

Stroje pro mikroobrábění

Jan Smolík, Martin Mareš, Josef Kekula

Abstrakt:

Článek představuje aktuální nabídku především frézovacích strojů pro mikrofrézování. Podrobně je představeno nové vertikální frézovací centrum YMC 430 japonského výrobce YASDA, ale i další stroje určené pro obrábění v oblasti mikronových přesností.

1 Úvod

Na veletrhu EMO 2009 prezentovalo svoji produkci strojů určených pro mikroobrábění několik tradičních firem zaměřených na tuto oblast. Poprvé byl v Evropě představen speciální pětiosý stroj od firmy MORI-SEIKI určený pro mikroobrábění. Tento stroj byl již dříve představen odborné veřejnosti na IMTS Chicago 2008, avšak jedná se o naprostou špičku v oboru. Naprostou novinkou bylo nové vertikální centrum firmy YASDA určené pro mikrofrézování ve třech osách. Tradičně byla představována produkce mikrofrézovacích center firmy SODICK, špičková vertikální centra firmy Rödgers a stroje firmy Hwacheon. Dále svoji produkci představovali švýcarské společnosti Emissa S.A. (www.emissa.com) a Precitrame Machines SA (www.precitrame.com), zaměřené především na hromadnou výrobu mikroobrobků (nikoli nástrojů, ale konečných dílců) a společnost Affolter Technologies S.A. (www.affelec.ch) zaměřená na výrobu mikroozubení. Chyběla prezentace špičkových strojů německé společnosti KERN (www.kern-microtechnic.com), francouzské firmy RealMeca (www.realmeca.com), nebo japonské firmy NTC (www.ntcmc.com). Často jsou stroje pro mikrofrézování využity pro přípravu miniaturních nástrojů a maticí pro mikro EDM obrábění. Nejzajímavější stroje pro mikro EDM technologii (Electrical Discharge Machining) představovali na EMO japonská společnost Sodick a švýcarské společnosti AgieCharmilles (www.gfac.com) a SARIX SA (www.sarix.com) a pro technologii ECM (Electrochemical Machining) pak francouzská PEMTec SNC (www.pemtec.de). Zajímavé shrnutí vystavovaných technologií pro Mikro EDM je možné nalézt na <http://eurotecmagazine.wordpress.com/category/edm/>.

Přestože je veletrh EMO tradičně spjatý s prezentací nejpokročilejších technologií bylo na výstavě prezentováno méně strojů pro mikroobrábění než na posledním IMTS Chicago 2008. V následujícím si blíže představíme některé vystavované produkty a jejich technologické možnosti.

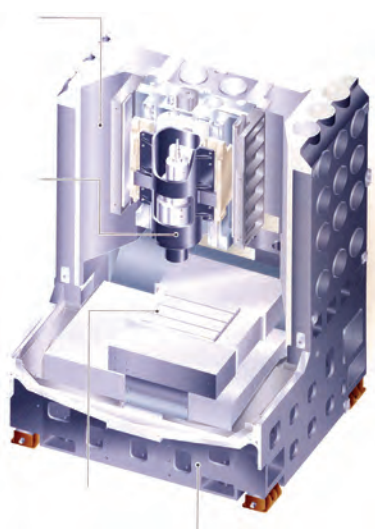
2 Yasda

Japonská společnost YASDA je tradiční výrobce vertikálních frézovacích center pro přesnou výrobu nástrojů a forem, ale také producent řady horizontálních center YBM pro čtyřosé frézování dílců do rozměru až 2000mm. V oblasti strojů pro velmi přesné obrábění nabízí pětiosý stroj YBM Vi40 s otočným a naklápěcím stolem. Až do EMO 2009 nabízela také legendární tříosý stroj YMC 325 určený pro nej přesnější obrábění. Nyní byl poprvé představen jeho nástupce nazvaný YMC 430. Nový stroj YMC430 převzal ze stroje YMC 325 všechny klady a dále je rozšířil ve smyslu zdokonalení parametrů ovlivňujících přesnost. Stroj YMC430 není pouhou modernizací, nebo úpravou stroje YCM 325, ale jedná se konstrukčně o zcela nový stroj, který nabízí pracovní stůl o rozměrech 430x350mm, maximální zatížení stolu 100kg, rozjezdy v osách X, Y, Z pak 400 x 300 x 250, otáčkový rozsah vřetene 200-40.000 1/min, maximální stálý výkon vřetene 7,5kW. Všechny tři lineární pohybové osy jsou poháněny vysokorychlostními lineárními motory. Lineární motory jsou užity zejména kvůli téměř nulovým pasivním odporům tohoto provedení pohonu (pokud neuvažujeme pasivní odpory kabelových a chladících přívodů motorů). Síla se přenáší do pohyblivé části vzduchovou mezerou bez jakýchkoli převodů a mechanických vazeb. Zcela příkladně je konstrukčně řešen nový nosný rám stroje. YASDA hovoří ve svých prospektech o stojanu typu "H". Jde o uzavřenou strukturu, kde pod stojan zajíždí křížový stůl. Stojan má svislé stěny po obou stranách a také v zadní části stroje. Půdorysný tvar průřezu

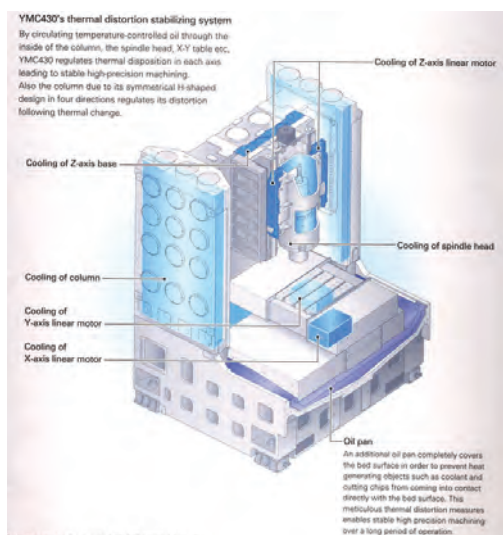
stojanu pak skutečně připomíná tvar písmene H. Na čelní stěně stojanu je pak nabudována pohybová osa Z. Její pohon lineárními motory je zdvojen a vřetenno se nachází mezi dvěma motory, které jsou po stranách. O typu použitých lineárních vedení se bohužel nebyla delegace YASDA ochotna bavit a ani v publikovaných informacích není o jejich provedení nic konkrétního uvedeno. Vzhledem ke skutečnosti, že aplikované lineární vedení umožňuje spolehlivé, měřitelné krokování pohybových os s krokem 0,1 μ m, jedná se buď o hydrostatická vedení (jako u předchozího YCM 325), nebo o extrémě přesná uložení valivá. Zásadní charakteristikou stroje je dokonalý systém chlazení. Chlazeny jsou nejen všechny lineární motory posuvových os a samotné vřetenno, ale také vřeteník. Stojan je protékáný temperovaným olejem. Dalším chlazeným místem je celá oblast pod křížovým stolem. Jedná se o jakýsi tepelný štít před tepelným ovlivňováním stroje od třísek a řezné emulze. Není známé, že by některý jiný výrobce strojů dosud nabízel, takto chlazenou oblast "pánve" pod křížovým stolem. Z důvodů odstínění stroje od rušivých vlivů stojí také za pozornost vibrační a tepelné oddělení příslušenství stroje. Podrobný prospekt ke stroji dokonce praví o eliminaci pulsací v hydraulických tlakových rozvodech po stroji. Jen těžko si lze představit, že mohou tyto pulsace v hadicích způsobovat nějaké nepřesnosti, ale věc dokresluje snahu o řešení každého detailu, který může mít vliv na přesnost výroby na stroji.



Obr. 1: Vertikální centrum YASDA YCM 430



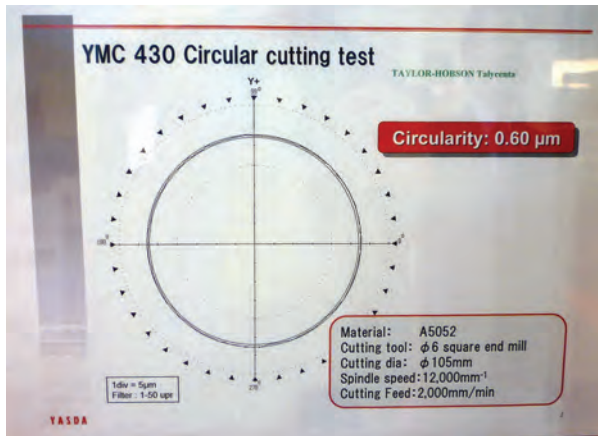
Obr. 2: Symetrická nosná struktura stroje YASDA YCM 430



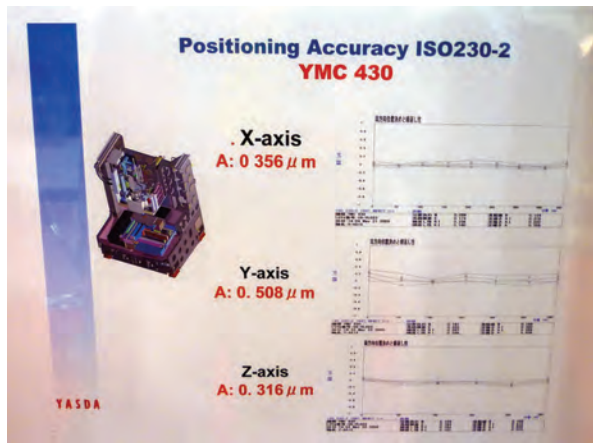
Obr. 3: Komplexní chlazení pohonů i nosné struktury stroje YASDA YCM 430



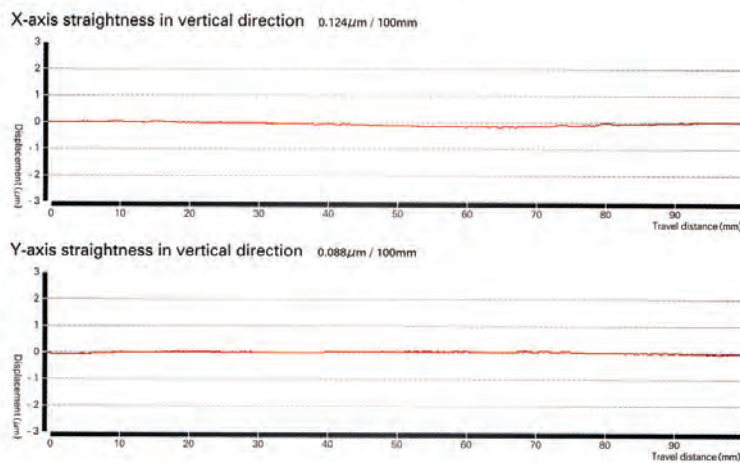
Obr. 4: Příklad obrobků realizovaných na stroji YASDA YCM 430



Obr. 5: Příklad testu kruhové interpolace na stroji YASDA YCM 430



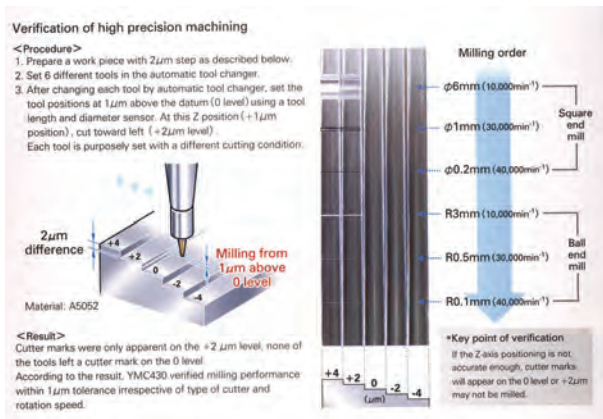
Obr. 6: Příklad testu polohování v osách na stroji YASDA YCM 430



Obr. 7: Přímost pohybu křížového stolu. Uvedeny jsou hodnoty kolmé na osu pohybu na stroji YASDA YCM 430



Obr. 8: Příklad obrobku z nástrojové oceli o tvrdosti HRC 60 dokončovaného kulovou frézou o průměru 1mm na stroji YASDA YCM 430



Obr. 9: Příklad testu přesnosti polohy v ose Z po výměmě nástrojů na stroji YASDA YCM 430



Obr. 10: Příklad obrobenej mikroskopické struktury na stroji YASDA YCM 430

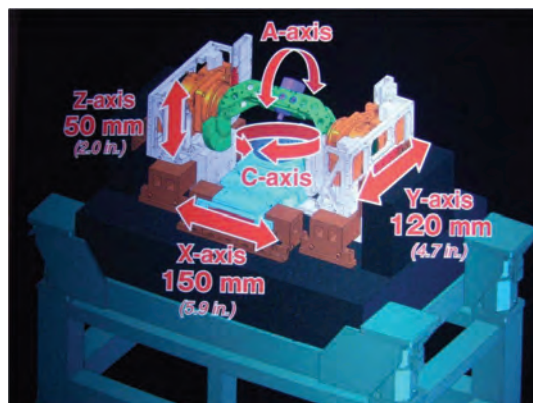
3 Mori Seiki

Společnost MORI SEIKI představila na evropském kontinentu poprvé svůj stroj NN1000 určený pro nejpřesnější pětiosé obrábění v submikronových přesnostech. Stroj byl poprvé představen na výstavě IMTS Chicago 2008 a jedná se o skutečný unikát. Použité technologie spíše připomínají laboratoř polovodičových technologií, než obor obráběcích strojů. Základem stroje je žulový blok uložený na aktivních pneumatických prvcích ve svařovaném rámu. Aktivní tlumič pneumatické prvky izolují stroj od vnějších vibrací z podlahy pod strojem. I přesto je prý stroj možné pro nejpřesnější operace provozovat pouze na velmi tuhých a hmotných

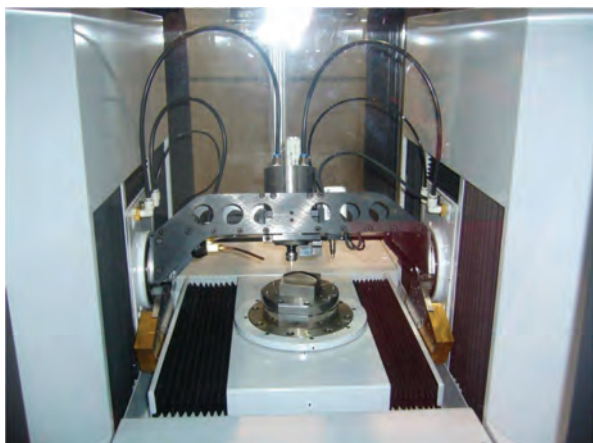
základech které nejsou buzeny jinou technologií. Na základním žulovém bloku jsou nabudovány pohybové osy z keramiky a duralu. Všechna pohyblivá vedení (lineární i rotační) jsou provedena jako aerostatická. Dvě navzájem se pohybující části na vrstvě tlakového vzduchu jsou vždy keramické. Pohony jsou pak na všech osách realizovány přímými pohony, tedy lineárními a prstencovými motory. Všechny pohony jsou zdvojené a plně symetrické, vyjma osy C. Krytování jsou provedena pouze lehkými měchy, které kladou minimální pasivní odpory. Rotační osa A je vyvažována protizávažími. Stroj pracuje pouze s jednobřitým diamantovým nástrojem. Stroj nedisponuje automatickou výměnou nástrojů, ani automatickou výměnou obrobků. Spolu se strojem HS650Linear taktéž japonské firmy SODICK je jedním z mála pětiosých strojů v kategorii strojů pro mikrofrézování.



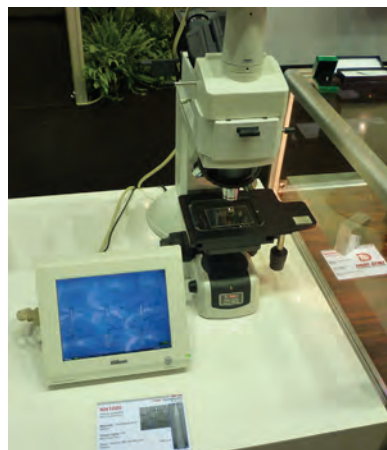
Obr. 11: Celkový pohled na stroj Mori Seiki NN1000



Obr. 12: Schéma nosné struktury, pohonů a aktivního uložení



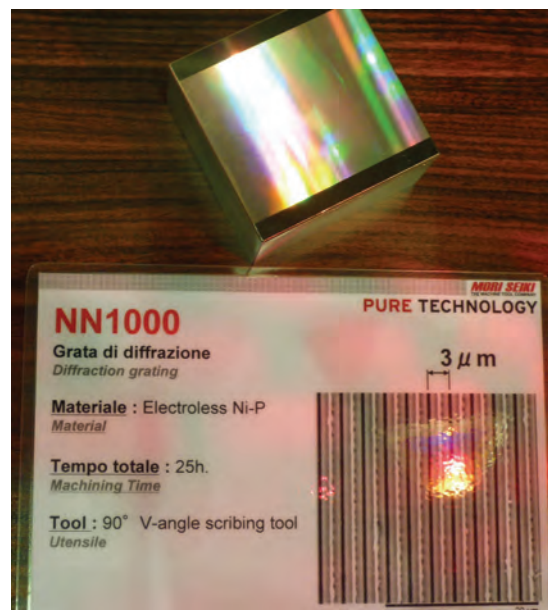
Obr. 13: Pohled do pracovního prostoru



Obr. 14: Přidružené mikroskopické pracoviště



Obr. 15: Příklad obrábění textu DTL, kde tloušťka písma činí pouhých 30um a výška 200um. (Mori Seiki NN1000)



Obr. 16: Příklad obrábění rastru "V" drážek s roztečí rastru 3um. (Mori Seiki NN1000)



Obr. 17: Příklad obrábění jehlanové mřížky s podstavou jehlanů 20x20um. (Mori Seiki NN1000)



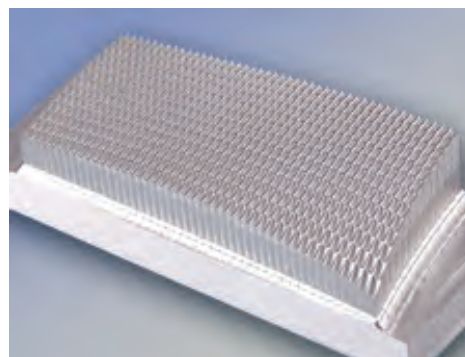
Obr. 18: Příklad obrobení rastru hrotů s jehlany. Průměr hrotů je 30um v prizmatické části a 5um na hrotu. (Mori Seiki NN1000)

4 Röders

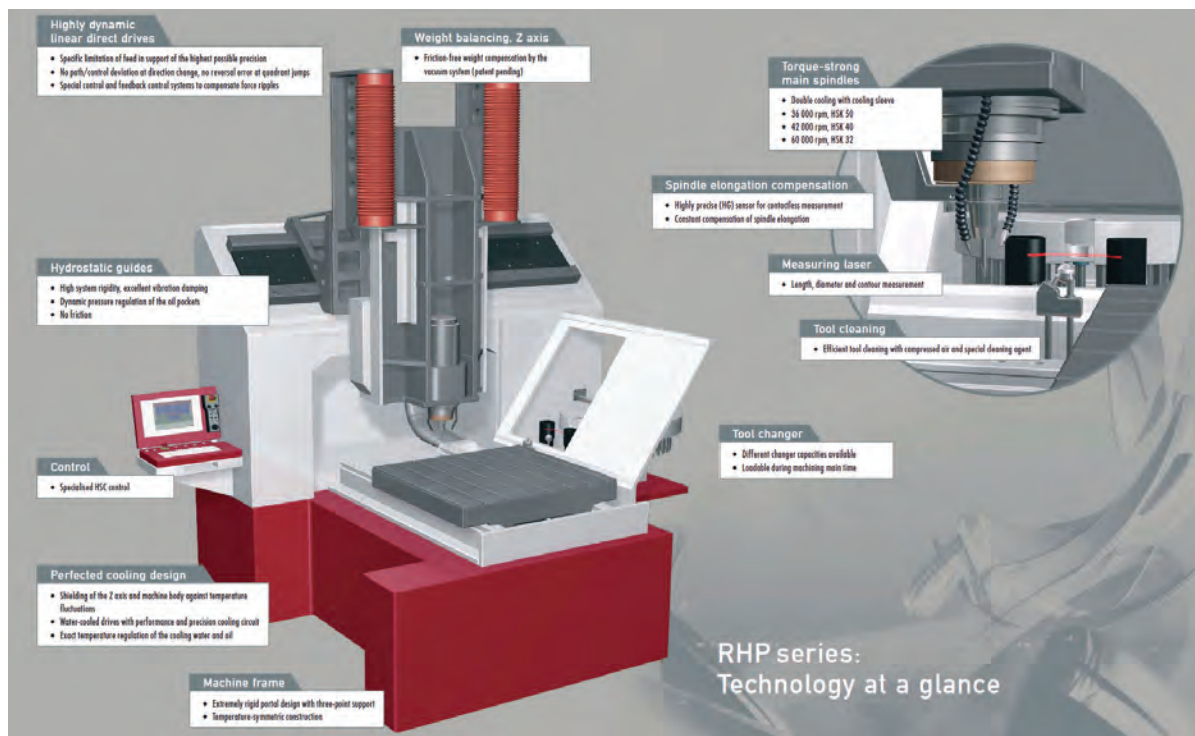
Mezi tradiční evropské výrobce velmi přesných strojů patří firma Röders. Firma je kromě vynikajících strojů vyjímečná také neustálým zdokonalováním a prodejem strojů se svým vlastním řídicím systémem. Nejpřesnější řada strojů Röders nese označení RHP. Jedná se o vertikální stroje s portálovým stojanem uzavřeným ze zadní strany. Stroje jsou vyráběny ve třech velikostech 800, 600 a 500, kde označení přibližně odpovídá šířce stolu. Pohony pohybových os zajišťují lineární motory (pohony bez mechanického kontaktu). Všechna lineární vedení jsou pak provedena jako hydrostatická. Stroj je vybaven nejen přesným chlazením pohonů, ale také temperací chladicí emulze nebo oleje. Velký důraz je kladen na tepelné odstínění skeletu stroje od třísek a chladicích kapalin. Stroj je možno osadit vřetenem s max. otáčkami až 60.000 1/min. Vyvažování v ose Z je provedeno pomocí patentovaného pneumatického systému s minimálními pasivními odpory. Stroj je standardně vybaven automatickou výměnou nástrojů. Vzhledem k užitým hydrostatickým vedením je stroj vhodný nejen pro přesné frézování, ale také pro broušení. Díky konstrukci stroje eliminující pasivní odpory a maximalizující jeho přesnost je stroj také vhodný pro přesné inprocesní měření obrobků. Společnost Röders tedy řadu RHP inzeruje jako řadu strojů vhodnou pro frézování, broušení a měření.



Obr. 19: Příklad stroje Röders řady RHP ve velikosti 600.



Obr. 20: Příklad obrobení matrice reflektoru: ocel 1.2316 (X36CrMo17), rozměry 100 x 45 x 40 mm, nejmenší nástroj D1,5 mm, max. otáčky 40.000 1/min, max. posuvová rychlost 5.000 mm/min, čas výroby 5 hodin

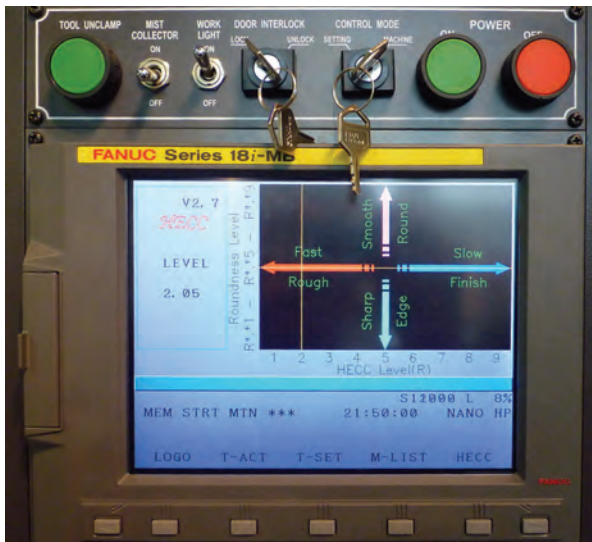


Obr. 21: Ilustrativní představení pokročilých technologií užitých u strojů řady Røeders RHP

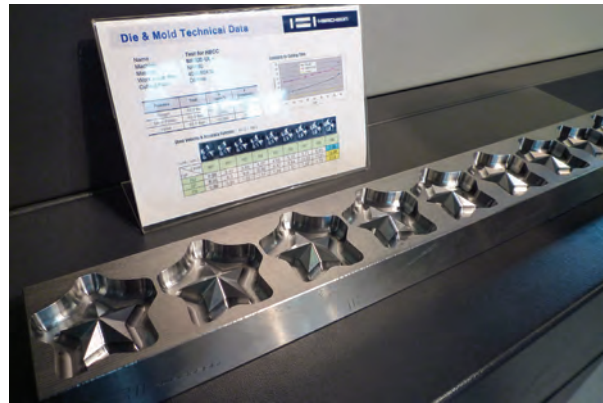
5 Hwacheon

Korejská společnost Hwacheon se nespécializuje na stroje pro ultrapřesné obrábění, avšak představovala svůj velmi přesný stroj SIRIUS UL+ určený pro výrobu forem a nástrojů. Snad ani tak nezaujme samotný stroj, který je postaven na základě vertikálního tříosého centra s možností rozšíření o rotační osy, ale zajímavé jsou nabízené softwarové řídicí prostředky. Společnost Hwacheon představovala dva vlastní softwarové systémy doprogramované do řídicího systému Fanuc. Prvním z nich je systém nazvaný HECC (Hwacheon Efficient Contour Control). Jedná se o obdobný systém jaký nabízí například v podobě tzv. "trojúhelníku" Siemens SINUMERIK. Uživatel je dána možnost provádět výběr mezi rychlejšími, resp. pomalejšími odbaveními NC kódu, resp. realizací složité dráhy s mnoha přechody lineárních úseků. Rychlost souvisí s dovolenou nepřesností na napojeních jednotlivých úseků a tedy s ostrostí nebo naopak splývavostí těchto přechodů. Systém pravděpodobně v závislosti na uživatelem zvolené míře požadavku na přesnost a plynulost dráhy provede změnu nastavení regulace pohonů a změnu tolerance přesnosti dráhy, možná také změnu limitů zrychlení a ryvů. Zástupci společnosti Hwacheon nebyli ochotni vnitřní techniku odhalit, avšak lze předpokládat využití uvedených možností změn (změn nastavení interpolátoru a nebo nastavení servoregulace). Funkčnost tohoto systému prezentovala firma na řadě stejně obroběných dutin zápustek, avšak pokaždé při jiném nastavení parametrů v systému HECC. Na uvedeném příkladu byla zřejmá výrazná úspora času při hrubování a při dokončování. Úspora času při dokončování byla sice patrná, ale dle výsledků obrábění na povrchu obrobků nelze rychlejší variantu využít beze zbytku, neboť pak nejsou splněny požadavky na tvarovou přesnost.

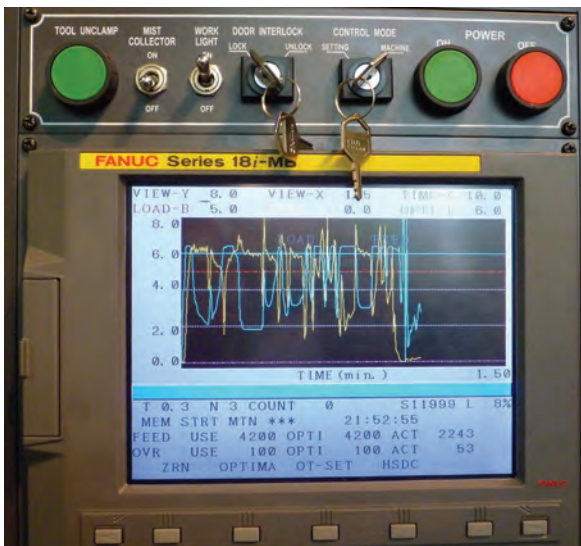
Další ze softwarových možností nabízených firmou Hwacheon je systém HTLD (Hwacheon Tool Load Detektor) a s ním spojený systém Optima HTLD. V prvním případě se jedná o systém kontroly nástroje před přetížením a destrukcí. Druhý systém je v principu systém adaptivního řízení, který se snaží změnou posuvové rychlosti o maximální využití výkonu frézovacího vřetene. Jedná se o jeden z mála reálně nabízených systémů adaptivního řízení.



Obr. 22: Obrazovka nastavení v systému HECC firmy HWACHEON.



Obr. 23: Příklad zkušebního kusu s možností porovnání obrobeneých povrchů při různě nastaveném systému HECC firmy HWACHEON.



Obr. 24: Obrazovka se záznamem posuvu a zatížení vřetene v systému Optima HTLD firmy HWACHEON.



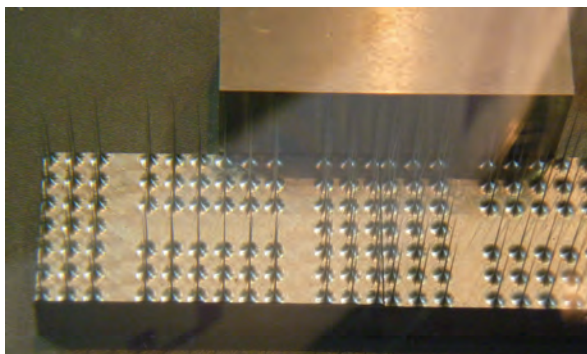
Obr. 25: Na EMO předváděný příklad funkčnosti systému HTLD, kde docházelo k diagonálnímu nájezdu nástroje do materiálu a automatické změně posuvové rychlosti ve vazbě na zatížení vřetene.



Obr. 26: Příklad obrobeneých plochy nástroj vstříkovací formy na stroji HWACHEON SIRIUS-UL+.



Obr. 27: Příklad mikrovtřání mřížky s otvory o průměru 0,2mm na stroji HWACHEON SIRIUS UL.

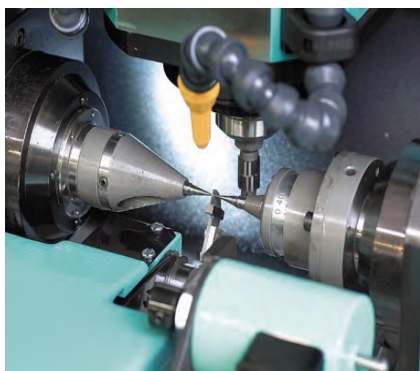


Obr. 28: Příklad obrábění jehlic průměru 0,12mm a výšce 25mm z plného materiálu a stroji HWACHEON M2-5AX.



Obr. 29: legenda příkladu obrábění jehlic průměru 0,12mm a výšce 25mm z plného materiálu na stroji HWACHEON M2-5AX.

6 Affolter Technologies S.A.



Obr. 31: AF100 pracovní prostor

Švýcarská společnost AFFOLTER specializující se na výrobu miniaturních ozubených kol odvalovacím způsobem představila obráběcí centrum AF100. Obráběcí centrum je schopno vyrábět ozubení přímé, šikmé a kuželová kola. Stroj je schopen vyrábět ozubená kola do modulu 0,5 mm. Zařízení disponuje 8-mi řízenými osami. Rám stroje je zhotoven z polymerbetonu, což zaručuje dobré tlumící vlastnosti konstrukce a odolnost stroje proti negativním teplotním vlivům. Stroj je vybaven přímým odměřováním na všech lineárních osách. Součást je upnuta mezi hroty a unášena pomocí dvou na sobě nezávislých elektrovřeten. Pohon nástroje zajišťuje třetí vřeteno. Všechna vřetena jsou opatřena vnitřním chlazením, které zaručuje tepelnou stabilizaci stroje a stálou přesnost.

Švýcarská společnost AFFOLTER specializující se na výrobu miniaturních ozubených kol odvalovacím způsobem představila obráběcí centrum AF100. Obráběcí centrum je schopno vyrábět ozubení přímé, šikmé a kuželová kola. Stroj je schopen vyrábět ozubená kola do modulu 0,5 mm. Zařízení disponuje 8-mi řízenými osami. Rám stroje je



Obr. 30: Affolter AF100

7 Precitrame Machines SA

PRECITRAME je další zástupce Švýcarska nabízející obráběcí centra pro přesné mikroobrábění. Na výstavě zaujaly rotační transferová obráběcí centra, z vystavených konkrétně model MTR 312. Jedná se o vysokokapacitní rotační transferové obráběcí centrum vhodné pro výrobu přesných součástí a to v sériích středních až velkých čítajících několik milionů součástí. Jedná se o stroje pro hodinářský, automobilový, elektrotechnický a medicínský průmysl. Omezení stroje je dáno minimálním časem cyklu, který činí 2s. Stroj je plně automatizován včetně automatické výměny obrobků. Základem je svařovaný rám zaručující tepelnou odolnost a tuhost. Na rámu je kruhově uspořádáno 12 samostatných obráběcích jednotek UV72-3, které zajišťují polohování s přesností do 1 mikronu. Uprostřed je otočný stůl s přímým pohonem, který zajišťuje přemístování obrobků mezi jednotlivými stanovišti, což je realizováno pomocí paletového systému který polohuje obrobky s přesností do 4 mikronů. Samozřejmostí je také automatické zakládání a vykládání obrobků mimo stroj, za pomoci dvouosého systému či pomocí robotického ramene. Integrovaný je také automatický měřicí systém zajišťující kontrolu obrobků, vyhodnocování korekcí nástroje a provádí také statistickou kontrolu procesu (SPC) a lze jej připojit na externí SPC systém. Každé stanoviště disponuje třetí osou jednotkou schopnou nést 2 vřetena uspořádaná horizontálně nebo 4 vřetena uspořádaná vertikálně. Maximální otáčky vřeten jsou 42.000 ot/min. Pomocí speciální CNC architektury stroj umožňuje řídit 31 os, na výběr je řídicí systém Sinumerik 840D, NUM Axiom Power, nebo Fanuc 30i. Krytování stroje umožňuje snadný přístup ke všem jednotkám. Chladicí a filtrační jednotka je umístěna mimo stroj, přičemž je možno

stroj napojit na centrální chladicí a filtrační agregát pro více strojů zároveň. Na přání může být stroj řízen na dálku bezdrátově. Další řadou je řada 400H umožňující obrábět na jednom stanovišti z 5-ti stran a funkce stroje jsou rozšířeny o možnost soustružení.



Obr. 32: Precitrame MTR 312



Obr. 33: Pracovní jednotky MTR 312

8 Další aktuální nabídka

Přestože na EMO Milano 2009 nebyly vystaveny, dovolujeme si provést připomenutí některých dalších vynikajících strojů určených pro mikrofrézování. V následujícím jsou uvedeny stroje, které jsou v aktuální nabídce příslušných výrobců. Přestože nebyly vystavovány přímo v Miláně, jedná se o moderní a pokročilé stroje pro oblast především mikrofrézování. Na následujících ilustračních obrázcích jsou uvedeny stroje: HS560Linear japonské firmy SODICK, stroj Hyperprecision HP francouzské společnosti REALMECA, Z μ 3500 japonské firmy NTC, Pyramid Nano švýcarského výrobce KERN, stroj NANO-FOCUS 425 holandské firmy Hembrug a nakonec stroj SIP 5000.



Obr. 34: Špičkové pětiosé frézovací centrum HS650Linear pro obrábění v submikronových přesnostech od firmy SODICK



Obr. 35: Stroj HyperPrecision HP2 francouzské společnosti REALMECA



Obr. 36: .Stroj Z μ 3500 firmy NTC určený pro mikroobrábění. Všechna vedení jsou bezkontaktní hydrostatická, pohony realizovány lineárními motory, speciální krytování s minimalizací pasivních odporů



Obr. 37: Švýcarský stroj Pyramid Nano od formy KERN. Stroj užívá nejen hydrostatická vedení, ale také pohon pomocí hydrostatických trapézových šroubů uložených na hydrostatických ložiskách.



Obr. 38: Špičkové pětiosé centrum firmy Hembrug označené NANO-FOCUS 425. Užitá hydrostatika na všech osách, přímé pohony, granitové nosné dílce. (Pro zajímavost: hmotnost stroje 15t, max. hmotnost obrobku 75kg)



Obr. 39: Produkce strojů SIP pod vlastnictvím Starrag Heckert, na obrázku stroj SIP 5000. Stroj SIP uvádíme pro připomenutí této legendární švýcarské značky, která se stala synonymem přesnosti.

9 Shrnutí a závěr

Stále přicházejí na trh zcela nové stroje určené pro oblast mikroobrábění a nanoobrábění. Prezentace strojů pro frézovací operace v oblasti extrémních přesností je až s překvapením stále širší a pestřejší. Stroje pro frézovací operace v nejvyšších přesnostech byly až do nedávna nabízeny téměř výhradně tříosé. Nyní se však setkáváme již i se stroji pro mikroobrábění s pěti souvisle řízenými osami. Stroje pro mikroobrábění a nanoobrábění charakterizují především dosahované přesnosti a tolerance na mikronové a nano úrovni, nikoli však nutně miniaturní rozměry samotného obrobku. Prezentace strojů pro tyto technologie obvykle doprovází bohatá výstavka realizovaných obrobků. Detaily obrobků jsou často zobrazovány optickými nebo dnes již také elektronovými mikroskopy, neboť rozměry obráběných detailů se odehrávají na úrovni jednotek mikrometrů. Častými obrobky jsou matrice pro vytváření reliéfů na optických částech displejů, resp. jejich jednotlivých komponent, součásti pro obor polovodičů, dílce mikromechanismů a hodinek. Z hlediska technického řešení, sofistikovanosti a užitých technologií se v oblasti frézovacích center pro mikro a nanoobrábění jedná většinou o naprosté klenoty, které uplatňují jen ta nejlepší řešení. Ceny těchto velmi malých, ale extrémně přesných strojů, jsou blízké cenám velkých obráběcích strojů s řádově většími rozměry a hmotnostmi. Tyto stroje představují typické stroje s velmi vysokou přidanou hodnotou.