

Stroje na ozubení

Pavel Bach, Jiří Hovorka, Jan Smolík

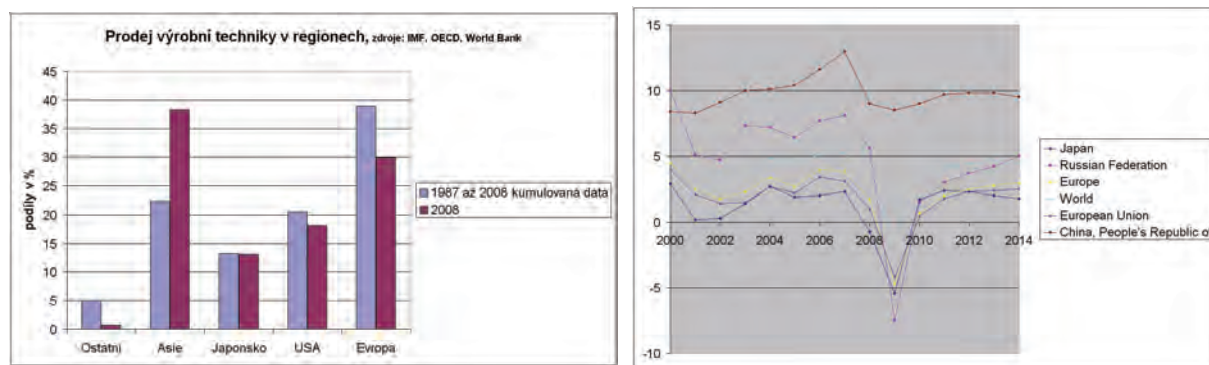
Abstrakt:

Článek popisuje současnou ekonomickou situaci v oblasti strojů pro výrobu ozubení. Dále jsou popsány vybrané stroje, na nichž jsou prezentovány zajímavé konstrukční a technologické myšlenky.

1 Úvod

V Miláně tentokrát vystavovalo 12 výrobců strojů na ozubení. Byly to společnosti Gleason, Gleason-Hurth, Gleason-Pfauter (Maag), Gleason-Höfler, Köpfer, Klingenberg, Oerlikon, Lambert - Wahli, Liebherr, Monnier+Zahner, Nilas, Reishauer, Samputensili a Sicmat. Česko se nezúčastnilo. Chyběla však i řada dalších významných společností, tradičních vystavovatelů. Zřejmě dopad nelehkých ekonomických potíží celého odvětví. O situaci v oboru byla řeč i na konferenci, kterou svolala společnost Mori Seiki krátce před EMO do Šanghaje jako svou výroční konferenci, kde se hodnotily výsledky interních výzkumných úkolů společnosti. Pan Masahiko Mori v úvodním příspěvku komentoval současnou ekonomickou situaci oboru ze svého hlediska a vyvodil z analýzy i závěry pro výzkumné zaměření jeho společnosti. Zde je jeden z jeho postřehů:

Porovnáme-li si výsledky prodeje výrobní techniky (obráběcích a tvářecích strojů) v hlavních regionech světa za období 1987 až 2008 se samotným rokem 2008 (obr. 1 vlevo) zjistíme, že zatímco v Evropě prodej poklesl v r. 2008 o téměř 20%, v Asii o 30% stoupl. Pan Mori soudí, že za tímto nárůstem stojí import i export Číny a směřuje svoje obchodníky právě tam.



Obr. 1: Vlevo: Prodej výrobních strojů v regionech. Vpravo: Vývoj HDP ve vybraných zemích světa, data IMF

O síle čínského trhu svědčí i graf vývoje HDP v období 2000 až 2014 na obr. 1 vpravo. Má Čína opravdu takový vliv na prodej obráběcích strojů Asii? Zřejmě ano, když uvážíme její současný, procentní růst HDP (zdroj pro investice) **a také nízký propad v r.2009, kdy všichni ostatní spadli až na hodnotu kolem -5%**. Tento rozdíl zmnožil čínské investiční možnosti oproti zbytku světa. Za pozornost stojí i predikce růstu HDP v Rusku na léta 2010 až 2014. Pokud se vyplní, mělo by se Rusko stát podobně dobrým trhem jako je již dnes Čína.

Evropské sdružení výrobců obráběcích strojů CECIMO mělo v roce 2008 44% podíl na světové produkci obráběcích strojů. Hlavně díky Německu, jenž se na tomto výsledku podílelo 48%, Itálii s 27% a Švýcarsku s 13%. O zbytek koláče se dělí Španělsko, Francie a Spojené království (UK). **Evropa jako celek** se ukázala nejsilnějším výrobcem-dodavatelem na světovém trhu obráběcích strojů. Země CECIMO ovšem nevystupují při prodeji jako nějaký koncern. Ani v jednotlivých zemích oborové svazy nemají žádnou obchodní sílu nebo jednotnou obchodní politiku. Jednotlivé podniky jsou zcela nezávislé a mnohde si navzájem konkurují. Velký podíl zemí CECIMO na trhu tedy není ničím jiným než číslem, kterému neodpovídá žádná obchodní síla. Léta 2006 až 2007 byla pro obor mimořádně úspěšná a evropští producenti toho náležitě využili. Od začátku roku

2008 však zakázky neustále klesají a výrobci obráběcích strojů balancují na pokraji kolapsu. Pokles indexu zakázek v roce 2008 byl velmi strmý. Ze 155 bodů vůči roku 2005 na 55 bodů v r. 2009. Přitom zmírnění poklesu v roce 2009 nemusí ještě znamenat definitivní obrat trendu během jednoho roku. Stačí se podívat na předchozí rozkolísaný vývoj v letech 2001 až 2003/4. Vývoji zakázek odpovídá produkce zemí CECIMO ve stejném období.

Předpověď hospodářského vývoje v zemích vyrábějících výrobní stroje je pro nejbližší léta poměrně optimistická. Počet obyvatel světa neustále stoupá. Spotřeba i výroba a export průmyslových výrobků v Číně, ale i v Indii a v Brazílii také roste. Tyto trendy zaručují další potřebu strojírenského zboží, pro jehož výrobu jsou obráběcí a tvářecí stroje nutné. S eventuálním prosazením utopistických snah některých snů o udržitelném vývoji si tyto prognózy nedělají starosti.

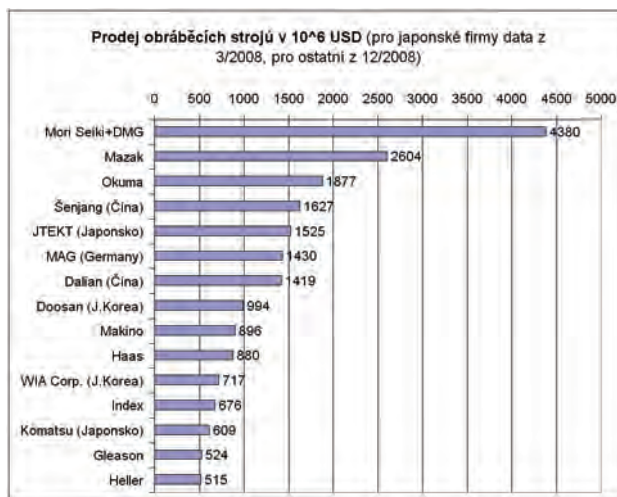
Stroje na výrobu ozubení nejsou dominantní komoditou na výstavách EMO. V Miláně se to jen potvrdilo. Největší z výrobců strojů na ozubení, americký koncern GLEASON prodá ročně stroje asi za 500 milionů dolarů a zaujímá tím asi 2% světového prodeje obráběcích strojů (obr. 2). Asi 75% trhu s ozubárenskými stroji ovládají Gleason a německé firmy. Přestože na EMO nevyniká expozice těchto firem svou velikostí, jde o stroje velké důležitosti, nebo na nich závisí výroba téměř všech mobilních strojů, výroba energetických strojů, papírenských strojů, chemického zařízení, lodní průmysl a konečně i výroba samotných obráběcích strojů.

Automobilky mají ve výrobních ozubených kol pro převodovky stroje na ozubení vždy vícenásobně osazené, aby udržely kontinuitu výroby převodovek i při výpadku některého s nich.

Sortiment strojů na výrobu ozubení obsahuje stroje hrubovací, jako jsou odvalovací frézky a obrážky a stroje dokončovací jako ševingy a brusky. Ke kompletu dílny patří i stroje na srážení hran zubů, výrobu vnitřních drážek, drážkových hřídelů, zabíhací stroje, lapovačky a stroje pro další speciální operace, měřicí stroje a také mechanizační zařízení pro hromadnou výrobu. Velké dílny musí být vybaveny i ostříčkami nástrojů nehledě na speciální zařízení měrových středisek. Všechna tato zařízení vyrábí tradičně poměrně malý okruh specializovaných výrobců. Výbava podniku pro výrobu ozubárenských strojů je totiž velmi specifická a to jak na straně potřebného strojního vybavení, tak na straně lidských zdrojů, specialistů.

2 Ukázky konstrukce vybraných strojů

Konstrukce strojů na ozubení byla, a stále ještě je poměrně složitá, např. v kinematickém uspořádání. K velkému kinematickému zjednodušení došlo před lety s aplikací NC řízení. Postupně byly vyvinuty CNC stroje až se šesti nebo i osmi NC osami a dalšími elektronickými zařízeními. Na výstavách od té doby nevidíme další podobné radikální změny konstrukce. K další, ale již konstrukčně menší změně došlo v době, kdy se začaly, někdy v letech 1990 až 1995, vyvíjet dialogové (obrazkové) programování těchto strojů. Protože tato metoda umožnila i nespécialistovi vyrobit správné ozubené kolo nebo šnek, byla velmi úspěšná a záhy ji zavedli všichni výrobci v různě komfortních podobách. Velký technologický pokrok přinesly CNC ševingy. Objevily se pravděpodobně prvně v Itálii mezi 1997 až 2000. Speciální kinematika těchto strojů ve spojení s přesným měřením umožnila hned několik korekčních zásahů na obrobku a podstatně zpřesnila nahrubovaná kola. Přibližně ve stejném období byla zavedena technologie suchého obrábění ozubení, což si vynutilo konstrukční opatření zajišťující odvod horkých třísek z pracovního prostoru hrubovacích strojů. Použilo se tlakového vzduchu k ofukování a zároveň k chlazení pracovního prostoru. Přineslo to velkou úlevu v provozech s mnoha stroji. Odpadlo totiž téměř olejové hospodářství tehdy nutné pro chlazení nástrojů v řezu. Radikálně poklesly i exhalace ze spalovaných olejů. Nevýhodou bylo zvýšení hlučnosti strojů. Další malá revoluce přišla v období 2002 až 2005 s vývojem velmi výkonných nástrojů na hrubování kol v hromadné výrobě. Produktivita byla tehdy již velmi dobrá i s HSS frézami. Nástrojaři ale vyvinuli odvalovací celokarbidové, povlakované frézy, jejichž životnost se během krátké doby od uvedení na trh (asi v r. 1995)



Obr. 2: Největší světoví výrobci obráběcích strojů, data: MTTRF Annual Meeting 2009, M.Mori, from Metal working insider's report

zdvojnásobila. Přineslo to velké úspory automobilkám a zlevnění převodovek. Tyto nástroje dovolují i tvrdé obrábění předhrubovaných, zakalených kol, tzv. loupání. Stroj musí být vybaven odměřováním vzájemné polohy vyhrubovaného kola a nástroje.

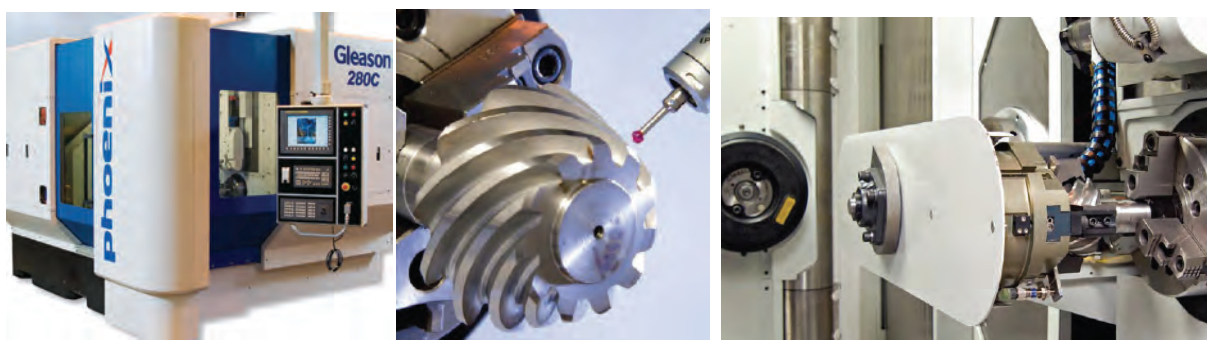
Určitou zvláštností strojů na ozubení, oproti jiným typům obráběcích strojů, je jejich schopnost udržet dlouhodobě přesnost výroby ozubených kol. To je nutný požadavek hromadné výroby automobilových převodovek. Na strojích jsou proto používány důmyslné systémy teplotní stabilizace celého nosného skeletu a chlazení zdrojů tepla. Zmínili jsme se již o rychlém odvodu třísek. Strojany jsou trvale chlazeny a stabilizovány průtokem oleje nebo chladicí směsí. Lože strojů rovněž a využívá se i stabilizačního účinku nádrže na chladicí olej nebo kapalinu.

Na EMO v Miláně nepředstavili výrobci strojů na ozubení nějaké podstatné novinky. Spíše solidní a ustálené konstrukce s garantovanou stabilní přesností, výkonností a spolehlivostí a také s komfortní obsluhou. V popředí zájmu je stále zkracování výrobních i vedlejších časů. Podívejme se tedy na reprezentanty toho, co se dnes ve světě v tomto oboru obráběcí techniky vyrábí. Představíme postupně 12 vystavovatelů na EMO 2009 a některé vystavené stroje jejich produkce.

2.1 Gleason Corporation

Společnost Gleason je největším výrobcem ozubárenských strojů. Kromě USA působí v Evropě (závody v Německu), v Indii a v Číně. Dceřiné společnosti jsou Gleason Hurth, Gleason Pfauter (Maag), Gleason Höfler a Gleason Cutting Tools (v USA i v Anglii). Gleason je tradičním výrobcem strojů na výrobu kuželových kol podle vlastního systému. Dnes ve spojení např. se společností Pfauter dodává ovšem i stroje na cylindrická kola. Konstrukce strojů uskupení Gleason se vyznačují velmi tuhými, monolitickými stojany konstruovanými tak, aby se třísky nikdy nedostaly do styku s konstrukcí stroje, a byly rychle vyvezeny mimo stroj.

Poprvé vystavená odvalovací frézka Phoenix 280C (obr. 3) má o 20 až 35% vyšší produktivitu než srovnatelné stroje, umožňuje **měřit kola přímo na stroji sondou**, má zrychlené upínání obrobku i nástroje, zvláštní vřetenou pro srážení hran zubů, programovací dialog vyhovuje i méně kvalifikovaným operátorům, má vestavěnou diagnostiku stavu stroje k předcházení poruchám. Nástrojové vřetenou je umístěno na otočném suportu, což dovoluje nastavit minimální vyložení nástrojového a obrobkového vřetenou a zaručit tak nejvyšší možnou tuhost. Stojan je **polymerbetonový** kvůli termostabilitě a tlumení vibrací. Je určen především pro automobilky, k hromadné výrobě kol do průměru 280 mm technologií suchého obrábění. Pohon nástrojového i obrobkového vřetenou je přímý. Největší předností stroje je **automatické upínání obrobku a výměna nástroje**.



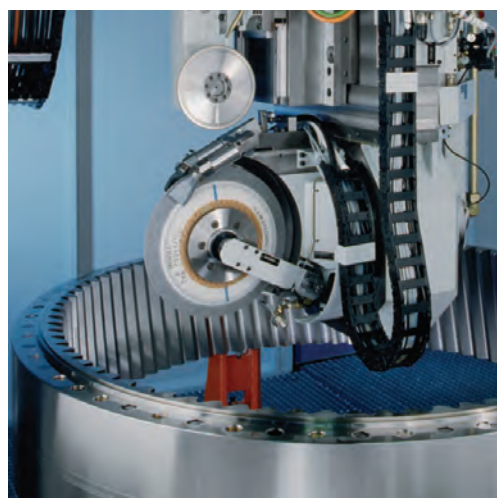
Obr. 3: Gleason Phoenix 280C, odvalovací frézka na kuželová kola. Vpravo automatické upínání obrobku

Gleason vystavil také ve světové premiéře ještě brusku Titan 1500G, jejíž hlavní předností má být **vyšší produktivita broušení ozubení**. Bruska pracuje metodou dvoubokého broušení. Díky systému automatické výměny nástroje i obrobku, automatické kompenzace nesouososti nástroje a obrobku a dalším vymoženostem, zvyšuje stroj produktivitu až o 50% oproti předchůdcům.

Společnost Gleason vyrábí kromě odvalovacích frézek na kuželová kola s kruhově spirálními zuby také brusky, lapovačky, ostříčky na nástroje a měřicí stroje na tato kola. Vystaven byl 1500 GMM, měřicí stroj na malá kola. Pokud jde o cylindrická kola, má v sortimentu vertikální i horizontální odvalovací frézky v rozsahu průměrů kol 130 až 6000 mm, obráběčky v rozsahu 150 až 2000 mm, ševingovací a honovací stroje (130 až 300 mm), a profilové brusky (400 až 5000 mm).

2.2 Gleason - Pfauter

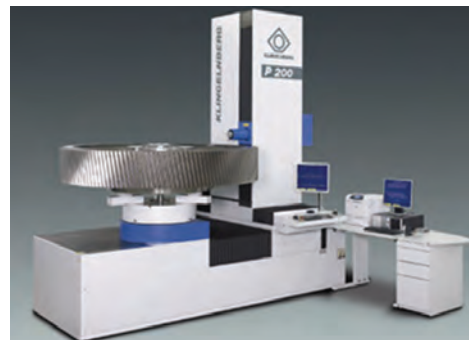
Společnost dodává brusky na profilové broušení cylindrických ozubených kol, v řadě od 800 do 6000 mm průměru obrobku, pro výrobce převodovek větrných elektráren, důlních strojů, lodí a dalších. Profilové broušení vyžaduje přesné vedení pohyblivých částí stroje, velmi přesné, se stejným pohybem. Na ose X je hydrostatické vedení. Stůl je poháněn vícechodým, duplexním šnekem a je uložen rovněž hydrostaticky. Stroje mají na NC osách přímé odměřování. **Speciální chladicí systém všech zdrojů tepla zaručuje dlouhodobou termální stabilitu strojů.** Stroje v řadě se liší většími rozměry a konstrukcí stolu podle hmotnosti obrobku od 10 000 do 40 000, případně 70 000 kg. Varianty pohonů celé řady jsou pouze dvě, a to 24 a 50 kW (výkonové broušení). Od průměru kola 1600 mm se dodává hlava pro broušení vnitřního ozubení (obr. 4 vpravo). Programování je opět dialogové. Podle požadavku může být broušení jedno/ dvouboké včetně modifikací profilu zubů. Pokud jde o optimalizaci procesu, mají stroje adaptivní řízení posuvu a orovnávací kotouče odvozené od sledování doby, po kterou kotouč není v řezu.



Obr. 4: Gleason - Pfauter 2000G, bruska na profilové broušení ozubení, Rz lepší 1,5 μ m, Ra lepší než 0,2 μ m

2.3 Klingelberg

Tradiční švýcarská firma Klingelberg (založeno 1863) je dnes propojena s další švýcarskou firmou Oerlikon. Vlastní rovněž Zeiss-Industrielle-Meßtechnik (Höfler). V r. 1997 **vyvinula technologii suchého obrábění kuželových kol.** V r. 2003 Oerlikon uvedl na trh nový koncept **vertikálního broušení spirálových kuželových kol**, který o dva roky později vylepšil o **výkonové broušení.** Tento koncept prezentoval i na EMO 2007 pro kuželová kola automobilových tahačů. Společnost nabízí brusky na cylindrická kola, měřicí stroje na ozubení, frézky na ozubení, a lapovací stroje. Vystavovala stroj Oerlikon C29 pro výrobu kuželových kol s ozubením modulů 1,5 až 6,5 mm s průměrem kola až 280 mm, tedy převážně pro osobní automobily nebo malé nákladní vozy. Celá dodávaná C-řada ovšem zahrnuje moduly od 1 do 13 mm.



Obr. 5: Oerlikon CNC frézka C29 pro kuželová kola. Vpravo: největší měřicí stroj na ozubení, Klingelberg P 200

Stroje mají přímý pohon nástroje i obrobku. Jsou konstruovány pro suché obrábění povlakovanými karbidovými nástroji. Oerlikon dodává i vlastní nástroje systému ARCON a SPIRON. **Vertikální způsob obrábění kuželových kol** byl vyvinut kvůli vysokým objemům třísek odebíraným těmito nástroji. **Gravitační, rychlý odvod třísek** je nutný kvůli termostabilitě stroje a rozměrové stabilitě výrobků. Systém obrábění není omezen pouze na tradiční Oerlikon technologii (eloidní ozubení), ale díky pružnému

programovacímu systému je možné použít i ostatní technologie (paloidní Klingenberg systém a další). Rozměrová kontrola kol během výroby se provádí na měřicích strojích Klingenberg, přičemž podle výsledků je NC program automaticky korigován.

2.4 Köpfer

Firma, kterou založil v r. 1867 Jos. Koepfer ve Furtwangenu patří dnes do holdingu EMAG. Příkladem z produkce této firmy je CNC odvalovací frézka MZ120 na výrobu cylindrických kol a šnekového ozubení malých modulů v rozsahu od 1 do 1,5 mm. Na stroji lze také frézovat kuželová kola a závity. Firma vyrábí také brusky na HSS i karbidové frézy na ozubení od průměru 25 do průměru 120 mm, max. délky 60 mm. Vystavovala stroj VSC 400 WF, odvalovací frézku. Další podrobnosti www.koepfer.com nebo www.emag.de.

2.5 Liebherr Group

Je to společnost relativně mladá, založená Hansem Liebherrem v r. 1949. Dodnes je to rodinná firma s širokým portfoliem výrobků od domácích spotřebičů přes jeřáby, součásti letadel, až po obráběcí stroje. Firma Liebherr-Verzahntechnik GmbH dodává kompletní zařízení pro výrobu ozubení. Jsou to stroje na principu odvalovacím i obrážecím až do průměru obrobku 6 m i brusky na broušení ozubení. Vše včetně nástrojů, manipulace a automatizace. Určitou kuriozitou jsou její **velké stroje na ozubení**. Firma na EMO, kromě jiného, vystavila LFS 380, obrážečku pro ozubení modulů $m=3-12\text{mm}$ a průměrů kol do 380mm. Unikátem je její odvalovací frézka LC 10000 s parametry: včetně příkon 120kW (2x60kW), M_k 14000Nm, kola až 10m, nástroj s délkou až 1000 mm a prům. 650 mm, zatížení stolu 300t. Koncepce viz ilustrační foto na obr. 6



Obr. 6: Liebherr odvalovací frézka LC 4500 pro kola průměru až 4,5m



Obr. 7: Bruska firmy Kapp-Niles

2.6 Kapp&Niles

Firma Niles byla založena v r. 1889 jako Deutsche NILES Werke AG. V r. 1931 začala s vývojem přesného broušení ozubení a stala se jedním z vedoucích podniků v tomto oboru. Dnes propojena s firmou Kapp. Vystavovali KX160 Twin, brusku na ozubení a ZP12 Niles, brusku na velká kola. Niles brousí profil dvěma kotouči odvalujícími se po profilu zubu, Kapp kotoučem ve tvaru šneku. Ilustrační foto na obr. 7.

2.7 Reishauer

Firma vystavila brusky RZ260 a RZ1000 pro kola průměru až 260 nebo 1000 mm. reishaer používá k broušení kola brusný kotouč ve tvaru šneku a pracuje obdobně jako odvalovací frézka.



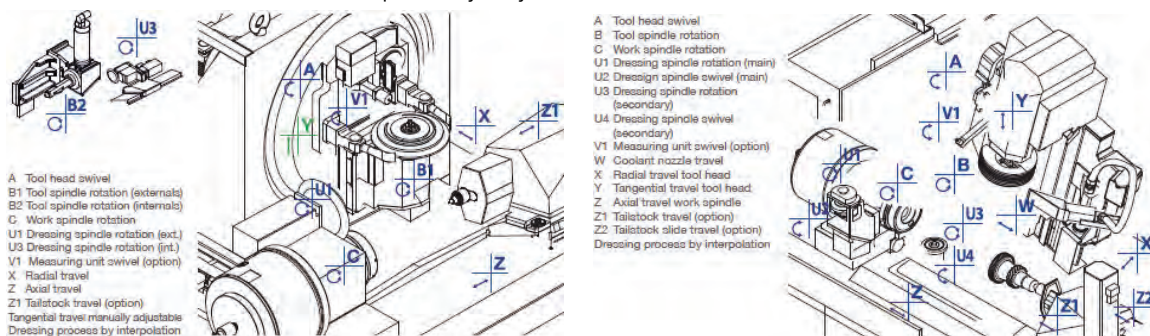
Obr. 8: Vlevo: Princip broušení ozubení systémem Reishauer, široký, profilový kotouč

2.8 Sicmat

Italská firma (založeno před 60 lety) známá svými velmi kvalitními ševingy, (obr. 8 vpravo). Právě RASO 250 byl vystaven na EMO. Pracovní prostor je uspořádán vertikálně kvůli návaznosti na okolní automatizaci. Nástroj i obrobek poháněny elektrovřeteny. Stroj je vybaven všemi potřebnými funkcemi aby dokončil předhrubované ozubení včetně modifikací.

2.9 Samputensili

Italská firma Samputensili postavila svůj první ševing v roce 1949. Od té doby vyvinula velké množství strojů a nástrojů na výrobu ozubení i na výrobu nástrojů, např. ševingovacích nástrojů a dnes patří k předním světovým výrobcům v oboru. Vystavila HG1200 invento, brusku na velká kola, prům. 1000mm, H200, odvalovací frézku, CD350H, ševing a G500H, brusku na ozubení velkých modulů. Posledně jmenovaný stroj je z nové řady G-H brusek určených k broušení vnějšího ozubení přímého i šroubového (šikmého), šnekového, rotorů, hřídelů i závitů. používají se jak klasické, korundové brusné kotouče tak CBN kotouče.



Obr. 9: Schémata brusek řady G-H a GT-H (vpravo) firmy Samputensili

3 Netradiční výroba ozubení

To, co bychom snad mohli označit jako určitou novinku na EMO v Miláně je obrábění ozubení na univerzálních CNC strojích, tedy nikoli na speciálních ozubárenských strojích. Bylo vidět řadu firem chlubicích se výrobou ozubení na víceosých obráběcích centrech. Jde o snahu vyrobit např. hřídelovou součást s integrovaným ozubeným kolem na jednom stroji. Populární motivací k použití takové technologie je např. zajištění rychlých dodávek náhradních dílů pro opravy převodovek větrných elektráren. K výrobě ozubení je použito různých technologií. Hodně se to řídí velikostí kola nebo počtem požadovaných kusů. Využívá se často odvalovací frézování. Zkonstruovat např. soustružnické centrum s možností obrábět ozubení, není dnes velký problém. Otázkou zůstává, v jakém typu výroby se taková technika uplatní a také, jaká je dosažitelná kvalita ozubení. V opravárenství pak je podstatná také dodací lhůta více méně unikátního kola. Výhodné zřejmě je vyrobit takto prototypová kola nebo jen jednotlivá kola.