

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с.  
2. Иванченко Ф.К. Підіймально-транспортні машини. – К.: Вища шк., 1993. – 414 с.  
3. Ковальський Б.С. Расчет канатных барабанов грузоподъемных машин: Науч. труды ВНИИПТ Маши. – 1976. – №6. – С. 87–125.  
4. Писаренко Г.С., Агарев В.А. и др. Сопротивление материалов. – К.: Вища шк., 1979. – 694 с.  
5. Патент №11128 Україна. Гвинтова підіймально-транспортна лебідка / І.Б. Гевко та ін. Бюл. № 12. – 2005.

удк 621.9.02.061

І.Є. ГРИЦАЙ

Національний університет “Львівська політехніка”

## СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЧПК

© Грицай І.Є., 2007

*Наведено опис та аналіз стану сучасних інструментальних систем автоматизованих металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням, їх будову і технологічні можливості.*

*The structure and technological potential of the modern instrumental systems by numerical control metal-cutting machine-tools is been analysed and described.*

**Вступ.** Наприкінці 90-х років минулого століття у машино- та приладобудуванні окреслилися нові напрямки і тенденції автоматизації виробництва. У 1970–1990-х роках домінуючим в автоматизації було використання гнучких автоматизованих виробничих систем різного організаційного рівня – від ГАЛ (гнучка автоматизована лінія) до ГАЗ (гнучкий автоматизований завод). Створення комплексних ГВС передбачає вирішення складних наукових та організаційно-технічних проблем із розроблення та впровадження взаємопов'язаних автоматизованих підсистем ГВС: наукових досліджень, дизайну виробів, технологічної підготовки виробництва, роботизованих технологічних комплексів і модулів, систем транспортування і складування, інструментального забезпечення, календарного планування та оперативного керування, контролю якості продукції тощо. Успішне вирішення цих проблем належало до прерогативи крупних фірм, оскільки передбачало значні капіталовкладення, проте результатами функціонування і експлуатації ГАВС було істотне скорочення термінів освоєння нових видів продукції, багатократне зменшення поточних виробничих витрат, підвищення якості продукції та її технічного рівня. Усе це сприяло монополізації ринку, витісненню дрібних фірм-виробників і концентрації капіталів.

Проте успіхи і досягнення фундаментальних і прикладних наук на зламі ХХ – ХХІ ст. змінили цю тенденцію. Проведення провідними світовими фірмами-виробниками широкомасштабних експериментальних і теоретичних науково-дослідних робіт, досягнення мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки (стрімке зростання ємностей магнітних і оптичних носіїв інформації, можливості перетворення величезних масивів інформації у режимі реального часу, розроблення нових поколінь надпотужних і швидкодіючих комп'ютерів та мереж, впровадження у виробництво інформаційних технологій, числового та графічного моделювання процесів і їх оптимізація), впровадження прогресивних матеріало- і енергоощадних технологій, створили передумови для надшвидкого прогресу техніки і технології, сприяли становленню на ринку машино- і приладобудівної продукції невеликих фірм, здатних легше адаптуватися до швидкозмінних умов ринку при зменшенні інвестицій у нову техніку та технічне переоснащення виробництва.

У широкій гамі сучасних високодинамічних верстатів з ЧПК реалізовано принцип високошвидкісного різання “High speed cutting / High speed machining” (HSC/HSM), який ґрунтується на економічній доцільності та репрезентує концепцію ощадного виробництва. Ця тенденція забезпечена, зокрема, впровадженням сучасних інструментальних систем та систем уніфікованого технологічного спорядження для верстатів з ЧПК з орієнтацією на індивідуальний керований привід окремих інструментів, а також створення систем подачі у зону різання мастильно-охолоджувальних середовищ (МОС) під тиском до 450 МПа\*.

Основні зміни у підходах до автоматизації виробництва XXI ст. показано на рис. 1.

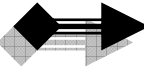
XX століття		XXI століття
<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙ <i>Високі технології</i></li> <li>○ <i>Повна автоматизація</i></li>   <li>● <i>Організація з орієнтацією на техніку</i></li>   <li>⌚ <i>Керована робота</i></li> <li>● <i>Кваліфікований персонал</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙ <i>Матеріало- та енергоощадне виробництво („Lean Production”)</i></li> <li>○ <i>Адаптування до вимог автоматизації</i></li> <li>● <i>Автономна організація з орієнтацією на персонал</i></li> <li>⌚ <i>Колективна робота</i></li> <li>● <i>Працівники високої кваліфікації широкого профілю</i></li> </ul>

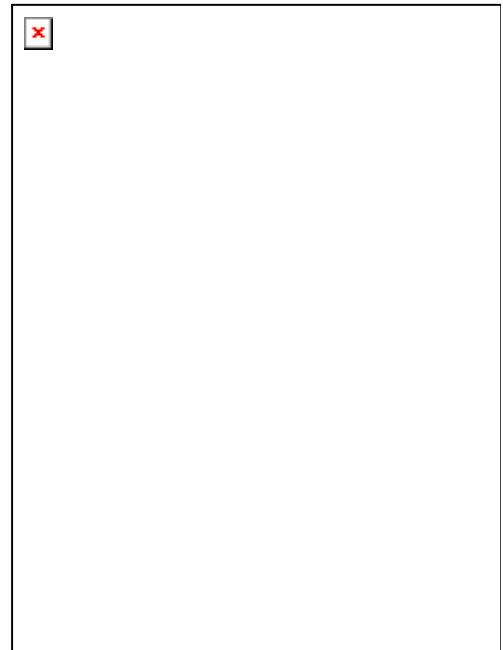
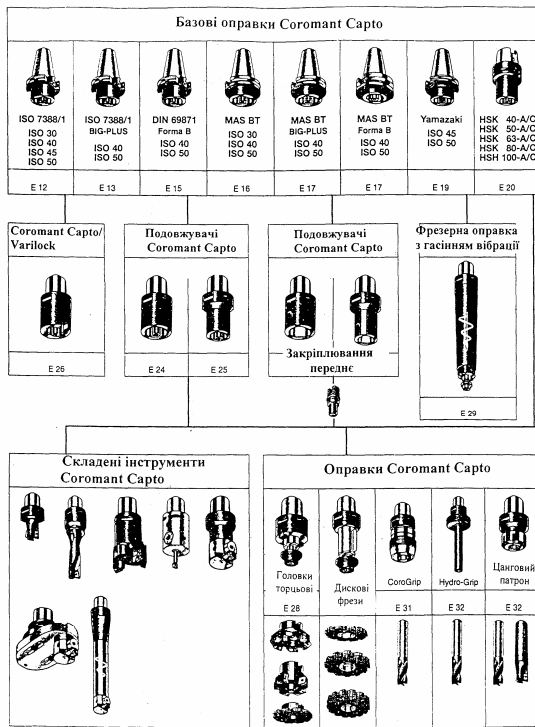
Рис. 1. Зміна концепції автоматизації виробництва у XXI ст.

**Аналіз основних тенденцій та напрямків розвитку інструментальних систем.** Розвиток інструментальних систем найвідоміших фірм-виробників, зокрема, шведських фірм KNUTH і Sandvik (системи Coromant Capto, CoroGrip, Varilock та HSK), італійської фірми “DIPLOMATIC”, німецьких WEIPERT Werkzeugmaschinen, Wilhelm Fette GmbH, Guhring, японських фірм NIKKEN NC TOOLING SYSTEM і Yamazaki здійснюється у таких напрямках:

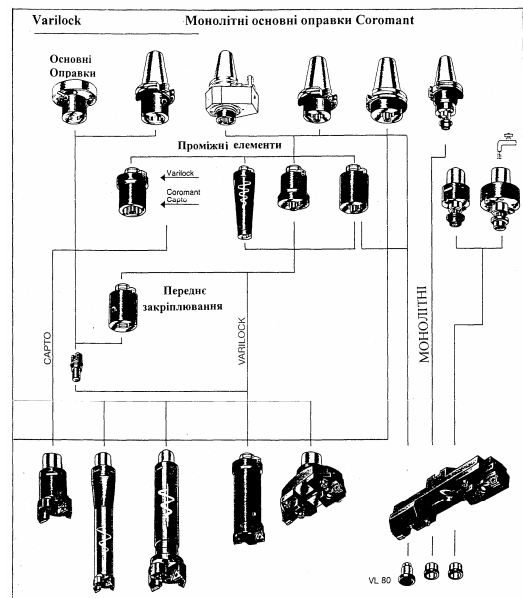
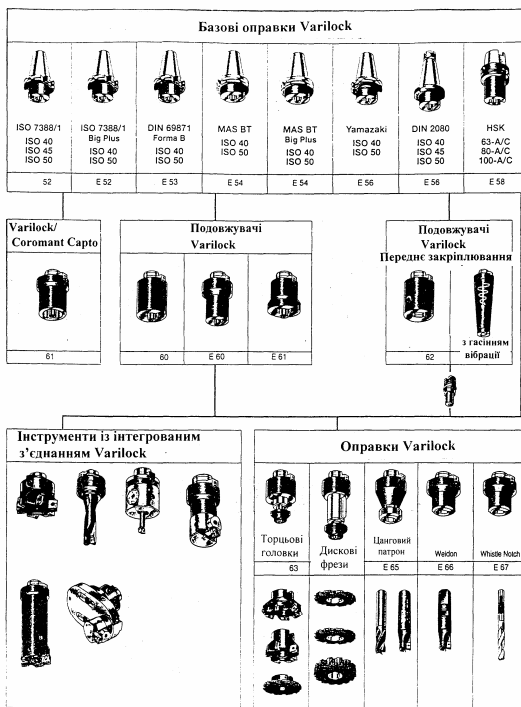
- створення нових і удосконалення відомих систем автоматичної та ручної заміни інструментів;
- удосконалення конструкції інструментальних магазинів;
- розроблення систем точного позиціонування інструментів у робочому просторі верстата, створення систем активного контролю стану інструментів під час роботи та виявлення ушкоджень;
- розроблення ефективних систем кодування інструментів і введення інформації про них у пам’ять процесорних блоків;
- удосконалення процесів збереження на складах і транспортування інструментів та спорядження;
- уніфікування та стандартизація інструментальних блоків, посадних гнізд і окремих елементів.

На рис. 2 показано інструментальні системи Coromant Capto (а), Varilock та HSK (б) для закріплення токарних і обертових інструментів (різців, свердел, зенкерів, зенківок, фрез, фрезерних і розточувальних головок, мітчиків, спеціальних комбінованих інструментів) шведської фірми Sandvik.

\* Honcrarenko I. Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki I systemy obróbkowe. WNT. – Warszawa, 2000. – 486 s.



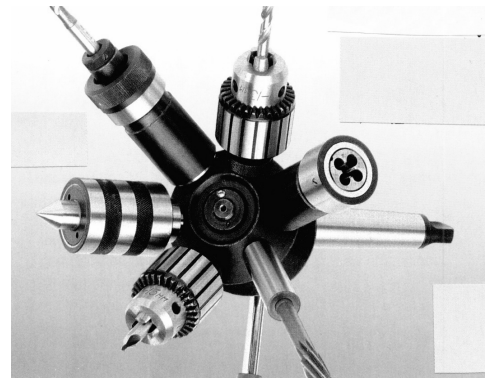
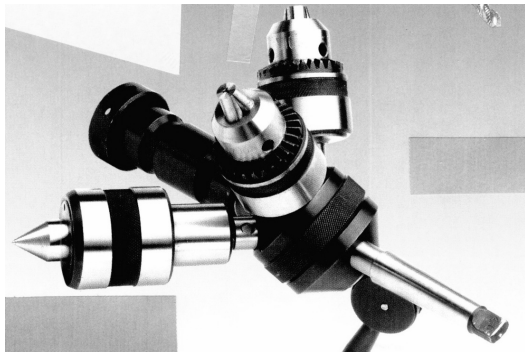
A



B

Рис. 2. Інструментальні системи фірми Sandvik

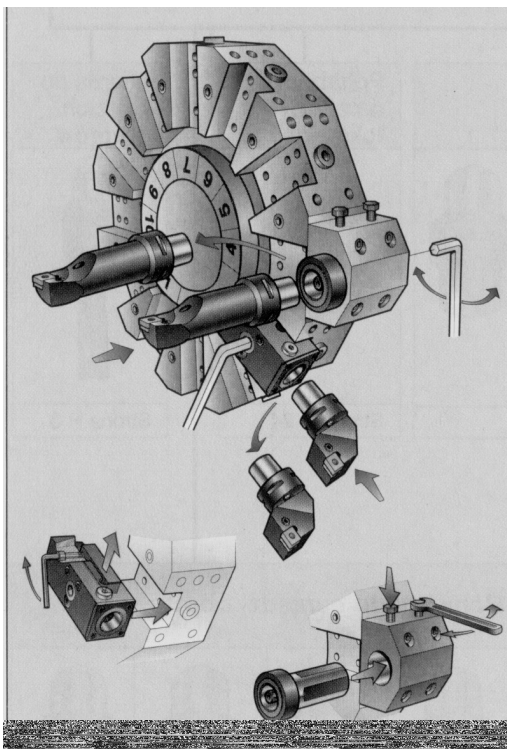
**Будова та технологічні можливості сучасних систем.** Для розширення технологічних можливостей токарних верстатів із задньою бабкою фірма KNUTH пропонує застосування спрощених 4-х або 6-ти позиційних револьверних головок, встановлюваних в піноль задньої бабки за допомогою конуса Морзе, споряджених індивідуальним приводом (рис. 3). Це дає змогу істотно зменшити кількість інструментів для операцій центрування, свердління, розвертання, нарізання різі під час оброблення зовнішніх поверхонь деталі інструментами, встановленими на супорті токарного верстата.



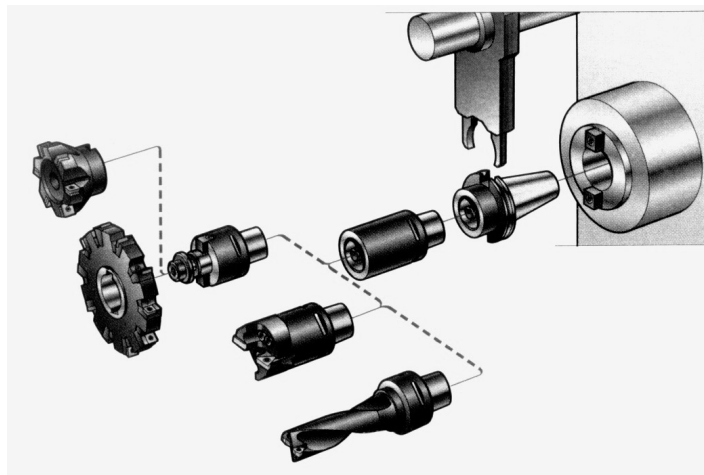
а

б

Рис. 3. Револьверні головки з індивідуальними приводами, встановлювані в піноль задньої бабки



а



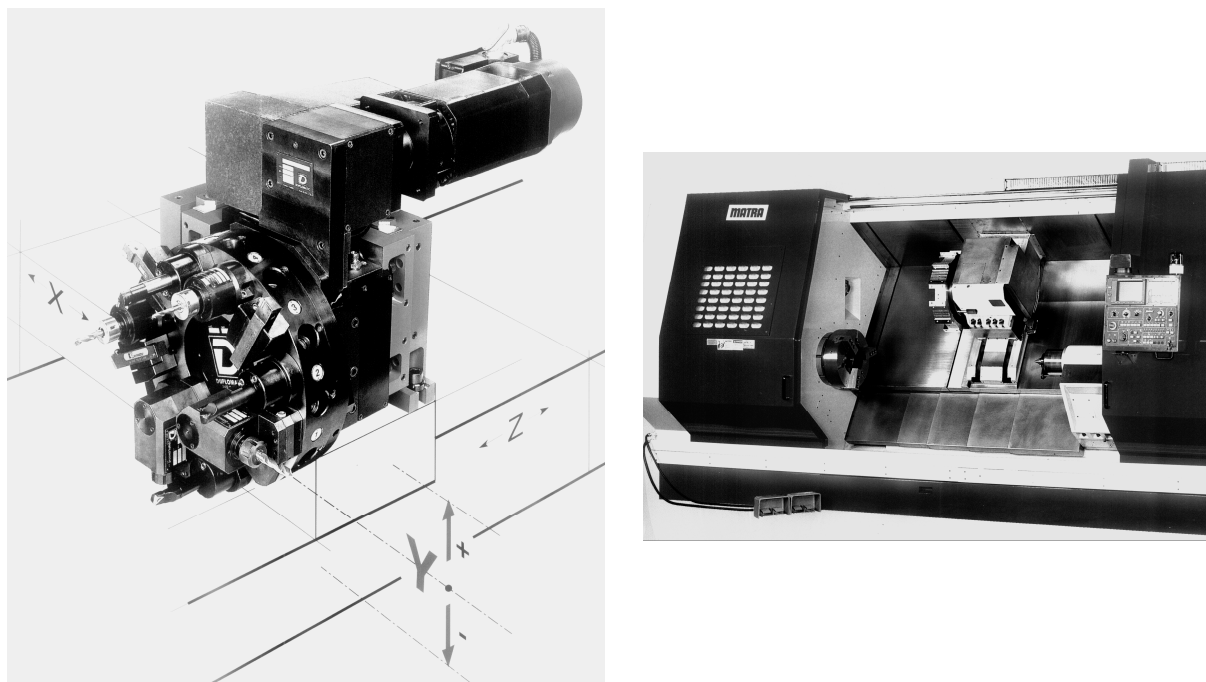
б

Рис. 4. Модульна інструментальна система Coromant Capto фірми Sandvik для ручного закріплення інструментів у револьверній головці токарного верстата (а) та в револьверній головці з малою кількістю гнізд токарно-фрезерного верстата з ЧПК (б)

Оскільки на токарних верстатах, навіть керованих системами ЧПК, переважно обробляють деталі з невеликою кількістю обробних поверхонь за декілька переходів, проблема автоматичної заміни інструментів не виникає надто часто, хоча автозамінювачі розроблено також і для цих верстатів. Вирішення проблеми інструментального забезпечення цих верстатів найчастіше зводиться до спрощених способів попереднього ручного встановлювання і настроювання інструментів та їх періодичної заміни в револьверних головках або у швидкозмінних різцетримачах (рис. 4), при цьому допоміжний час заміни інструментів не є вирішальним чинником тривалості циклу оброблення і не впливає істотно на собівартість деталей.

Аналогічна ситуація виникає у процесі оброблення малої кількості поверхонь на багатоцільових токарно-фрезерних або фрезерних верстатах, коли вистачає робочих шпинделів інструментальної револьверної головки, або ж це питання вирішують застосуванням спрощеної системи автоматичної заміни декількох інструментів, вміщених в інструментальному, найчастіше дисковому або барабанному магазині із малою кількістю гнізд (до декількох десятків).

8–12-позиційні револьверні інструментальні головки ТМУ-16 родини SM широко застосовують у токарних верстатах з ЧПК із нахиленою поверхнею станини (рис. 5), в яких відсутній традиційний супорт, а задня бабка має піноль з приводом від гідроциліндра, керованого системою ЧПК. Ця головка має привід від серводвигуна, механізм позиціонування інструментів, привід індивідуальних головок для обертових інструментів – свердел, фрез, окремий привід механізму подачі на осі Y. Системи ЧПК револьверних головок легко адаптуються до ЧПК верстатів або інших машин і узгоджені з більшістю серійних систем ЧПК. Такі конструктивні рішення широко використовують: японська фірма Mazak у її токарних верстатах з ЧПК родини Quik Turn і Super Quik Turn; південнокорейська фірма DAEWOO (токарні верстати з ЧПК родини PUMA); німецькі фірми Matra (родина верстатів TM і STM), Weiler (родина верстатів DZ), KNUTH (родина верстатів Starchip), Deckel Macho (родина верстатів CTX Linear, NEF, GMX); польські виробники “Науково-конструкційний центр верстатів” (родина верстатів Venus); чеські виробники (родина верстатів TCH).

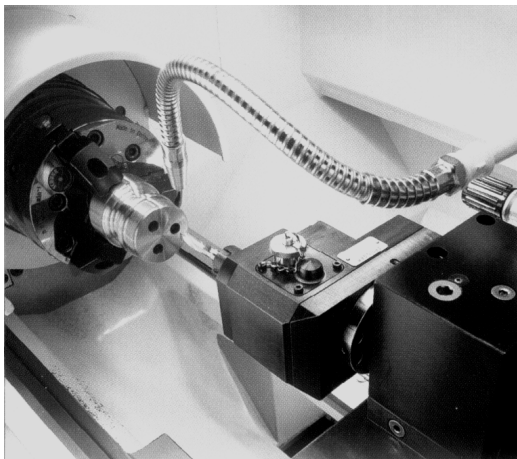


*Рис. 5. Загальний вигляд револьверної головки токарного верстата з ЧПК*

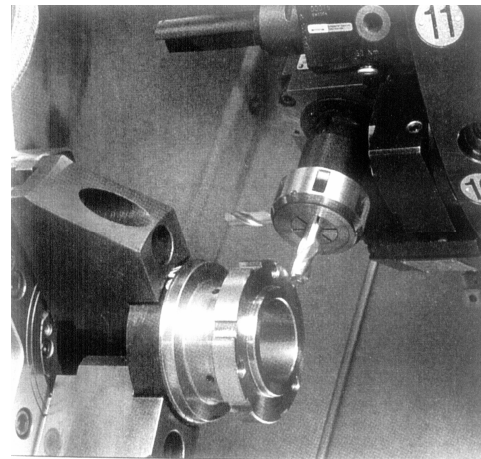
На рис. 6 показано свердління нецентрових отворів за допомогою привідної осьової (а) і кутової (б) інструментальних головок; кутова інструментальна головка (в), свердло для глибокого свердління із системою подавання МОС під високим тиском на робочій позиції верстата (г).

На рис. 7 показано родину спеціальних прямих одношпindelних і багатшпindelних (а) і кутових (б) інструментальних головок із сепаратним подаванням під тиском мастильно-охолоджувальної рідини фірми NIKKEN.

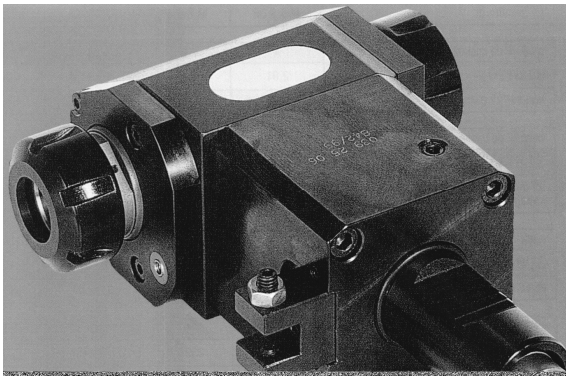
Особливість головок з кутовим з'єднанням стрижня головки із радіальною частиною, на відміну від прямокутної конструкції цього вузла, забезпечується якісніший контакт цих елементів і значно вища жорсткість усієї системи. Таку конструкцію двосторонніх розточувальних оправок використовують також інші виробники технологічного спорядження.



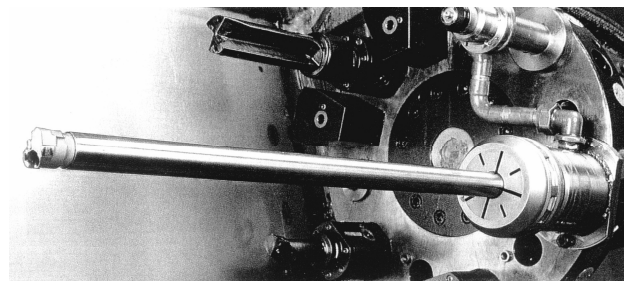
а



б



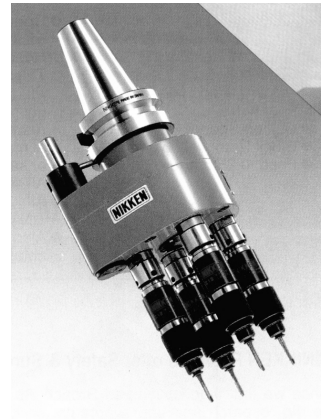
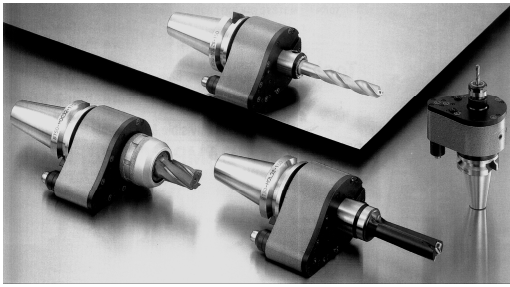
в



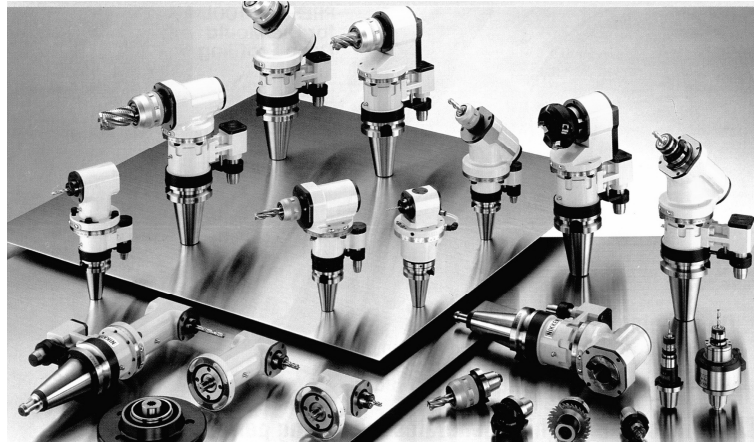
г

Рис. 6. Свердління нецентрових отворів

Нетипове конструктивне вирішення головок для закріплення обертових інструментів вирішує проблему подавання мастильно-охолоджувального середовища під тиском крізь канали в інструменті. Кутові головки можуть фіксуватись у вертикальній осі або на осі шпинделя верстата в потрібному кутовому положенні і повному 360-градусному діапазонні обертання, що дає змогу застосовувати ці головки у верстатах без системи кутової індикації шпинделя. Усі відповідальні сталеві елементи інструментального спорядження фірми NIKKEN після науглецювання піддають обробленню за низьких температур ( $-90^{\circ}\text{C}$ ) з метою максимального вилучення із структури залишкового аустеніту та зменшення їх деформування протягом багаторічної експлуатації спорядження (в результаті перетворення залишкового аустеніту).



а



б

Рис. 7. Родина спеціальних головок

Спрощенню керування та вимірювання положень інструментів сприяє індивідуальний привід окремих інструментів на основі використання крокових двигунів, ефективність використання яких найвища за незначних переміщуваних мас. Керування електродвигуном здійснюють циклічним подаванням на обмотки статора струму з прямокутною формою імпульсів так, щоб якір кожного разу виконував поворот на 1 кутову поділку, чим досягають точного повороту якоря на певний кут. Величина кроку двигуна визначається кількістю пар полюсів в окремому секторі, кількістю секторів, змонтованих на одному валу, та кількістю фаз струму живлення.

Схему будови крокового двигуна показано на рис. 9.

У сучасному верстатобудуванні спостерігається тенденція масового комплектування металообробного устаткування електршпинделями, які є конструкційною модифікацією асинхронних або синхронних електродвигунів. Різновидом цього виду двигунів є інструментальні електршпинделі, які розглядають як один із компонентів системи інструментального забезпечення.

Інтегральна будова шпинделя з електродвигуном має низку позитивних властивостей, найголовнішими з яких є відсутність механічних передач для передавання обертового моменту і зміни частоти обертання шпинделя; усунення радіального навантаження шпинделя механічною передачею. Це істотно зменшує габарити верстата за найширшого діапазону регулювання швидкості без зниження обертового моменту й істотно підвищує точність обробних деталей. В

інструментальних електрошпинделях передбачено механізм автоматичного закріплення інструментів, подавання в зону різання мастильно-охолоджувальної рідини ззовні або через осьовий канал, очищення інструментального гнізда під час заміни інструмента стисненим повітрям (рис. 10).

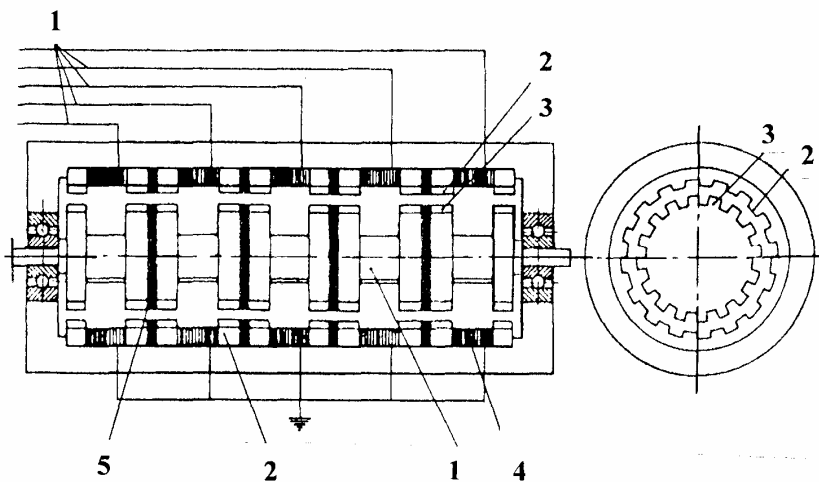


Рис. 9. Схема п'ятисекційного крокового електродвигуна:  
1 – коло живлення секцій; 2 – статор; 3 – якор; 4 – обмотка; 5 – ізоляція

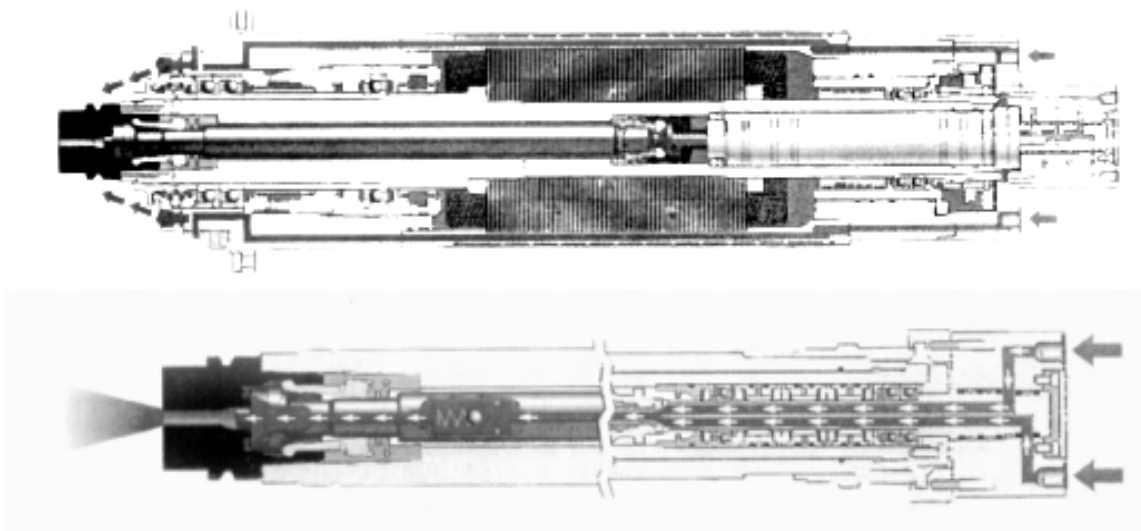


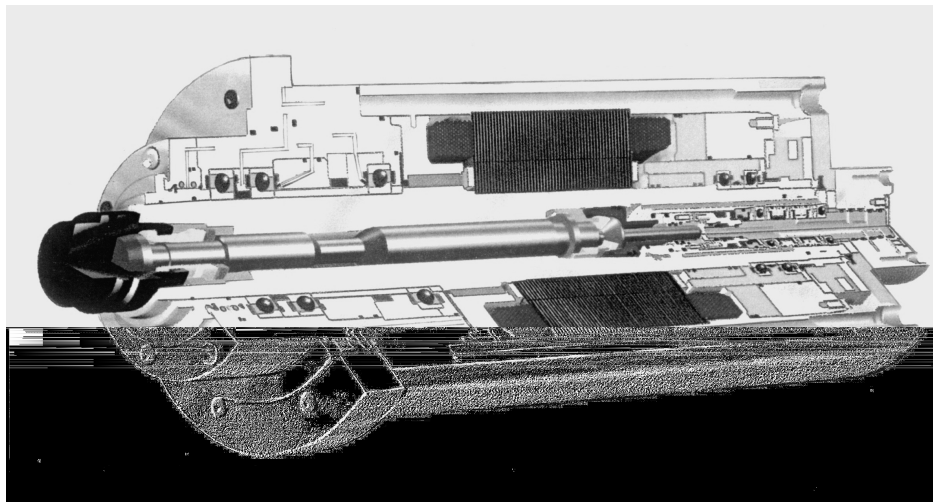
Рис. 10. Схема інструментального електрошпинделя родини CySpeed фірми CyTEC Zylindertechnik GmbH.  
з подаванням мастильно-охолоджувального середовища в зону різання ззовні (а) і через осьовий канал  
під тиском понад 10 bar (б)

Сьогодні освоєно виробництво широкої гами електрошпинделів потужністю від кількох Вт до кількох сотень кВт з обертовим моментом від десятків Нм до сотень Нм у діапазоні частоти обертання від 10–60000 хв.<sup>-1</sup>. Зокрема, фірма CyTecZylindertechnik GmbH виготовляє багато інструментальних електрошпинделів, призначених переважно для фрезерно-свердильних операцій, які мають потужність від 12 до 50 кВт, обертовий момент від 20 до 630 Нм і частоту

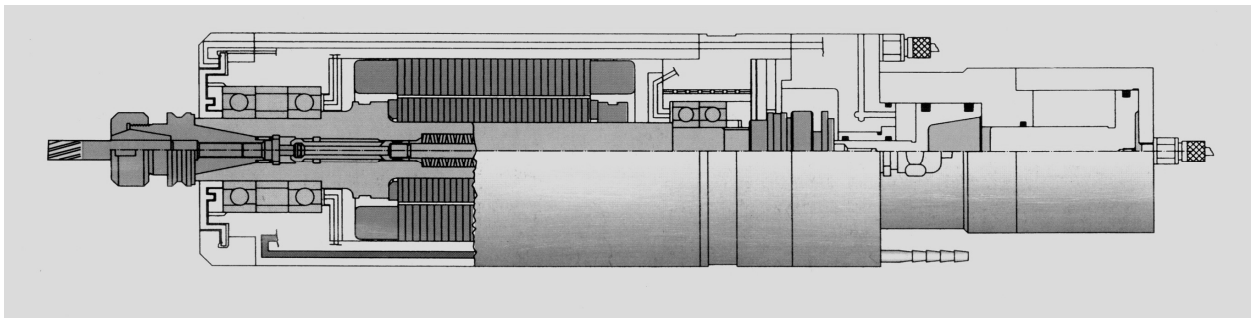


обертання  $4000\text{--}10000 \text{ хв}^{-1}$ . Модифікації цієї родини електрошпинделів потужністю 30, 50 і 65 кВт споряджені планетарною передачею, що уможливило досягти найменшої частоти обертання  $10 \text{ хв}^{-1}$ , а номінальна потужність та максимальний обертовий момент отримують за частоти  $1000 \text{ хв}^{-1}$ . Можливе його переключення на прямий привід ( $i = 1$ ), що впливає на залежність обертового моменту і потужності від частоти обертання.

На рис. 11, а показано інструментальний електрошпиндель потужністю 32 кВт фірми CyTecZylindertechnik. Його максимальний обертовий момент становить 400 Нм, номінальна частота обертання –  $1000 \text{ хв}^{-1}$ . На рис. 11, б показано інструментальний електрошпиндель мод. HF 250 фірми IBAG потужністю 60/75 кВт з максимальною частотою обертання  $8000 \text{ хв}^{-1}$ , який має механізм закріплення стандартних інструментальних оправок ISO або HSK.



а



б

Рис. 11. Електрошпиндель фірми CyTEC Zylindertechnik GmbH (а) та фірми IBAG (б)

При пошкодженні інструменту в технологічній системі верстата миттєво зростає вібрація, на що система ЧПК реагує відключенням головного приводу шпинделя та відведенням інструменту від деталі. Несвоєчасне реагування на автоколивання часто призводить до пошкодження інструменту, обробної деталі або ж елементів та вузлів верстата. Значний рівень вібрацій може свідчити не тільки про збурення в процесі різання, але також про порушення умов роботи відповідних механізмів обладнання. Для мінімізації особливо небезпечних автоколивань, джерелом яких може бути, наприклад, дуже мала подача, а також для вимірювання сили різання шпиндель споряджують системою контролю за вібраціями.

У верстатах, споряджуваних системами адаптивного керування, у випадку автоматичного поділу припуску подача може зменшуватись тільки до мінімально допустимої величини, коли не

виникають автоколивання. Після досягнення критичної мінімальної подачі система автоматичного поділу припуску поступово виводить інструмент із зони різання, зменшуючи глибину різання, аж до моменту, коли сила різання зменшиться до значення, меншого за критичну величину.

**Висновки.** Наведені у цій роботі відомості лише частково охоплюють досягнення у створенні сучасних інструментальних систем та лише ті з них, які використовуються у найпоширеніших типах верстатів і набули якнайширшого застосування. Загалом, як свідчать результати експлуатації, впровадження в промислове виробництво, машино- та приладобудування широкої гами сучасних верстатів з ЧПК, передусім багатоцільового призначення та автоматизованих комплексів і систем, споряджених сучасними уніфікованими комплексами технологічного спорядження та інструментальних систем з орієнтацією на гнучке виробництво багатократно, підвищує ефективність виробництва та якість продукції.

УДК 666. 9.83

І.А. ЄМЕЛЬЯНОВА, А.М. БАРАНОВ, О.С. НЕПОРОЖНЄВ

Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури

## ОСОБЛИВОСТІ ПРИМУСОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ БЕТОННОЮ СУМІШШЮ ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ

© Ємельянова І.А., Баранов А.М., Непорожнєв О.С., 2007

*Розглядаються особливості примусового завантаження бетонною сумішшю поршневих насосів.*

*The features of the forced load by concrete mixture of pumps of pistons are examined.*

**Вступ.** Одним з насосів, які створені в Харківському державному технічному університеті будівництва і архітектури, є двопоршневий розчинобетононасос з примусовим завантаженням і кулачковим приводом [1]. Такий насос дає змогу працювати на малорухливих сумішах ( $P=5-6$  см) за істотного збільшення ККД насоса і його продуктивності. Примусове завантаження забезпечується горизонтальним шнеком, розташованим внизу завантажувального бункера, в корпусі якого є кишеня, що забезпечує відносну рухливість частинок суміші під час їх подачі до всмоктувального клапана насоса (див. рисунок).

**Постановка проблеми.** Шнек в корпусі насоса розташований консольно, на його кінці закріплено зворушувач.

Примусове завантаження здійснюється шнеком, який виконує дві функції:

- створює додатковий рух на вході у всмоктувальний клапан, сприяючи збільшенню швидкості заповнення циліндра;
- створює циркуляційний рух бетонної суміші, запобігаючи її розшаруванню в період нагнітання поршнем, і підтримує суміш в стані тиксотропного розрідження.

Необхідною умовою для цього є резонанс коагуляційної структури бетонної суміші, тобто збіг частот власних коливань з частотами вимушених коливань частинок цементного гелю. Коливання відбуваються за синусоїдальним законом з однаковим періодом поступового загасання.

Як відомо, в традиційних конструкціях насоса вібрація негативно позначається на властивостях бетонної суміші, що знаходиться в бункері. Крупні фракції, що мають більшу кінетичну енергію, осідають, що призводить до розшарування сумішей. В умовах роботи розчинобетононасоса з примусовим завантаженням вібрація робить позитивний вплив у зв'язку з наявністю кишені, в якій відбувається циркуляція суміші, а саме – примусовий зворотний хід частинок. Появі