та їх задовільне узгодження з даними експериментальних досліджень дозволили впровадити опори рідинного тертя, розраховані і спроектовані по запропонованій методиці, для різноманітних важких верстатів [25]. Показано, що некруглість зразків, оброблених на верстаті зі шпиндельною групою на гідростатичних опорах нижче, ніж на тому ж верстаті зі шпиндельною групою навіть на прецизійних підшипниках кочення. Це доводить, що на важких верстатах, оснащених гідростатичними шпиндельними опорами, можна проводити чорнову і чистову обробку без втрати точності. астосування гідростатичних опор у шпиндельних вузлах нових і модернізованих верстатів підвищило навантажувальну спроможність, точність, якість обробки, і дозволило збільшити в 2–3 рази міжремонтні терміни, а також здійснювати як чорнові, так і чистові операції на тих самих верстатах без втрати точності.

Розроблено гідростатичні люнети важких токарних верстатів для обробки деталей масою 200...250 тонн на максимальних частотах обертання при високій точності (некруглість 0,01 мм) і надійності роботи. Люнети дозволяють забезпечити точне і стабільне співпадання осі виробу з віссю верстата при мінімальній потужності

приводу підйому, що значно скорочує допоміжний час встановлення і вивірки виробу. Можливість регулювання величини розвантаження механізмів підйому при зміні гідростатичних вкладишів підвищує довговічність механізмів підйому.

Для важких токарних верстатів впроваджені гідростатичні напрямні супортів у вузлах повздовжніх і поперечних подач, що забезпечує точність і плавність переміщень, довговічність і можливість оснащення системами ЧПК. У період складання і налагодження важких токарних верстатів з гідростатичними напрямними кареток двох супортів, гідростатичними передачами "черв'як – рейка" для приводу повздовжніх переміщень кареток [26], гідростатичним люнетом, проведені випробування гідростатичних напрямних і передач. Встановлено, що гідростатичні напрямні кареток супортів забезпечують рідинний режим тертя з товщиною шару мастильного матеріалу 60–75 мкм у всіх режимах роботи верстата у всьому діапазоні швидкостей відносних переміщень, як під дією тільки сили ваги, так і при навантаженні силами різання до 220 кН при робочій подачі до 6 мм/об. При прикладенні сил різання і переміщенні супорта по поперечних направляючих з одного крайнього положення в інше товщина шару мастила на основних горизонтальних повздовжніх напрямних змінюється не більш ніж на 5–9 мкм, а на вертикальних ділянках залишається постійною. Вимірювана жорсткість шару мастила вертикальних гідростатичних напрямних – 13500 Н/мкм. Забезпечено високу точність обробки великогабаритних деталей, при цьому переміщення супортів відбуваються рівномірно як у повздовжньому, так і поперечному напрямках, у тому числі і на малих швидкостях.

Розроблена система керування жорсткістю за допомогою опор рідинного тертя на прикладі опор нетрадиційної форми вертлюга важкого токарного верстата мод. КЖ16234Ф3 для обробки шийок великогабаритних колінчатих валів двигунів суден із діаметром описаної окружності до 1850 мм,

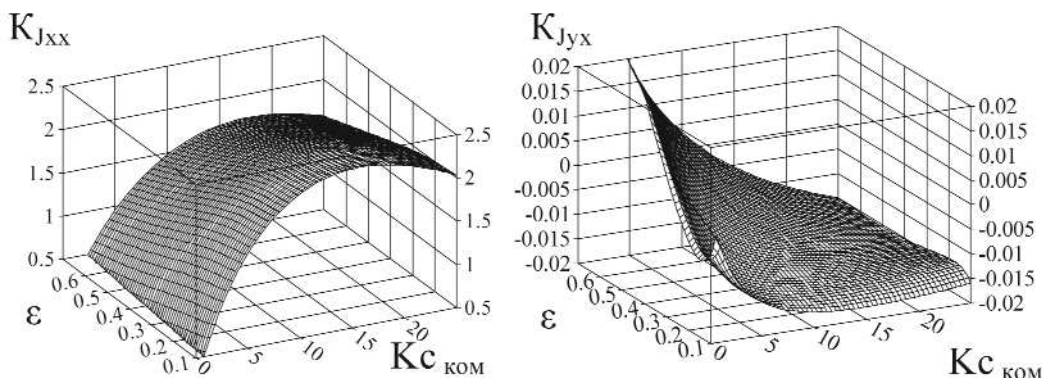


Рис. 9. Показники жорсткості чотирьохкамерної циліндричної шпиндельної опори

довжиною до 9000 мм і масою до 35 т. Шатунні шийки діаметром 320–474 мм оброблюються з припустимим радіальним биттям у межах 0,02–0,03 мм при значних пружних і температурних деформаціях, внаслідок неможливості забезпечення високої жорсткості вертлюга.

Планшайба вертлюга оснащена гідростатичними радіальними $D = 1585$ мм, $L = 60$ мм) і осьовими опорами ($D = 1780$ мм), розробленими по запропонованій методиці, що запобігає зношуванню поверхонь тертя, забезпечуючи одержання необхідної точності шийок колінчатого вала протягом усього терміну експлуатації верстата.

Для підвищення точності обробки розроблено методи адаптивного керування, засновані на поточному вимірі діючих сил і відносних переміщень робочих органів верстата в процесі обробки. Найбільш ефективним є адаптивне керування точністю траєкторії рухів подач по еталонній поверхні, з використанням променя лазера (рис. 10); адаптивні гідростатичні опорні вузли; система компенсації пружних деформацій технологічної системи (включаючи оброблюваний виріб) за результатами попереднього виміру геометричних параметрів заготовлі й наступному адаптивному керуванню взаємним розташуванням інструменту й оброблюваного виробу по неузгодженості поточної глибини різання з розрахунковим значенням.

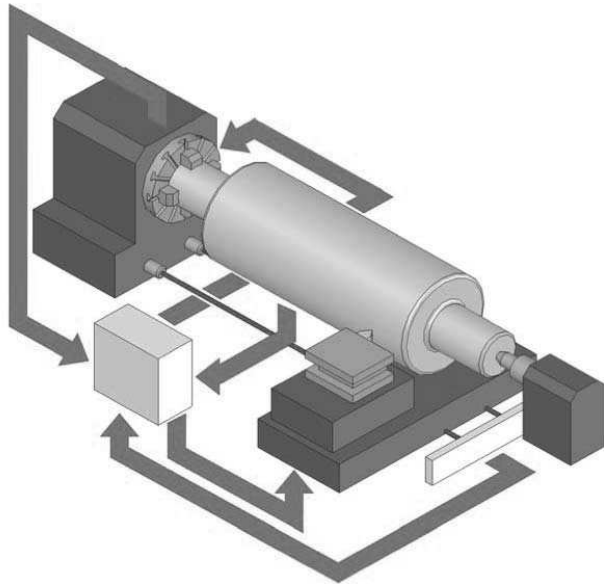


Рис. 10. Система адаптивного керування (САК) точністю рухів подач за лазерним променем для важкого токарного верстату

Розроблена адаптивна система керування дозволяє компенсувати пружні деформації всіх елементів технологічної системи, що виникають під дією сил різання, а також теплові деформації,

викликані зміною температури після початку процесу обробки [27–31].

Для випадку обробки на важких токарних верстатах найбільшу проблему представляють похибки, викликані геометричними похибками напрямних поздовжнього переміщення, опор шпинделя, а також пружними деформаціями шпиндельної групи, супорта й заготовки. Призначення системи адаптивного керування важкого токарного верстата полягає в забезпеченні точності траєкторій переміщення інструмента відносно настановних баз виробу й незалежності точності цих траєкторій від зовнішніх факторів, у тому числі, від геометричних похибок виготовлення й складання вузлів верстата й силових навантажень будь-якого характеру.

Як правило, для забезпечення точності обробки необхідно підвищувати точність виготовлення вузлів і деталей верстата, що приводить до зростання його вартості. Особливо різке зростання вартості відзначається для великих деталей верстатів.

При організації серійного виробництва верстатів нового покоління удосконалювались існуючі та впроваджувались нові технології виготовлення прецизійних деталей з високими експлуатаційними характеристиками, методи обробки зубчастих коліс, валів, напрямних з високою твердістю та міцністю, що спонукало до розробки нових інструментальних матеріалів на основі щільних модифікацій нітриду бору [32–37], типова структура яких та інструмент з них приведено на рис. 11.

Значне розширення асортименту важкооброблюваних матеріалів як при виготовленні обладнання, так і в вигляді продукції, яку отримують на такому обладнанні, потребує наявності інструменту, що здатен найбільш ефективно обробляти високоміцні та зносостійкі конструкційні матеріали, широке застосування яких обумовлено підвищеними вимогами до надійності та довговічності деталей, машин і механізмів.

Одним з ефективних напрямків вдосконалення процесів металообробки є впровадження гнучких автоматизованих систем та верстатів з числовим програмним керуванням. Стійке функціонування такого автоматизованого обладнання для механічної обробки різних матеріалів в значній мірі залежить від властивостей інструментальних матеріалів і різальних інструментів та можливості їх інтенсивної експлуатації.

Використання в різних конструкціях інструментів змінних багатогранних пластин з твердого сплаву (особливо із зносостійкими покриттями) дозволяє підвищити стійкість різального інструменту, а автоматизація повороту багатогранних пластин безпосередньо в інструментальному магазині збільшує сумарний ресурс стійкості.

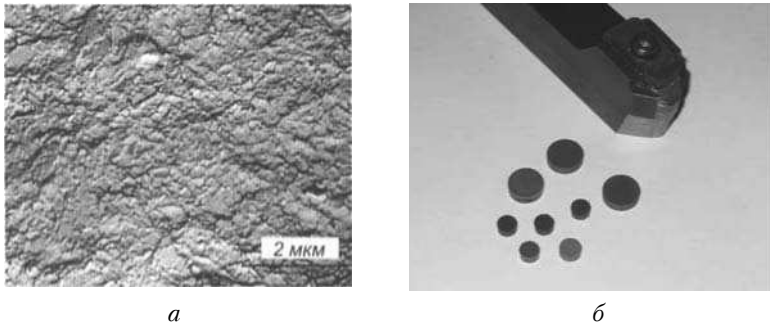


Рис. 11. Типова структура ПНТМ на основі щільних модифікацій нітриду бору (а) та різальний інструмент на їх основі (б)

створюють реальну перспективу значного підйому народного господарства України в найкоротший термін.

Литература

1. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф., Мельник М.С. Экспертная оценка проектных решений при создании тяжелых токарных станков повышенной точности / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 17. — Краматорськ. — 2005. — С. 124–131.

2. Ковалев В.Д. Жесткость цилиндрических гидростатических опор станочного оборудования / Вестник Харьковского государственного политехнического университета. — Харьков: ХГПУ, 1999. — Вып. 60. — С. 151–157.

3. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф. Динамическая устойчивость направляющих тяжелых станков / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип.14. — Краматорськ, 2003. — С. 62–68.

4. Ковальов В.Д., Донченко О.І. Вплив процесів термопружності на працездатність опорних вузлів важких верстатів / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип.13. — Краматорськ, 2003. — С. 219–225.

5. Патент України № 17395 МПК F16F15/00 Пристрій для гасіння коливань / О.І. Волошин, О.Г. Кисельов, І.В. Курмаз, А.В. Шайдюк — № 200604100; Заявлено 13.04.2006, Опубл. 15.09.2006, Бюл. "Промислова власність" № 9.

6. Патент України № 62204А МПК B23V21/00 Супорт токарного верстата / В.Д. Ковальов, О.Ф. Бабін, С.О. Гаков — № 2003010733; Заявлено 28.01.2003, Опубл. 15.12.2003, Бюл. "Промислова власність" № 12.

7. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф. Опоры и передачи жидкостного трения станочного оборудования. Учебное пособие. — Краматорск: ДГМА, 2005. — 188 с.

8. Ковальов В.Д. Аналіз експлуатаційних характеристик шпиндельних гідростатичних підшипників на основі загальної математичної моделі опор рідинного тертя / Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", 2000. — № 4. — С. 70–76.

9. Ковальов В.Д., Бабін О.Ф., Горкуша А.Ю. Дослідження шпиндельних вузлів гідродинамічного тертя / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 92. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — С. 208–217.

10. Патент України № 17658 МПК B23V19/00 Шпиндельний вузол важкого токарного верстата / В.Д. Ковальов, О.Ф. Бабін, А.В. Пономаренко —

Використання покриттів дискретного типу на поверхнях інструменту дозволяє змінити характер стружкоутворення, який призводить до зменшення складових сил різання та енергоємності процесу обробки конструкційних матеріалів, і одночасно збільшити надійність різального інструменту [38–47].

Проведені дослідження дали можливість створити гаму конкурентоспроможних важких токарних верстатів підвищеної точності з ЧПК, що мають наступні технічні характеристики — радіальне і торцеве биття до 0,01 мм; некруглість і нециліндричність в межах 0,001–0,01 мм; шорсткість поверхні Ra 0,8 при діаметрі обробки 1800 мм, які відповідають, а за окремими показниками, перевищують кращі зразки провідних фірм світу, та вирішити ряд важливих технічних та соціально-економічних задач за рахунок:

- наповнення внутрішнього ринку сучасними високоефективними конкурентоспроможними токарними станками нового покоління замість імпорتنних аналогів;

- розширення технічних можливостей розвитку таких важливих галузей народного господарства, як важке машинобудування, суднобудування, енергетика, транспорт тощо, що забезпечує суттєве збільшення нових робочих місць;

- підвищити продуктивність обробки крупногабаритних відповідальних деталей на 30% та отримати економічний ефект від впроваджених станків біля 7 млн. грн. на рік.

- значно збільшити експортну складову України як за рахунок поставок розроблених важких токарних станків в 23 країни світу так і шляхом розширення експорту продукції, виготовленої на цьому устаткуванні та досягнути зростання прибутку тільки від поставок валкової продукції АТ НКМЗ 13,5 млн. грн. на рік.

Загальний економічний ефект від впровадження розробки складає понад 250 млн. грн. на рік.

Наведені показники при широкому впровадженні розроблених важких токарних верстатів, нових інструментів та технологічних процесів



№ 200602557; Заявлено 09.03.2006, Опубл. 16.10.2006, Бюл. "Промислова власність" № 10.

11. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф., Пономаренко А.В. Повышение жесткости шпиндельного узла тяжелого токарного станка за счет применения дополнительной гидростатической поддержки планшайбы / ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. Збірник наукових праць. — № 3(9). — Краматорськ: ДДМА, 2007. — С. 109–112.

12. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф., Гаков С.А. Демпфирование колебаний в приводах подач тяжелых станков, с применением следящего привода на основе линейного двигателя с гидроусилителем. / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 15. — Краматорськ, 2004. — С. 108–117.

13. Ковалев В.Д. Обеспечение точности резания при обработке крупногабаритных деталей в нежестких станочных узлах / Резание и инструмент в технологических системах. — Вип. 53. — Харьков: ХГПУ, 1999. — С. 80–84.

14. Патент України № 63306А МПК G05D3/12 Слідкуючий привід подачі металорізального верстата з компенсацією похибок напрямних / В.Д. Ковальов, О.Ф. Бабін, М.С. Мельник, А.Ю. Владимиров — № 2003042813; Заявлено 01.04.2003, Опубл. 15.01.2004, Бюл. "Промислова власність" № 1.

15. Патент України № 71258А МПК B21В38/00 Слідкувальний привід поступального руху / В.Д. Ковальов, О.Ф. Бабін, М.С. Мельник, А.Ю. Владимиров — № 20031211499; Заявлено 12.12.2003, Опубл. 15.11.2004, Бюл. "Промислова власність" № 11.

16. Патент України № 40072А МПК G05D3/12 Спосіб підвищення точності роботи направляючих і пристрій для його здійснення / В.Д. Ковальов, О.Ф. Бабін, М.С. Мельник — № 99127274; Заявлено 31.12.99, Опубл. 16.07.2001, Бюл. "Промислова власність" № 6.

17. Ковалев В.Д. Общий алгоритм расчетов и исследований опор жидкостного трения / Трение и износ, 1997. — Т.18. — № 6. — С. 750–760.

18. Ковалев В.Д. Определение дифференциальных параметров цилиндрических опор жидкостного трения / Вестник Национального технического Университета Украины "Киевский политехнический институт". — К.: Машиностроение, 1999. — Вип. 37. — С. 7–12.

19. Ковалев В.Д. Численный метод расчета опор жидкостного трения / СТИН, 1999. — № 10. — С. 12–16.

20. Ковалев В.Д. Методика расчета гидростатических передач станочного оборудования / Вестник ХГПУ. — Харьков: ХГПУ, 2000. — № 78. — С. 32–34.

21. Ковалев В.Д. Результаты параметрических исследований гидростатических направляющих

станков / Прогрессивные технологии и системы машиностроения. — Донецк: ДонГТУ, 2000. — Выпуск 9. — С. 203–208.

22. Ковалев В.Д. Математические модели работы станочных опор жидкостного трения на основе совместного решения задач гидродинамики и теории упругости / Вестник Национального технического Университета Украины "Киевский политехнический институт". — К.: Машиностроение, 2000. — Вип. 38. — Т1. — С. 98–102.

23. Ковалев В.Д. Определение эксплуатационных характеристик гидростатических опорных узлов станков с учетом упругих и тепловых деформаций. / Вестник национального технического университета Украины. "Киевский политехнический институт". Машиностроение. Вип. 44. — 2003. — С. 158–161.

24. Ковалев В.Д., Пономаренко А.В., Куриленко Я.С. Исследование эксплуатационных характеристик гидростатических опорных узлов для тяжелых станков / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 19. — Краматорськ. — 2006. — С. 130–138.

25. Ковалев В.Д. Опоры жидкостного трения в узлах тяжелых станков / Оборудование и инструмент для профессионалов — Вип.1 — 2007. — С. 44–47.

26. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф., Соловьев М.Г. Применение гидростатической червячно-реечной передачи в тяжелых станках повышенной точности / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 19. — Краматорськ. — 2006. — С. 96–104.

27. Ковалев В.Д. К проблеме создания адаптивных технологических систем повышенной точности / Прогрессивные технологии машиностроения и современность. — Донецк, 1997. — С. 127–128.

28. Ковалев В.Д. Адаптивное управление параметрами технологической системы для обеспечения точности обработки / Высокие технологии в машиностроении. — Харьков: ХГПУ, 1997. — С. 119–120.

29. Ковалев В.Д., Бабін О.Ф., Мельник М.С. Задачи систем адаптивного управления формообразующими движениями инструмента на тяжелых токарных станках / Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". — Харків, 2002. — Вип. 1(5). — С. 166–172.

30. Ковалев В.Д., Гаков С.А. Синтез адаптивных систем для комплексного управления процессом сложнопрофильной обработки / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 19. — Краматорськ, 2006. — С. 159–165.

31. Ковалев В.Д., Гаков С.А. Применение адаптивных систем при обработке сложного профиля на колесотокарных станках / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 20. — Краматорськ, 2006. — С. 85–89.

32. Патент України № 9382, МПК С 01 В 21/04. Спосіб отримання надтвердого матеріалу на основі щільних модифікацій нітриду бора / С.С. Джамаров, А.В. Бочко, В.М. Волкогон, Г.Г. Карюк, Г.Б. Виноградова, Г.С. Олійник, С.М. Селюков, А.М. Авакян, Д.Г. Нерсеян, Л.А. Лещінер, С.М. Наливайко — 3965993 / SU, Заявлено 21.10.85, Опубл. 30.09.1996, Бюл. № 3.
33. Патент України № 27794 С01В 21/064. Спосіб отримання ударостійкого композиційного надтвердого матеріалу з нітриду бору / В.М. Волкогон, С.К. Аврамчук, В.П. Каташинський, А.В. Кравчук. — Заявлено 24.07.2007, Опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.
34. Волкогон В.М. Особенности получения и свойства двухслойных пластин с режущим слоем из гексанита-Р // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: ХГПУ, 1999. — Вып. 55. — С.44–49.
35. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В. Влияние геометрических параметров порошков вюрцитного нитрида бора на структуру и свойства ПСТМ при спекании // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. — Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2004. — Вып. 7. — С. 120–124.
36. Волкогон В.М., Григорьев О.Н., Аврамчук С.К., Кравчук А.В., Котенко В.А. Формирование микромеханических свойств крупноразмерных заготовок ПСТМ при спекании порошков вюрцитного нитрида бора, активированных прокаткой // Сб. науч. тр. "Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения". — Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2005. — вып. 8. — С. 244–248.
37. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В. Перспективы повышения работоспособности ПСТМ типа гексанит-Р путем специальной обработки порошков вюрцитного нитрида бора перед спеканием // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. — Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. — вып. 68. — С. 103–108.
38. Антонюк В.С., Дигам М.С., Климанов А.С. Принципы и возможности формирования упрочнений поверхностей режущего инструмента. // Резание и инструмент в технологических системах. — Межд. Науч.-техн. сборник. — Харьков: ХДПУ, 1999. — Вып. 54. — С. 22–28.
39. Антонюк В.С. Підвищення зносостійкості інструменту шляхом формування покриття дискретної композиційної структури / Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету 2003. Вип. 13 — Кіровоград КДТУ, 2003. — С. 87–94.
40. Антонюк В.С., Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при упрочнении поверхности режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия — 2005. — № 3. — С. 49–50.
41. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / Захаренко П.В., Волкогон В.М., Бочко А.В., Джамаров С.С., Дрожжин В.И., Дудник Н.П., Доценко В.В., Коновалов Л.А., Коротченко В.Л., Ковалев В.Н., Осипов В.А., Самардак А.Ф., Борисова Л.Л., Топоров О.А. — Киев: Наукова думка, 1991. — 288 с.
42. Муковоз Ю.А., Кудряков Г. П. Применение резцов из кубического нитрида бора // Тяжелое машиностроение, 1999. — № 2. — С. 14–15.
43. Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Муковоз Ю.А., Мельничук Ю.А. Технологические возможности лезвийного инструмента, оснащенного компонентами на основе КНБ // Тяжелое машиностроение, 2004. — № 5. — С. 35–38.
44. Васильченко Я.В., Ковалев В.Д. Выбор оптимальных режимов резания при автоматическом управлении тяжелыми станками / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — Вип. 20. — Краматорськ, 2006. — С. 48–53.
45. Муковоз Ю.А., Кудряков Г.П. Обработка арматурных прокатных валков из отбеленного чугуна на станках с ЧПУ // Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении. Мат. 3-го междунар. н.-т. Семинара (25–27 февраля 2003 г., Свалява, Карпаты). — К., 2003. — С. 110–112.
46. Муковоз Ю.А., Муковоз С.Ю., Бобков П. А., Культиков А.А. Точение твердосплавных прокатных валков инструментом из киборита // Инструментальный світ. 2006, №4(32).С. 10–12.
47. Высокоэффективная обработка деталей технологического оборудования инструментом из ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора / В.С. Антонюк, В.М. Волкогон, В.Д. Ковалев и др. // Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 5. — Харьков: ХПИ, 2008. — С. 79–86.