

# Vřetena a jejich komponenty

*Petr Kolář, Tomáš Holkup, Jan Moravec, Josef Kekula*

## Abstrakt:

Článek popisuje novinky a zajímavosti z oblasti vřeten a jejich komponent prezentovaných na EMO Milano 2009. Popsány jsou trendy ve vývoji vřeten pro obráběcí centra a horizontky, vřetenových hlav a vysokootáčkových vřeten. Dále jsou uvedeny novinky ve vývoji komponent.

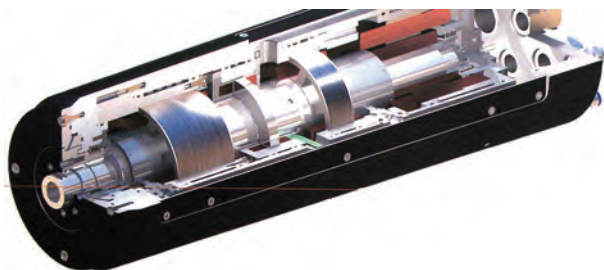
## 1 Úvod

EMO 2009 v Miláně přineslo z pohledu technika v oblasti vřetenové techniky proti minulým dvěma výstavám v Hannoveru mírné oživení. Složitá ekonomická situace nutí výrobce vřeten a jejich komponent stále inovovat své výrobky. Proto bylo možno vidět množství různých technických zlepšení, které byly vždy tvrdě poměřovány celkovým finančním přínosem pro uživatele. Výrobci vřeten se výstavy účastnili ve velkém počtu - přítomny byly prakticky všechny významné firmy. Většina firem však měla pouze malý stánek nebo sdílenou výstavní plochu s výrobcí dalších komponent. Malá byla naopak účast výrobců vřetenových ložisek. Vlastní stánek s kompletní nabídkou měly firmy GMN, SKF a NSK. Firma NTN měla pouze malou sekci na stánku svého italského dealera. Schaeffler Group (INA-FAG) se výstavy EMO nezúčastnila, což prezentovala již na svých technických dnech konaných na jaře 2009 ve Schweinfurtu.

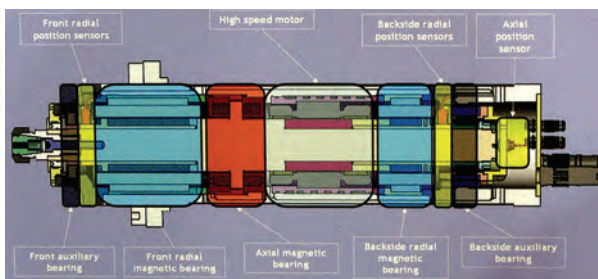
## 2 Vřetena

### 2.1 Vřetena pro obráběcí centra a brusky

Výrobci vřeten střední velikosti pro obráběcí centra a brusky představili několik zajímavých novinek a konceptů. Španělská firma Danobat vystavovala vřeteno pro vnitřní broušení vyvinuté ve spolupráci s výzkumným centrem Tekniker v rámci projektu Next řešeného v šestém rámcovém programu (obr. 1). Vřeteno má maximální otáčky 72000 ot/min, výkon 5,5 kW, krouticí moment 0,9 Nm. Průměr tubusu vřetena je pouze 120 mm. Hřídel vřetena je uložen v aktivních magnetických ložiskách (obr. 2). Pomocí těchto ložisek lze monitorovat řezné síly během procesu broušení. Jako největší výhody tohoto řešení firma uvádí bezkontaktnost uložení a jeho vysokou spolehlivost a dlouhou životnost.



Obr. 1: Řez magneticky uloženým vřetenem Danobat



Obr. 2: Hlavní uzly magneticky uloženého vřetena

Firma Fischer, která měla společný stánek s výrobcem vřetenových hlav Tramec, prezentovala své ucelené řešení v oblasti vřeten a jejich pohonů. Firma svůj koncept nazývá Mechatronic system. Ten se stává z mechanické části (vřeteno), elektrické části (motor), elektronické části (napájecí měnič a vestavěné senzory ve vřetení) a softwarové části (zajišťuje komunikaci s řídicím systémem). Výsledkem je firmou zaručený výsledek Plug&Mill (zapoj a frézuj), kdy uživatel již nemusí řešit nastavení a možnost vzájemné spolupráce všech složek řetězce. Většina vystavených vřeten měla krátkou délku a zadní konec osazený rychlospojkami pro snadné vsunutí a připojení do vřeteníku. To bylo prezentováno na příkladu vřetenové hlavy Tramec AC-6. Kromě jednotného průměru tubusu se tato vřetena vyznačují také relativně krátkou délkou.



Obr. 3: Řada vřeten Kessler se shodnými zástavbovými rozměry

Podobný koncept prezentovala i firma Kessler, která vystavovala řadu pěti vřeten se stejnými vnějšími rozměry a rozdílnými výkonovými parametry (obr. 3). Tři vřetena uprostřed byly "univerzální" typy s výkonem 35 kW, krouticím momentem 130 Nm a max. otáčkami 10.000, 14.000 a 18.000 ot/min. První vřeteno (zavěšené níže) bylo "vysokomomentové" vřeteno s výkonem 46 kW, krouticím momentem 200 Nm a max. otáčkami 8.000 ot/min. Poslední vřeteno (zavěšené výše) bylo naopak "vysokorychlostní" vřeteno s výkonem 40 kW, krouticím momentem 90 Nm a max. otáčkami 24.000 ot/min. Toto řešení umožňuje sdílení některých komponent mezi jednotlivými typy, což snižuje cenu vřetena. Výrobce obráběcího stroje si pak může zvolit, které vřeteno lépe

vyhovuje požadavkům zákazníka a tím osadit stroj.

Multifunkční stroje umožňující realizovat technologie soustružení a frézování v jednom pracovním prostoru jsou stále více používány pro flexibilní malosériovou výrobu. To sebou přináší specifické požadavky na některé použité komponenty. Např. frézovací vřetena multifunkčních center na bázi soustružnického stroje umožňují upnutí stacionárních soustružnických nástrojů. Aby byla zajištěna trvale správná poloha špičky nástroje a nebyly přetěžována ložiska na předním konci, jsou tato vřetena vybavena zpevněním hřídele. To definuje specifickou skupinu vřeten, která vystavovala např. firma Peron Speed. Její frézovací vřetena mají zpevnění hřídele umístěné mezi předními ložisky, takže do vřetena je možno upnout i stacionární nástroj a soustružit. Pohon vřetena je integrovaným elektromotorem, pro upnutí nástrojů slouží rozhraní Capto.

Na stánku koncernu MAG vystavovala vřetena firma Corcom. Podle informací se jedná samostatnou firmu, která byla uvnitř koncernu vyčleněna pro výrobu modulů obráběcích strojů. Název Corcom pochází ze slov Core Components. Firma produkuje pro ostatní koncernové výrobce celé strojní uzly - kromě vřeten se jedná i o otočné a naklápěcí stoly, systémy automatické výměny palet, automatické výměny nástrojů a některé části nosných soustav. Kromě nákladových úspor, které podobné sjednocení výroby přináší, si tak koncern MAG nechává plnou kontrolu nad kompletním vývoj vřeten (nyní tzv. 3. generace) pro své stroje.

## 2.2 Vřetena pro horizontální vyvrtávačky

Horizontální vyvrtávačky používají specifickou konstrukci výsuvných vřeten. Motor umístěný obvykle mimo osu vřetena pohání přes převodovku a převod řemeny nebo ozubenými koly dutou hřídel, ze které se vysouvá vlastní vřeteno. Celý uzel je tak poměrně komplikovaný a má velké množství dílů. Konstrukce tohoto uzlu musí zajistit požadovaný velký krouticí moment na vřetení a současně mít v ose velký průchozí průměr, ve kterém je umístěno výsuvné vřeteno. Na EMO bylo možno vidět některá vylepšení tohoto konceptu.

Firma Fermat prezentovala elektrovřeteno pro své horizontky. Vřeteník s průřezem 420 x 420 mm označený EV 3400 má na duté hřídeli nasazen elektromotor firmy Bosch s maximálními otáčkami 3400 ot/min a krouticím momentem 1100 Nm. Velký vnitřní průměr rotoru motoru umožňuje průchod výsuvného vřetena o průměru 120 mm. Zdvih vřetena (osa W) s rozhraním ISO 50 je 730 mm. Jedná se o elegantní jednoduchou konstrukci s minimalizovaným počtem dílů ve srovnání s klasickým řešením.



Obr. 4: Elektrovřeteno horizontky Fermat



Obr. 5: Hydrostaticky uložené vřeteno FPT Hydroquill

Firma FPT vystavovala inovovaný vřeteník pro stroj Spirit. Tento stroj, vybavený hydrostatickými vedeními ve všech osách, bude nyní osazován vřeteníkem s hydrostatickým uložením výsuvného vřetena, který firma označuje názvem Hydroquill. Dutá hřídel je i nadále uložena ve valivých ložiskách. Firma FPT uvádí jako hlavní výhody tohoto

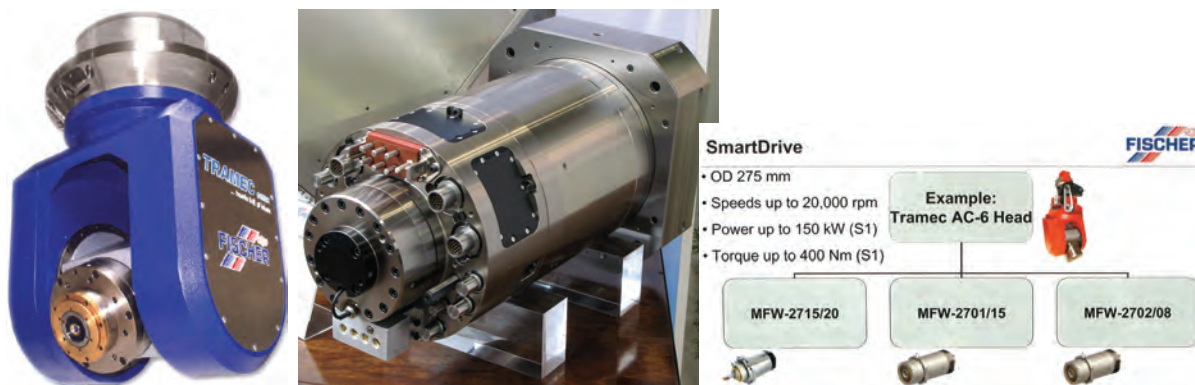
konceptu zlepšení tlumení vřetena, které prý umožňuje obrábět až o 50% větším řezným výkonem. Hydrostatické uložení prý také výrazně zlepšilo geometrickou přesnost a opakovatelnost polohování. Další výhodou je plynulý pohyb vřetena i při malých posuvových rychlostech, nulové opotřebení povrchu v důsledku eliminace kontaktu kov-kov a odstranění rizika koroze vřetena. Vrstva oleje mezi dutou hřídelí a vřetenem spolu s chlazením vřeteníku umožňují plně kontrolovat tepelný stav tohoto uzlu, takže pokud je použito vřeteno z Invaru (speciální výbava - pouze na přání), zvyšuje se výrazně přesnost opakovaného polohování.

## 2.3 Vřetenové hlavy

Výměnné vřetenové hlavy jsou neoddělitelnou součástí vybavení velkých frézovacích strojů. Hlavy s polohovatelnými samy zvětšují technologické možnosti stroje pro obrábění vodorovných, svislých i šikmých ploch. Hlavy se souvisle řízenými rotačními osami rozšiřují kinematické možnosti celého stroje. Pokud jsou hlavy vybaveny elektrovřeteny, lze pomocí nich rozšířit také výkonové parametry stroje. Na výstavě EMO bylo k vidění množství vřetenových hlav od specializovaných výrobců i hlav zkonstruovaných výrobcí strojů.

### 2.3.1 TRAMEC

Firma Tramec prezentovala své vřetenové hlavy na společném stánku s firmou Fischer. Jako novinka byla prezentována hlava AC-11 s přímými pohony rotačních os (obr. 6). Jedná se o dvouosou frézovací hlavu s integrovaným elektrovřetenem FISCHER. Obě rotační osy A i C jsou osazeny vodou chlazenými prstencovými motory. Souvisle řízené rotační osy mohou být pneumaticky zpevněny. Obě osy mají přímé optické odměřování. Hlavní nosné těleso (vidlice) a těleso vřeteníku jsou odlitky z litiny GGG. Ložiska jsou mazána tukovou náplní. Dále byla vystavena souvisle řízená hlava AC-6, která má pohony rotačních os provedeny řemenovým a šnekovým převodem. Hlava vyniká především univerzálním konektorovým rozhraním, které umožňuje automatickou výměnu vřeten v hlavě. To bylo prakticky ukázáno na třech vřetenech Fischer (obr. 7).

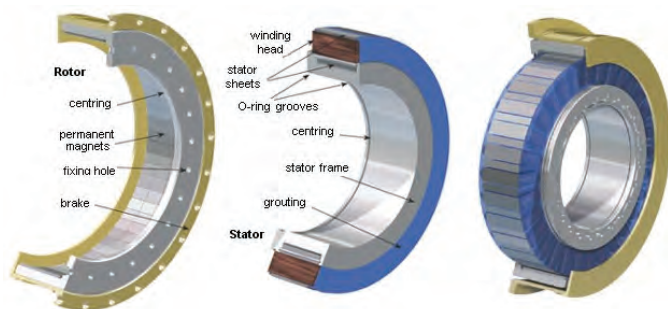


Obr. 6: Hlava Tramec AC-11 Obr. 7: Vřeteno Fischer s konektorovým rozhraním pro výměnu v hlavě Tramec AC-6

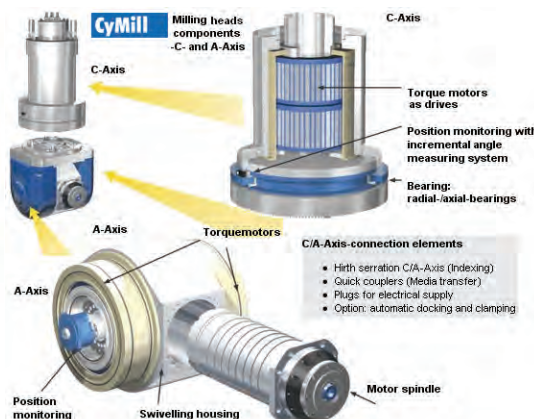
### 2.3.2 CyTec Zylindertechnik

Portfolio vřetenových hlav firmy Cytec zahrnuje přímé, jednoosé a dvouosé hlavy s výkony vřeten 8 kW, 12 kW, 21 kW a 30 kW. Konstrukci frézovacích hlav zachycuje obr. 9. Frézovací hlavy jsou osazeny elektrovřeteny CySpeed (s asynchronními nebo synchronními motory ve výkonových řadách od 8 kW do 60 kW) a mají obě rotační osy A i C osazeny vodou chlazenými prstencovými motory CyTorque (obr. 8). Pro dosažení vyššího kroučícího momentu v ose C je využito zdvojených prstencových motorů, které využívají inkrementální odměřování integrované na radiálně axiálním velkopřůměrovém ložisku. Oba motory v ose C pracují na jednom napájecím zdroji. Prstencové motory pro přímý pohon osy A využívají společné absolutní odměřování instalované uvnitř prstence. Oba motory v ose A pracují na jednom napájecím zdroji.

Prstencové motory CyTorque jsou koncipovány s vinutím na vnitřním prstenci (statoru) a permanentními magnety na vnějším prstenci (rotoru). Tímto uspořádáním výrobce dosáhl většího poloměru vzduchové mezery a tím i vyššího kroučícího momentu při stejných zástavbových rozměrech, oproti koncepci motoru s vinutím na vnějším prstenci a magnety na prstenci vnitřním. Rotory s permanentními magnety jsou na obou osách vybaveny hydraulicky ovládanou brzdou umožňující pevnou fixaci os při obrábění. Osa A je s osou C spojena ozubeným věncem a fixována prostřednictvím rychloupínacího hydromechanického upínacího rozhraní CyTrac. Připojení fluidního rozhraní zajišťuje rychloupínací systém CyFit. Osu A lze tedy od osy C oddělit a měnit ji dle požadované operace.



Obr. 8: Konstrukce prstencového motoru CyTorque



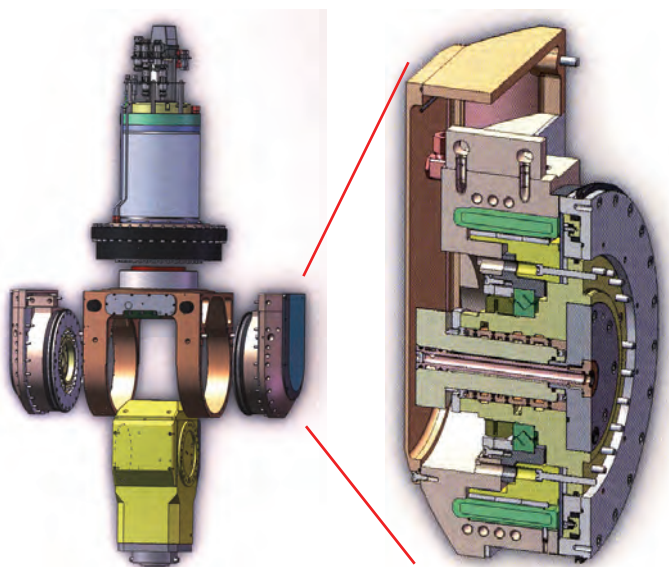
Obr. 9: Konstrukce frézovací hlavy CyMill

Pro řadu frézovacích hlav G 30 jsou rozhraní CyTrack a CyFit prostředky pro flexibilní výměnu vřeten CySpeed (standardní vřeteno 30 kW / 310 Nm / 10 000 ot.min<sup>-1</sup>, vřeteno pro dokončovací HSC operace 27 kW / 55 Nm / 24 000 ot.min<sup>-1</sup>).

Firma CyTec představila novou a svou dosud nejvýkonější sérii frézovacích hlav K 50. Tyto frézovací hlavy jsou osazeny přímými pohony s absolutním odměřováním (kroutící moment v osách A a C je 8 000 Nm, brzdný moment 15 000 Nm). Vřetena jsou navržena pro obrábění titanových slitin a proto disponují kroutícími momenty až do 1 000 Nm.

### 2.3.3 TECHNAI

Italská firma Technai Team ([www.technai.it](http://www.technai.it)) vyrábí čtyři koncepčně odlišné řady prstencových motorů (ty tvořily rozsáhlou část expozice), otočné a naklápěcí stoly, frézovací hlavy a servoaktuátory. Firma prezentovala moduly TO-MAX-A s rotačními osami obsahujícími prstencový motor, ložisko, brzdu, odměřování polohy a rotační jednotku (obr. 10). Vidlicová vřetenová hlava TCH 02 modular je sestavena ze zmíněných modulů. Uvedené pohonové moduly lze využít také v konstrukci naklápěcích stolů.



Obr. 10: Modul s rotační osou a jeho použití ve vidlicové vřetenové hlavě



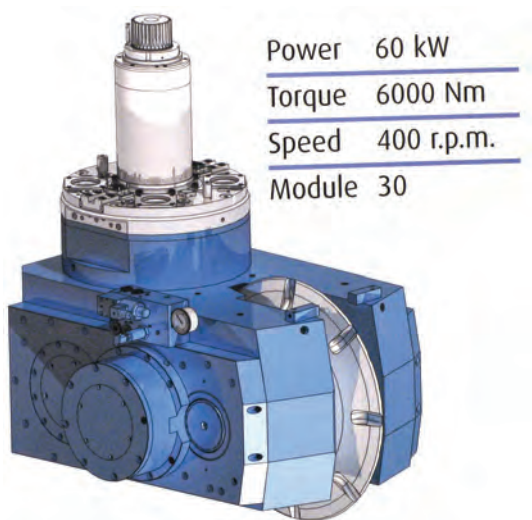
Obr. 11: Vřetenová hlava Technai

### 2.3.4 Aplikačně specifické hlavy

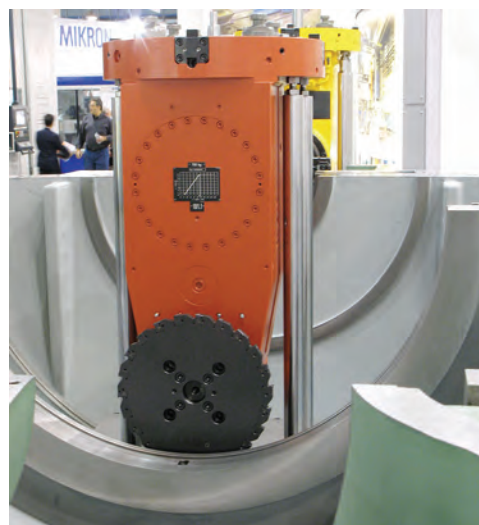
Většina výrobců vřetenových hlav nabízí obvykle konstrukčně podobné vřetenové hlavy. Základním vybavením stroje mohou být prodlužovací nástavce a hlavy s jednou, nebo dvěma rotačními osami. Dvouosé hlavy jsou v současnosti nabízeny nejčastěji ve dvou základních provedeních - vidlicové hlavy a ortogonální hlavy. Tyto univerzální hlavy různých výrobců se proto od sebe liší pouze v drobných detailech (ty ale mohou často významně rozhodovat o spolehlivosti a kvalitě).

Firmy Schiess a Waldrich Coburg prezentovaly aplikačně specifické vřetenové hlavy. Rozměry, kinematika i výkonové parametry těchto hlav jsou konstruovány tak, aby rozšířily aplikační možnosti stroje. K vidění tak

byly hlavy pro frézování ozubení (Schies - obr. 12), frézování pod obrobkem nebo drážkování v hlubokých skříních (Waldrich Coburg - obr. 13).



Obr. 12: Hlava pro obrábění ozubení



Obr. 13: Hlava pro drážkování skříní rotačních soustav

## 2.4 Vysokootáčková vřetena

Pro obrábění nástroji malých průměrů (do 6 mm) roste požadavek na maximální otáčky vřeten. Vysokootáčková vřetena obvykle užívaná pro frézování malý dílů nebo vnitřní broušení se vyrábějí jako vestavná (hlavní vřeteno stroje) nebo jako přídatná. Přídatná vřetena jsou upínána manuálně nebo automaticky do nástrojového rozhraní v hlavním vřeteni. Vřetena této kategorie jsou obvykle poháněna elektromotorem nebo vzduchovou turbínou. Hlavní nevýhodou elektromotoru je nutnost jeho chlazení, nevýhodou vzduchového pohonu je otáčková poddajnost při zátěži. Uložení hřídele je nejčastěji do hybridních kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem. Mazání ložisek je tukem nebo systémem olej/vzduch. Některá vřetena mají aerostatická ložiska. Na výstavě EMO prezentovali vysokootáčková vřetena nejvíce firmy ze Švýcarska a Německa, dále pak z Japonska a jeden z USA.

### 2.4.1 Meyrat

Švýcarská společnost MEYRAT SA vyrábí širokou škálu malých elektrovřeten. Vřetena série MHF disponují maximálními otáčkami až 100.000 ot/min a výkonem 1,6 kW. Výrobce nabízí chlazení motoru vřetena vodou nebo tlakovým vzduchem. Vřetena jsou dodávána s chladicími jednotkami a napájecí jednotkou, která umožňuje připojení více vřeten současně. Firma MEYRAT představila také svůj mazací systém Spinbooster, který dovozuje prodloužit servisní intervaly a zvyšuje dosažitelné otáčky až o 25%. Systém určí dobu, kdy je potřeba další dávka maziva, a provede domazání. Vřetena jsou mazána tukem, neboť u něho je malé riziko úniku do okolí. To je významné při výrobě dílů pro medicínský průmysl nebo při zhotovování grafitových elektrod.

### 2.4.2 TDM spindles

Firma TDM SA vyrábí elektrovřetena. Specializuje se na nevýměnná vřetena brousící a frézovací. Rozsah otáček lehkých frézovacích vřeten je od 50.000 do 70.000 ot/min. Brousící vřetena mají nejvyšší otáčky až 150.000 ot/min. Vřetena používají hybridní kuličková ložiska. Dodávaným příslušenstvím je opět centrální jednotka s frekvenčním měničem, chladicí jednotkou a mazací agregát pro systém olej/vzduch.



Obr. 14: Vřeteno TDM s kompletní jednotkou pro provoz

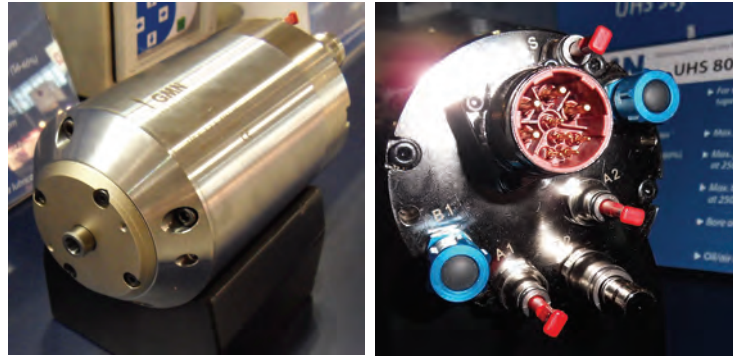
### 2.4.3 GMN

Firma GMN vyrábí vysokootáčková frézovací a brousící vřetena. Nejmenší frézovací vřetena řady HS 80 dosahují maximální otáčky 180.000 ot/min a při výkonu 400 W disponuje kroutícím momentem 0,02 Nm. Vřeteno je uloženo v hybridních ložiskách s vnitřním průměrem 8 mm s mazáním olej/vzduch. Statická tuhost vřetena

je 8 N/ $\mu$ m v axiálním směru a 15 N/ $\mu$ m ve směru radiálním. Vřeteno má kapalinou chlazení motor i ložiska. Vystavované brousící vřeteno UHS 80 má výkon 500 W, krouticí moment 0,02 Nm a dosahuje otáčkové hranice 250.000 ot/min, což bylo bezkonkurenčně nejvíce vřeteny prezentovanými na EMO. Vřeteno je uloženo ve speciálních kuličkových keramických ložiscích GMN HY KH 6000 s průměrem vnitřního kroužku 10 mm. Zajímavá je hodnota rychloběžnosti  $n \times d_m$ , která činí 4 500 000 mm/min. Vřeteno disponuje vnitřním kuželem 1:10 pro upnutí brousících tělísek. Statická tuhost je 11 N/ $\mu$ m v axiálním směru a 16 N/ $\mu$ m ve směru radiálním. Firma nabízí i další dvě varianty s větší tuhostí a se sníženými max. otáčkami na 200.000 ot/min, resp. 120.000 ot/min.

#### 2.4.4 IBAG

Firma IBAG nabízí širokou nabídku vysokootáčkových vřeten. Nejvyšších otáček 140.000 ot/min dosahuje vřeteno HT 45 S 80. Výkon vřetena je 221 W, krouticí moment 0,0176 Nm, hmotnost pouhých 1,3 kg. Hřídel je uložena ve čtveřici ložisek uspořádaných do "O" a předepnutých pružinami. Průměr vnitřního kroužku je 15 mm. Ve standardním provedení jsou ložiska mazána systémem olej / vzduch skrz vnější kroužek. Alternativně mohou být použita zapouzdřená ložiska s tukovou náplní. Statická tuhost je 26 N/ $\mu$ m v axiálním směru a 30 N/ $\mu$ m ve směru radiálním. Vřeteno HF 80 L1 S 120 pracuje v rozsahu 80.000 až 160.000 ot/min. Při 120.000 ot/min má vřeteno krouticí moment 0,13 Nm a výkon 1,7 kW. Vřeteno je uloženo v aerostatických ložiscích se statickou tuhostí 22 N/ $\mu$ m v radiálním směru a 9 N/ $\mu$ m ve směru axiálním. Maximální statické silové zatížení je 95 N radiálně a 100 N axiálně. Spotřeba vzduchu pro ložiska činí 55 l/min při tlaku 5 bar. Radiální a axiální házení hřídele je 0,2-0,5  $\mu$ m. Chlazení pohonu zajišťuje nucený vodní oběh. Upínání nástrojů je pomocí kleštin D8.



Obr. 15: Pohled na vřeteno UHS 80, vpravo zadní panel s přípojovacími konektory

#### 2.4.5 Air Turbine Tools

Americká firma Air Turbine Tools se zaměřuje na přídavná vřetena poháněná patentovanou vzduchovou radiální turbínou. Výrobce uvádí konstantní otáčky i při proměnné zátěži, což nabízel na výstavě k vyzkoušení. Přídavná vřetena řady 600 disponují otáčkovým rozsahem od 25.000 ot/min do 90.000 ot/min. Vřeteno je uloženo vepředu do dvojice ložisek, vzadu do jednoho podpůrného ložiska. Uložení je bezúdržbové, což zjednodušuje použití v zásobnících nástrojů. Vřetena série 602 dosahují 90.000 ot/min a výkonu 150 W. Maximální průměr nástroje je 3 mm upnutý pomocí kleštin ER 8. Tuto řadu rozšiřuje řada 602X s dvojitou turbínou pro dosažení vyšších kroutících momentů. Nejvyšší z této řady disponuje otáčkami 65.000 ot/min a výkonem 0,37 kW. Vřeteno je určeno pro nástroje do max. průměru 6 mm. Spotřeba vzduchu za tzv. normálních podmínek činí při tomto výkonu 340 l / min. Pro nejvyšší výkony je určena řada 625X s 50.000 ot/min., výkonem 0,7 kW a při spotřebě 876 l/min. Vřetena lze pomocí adaptéru automaticky vyměňovat ze zásobníku nástrojů.

#### 2.4.6 Nakanishi

Japonský výrobce NAKANISHI patří mezi výrobce, kteří vyrábějí přídavná vřetena jak s pohonem elektrickým, tak vzduchovým. Vřetena jsou malá, kompaktní a lze je upnout jako samostatně poháněný nástroj např. do revolverové hlavy soustruhu. Vřetena řady ABS mají maximální otáčky 160.000 ot/min a výkon 14 W. Maximálně lze užít brousící tělíska o průměru 4 mm s průměrem stopky nástroje max. 3 mm. Vřeteno je uloženo v aerostatických ložiscích. K pohonu je třeba suchého stlačeného vzduchu o tlaku 0,5 MPa. Spotřeba pohonu činí 100 l/min, pro napájení ložisek je třeba 40 l/min. Pro frézování jsou nabízena vřetena série HTS dosahující 150.000 ot/min při výkonu 25W. Odpadního vzduchu je využito na chlazení místa řezu. Turbínový pohon má dva protilehlé vstupy vzduchu pro lepší vyvážení sil působících na vřeteno a klidnější chod.

#### 2.4.7 Precise-Fischer

Firma nabízí širokou škálu sofistikovaných vřeten. Pro vnitřní broušení a frézování je zajímavý typ SC 1060 A s uložením v páru keramických hybridních ložisek uspořádaných do "O". Pracovní oblast je od

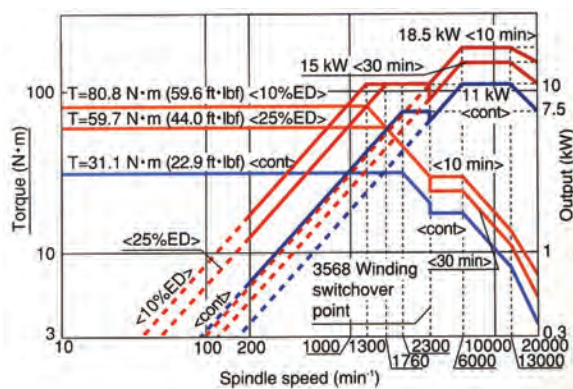
60.000 do 160.000 ot/min s maximálním výkonem 500 W. Maximální průměr upínané stopky je 3 mm. Upíná se do kleštin SC 40 s ruční výměnou nástroje. Ložiska jsou mazána systémem olej/vzduch a předepnuta pomocí pružin. Synchronní motor má vodní chlazení. Vřeteno ASC 200 určené pro práci otáčkami 20.000 až 200.000 ot/min má hřídel uloženu do aerostatických ložisek. Výkon vodou chlazeného motoru je 500 W, krouticí moment je 0,08 Nm. Rotující díly mají sníženou hmotnost o 30%, takže vřeteno může pracovat spolehlivě i při zrychlení až 5g.

## 3 Komponenty vřeten

### 3.1 Pohony vřeten

Na EMO bylo patrné menší množství vystavovaných vřeten s koaxiálním externím motorem. Naopak pokračuje expanze konceptu přímého pohonu vřeten vestavěným elektromotorem, tzv. elektrovřeten.

Přímé pohony s vestavnými synchronními i asynchronními motory jsou nabízeny pro stále větší krouticí momenty a tak pomalu pronikají do domény vřeten s převodovými pohony. Patrné to bylo např. na stánku firmy Fanuc, která nabízí vestavné asynchronní motory série B1l a synchronní motory série B1S pro nižší maximální otáčky a velké momenty. Vystavený motor B1S 200L4/3000 má maximální otáčky 3.000 ot/min a parametry S1 (S3) 31 kW/529 Nm (39 kW/665 Nm). Vystavované asynchronní motory Fanuc disponují možností přepínání vinutí, které umožňuje nastavit režim motoru na vysoký výkon nebo velký moment. Např. motor B1l 180LL/6000 Type M disponuje maximálními otáčkami 6.000 ot/min, v režimu "low" parametry S1 (S3) 22 kW/700Nm (37 kW/1300 Nm) a v režimu "high" 37kW/186 Nm (50 kW/251 Nm).

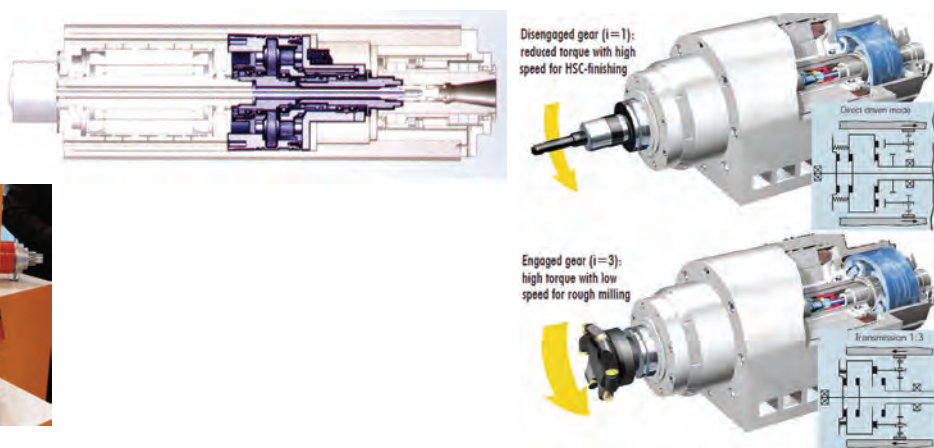


Obr. 16: Charakteristika vřetena stroje Mori Seiki NH5000DCG

Přepínání vinutí motoru je obvyklým řešením problému potřebného rozsahu výkonových parametrů motorů vřeten. Používají ho především asijské výrobce (např. Mori Seiki, Hyundai-Kia aj.). Na obr. 16 je pro ilustraci ukázána charakteristika vřetena stroje Mori Seiki NH5000DCG, ze které jsou patrné dvě výkonové a momentové hladiny a otáčky, při kterých dochází k přepínání vinutí.



Obr. 17: Vřeteno Kessler s převodovkou Redex



Obr. 18: Vřeteno CySpeed GSG

Navzdory pokroku v konstrukci přímých pohonů však někdy motor není schopen dosáhnout požadovaného krouticího momentu při rozumném zástavbovém prostoru. V tom případě je nutno použít převodovku. Firma Redex Andantex (francouzský výrobce převodovek) vystavovala elektrovřeteno s integrovanou planetovou převodovkou vyvinuté ve spolupráci s firmou Kessler. Jedná se o aplikaci série převodovek RAM-MSD, které jsou nyní nabízeny ve třech velikostech: 25, 28 a 35 (číslo odpovídá průměru pláště v cm). Např. převodovka velikosti 28 má maximální vstupní otáčky 8000 ot/min a při zařazeném převodu 1:4,6 může mít trvalý největší krouticí moment na výstupní hřídeli až 1300 Nm. Firma Redex uvádí u těchto převodovek sníženou vůli v převodu na 20 arcmin, takže vřetenová jednotka může být použita např. také jako C-osa pro polohování vřetenových hlav.

Firma CyTec nabízí pro obrábění vysokými kroutícími momenty vřetena CySpeed GSG s odpojitelnou planetovou převodovkou (obr. 18). Při odpojené planetové převodovce a převodovém poměru 1:1 lze provádět dokončovací operace s parametry  $382 \text{ Nm}/10.000 \text{ ot.min}^{-1}$ . Zařazením převodového poměru 1:3 lze stejné vřeteno použít pro hrubování s parametry  $1.150 \text{ Nm}/1.000 \text{ ot.min}^{-1}$ .

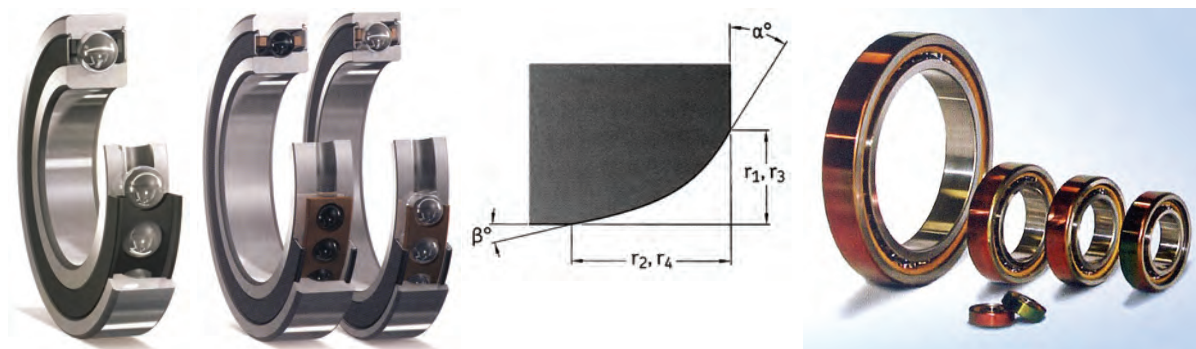
S rostoucími požadavky na přesnost multifunkčních strojů rostou mj. i požadavky na přesnost práce osy C. Proto firma Okuma prezentovala nové přímé absolutní odměřování pro svá soustružnická vřetena. Nový inkrementální enkodér vystavovala také firma Fanuc. Ta také prezentovala možnosti řízení dvojice vřetenových motorů - více informací viz následující kapitola Pohony NC strojů.

## 3.2 Vřetenová ložiska

### 3.2.1 SKF

Firma SKF viditelně propagovala na svém stánku novou řadu vřetenových ložisek, která vznikla spojením nabídky firmy SKF a SNFA, která patří do koncernu SKF již několik let. Nová ložiska jsou vyráběna v rozměrových řadách 70 s geometrií označovanou E a v rozměrové řadě 72 s geometrií označovanou D. Geometrii D charakterizuje symetrický tvar vnitřního kroužku, asymetrická geometrie vnějšího kroužku, zvětšený počet kuliček velkého průměru a klec s vedením podle vnějšího kroužku (obr. 19). Geometrie E se vyznačuje asymetrickým tvarem vnitřního i vnějšího kroužku, kuličkami velkého průměru a klecí s optimalizovanou vůlí (obr. 20). Všechna ložiska mají specifické rádiusy na hranách pro usnadnění montáže (obr. 21). Firma dále prezentovala nový materiál ložiskových kroužků s označením NitroMax. Tento materiál podle údajů z firemních testů vykazuje ve srovnání se speciální ocelí Chromex 40 zlepšené parametry ve všech kategoriích.

Firma SKF dále vystavovala svou bohatou nabídku tukových i olejových mazacích systémů pro ložiska i lineární vedení.



Obr. 19: Ložiska SKF řady D

Obr. 20: Ložiska SKF řady E

Obr. 21: Tvar hrany u nových ložisek SKF-SNFA

Obr. 22: Ložiska GMN s povlakem SliCoTec

### 3.2.2 GMN

Firma GMN propagovala svá vřetenová ložiska pod novým marketingovým označením BIGspi. Ložiska nabízená s průměrem vnitřního kroužku 75 až 120 mm mají kroužky z ložiskové oceli 100Cr6 a ocelové nebo keramické kuličky. Konstrukčním provedením (kontaktní úhly, mazání, těsnění atd.) zůstávají shodné jako předchozí typy ložisek. Firma dále nabízí ložiska s kluzným povlakem na vnějším kroužku. Červený DLC povlak s označením SliCoTec má vynikající kluzné vlastnosti a tak může být ložisko bez problémů použito přímo pro suvné uložení zadního konce vřetena s sníženým rizikem vzpříčení při malých dilatačních pohybech.

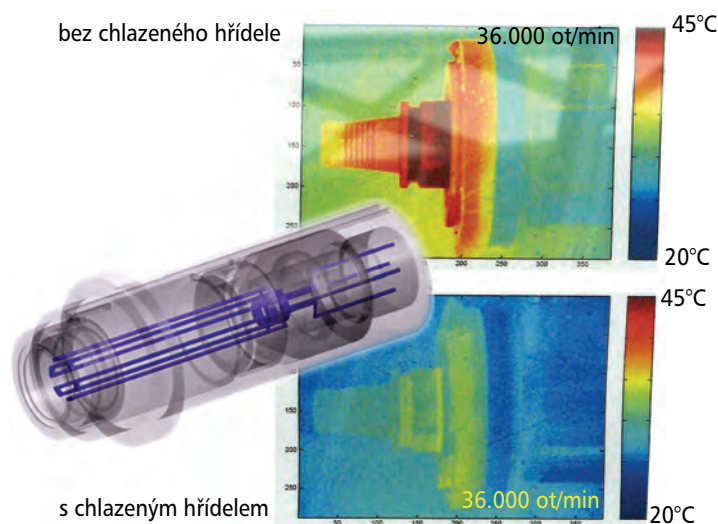
### 3.2.3 NSK

Firma NSK vystavovala novou řadu zatěsněných předmazaných vřetenových ložisek s kroužky širšími cca o 20%. Rozměry ložisek odpovídají standardním rozměrům ložisek řady ISO 20 a 29. Širší kroužky vytvářejí v ložisku více prostoru pro mazivo. Výsledkem je delší životnost maziva i celého ložiska. Ložiska mají polyamidovou klec pro menší tření a hluk. Dále firma prezentovala rozšíření své nabídky o ložiska s mazáním olejem nebo tukem skrz otvor ve vnějším kroužku.

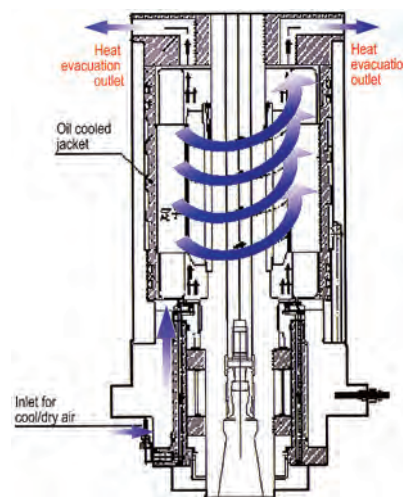


### 3.3 Tepelné vlastnosti vřeten

Tepelným vlastnostem vřeten byla na EMO věnována velká pozornost. Vestavěný elektromotor a vřetenová ložiska představují zdroje tepla, které negativně ovlivňují přesnost a životnost vřetena. Velkým problémem je prohřívání hřídele, který je uvnitř vřetena špatně přístupný. Většinou výrobci vřeten proto chladí pouze stator motoru ev. tubus vřetena. To však není dobré pro ložiska, která během provozu potřebují určitý prostor, aby mohla expandovat v důsledku vlastního oteplení a působení odstředivých sil. Rozpínající se hřídel a ev. chlazený tubus tak vytvářejí ložisku stísněné podmínky, při kterých roste riziko zadření. I z tohoto důvodu bylo na EMO vidět vřetena s chlazenými hřídeli. Na svém stánku je vystavovala firma Fischer (obr. 23), která uvádí, že chlazení hřídele zkracuje až o 80% čas potřebný pro temperování jednotky, snižuje provozní teplotu vřetena a hodnoty tepelné dilatace a prodlužuje jeho životnost. Firma inzerovala již 500 vřeten



Obr. 23: Vřeteno Fischer MFW-1412/36/20 s chlazeným hřídelem



Obr. 24: Chlazení motoru vzduchem (YCM)

s chlazeným hřídelem v nasazení u zákazníků. Vodou chlazení hřídel má i nový externí motor od firmy Franz Kessler s parametry 2.500 ot/min/125 kW/9.200 Nm. Firma YCM uvádí, že hřídele svých vřeten chladí proudícím vzduchem. Ten vstupuje do vřetena v jeho přední části, ochlazuje motor a vystupuje v zadní části (obr. 24). Firma uvádí, že toto patentované řešení zvyšuje přesnost a spolehlivost vřetena.

Vřetena jsou také stále častěji osazována dalšími čidly teploty, jejichž signál je zaveden do řídicího systému pro vytvoření kompenzačního signálu. To je spolu s intenzivním chlazením statoru motoru nejvíce používaný způsob pro minimalizaci vlivu teplotních dilatací vřetena na přesnost práce stroje.

### 3.4 Upínání nástrojů do vřeten

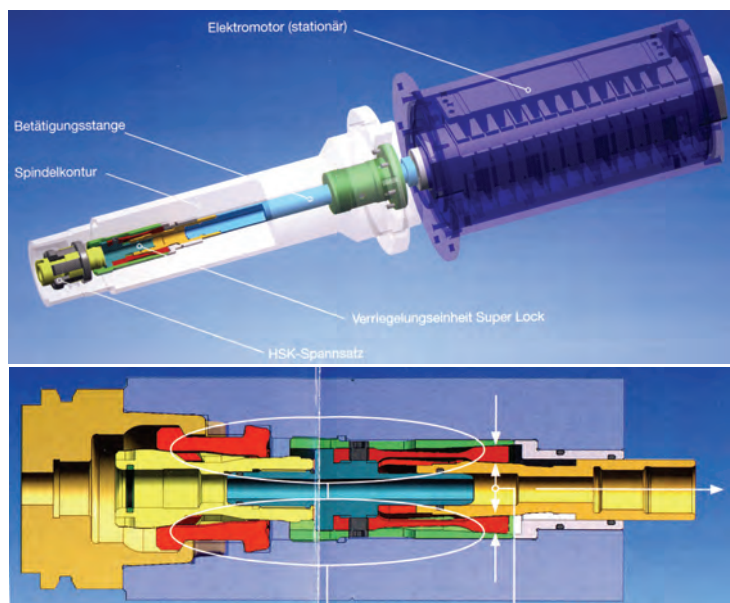
V aplikacích vyžadujících častou výměnu nástrojů, např. ve výrobě automobilových dílů, se stává nástrojové rozhraní a nástrojový upínač kritickou částí vřetena. Opatřované rozhraní ztrácí tuhost i přesnost upnutí. U upínačů dochází nejčastěji k praskání upínacích pružin a k poškození rotační jednotky.

Firma Franz Kessler vystavovala vřeteno s 18.000 ot/min/18 kW/29 Nm se snadno vyměnitelným nástrojovým upínačem. Celý upínací mechanismus je vsazen v trubce, která má v přední části nástrojové rozhraní. Tento celek je možno relativně snadno vyměnit z přední strany vřetena zamontovaného ve stroji. Výhodou řešení je i současná výměna dutiny nástrojového rozhraní.

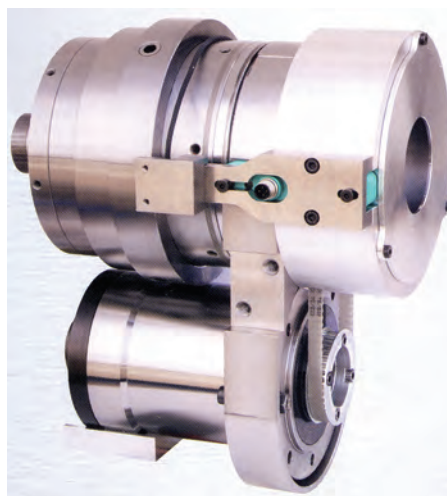
Firma Röhmm prezentovala upínání nástrojů systémem clamp-by-wire, který nepotřebuje klasické talířové pružiny a tekutinový odepínací válec. Pro frézovací vřetena systém sestává ze dvou hlavních prvků: mechanické upínací a odepínací jednotky a samojistného upínacího mechanismu. Upínací jednotka je tvořena elektromotorem, který přes převod vysouvá tažnou tyč. Ta provádí upnutí/odepnutí nástroje přes samojistný mechanismus, který zaručuje bezpečné upnutí nástroje bez požadavku na trvalou tažnou sílu. Firma Röhmm nabízí upínací jednotku clamp-by-wire v odlišném provedení i pro soustružnická vřetena.

Upnutí nástroje pomocí vlastního samojistného mechanismu nabízí také firma Berg. Její upínací mechanismus je modifikovanou verzí jednotky pro upínání vřetenových hlav. Upnutí nástroje je garantováno i při výpadku tažné síly. Tu vyzojují v upínacích Berg sady talířových pružin se sníženými tolerancemi

rozměrů, které jsou vedeny za vnitřní průměr po tyči s keramickým potahem. Pružiny nikdy nejsou složeny v tandemech, což minimalizuje jejich vzájemné tření a přispívá k delší životnosti a menší nevyváze soustavy. Firma uvádí, že s tímto konceptem dosahují upínače pro rozhraní velikosti HSK63 zaručených maximálních otáček 30.000 ot/min.



Obr. 25: Nahoře upínací jednotka clamp-by-wire, dole samojistný upínací mechanismus (Röhm)



Obr. 26: Mechanická upínací jednotka clamp-by-wire pro soustružnická vřetena (Röhm)

Požadavky na tuhost a stabilitu upnutí nástroje ovlivňuje také typy nástrojových rozhraní ve vřetenech. Na EMO bylo vidět na mnoha strojích upnutí nástrojů na dvě kontaktní plochy. Kromě rozšiřujícího se počtu nových strojů s rozhraním HSK bylo prezentováno množství strojů, které měly nově nahrazeno rozhraní ISO rozhraním Big-Plus. Tento posun byl vidět především na japonských a korejských strojích.

## 4 Shrnutí a závěr

EMO 2009 v Miláně přineslo v oblasti vřetenové techniky proti minulým dvěma výstavám v Hannoveru mnoho drobných zlepšení jak v konstrukci vřeten, tak jejich komponent.

Vřetena s koaxiálním externím motorem jsou v konstrukci malých a středně velkých strojů byla prezentována ve výrazně menším množství než elektrovřetena. Ta pokračují v pronikání do dalších konstrukčních oblastí, které byly dříve vyhrazeny především vřetenům s převodovými pohony. Pro velké vyvrtávací stroje, které vyžadují kroutící momenty, jež nelze dosáhnout přímým pohonem, se rozšiřuje nabídka koaxiálních vřetenových soustav (elektrovřetena s integrovanými převodovkami).

Výrobci vřeten se soustředí na snižování ceny vřeten pomocí nabídky základních "katalogových" vřeten. Ty jsou nabízeny ve výkonových řadách s větším množstvím sdílených komponent, aby se snížily výrobní náklady. Trvajícím trendem je sledování vysoké přesnosti a spolehlivosti vřeten, což se na EMO projevilo soustředěním na tepelné vlastnosti vřeten. Chlazení vnitřních částí vřeten a pokročilé teplotní kompenzace se tak pomalu začínají stávat běžným řešením u více výrobců.

Výrobci vřetenových ložisek pokračují v postupném vylepšování své nabídky. Nejde o žádnou revoluci, spíše o postupnou evoluci, kdy všichni rozšiřují a doplňují své výrobní programy, aby se nezaostávali za konkurencí. Tím ubývá výrobců, kteří se mohou pochlubit nabídkou konkrétního nestandardního řešení.