

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## DESKRIPCE OZUBÁRENSKÝCH STROJŮ S TVAROVÝM NÁSTROJEM

DESCRIPTION OF GEAR-PRODUCING MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ KAFKA





VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2008



 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
 	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je vytvoření rešerše v oblasti strojů pro výrobu ozubení pracujících s tvarovým nástrojem. Počátek práce se zabývá požadavky na stroje na ozubení a ozubená kola. Druhá část je věnována popisu jednotlivých strojů a technologii výroby ozubení. V závěru práce jsou shrnuty vývojové trendy obráběcích strojů na výrobu ozubení.

### **Klíčová slova**

stroje na ozubení , výroba ozubení , technologie ozubení , protahování

## **ABSTRACT**





The object of the bachelor work is to create a research in part of gear producing machines work with profile implement. The project outset is concerned with requirement of gear machines and gears. The second part describes individual machines and technology of gear producing . In the end of work are summarize evolutionary trends gear machines.

### **Key words**

gear machines , gear production , gear technology , broaching

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KAFKA, L. *Deskripce ozubárenských strojů s tvarovým nástrojem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 27 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.





		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
		<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## ČESTNÉ PROHLÁŠEN

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.





V Brně dne .....

.....  
Podpis

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	





## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Petru Blechovi, Ph.D. , za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
		<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## Obsah

Úvod.....	2
1 Rozdělení ozubených kol.....	3
2 Požadavky na ozubárenské stroje.....	4
3 Rozdělení ozubárenských strojů.....	4
4 Stroje pracující s tvarovým nástrojem.....	5
4.1 Frézování tvarovým (dělicím) způsobem.....	6
4.1.1 Stroje pro frézování tvarovým způsobem.....	7
4.1.1.1 Stroje s manuálním řízením.....	8
4.1.1.2 Stroje s CNC řízením.....	10
4.2 Obrážení ozubení tvarovým nožem.....	12
4.2.1 Stroje pro obrážení tvarovým nožem.....	13
4.3 Protahování ozubení.....	16
4.3.1 Protahovací stroje.....	18
4.3.1.1 Vodorovné protahovačky.....	18
4.3.1.2 Svislé protahovačky.....	18
4.4 Broušení ozubených kol.....	21
4.4.1 Brousící stroje.....	22
Závěr.....	25
Seznam použitých zdrojů.....	26

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 2
 	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

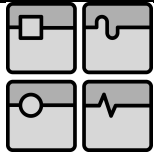
## Úvod

V moderní době je současným trendem zvyšování kvality výrobků , úspor času a zabránění možných komplikací při výrobě. Moderní doba přinesla spoustu nových možností , jež ovlivnily všechny oblasti průmyslu , bez nichž si dnešní dobu nelze ani představit.

Rozvoj obráběcích strojů výrazně ovlivňují některé vývojové trendy , které působí stále od počátečního období vývoje až do současnosti. Výsledkem je vznik neustále výkonnějších a přesnějších obráběcích strojů , které zpětně aktivně působí na rozvoj dalších oblastí ekonomiky [1].

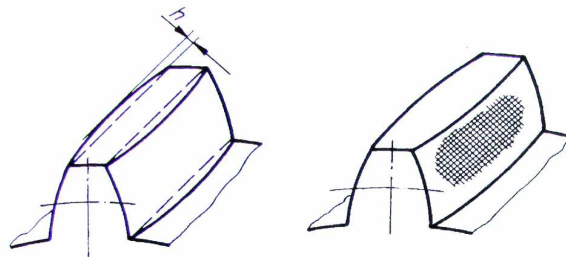
Stroje na ozubení jsou významnou a konstrukčně zajímavou kategorií obráběcích strojů. Je to dáno tím , že ozubená kola jsou nejužívanější součástí převodových systémů. Výroba ozubení mechanicky odvalovacím způsobem vyžaduje složité a přesné kinematické vazby. Podstatně novou situaci vnáší do strojů na ozubení číslicové řízení , kterým se výrazně zjednodušuje kinematická skladba. Obráběním se vyrábějí čelní ozubená kola , šneková kola , šneky a šneková ozubená kola s mimoběžnými osami [1].





# 1 Rozdělení ozubených kol

Výroba ozubení patří mezi velmi důležité ale také velmi složité technologické procesy. Složitost obrábění ozubených kol souvisí s tím, jak je nutno splnit teoretické poznatky plynoucí z teoremu odvalu a teoremu obtisku nástrojových ploch pro dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Kvůli vyrovnání nepřesností ozubených kol i jejich uložení v převodové skříně a deformací spojených s přenosem krouticího momentu jsou zuby kol při výrobě modifikovány (podélná a výšková úprava plochy boku zubů). Tyto úpravy sice snižují hlučnost a zvyšují životnost ozubení, na druhé straně ale kladou zvýšené nároky na jejich výrobu. Přesnost vyrobeného ozubení je ovlivněna zejména kinematikou obráběcího procesu, použitým nástrojem, typem a technickým stavem obráběcího stroje, volbou technologických základen, způsobem upnutí obrobku a řezným prostředím[3].



Obr.1.1 Úprava boku zubu [6]

Výrobu ozubení lze rozdělit na obrábění čelních kol s přímými, šikmými a šípovými zuby, šneků, šnekových kol a kuželových kol s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby. Přehled vyráběných ozubených kol je uveden na obr. 1.2.

Čelní s přímými zuby (Spur gears)



Kuželová (Bevel gears)







Čelní se šikmými zuby (Helical gears)



Šneková (Worm gears)



Obr.1.2 Přehled druhů ozubených převodů [7]

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
		<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## 2 Požadavky na ozubárenské stroje

Stroje na ozubení hrají nezastupitelný význam mezi obráběcími stroji , z toho také plynou specifické požadavky , které jsou na tyto stroje kladeny , jako například :

- široký typorozměrový sortiment (modu , počet zubů , šířka zubu , tvar zubu )
- vysoké hodnoty obráběných materiálů a tvrdosti po tepelném zpracování
- vysoká geometrická přesnost při složitém tvaru obráběných ploch
- spolehlivost , trvanlivost , životnost
- ovladatelnost
- produktivita práce

## 3 Rozdělení ozubárenských strojů

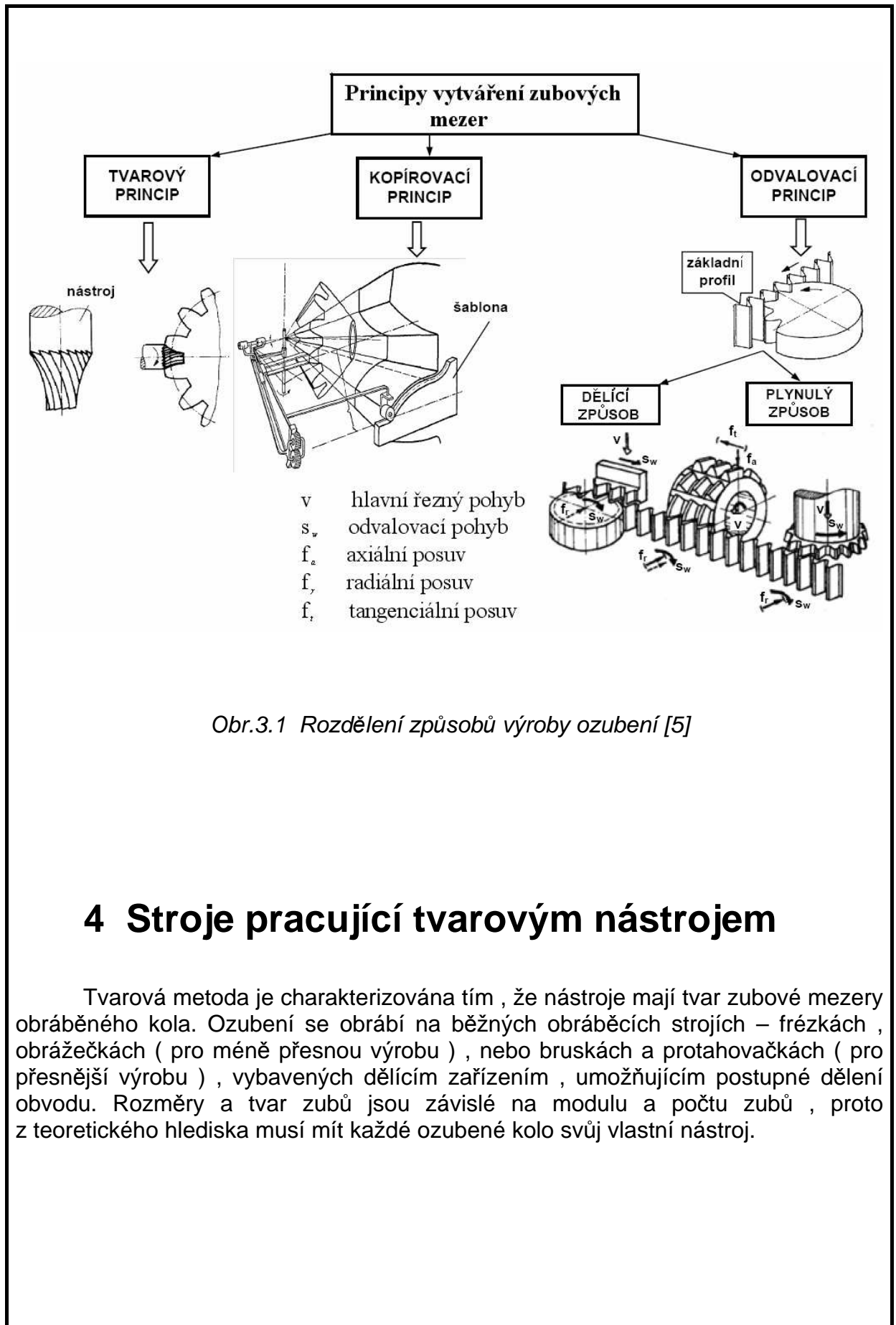
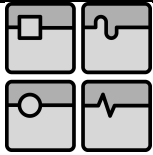
Ozubárenské stroje se dělí do třech základních skupin obr. 3.1. Hlavním kritériem pro rozdělení je jakým způsobem dochází k vytváření zubové mezery :

- tvarovými nástroji ( frézováním , obrážením , broušením , protahováním )
- kopírovacím způsobem ( hoblováním nebo obrážením podle šablony )
- odvalovacím způsobem ( obrážením , frézováním , broušením )

Odvalovacím způsobem mohou být kola obráběna:

- přerušovaně , tj. několik zubů se vytvoří plynulým odvalem a pracovní cyklus se opakuje
- plynule , tj. všechny zuby se vytvářejí bez přerušování cyklu
- dělením , tj. vytvoří se vždy jeden zub nebo zubová mezera

Pro zlepšení povrchu a zvýšení přesnosti geometrického tvaru se nekalená kola švingují , kalená kola se brousí a lapují. U kalených kol se tím odstraňují též deformace vzniklé tepelným zpracováním [1] .



## 4.1 Frézování tvarovým (dělicím) způsobem

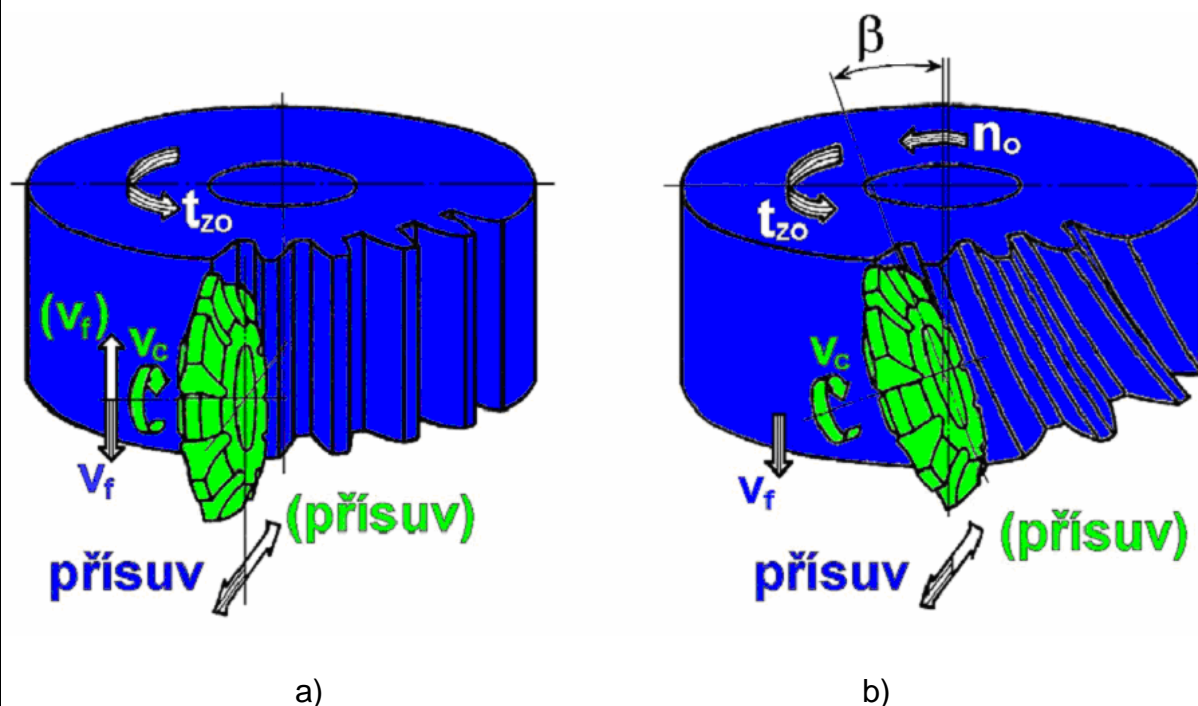
Při frézování dělicím způsobem obr. 4.1 se obrobí jedna zubová mezera, poté se obrobek upnutý v dělicím přístroji pootočí o jednu zubovou rozteč a frézuje se další zubová mezera.

Tvarové frézování se dobře osvědčilo pro hrubování kuželových kol. Vyrábějí se jím na čisto i velká kola, na něž by byly odvalovací stroje a nástroje příliš nákladné. Frézy mají profil zubové mezery frézovaného kola.

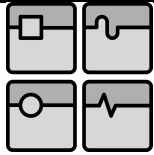
Kotoučovou nebo stopkovou frézou lze obrábět i čelní ozubená kola šroubová (se šikmými zuby). V tom případě se stůl stroje pootočí vzhledem k ose frézovacího vřetena o úhel sklonu  $\beta$ . Šroubové zuby se vytvářejí kombinací dvou pohybů, tj. podélného posuvu stolu a současného otáčení stolu s upínacím kolem.

Ozubené tyče se frézují na univerzální frézce natáčivou hlavou, která umožňuje natočit frézovací trn s tvarovou kotoučovou frézou.

Obráběním kuželových kol s přímými zuby tvarovými kotoučovými frézami nelze dosáhnout správného záběru nástroje s obrobkem, neboť modul kuželového ozubení se k vrcholu roztečné kružnice spojitě zmenšuje. Lze tak obrábět jen podřadná kuželová kola, nebo hrubovat kola pro jejich dokončování na strojích odvalovacích. Kola se pak vyrábějí na univerzálních frézách s dělicím přístrojem. Při větších modulech se frézuje tvarovou stopkovou (čepovou) frézou [2].



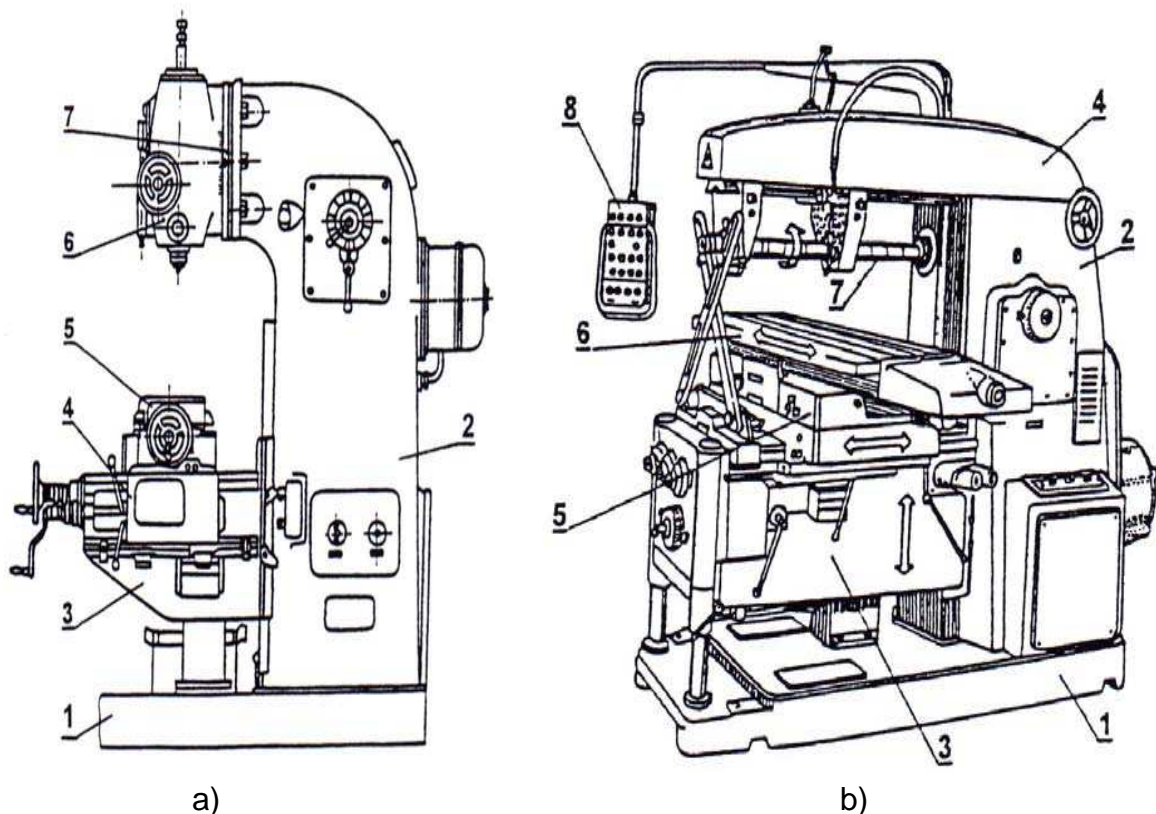
Obr.4.1. Frézování čelního ozubení dělicím způsobem kotoučovou frézou  
a) přímé zuby, b) šikmé zuby [3]



### 4.1.1 Stroje pro frézování tvarovým způsobem

Čelní ozubení lze obrábět téměř na každé konzolové frézce, která je vybavena dělicím zařízením. Charakteristickým prvkem těchto strojů je výškově přestavitelná konzola, která se pohybuje po vedení stojanu. Na konzole jsou umístěny příčné saně s podélným pracovním stolem. Tyto stroje se vyrábějí ve třech základních provedeních a to jako vodorovné (horizontální), svislé (vertikální) nebo univerzální.

Konzolové frézky svislé (obr. 4.2, 1-základna, 2-stojan, 3-konzola, 4-příčný stůl, 5-podélný pracovní stůl, 6-naklápěcí vřeteník, 7-kruhová základna vřeteníku) mají osu pracovního vřetení kolmou k upínací ploše stolu. Pracovní vřetení je uloženo buď ve svislé hlavě připevněné na stojanu frézky, nebo přímo ve stojanu. Svislá hlava se dá natáčet o  $\pm 45^\circ$ , vřetení bývá svisle přestavitelné. Na svislých konzolových frézkách se frézují zejména rovinné plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky v těchto plochách a tvarové plochy. Používají se k tomu čelní frézy upnuté na krátkém trnu, nebo frézy s kuželovou stopkou, upínané přímo do kužele vřetení, nebo s válcovou stopkou, upnuté do sklíčidla [3].



Obr.4.2 Konzolové frézky  
a) svislá konzolová frézka, b) vodorovná konzolová frézka [3]

Konzolové frézky vodorovné (obr. 4.2, 1- základna, 2 - stojan, 3 - konzola, 4 - rameno, 5 - příčný stůl, 6 - podélný pracovní stůl, 7 - vřetení, 8 - ovládací panel) mají osu pracovního vřetení vodorovnou, rovnoběžnou s plochou podélného stolu a kolmou na směr pohybu podélného stolu. Frézují se na nich převážně plochy

rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky a tvarové plochy. Pracuje se na nich nejčastěji válcovými a kotoučovými frézami a frézami tvarovými. Frézovací trn může být podepřen v jednom nebo ve dvou opěrných ložiskách. Omezeně se u nich používají frézy s kuželovou stopkou a frézovací hlavy upnuté do kužele pracovního vřetena. Konzolové frézky univerzální se od vodorovných frézek liší tím, že jejich podélný stůl je ve vodorovné rovině otočný kolem svislé osy o  $\pm 45^\circ$  [3].

Současnou produkci konzolových frézek lze rozdělit na frézky manuálně řízené a CNC řízené.

#### 4.1.1.1 Stroje s manuálním řízením

Příkladem konzolové frézky s manuálním řízením je stroj od firmy Intos. Tato frézka s označením INMILL 35 je určena především pro zákazníky orientující se na výrobu. Tato frézka vyniká vysokým řezným výkonem, maximální přesností a univerzálností použití. Vysoce dimenzovaná plocha umožňuje obrábět obrobky až do váhy 600 kilogramů. Tento stroj je dodáván s bohatým příslušenstvím. K přesnému nastavování os a rychlejšímu chodu je stroj vybaven kuličkovým tažným šroubem a lineárními vedeními.

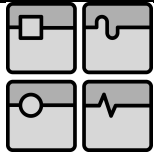


Obr.4.3 Frézka INMILL 35 [9]

Přednosti tohoto stroje jsou :

- otočný ovládací panel
- impulzový provoz hlavního a posuvového mechanismu
- pravotočivé / levotočivé hlavní vřeteno
- všechny stlačovací prvky je možné vypnout pomocí krytů
- hřídele a ozubená kola jsou tvrzená a broušená
- lineární vedení
- robustní konstrukce stroje
- horizontální vřeteno a možnost vypnutí při vertikálním frézování
- čtyřikrát uložená frézovací hlava radiálně / axiálně [9]





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

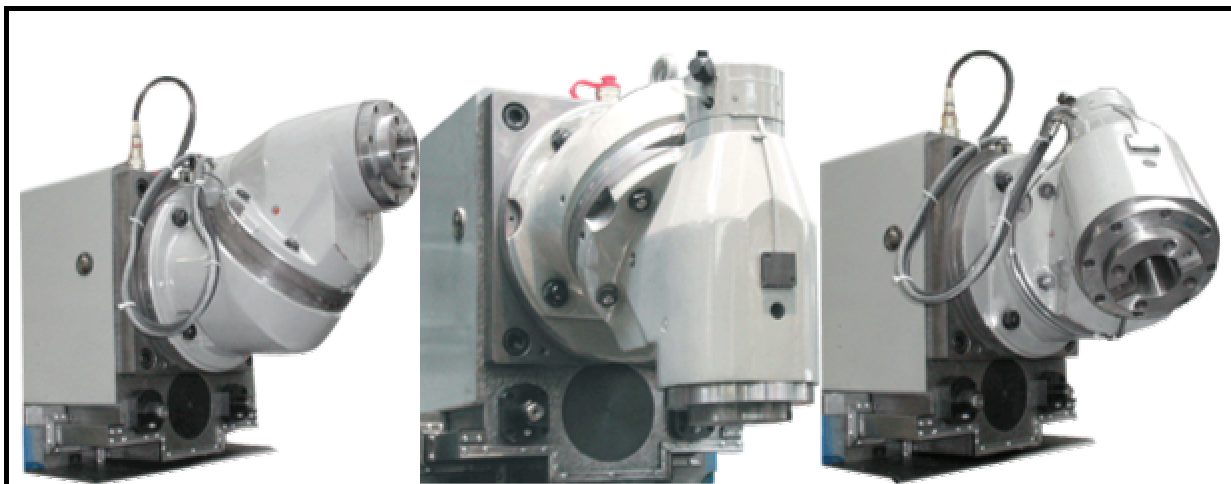
Dalším příkladem konzolové frézky s manuálním řízením je stoj s označením FGS od firmy Strojtos Lipník. Tato frézka se vyrábí buď v provedení s ručním řízením FGS T plus nebo s pravoúhlým řízením FGS NCP. Základní provedení stroje je s horizontálním vřetenem s upínacím kuželem ISO 50 a automatickým upínáním nástrojů. Otáčky lze řídit automaticky z ovládacího panelu. Stroj je vybaven centrálním náhonem a regulací posuvů. Jsou zde použity kuličkové šrouby v osách X a Y. Pro přesné obrábění je použito automatické zpevňování vodících ploch. Vodící plochy jsou kalené a vybaveny centrálním mazáním s automatickou indikací poruchy. U stroje FGS NCP je použit pravoúhlý řídicí systém HEIDENHAIN TNC 124.



Obr.4.4 Frézka FGS NCP [10]

Tento stroj je také dodáván ve zvláštním provedení jako je :

- řada otáček vřetene 28-1400, 35,5-1800, 45-2240 ot/min
- plynulá regulace otáček vřetene 0-3000 ot/min
- barevná povrchová úprava dle výběru
- zařízení pro hluboké vrtání - FGS T
- provedení stroje FGS NCP s dvoupolohovou hlavou IUG



*Obr.4.5 Ukázka provedení s univerzální hlavou IUG [10]*

#### **4.1.1.2 Stroje s CNC řízením**

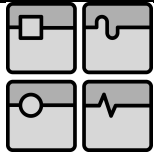
CNC technika jednoznačně zjednodušila kinematický řetězec konvenčních strojů na ozubení. Zavedení CNC strojů má za následek větší pružnost při změně výroby , hospodárnější výrobu i při malých sériích , vysokou , trvalou a opakovanou práci stroje [2].

Konzolové frézky řízené souvislým řídicím systémem řady FGS - CNC B od firmy Strojtos Lipník jsou konstrukčně založeny na osvědčeném rozložení jednotlivých pohybů. Podélný a svislý pohyb vykonává stůl na konzole, příčný posuv vykonává vřeteník. Toto řešení přináší vysokou tuhost a přesnost stroje [10]. Na stroji lze frézovat vertikálně , tak i horizontálně a provádět řadu dalších operací. Vysoký instalovaný výkon , velký rozsah otáček a velký krouticí výkon umožňuje obrábět všechny druhy materiálů včetně legovaných ocelí a slitin lehkých kovů.



*Obr.4.6 Konzolová frézka FGS CNC [10]*





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rám a stojan stroje jsou odlitky z šedé litiny GG 25. Proti bočnímu kývání konzoly je užito valivé předepnuté vedení. Servopohony os nahání přes řemenový převod kuličkové šrouby. Nástroje se upínají automaticky. Správné upnutí je signalizováno koncovými spínači. Upínací síla je 12 000N. Mazání vodících ploch se děje automaticky v závislosti na ujeté dráze nebo v závislosti na čase. V případě poruchy mazání není možno spustit posuvy. K odměřování os slouží pravítka Haidenhain s přesností 0,001 milimetrů. Ovládací panel je umístěn na otočném rameni. Jako řídicí systém je užit HEIDENHAIN iTNC 530. Chladicí zařízení je umístěno mimo stroj. Výkon chlazení  $28 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , 2 bar. Pro větší rozsah využití lze na stroji využít přídatných frézovacích hlav, popřípadě lze ke stroji dokoupit podpěrné rameno s ložiskem, odklapěčem a dlouhým frézovacím trnem. Na speciální přání zákazníka firma dodává tento stroj s celokabinovým krytem a dopravníkem třísek.



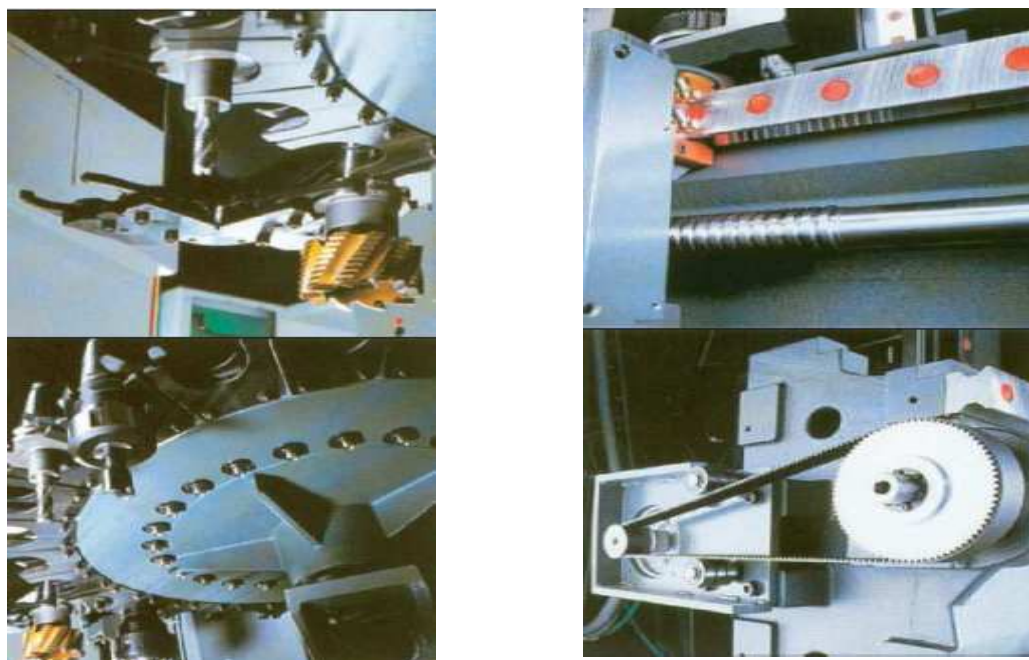
Obr.4.7 Ukázka provedení frézky FGS CNC s celokabinovým krytem [10]

Univerzální frézka s označením DMU 80 monoBlock firmy DMG patří mezi nejnovější řadu strojů určené k vysokoproduktivnímu obrábění s vysokou přesností a precizností. V základním provedení je stroj dodáván s třemi CNC osami, volitelné provedení může být v provedení 3+2, 4 nebo 5 CNC os.



Obr.4.8 Univerzální konzolová frézka DMU 80 monoBlock [12]

Vysoká tuhost stroje a vysoká dynamika umožňuje akceleraci se zrychlením až 0,7g. K pohonu je užito valivé profilové vedení a kuličkové šrouby s řemenovým náhonem. Vysokootáčkový motor vřetena dovoluje až 24 000 otáček a kroutící moment 85Nm. Již v základním provedení je stroj dodáván s celokabinovým krytem, teplotně stabilizovaným ložem , chladicí nádrží s objemem 250 litrů , řídicím systémem HEIDENHAIN iTNC 530 , výměníkem nástrojů pick - up.



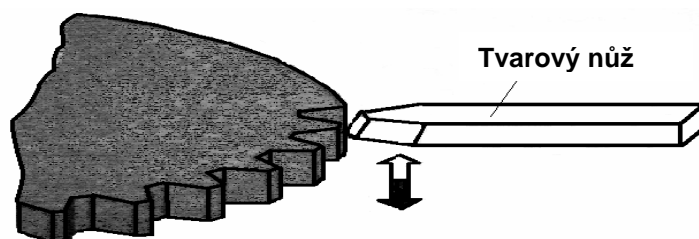
a)

b)

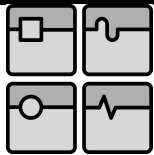
Obr.4.9 Ukázka a) výměník nástrojů DMU 80 , b) vedení a náhon DMU 80 [2]

## 4.2 Obrázení ozubení tvarovým nožem

Obrázení ozubení tvarovým nožem lze dělat na svislých nebo vodorovných obrážkách , kde kolo upínáme na trn nebo desku , otáčenou dělicím přístrojem. Po obrobení jedné zubové mezery se obrobek pomocí dělicího přístroje pootočí o jednu zubovou rozteč. Tento způsob je nepřesný a zdlouhavý. Lze ho používat jen jako náhradního při rychlém odstraňování poruch v provozech , kde není k dispozici vhodnější stroj. Uvedeným způsobem lze obrábět jak vnější , tak vnitřní čelní ozubení s přímými nebo stupňovými zuby , popřípadě u hřebenového ozubení i šikmé zuby [4].



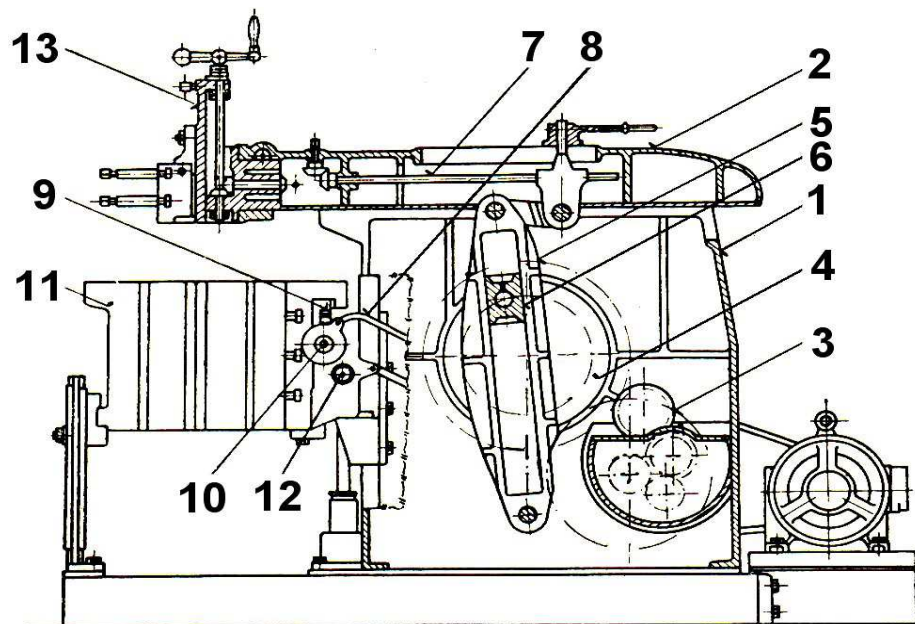
Obr.4.10 Obrázení čelního ozubení tvarovým nožem [4]



### 4.2.1 Stroje pro obrázení tvarovým nožem

Obrázeční stroje (obrážečky) lze na základě konstrukčně technologické koncepce rozdělit na vodorovné a svislé.

U vodorovných obrázeček hlavní řezný pohyb vykonává nástroj upnutý ve svisle přestavitelném suportu upevněného na smýkadle. Suport lze na smýkadle kolem vodorovné osy naklápět a posuvem suportu pak obrábět šikmé plochy.



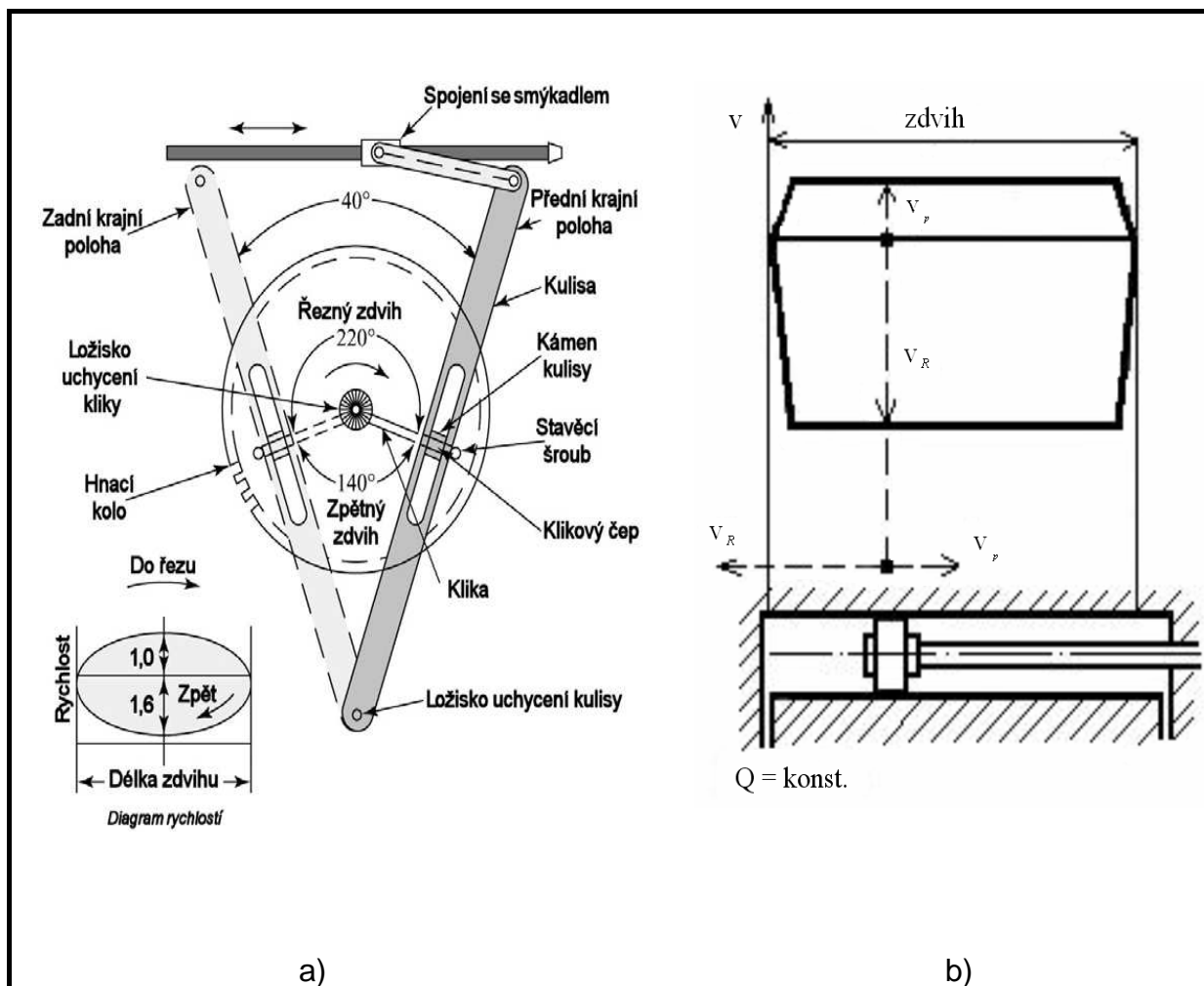
Obr.4.11 Vodorovná obrázečka-schéma [3]

1 - stojan, 2 - smýkadlo, 3 - hnací kolo, 4 - kulisa, 5 - výkyvné rameno, 6 - kámen, 7 - šroub pro nastavování podélné polohy smýkadla vůči pracovnímu stolu, 8 - páka pro pohon příčného posuvu pracovního stolu, 9 - západka, 10 - šroub příčného posuvu pracovního stolu, 11 - pracovní stůl, 12 - šroub pro ruční výškové nastavení pracovního stolu, 13 - nožový suport

Hlavní řezný pohyb je při mechanickém pohonu smýkadla vlivem hnacího mechanismu stroje nerovnoměrný, takže se od úvratě zrychluje do maxima a pak se zpomaluje až na nulu. Při výpočtu řezných rychlostí se vždy počítá se střední rychlostí pohybu. Pohon smýkadla je nejčastěji řešen klikou a kývavou kulisou. Výhodou je jednoduchost, zvětšení rychlosti zpětného pohybu a vhodné využití prostoru ve stojanu stroje pro uložení mechanismu.

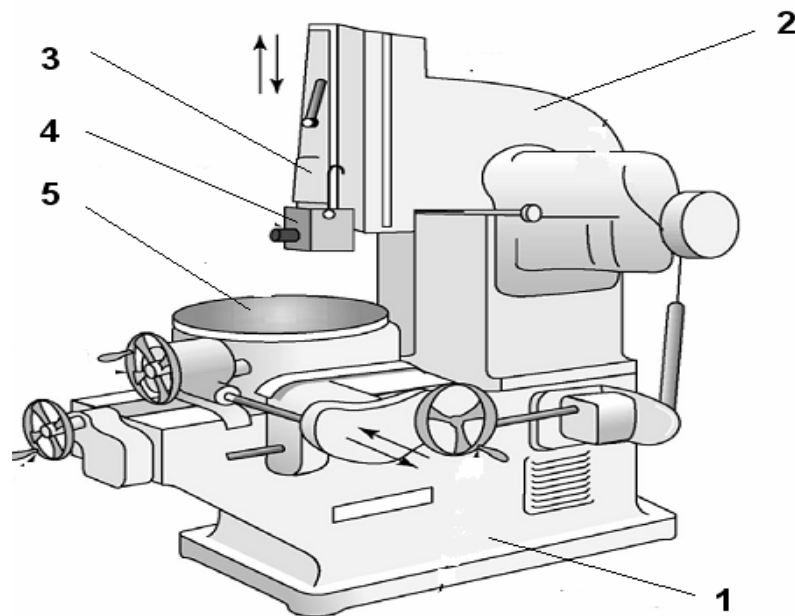
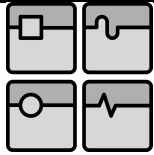
U novějších konstrukcí obrázeček se používá též hydraulický pohon smýkadla, jehož výhody jsou zřejmé z porovnání s mechanickým pohonem kulisou uvedeného na obr. 4.12. Jsou to zejména:

- konstantní velikost pracovního posuvu během celého pracovního zdvihu s možností plynulé regulace
- možnost dosažení vysokých řezných sil
- menší ztrátové časy (konstantní zpětný rychloposuv) [1].



Obr.4.12 Kinematické poměry : a) mechanický pohon [3]  
b) hydraulický pohon [1]

Svislá obrážka je charakterizovaná svislým pohybem smýkadla s nástrojem. Slouží především pro obrábění vnějších a zejména vnitřních tvarových ploch a svislých rovinných ploch. Menší stroje jsou vybaveny výškově přestavitelnou konzolou, na níž je podélný, příčný a otočný stůl. Délka zdvihu smýkadla se dá měnit výstředností klikového mechanismu. Větší svislé obrážky mají rovněž podélný, příčný a otočný stůl. Délka zdvihu smýkadla se u nich také mění výstředností klikového mechanismu, vzdálenost smýkadla od pracovního stolu se ale nastavuje změnou polohy smýkadla ve svislém směru (stůl není výškově přestavitelný). Smýkadla lze u některých typů svislých obrážek natočit kolem osy kolmé k vedení stojanu (až o 30° na obě strany) a mimoto vyklonit směrem od stojanu (o 10° až 15°). Všechny pohyby obrobku upnutého na pracovním stole svislé obrážky mohou být ruční nebo strojní, velikost strojů je dána největší délkou zdvihu smýkadla [3].



Obr.4.13 Svislá obrážka-schéma [3]

1 –základová deska, 2 -stojan, 3 -smýkadlo, 4 –držák nože, 5 –otočný stůl

Současná produkce obrázcích stojů na výrobu ozubení spočívá v odvalovacích obrážkách. Příkladem je odvalovací obrážka s označením OHA 50 CNC 5 firmy Tos.



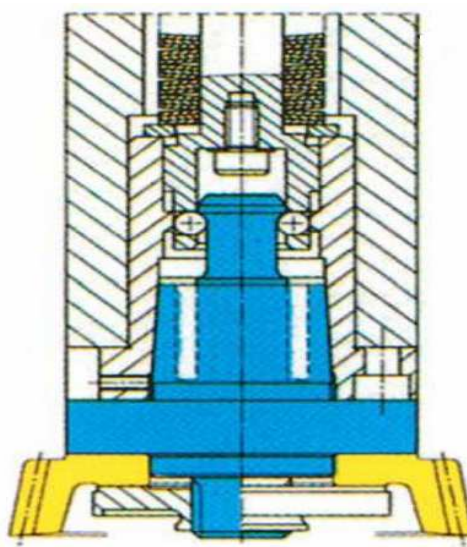
Obr.4.15 Odvalovací obrážka OHA 50 CNC 5 [21]



Tento stroj je určený k obrázení vnějšího i vnitřního ozubení čelních ozubených kol s přímými i šikmými zuby. Řídící systém SINUMERIK 840 D zajišťuje řízení pěti os , všech funkcí stroje , průběh automatických cyklů a poruchovou diagnostiku. Vřeteno smýkadla je uloženo hydrostatiky. Při zpětném pohybu smýkadla je nástroj šikmo nebo radiálně oddálen. Suport lze výškově přestavovat i v průběhu pracovního cyklu. Jednotlivé osy stoje jsou řízeny pomocí servopohonů. Pro každé obrázení lze navolit až 20 možných způsobů řezů a pro každý řez je možné volit optimální řezné podmínky.



a)



b)

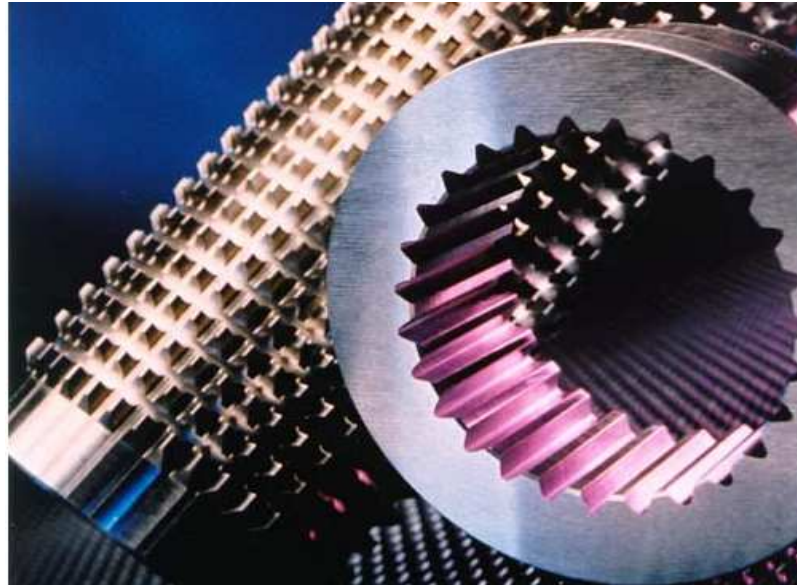
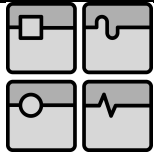
Obr.4.16 a) Obrázení kotoučovým nožem , b) upnutí kotoučového nože [2]

### 4.3 Protahování ozubení

Protahování zubových mezer patří mezi velmi výkonné a zároveň přesné způsoby výroby ozubených kol tvarovým nástrojem.

Nástrojem je sada odstupňovaných tvarových nožů , které jsou složeny v celistvý blok ( protahovák ) , kde jednotlivé břity postupně odebírají vrstvu materiálu v zubové mezeře. Tvarové nože mohou být sestaveny v jedné nebo několika řadách vedle sebe , takže můžeme obrábět jednu nebo několik zubových mezer současně. Při práci bývá nástroj většinou tažen , jen ve výjimečných případech tlačěn. Obráběné kolo je upnuto ve speciálním přípravku , který umožňuje po protažení automatické odsunutí kola ze záběru , pootočení o jednu nebo více roztečí a přísun do řezu pro další pracovní zdvih.

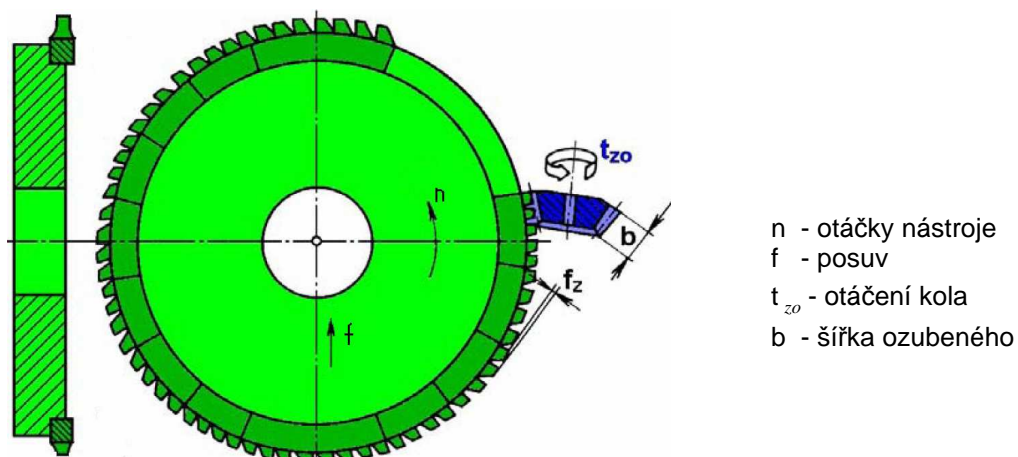
Pro každý průměr , modul , popřípadě tvar zubu je zapotřebí zvláštní nástroj , který je velmi cenově nákladný. Proto je protahování vhodné pouze pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Přesnost vyrobeného ozubení je přímo závislá na přesnosti výroby protahovacího nástroje.



Obr.4.17 Ukázka protahovacího trnu a protaženého vnitřního ozubení [14]

Při výrobě kuželových ozubených kol s přímými zuby se uplatňuje protahovací způsob Revacykle firmy Gleason obr. 4.18. Nástrojem je vodorovný kotouč o průměru 450 až 600 mm, jenž má na obvodě vsazenu řadu sad nožů. Profil zubu každého nože tvoří dva kruhové oblouky s poloměry křivosti evolventy vyráběného kola. Velikosti profilů zubů nástroje se po obvodě ve spirále zvětšují. Nástroj koná jednak rovnoměrný otáčivý pohyb, přičemž se do protahování obráběného kola (které se rovněž pootáčí) postupně zapojují zuby od menšího profilu k většímu a jednak se posouvá kolmo k ose otáčení. Tím se během záběru zubů nástroje do materiálu ozubeného kola postupně mění vůči ozubenému kolu střed otáčení nástroje [1].

Tento způsob výroby ozubení kuželových kol s přímými zuby se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě, zejména v automobilovém průmyslu. Protahování je velmi produktivním způsobem výroby, vzhledem k velmi krátkým časům potřebným pro obrobení jedné zubové mezery (řádově v sekundách).



Obr.4.18 Protahování kuželového kola způsobem Revacykle [3]

### 4.3.1 Protahovací stroje

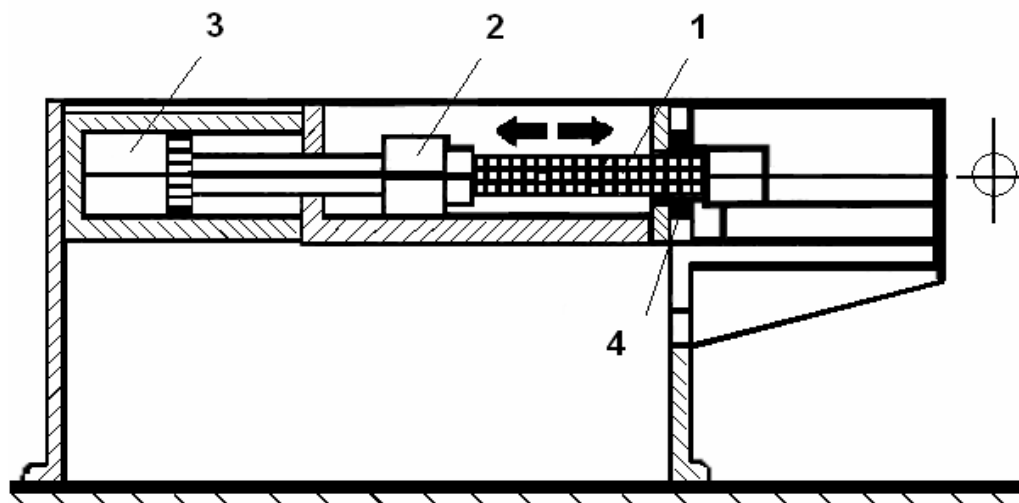
Protahovací stroje ( protahovačky ) se dělí na vodorovné a svislé , oba typy se používají pro vnější i vnitřní protahování. Základním parametrem je největší průtažná síla působící na nástroj. Průtažná síla se pohybuje v rozsahu 20 000N až 60 000N.

Pohyb nástrojů , u protahovaček menších rozměrů , je vyvozen elektromechanicky ( pastorek – ozubený hřeben , pohybový šroub – matice ) , u velkých protahovaček hydraulicky. Výhodou hydraulického pohonu je plynulá regulace rychlosti pohybu , klidný chod a kontrola průtažné síly.

#### 4.3.1.1 Vodorovné protahovačky

Jsou určeny především k vnitřnímu protahování , obrábění otvorů. Jsou konstrukčně jednoduché , umožňují použití delších protahovacích trnů. Jejím nevýhodou je , že hmotnost protahovacího nástroje ovlivňuje přesnost výroby ( nástroj se prohýbá ) a že zabírá větší plochu.

Schéma vodorovné protahovačky je na obr. 4.19. Protahovací trn 1 se upevňuje k nástrojovému saním 2 , které jsou taženy pístem hydraulického válce 3 . Obrobek 4 je během protahování nehybný [1].



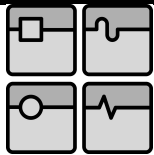
Obr.4.19 Schéma vodorovné protahovačky [1]

#### 4.3.1.2 Svislé protahovačky

Jsou určeny k protahování vnitřních a vnějších ploch. Nevýhodou svislých protahovaček je omezená délka protahovacího trnu , protože od obrobku musí být na obě strany volný prostor . Naproti tomu jejich výhodou je v menší zastavěné ploše.

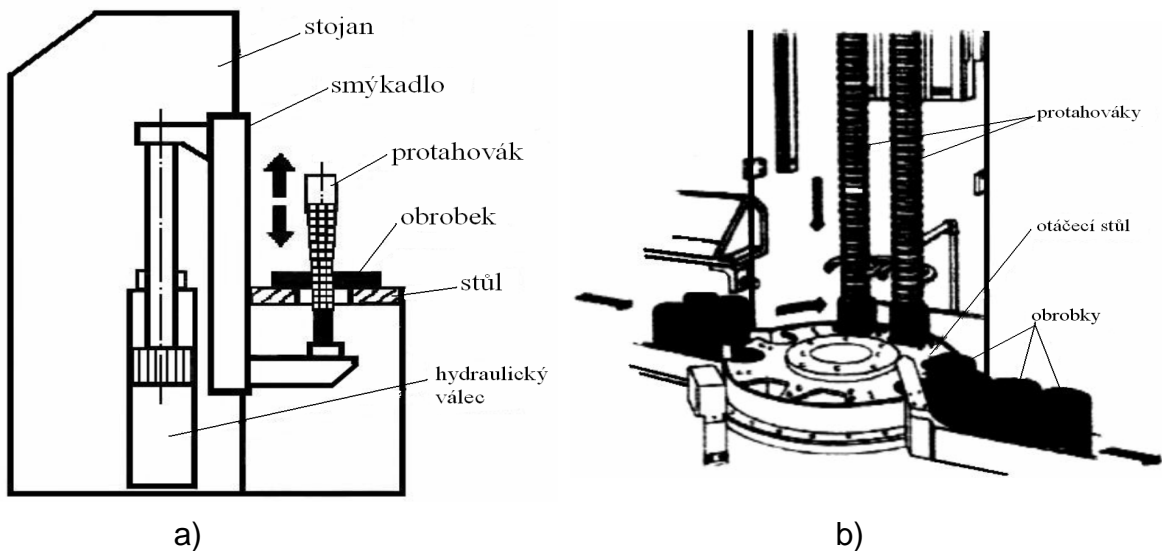
Schéma svislé protahovačky je znázorněno na obr. 4.20. Řezný pohyb je vykonáván protahovákem směrem dolů. Při protahování vnějšího ozubení musí být obrobek upnut na stole v přípravku z důvodu jednostranného působení sil a protahovák musí být podepřen vedením v celé své délce.





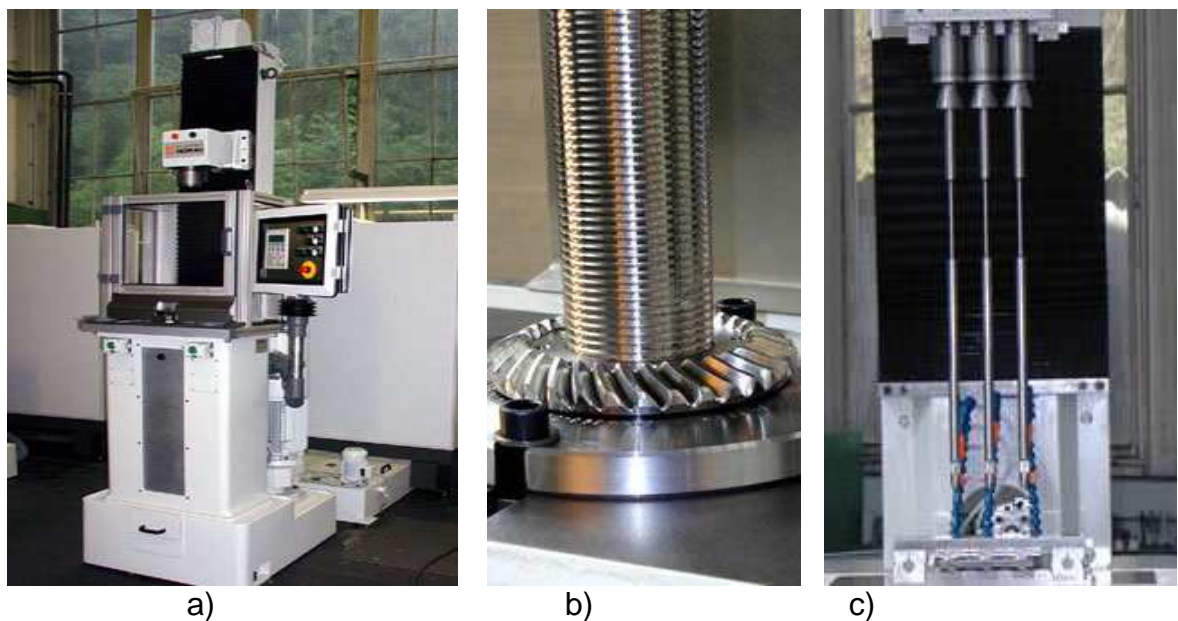
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Z důvodu zvýšení produktivity práce jsou některé typy protahovaček konstrukčně řešeny s více protahovacími nástroji, kde na jednom stojanu pracuje více protahováků obr. 4.20.



Obr.4.20 a) Schéma svislé obrážičky, b) svislá protahovačka s dvěma protahováky [15]

Elektromechanické protahovací stroje firmy Frömag disponují protahovací silou 6 až 28 tun a výškou zdvihu až 2 000 milimetrů. Protahovák se pohybuje vertikálně. Elektrické napájení se stanovuje na základě rostoucího zatížení na zub. Protahovací stroj FSR9 – 1250MZ může být v provedení single nebo tří protahovací stanice na jednom stroji.



Obr.4.22 a) protahovací stroj, b) protahování jedním protahovákem, c) tři protahovací trny na jedné pracovní stanici [17]

Protahovací stroj HS-100-A od firmy Fässler je navržen především k dokončování tvarových odchylek a ke kalibraci vnitřních profilů po tepelném zpracování. Tato dokončovací operace má velký význam pro kvalitu a pro hospodárné obrábění upínacích ploch čelních ozubených kol, kde může nahradit náročné broušení vnitřních profilů nebo částečně i obrázení zušlechtilých materiálů. U vnitřních evolventních ozubení či u klínových drážek lze dosáhnout požadovaných tvarů a tolerancí na patě, boku a na hlavě zubu. Protahováním vnitřních profilů se odstraní tepelné deformace po kalení, zvětší se nesení upínacích ploch a zmenší se házení ozubených kol. V konečném důsledku se sníží náklady na výrobu a zjednoduší se montáž.



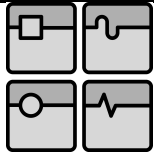
a)



b)

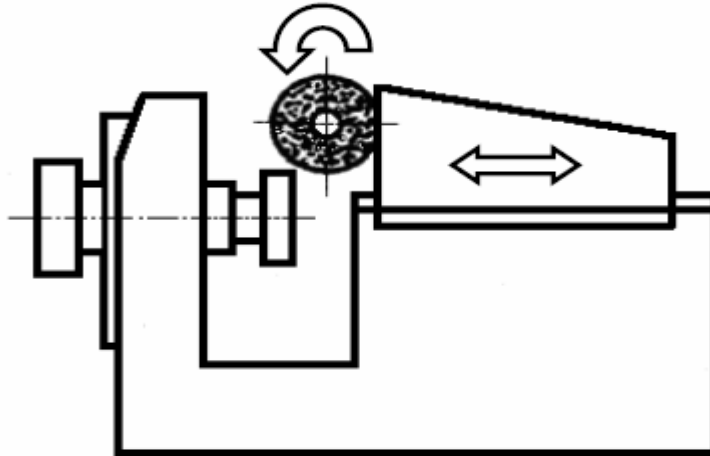
Obr.4.21 a) Protahovačka HS-100-A, b) přidržovací rameno [16]

Stroj se vyznačuje unikátním a kompaktním designem a může být dovybaven nakladačem pro usnadnění operací. Disponuje protahovací silou 100kN, jako řídicí systém je užit Siemens S7-300. Maximální rozměry obrobku pro upnutí jsou  $\phi 250$  a délka 55 milimetrů. Maximální tvrdost protahovaného materiálu je 62HRC.



#### 4.4 Broušení ozubených kol

Mezi stroje pracující s tvarovým nástrojem patří také tvarové brusky na ozubení, tzv. brusky typu Orcut obr.4.23, které jsou vhodné pro broušení vnějšího i vnitřního ozubení s přímými zuby.



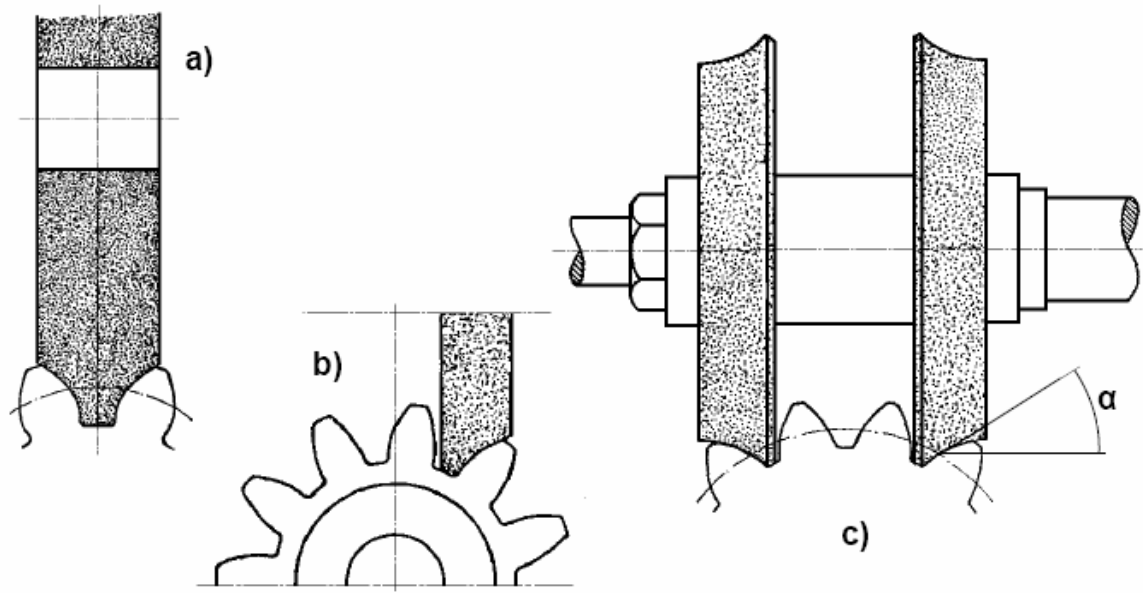
Obr.4.23 Tvarová bruska typu Orcut na ozubení [5]

Podle způsobu, jakým se budou brousit přilehlé boky zubů v jedné zubové mezeře rozeznáváme dva základní způsoby broušení na tvarových bruskách:

- Minerva
- Sfedr

U systému Minerva se brousí oba boky zubů najednou jedním brusným kotoučem, jehož povrch má tvar zubové mezery obr. 4.24. Systém je vysoce produktivní (opracování jedné zubové mezery trvá přibližně 20 až 40 sekund). Při broušení kol s malým počtem zubů je ale brusný kotouč vzhledem k broušeným bokům zubů v nepříznivé poloze a v místech blízkosti paty zubů se těžko odstraňuje brusný prach. Brusný kotouč se v těchto místech zanášá, v důsledku toho dochází ke zvýšení tlaku mezi kotoučem a obrobkem (brusný kotouč se "pálí"). Další nevýhoda je relativní velký rozdíl obvodových rychlostí brusného kotouče v místech odpovídajících hlavové a patní kružnici broušeného ozubeného kola. Důsledkem je nerovnoměrné opotřebení kotouče, které se projeví na nepřesném tvaru obroušených boků zubů (přesnost profilu je asi 10 až 15  $\mu\text{m}$ ).

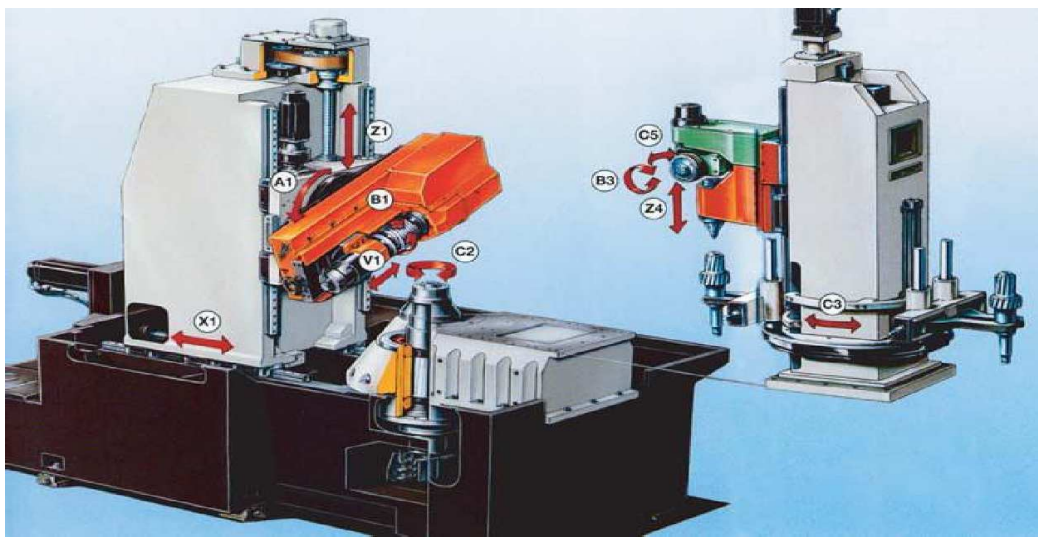
U systému Sfedr se brousí jedním kotoučem jen jeden bok zubu, skloněný k brusnému kotouči o úhel  $\alpha$  obr. 4.24. Poloha brousícího kotouče je příznivější, rozdíl obvodových rychlostí je menší a opotřebení činných částí rovnoměrnější. Kromě toho, tento způsob umožňuje brousit i boky podřezaných zubů, narozdíl od systému Minerva, jenž tento způsob neumožňuje. Užitím systému Sfedr se dosahuje vyšší přesnosti ozubení, ale výkon je nižší. Z důvodu zvýšení výkonu, se užívají dva brusné kotouče pracující současně – tzv. Hamrova metoda Obr. 4.24. Hamrovou metodou lze brousit ozubení na běžných rovinných bruskách s vodorovnou osou vřetena [5].



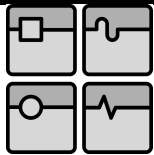
Obr.4.24 Broušení ozubených kol dělícím způsobem : a ) systém Minerva , b) systém Sfedr , c) Hamrova metoda [5]

### 4.4.1 Brousící stroje

Na brusce řady LSC obr.4.25 se používají dvě metody broušení ozubených kol. První je odvalovací nebo profilové broušení se srovnatelným nebo povlakovaným CBN nástrojem , druhé pak profilové broušení nebo broušení sintrovaným  $Al_2O_3$  odvalovacím kotoučem.



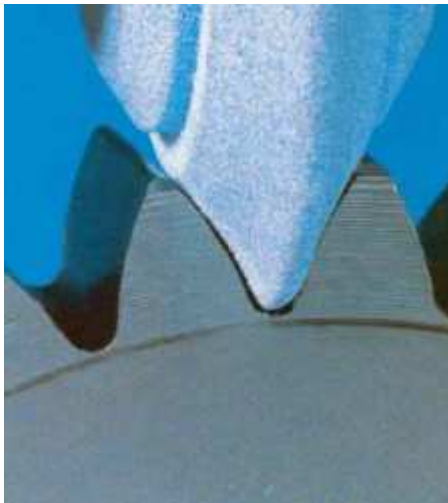
Obr.4.25 Kombinovaná bruska na broušení ozubených kol řady LCS [18]



Stroj je založen na konstrukci obdobné obrážecím strojům , kdy jeho základ tvoří mohutné lože. Ve všech osách jsou užita valivá válečková vedení. Jako motory firma aplikoval přímé náhony jak nástroje , tak i obrobku , čímž eliminovala mechanické vůle a garantuje maximální přesnost obrábění.

Stroj má termostatickou konstrukci s cirkulací chlazení v loži. Lože bylo optimalizováno z hlediska maximální tuhosti. Proti brousící hlavě je na loži umístěno orovnávací zařízení [2].

Kombinací nástrojů z CBN nebo sintrovaného  $Al_2O_3$  je dosaženo mnoha výhod. Kotouče z CBN se vyznačují vysokou stabilitou a je výhodné je použít pro odvalovací broušení. Nástroje ze sintrovaného  $Al_2O_3$  mají oproti CBN delší životnost a nemusí se orovnávat. Jsou vhodné k broušení ozubených kol větších průměrů nebo pro prototypovanou výrobu.



a)



b)

Obr.4.26 a) profilové broušení sintrovaným nástrojem , b) odvalovací broušení CBN nástrojem [2]

Profilová bruska P 600 G od firmy Gleason se vyznačuje vysokým výkonem a minimální zastavěnou plochou. Například přídatné jednotky jsou integrovány přímo do šasi stroje. Přímý odměřovací systém je integrován do vysoce přesného vedení lineárních os. Tato kombinace přináší několik užitečných výhod :

- pohyby jsou přesně odměřovány
- není vyžadována zpětná vazba
- vedlejší časy jsou kratší

Vysoce přesná upínací plocha s hydrostatickými ložisky a přímými náhony umožňuje vytvářet vysoce přesné modifikace zubů ozubeného kola. Stroj je vybaven vnitřním chlazením. Jako řídicí systém je zde využit nejnovější generace řídicího systému Siemens.





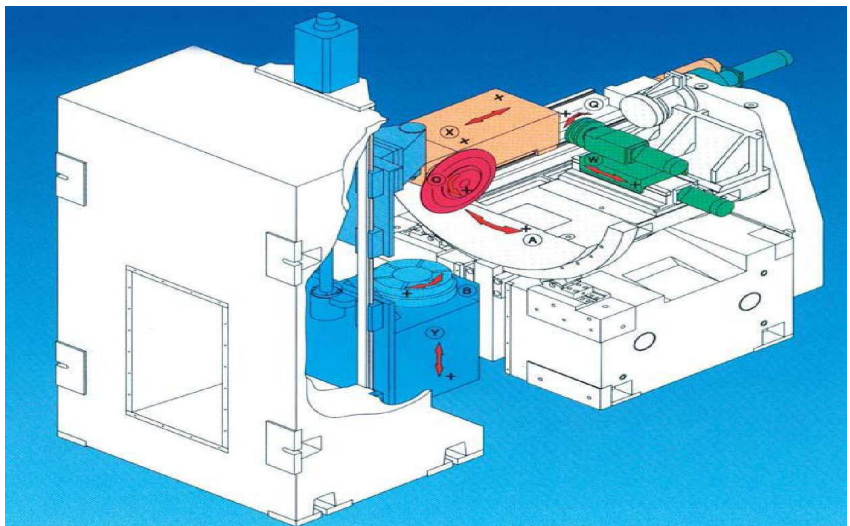
Obr.4.27 Profilová bruska P 600 G [19]

Profilová bruska obr. 4.28 na ozubení se vyznačuje teplotně stabilním ložem , které je vyrobeno z minerální slitiny. Nástroj se kromě přísunu ( osa X ) může i natáčet ( osa A ). V zadní části je umístěno orovnávací zařízení ( osa W , Q ).

Obrobek je přemísťován pomocí stolu , který je vyroben také z polymerbetonu. Všechny zdvihy jsou realizovány na kuličkových profilových vedeních.

Proti otočnému stolu s obrobkem je situován koník přesouvavý spolu s upínacím stolem obrobku pomocí šroubu. Pro náhon jsou užity servopohony. Na stroji je možno provádět různé typy tvarových modifikací.

Výrobce garantuje vysokou produktivitu , vysoký tlak přívodní kapaliny , univerzálnost beze změny nástroje , možnost modifikací , robustní koncepci stoje , tuhost , temperování oleje (brusného) a automatické korekce [2].



Obr.4.28 Profilová bruska na ozubení Helix 700 [2]





## Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na rešerši , popis a roztřídění obráběcích strojů pro výrobu ozubení pracujících s tvarovým nástrojem.

V první části jsou popsány úpravy boků zubů a rozdělení ozubených kol. Následující kapitola byla věnována požadavkům na ozubárenské stroje a roztřídění do jednotlivých kategorií podle druhu výroby zubových mezer. U každého typu stroje je popsán způsob výroby ozubených kol.

Současná produkce strojů na výrobu ozubení je zaměřena především na stroje pracující odvalovacím způsobem. Z ozubárenských strojů , které pracují s tvarovým nástrojem se dnes uplatňují téměř výhradně protahovací a brousící stroje. To je dáno především současnými nároky , které jsou na ozubená kola kladeny. Z poznatků získaných v práci lze vyvodit tyto trendy v konstrukci ozubárenských strojů jako jsou:



- univerzálnost jednotlivých strojů , aby na jednom stroji mohlo být prováděno více operací při jednom upnutí obrobku
- používání moderních materiálů jako polymerbetonu nebo minerálních kompozitů díky svým mechanickým vlastnostem
- teplotně stabilizované lože , které vede k zvýšení přesnosti stroje
- častější užití přímých pohonů
- nasazování lineárních vedení k zajištění přesného přímočarého pohybu
- automatická diagnostika poruch
- bezobslužnost a práce ve výrobních soustavách

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
 	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## Seznam použitých zdrojů :

- [1] Borský , V. *Obráběcí stroje* , skriptum ES VUT , 1. vydání , Olprint Šlapanice , 1992 , s. 216 , ISBN 80-214-0470-1
- [2] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, 1. vydání , MM publishing Praha , 2006 , 284 s. , ISSN 1212-2572
- [3] HUMÁR, Anton. *Technologie I – 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia , Fakulta strojního inženýrství, 2004, 95 s. , [cit. 10. 4. 2008]. Dostupné z : <[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf) >.
- [4] Janík , V. *Výroba ozubení* , 1. vydání , Státní nakladatelství technické literatury , 1964 , 92 s. , L13-B1-IV-32
- [5] Demeč, Peter. *Stroje na výrobu ozubení* [online]. Študijný materiál , Štrojnícka fakulta , 2005 , 37 s. , [cit. 10. 4. 2008]. Dostupné z : <[http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15\\_Stroje\\_na\\_Vyrobu\\_Ozubení.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15_Stroje_na_Vyrobu_Ozubení.pdf) >.
- [6] Hirsch , A. *Verzahntechnik , Arbeitsblätter , Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik* , pracovní listy , 2008 , 6 s.
- [7] Hartl , M. *Konstruování strojů – převody* [online]. 2008 , poslední revize 1.2.2008 . Dostupné z : <[https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/56741/prednasky/prednaska1\\_6c2.pdf](https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/56741/prednasky/prednaska1_6c2.pdf) >.
- [8] S-G- series [online]. 2007 , last modified 28.12.2007. Dostupné z : <[http://www.samputensili.com/media/SU/Machines/S380G-GX/S-G-series\\_en.pdf](http://www.samputensili.com/media/SU/Machines/S380G-GX/S-G-series_en.pdf) >.
- [9] Intos , spol. s.r.o. *Žebrák* [online]. 2008, poslední revize 17.5.2008, [cit.23.4.2008] Dostupné z : <[http://www.intos.cz/cz/vyrobek.php?id\\_vyr=37&id\\_kat=2](http://www.intos.cz/cz/vyrobek.php?id_vyr=37&id_kat=2) >.
- [10] *Strojtos index* [online]. 2008 , poslední revize 15.4.2008. [cit. 23.4.2008 ] Dostupné z : <<http://www.strojtos.cz/cz/index.htm> >.
- [11] GILDEMEISTER | *The technology group | DMU 80 monoBLOCK® | CNC universal milling machines* [online], 1999 . Dostupné z : <<http://www.dmgczech.com/en,milling,dmu80monoblock?opendocument> >.
- [12] *pm0uk07\_DMC60TDMU406080100monoBLOCK* [online]. 2008 , last modified 4.9.2007. Dostupné z : <[http://www.dmgczech.com/query/internet/v3/igpdf.nsf/1EAA5074A501CA67C1256FF2002E70E1/\\$file/pm0uk07\\_DMC60TDMU406080100monoBLOCK.pdf](http://www.dmgczech.com/query/internet/v3/igpdf.nsf/1EAA5074A501CA67C1256FF2002E70E1/$file/pm0uk07_DMC60TDMU406080100monoBLOCK.pdf) >
- [13] *GEAR MACHINES* [online], 2007. Dostupné z : <<http://www.geartechology.com/buyers/gt-mach.htm> >



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

[14] *Gear Tooling - The Broach Masters and Universal Gear Company, Gear & Spline Broaches* [online], 2001 , last modified 2.10.2001. Dostupné z :  
 < [http://www.broachmasters.com/gear\\_spline.html](http://www.broachmasters.com/gear_spline.html) >

[15] Ludas. *Protahování a protlačování* [online], 2008 , poslední revize 2.4.2008. Dostupné z :  
 < <http://seminarky.cz/Protahovani-a-protlacovani-12981> >

[16] *Fässler AG | Products | Broaching machine | HS-100-A* [online], 2005 , last modified 13.6.2007. Dostupné z :  
 < <http://www.faessler-ag.ch/products/hs-100-a.htm> >

[17] *Broaching keyseating slotting keyseaters internal splines involute splines internal helical splines electromechanical driven machines tapered keyways broaching machines keyseating machines Rapida CNCE Machinery Fromag FROEMAG* [online], 2008, last modified 1.5.2008. Dostupné z :  
 < [http://www.froemag.com/en/broaching\\_machines.php](http://www.froemag.com/en/broaching_machines.php) >

[18] *Generating and profile grinding machines* [online], last modified 14.3.2008. Dostupné z :  
 < [http://www.liebherr.com/gt/en/products\\_gt.asp?menuID=106184!1090&register=95\\_651](http://www.liebherr.com/gt/en/products_gt.asp?menuID=106184!1090&register=95_651) >

[19] *Gleason Corporation - Keeping the World In Motion* [online], 2006 , last modified 14.5.2008 . Dostupné z :  
 < [http://www.gleason.com/cylin\\_P600G.html](http://www.gleason.com/cylin_P600G.html) >

[20] *Corporate Profile* [online], 2002 , last modified 3.2.2008. Dostupné z :  
 < [http://www.hofler.com/index.php?id=236&no\\_cache=1](http://www.hofler.com/index.php?id=236&no_cache=1) >

[21] *TOS a.s. | Tradiční výrobce obráběcích strojů* [online], 2007. Dostupné z :  
 < [http://www.tosas.cz/index.php?id\\_document=10126](http://www.tosas.cz/index.php?id_document=10126) >

