

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 VŘETEN OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

DESCRIPTION OF MACHINE TOOL SPINDLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LIBOR NOHÁL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Nohál Libor

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Deskripce vřeten obráběcích strojů

v anglickém jazyce:

Description of machine tool spindles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše a popis používaných typů vřeten u obráběcích strojů.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši typů vřeten u obráběcích strojů.

Provést popis vřeten používaných u obráběcích strojů.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 30.10.2007 13:02



Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce *Deskripce vřeten obráběcích strojů* je rešerše a popis používaných vřeten u obráběcích strojů. První část je věnována faktorům ovlivňujících konstrukci vřetena a obecnému rozdělení typů vřeten podle konstrukčního provedení. V druhé části jsou uvedeny konkrétní příklady vřeten vybraných výrobců s jejich popisem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obráběcí stroj, vřetena, vřetenová ložiska, elektrovřeteno, upínací kužel, pohon vřetena, parametry vřetena, tubus

ABSTRACT

The subject of this thesis, called *Description of Machine Tool Spindles*, is research and description of spindles used as parts of machine tools. The first part is devoted to the factors influencing the construction of the spindle and to the general division of spindle types according to their construction. The second part lists specific examples of spindles made by selected manufacturers along with a detailed descriptions of the individual spindles.

KEYWORDS

Machine tool, spindles, spindle bearings, motor spindle, camping cone, spindle drive, spindle parameters, cartridge spindle

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOHÁL, L. *Deskripce vřeten obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.

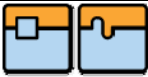
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Deskripce vřeten obráběcích strojů* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Blechy, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 18. května 2008

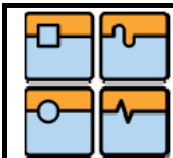
vlastnoruční podpis autora

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

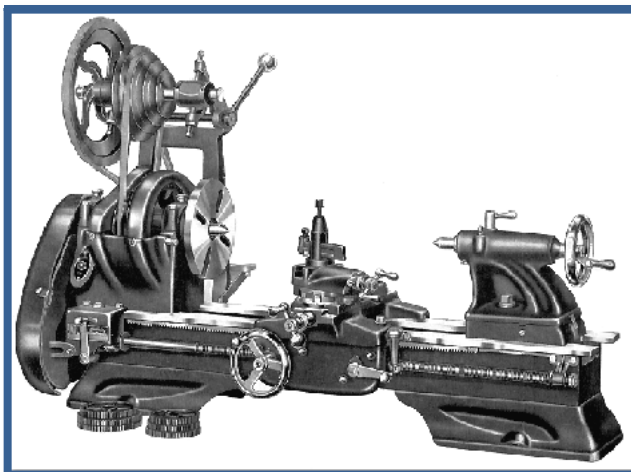
Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. A rodině za podporu během studia.

OBSAH	
ÚVOD	12
1 KONSTRUKCE VŘETEN	13
1.1 Funkce vřetena	13
1.2 Skladba vřetena obráběcího stroje	13
1.3 Požadavky ovlivňující konstrukční řešení	13
1.3.1 Přesnost chodu vřetena obráběcího stroje	14
1.3.2 Tuhost vřetena obráběcího stroje	15
2 TYPY VŘETEN OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	18
2.1 Způsob rozdělení vřeten	18
2.2 Rozdělení dle konstrukce	18
2.2.1 Způsob zástavby vřetena	18
2.2.2 Vřetenová ložiska	19
2.2.3 Mazání vřetenových ložisek	23
2.2.4 Náhon vřetena	24
2.2.5 Upínací kužel vřetena a přívod řezné kapaliny	25
2.2.6 Způsoby utěsnění vřetena	27
3 PŘEHLED VŘETEN VYBRANÝCH VÝROBCŮ	30
3.1 TAJMAC – ZPS, a.s.	30
3.2 KOVOSVIT MAS, a.s.	32
3.3 Haas Automation, Inc.	34
3.4 TOS VARNSDORF, a.s.	34
3.5 UNION Werkzeugmaschinen GmbH	35
3.6 WEISS Spindeltechnologie GmbH	36
3.7 Franz Kessler GmbH	39
3.8 GMN Paul Müller industrie GmbH & Co. KG	41
4 ZÁVĚR	42
5 POUŽITÉ ZDROJE	43
6 POUŽITÉ ZKRATKY, SYMBOLY A VELIČINY	46
7 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	47
8 SEZNAM TABULEK	48



ÚVOD

Obráběcí stroje patří mezi nejrozšířenější výrobní stroje a podílí se výraznou mírou na celkové produkci výrobků. Ve 20. století prošly tyto stroje dynamickým rozvojem, souvisejícím s vědecko-technickým poznáním a ekonomickou situací. Zejména dosažením



Obr. 1 Soustruh 1. pol. 20. století [5]

vyšší výkonnosti, zvyšování úrovně jakosti povrchu a geometrické přesnosti výrobku. Dále pak odstraňováním lidského faktoru ve výrobním procesu automatizováním výrobního cyklu.

Výrazným milníkem ve vývoji bylo zkonstruování numericky řízených obráběcích strojů. Nejprve s NC řídicími systémy, které postupem času vystřídaly CNC systémy řízení.

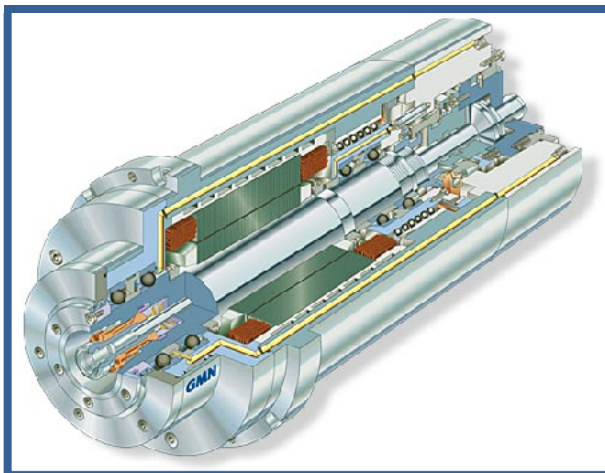
CNC stroje jsou typické nízkými provozními náklady, spolehlivostí, snadnou změnou výrobního sortimentu a automatizací pracovního cyklu. U nejnovější generace CNC strojů

tzv. obráběcích center dochází ke slučování jednotlivých technologických operací (soustružení, frézování, broušení, atd.), vznikají multifunkční stroje.

Aby bylo dosaženo těchto vlastností, jsou kladeny na moderní obráběcí stroje vysoké požadavky.

Jedním velmi důležitým prvkem konstrukce obráběcího stroje je vřeteno.

Vřeteno uděluje rotační pohyb obrobku (u soustruhu) nebo nástroji (u vrtačky, vyvrtávačky, frézky, brusky apod.). Ovlivňuje zásadně výsledný geometrický tvar obrobku, jeho přesnost a jakost obrobené plochy. Pracovní přesnost vřetena patří k hlavním parametrickým ukazatelům kvality obráběcího stroje. Nejvíce do ní zasahují tyto faktory: radiální a axiální přesnost chodu, tuhost statická a dynamická, tepelné vlivy při provozu stroje. Tyto faktory musíme komplexně posuzovat při realizaci konkrétních konstrukčních řešení. Jednotlivé varianty se liší v závislosti na technologii a pracovních podmínkách, pro které jsou dimenzovány.



Obr. 2 Elektrovřeteno [6]



1 KONSTRUKCE VŘETEN

1.1 Funkce vřetena

Úlohou vřetena obráběcího stroje je zaručit obrobku (u soustruhu) nebo nástroji (u frézky, vrtačky, brusky) přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů obrobků nebo nástroje liší od kružnice jen v přípustných mezích. Funkce vřetena je zde shodná s funkcí kruhového vedení a vřeteno se od něho liší pouze tvarem.[1]

1.2 Skladba vřetena obráběcího stroje

Vřeteno obráběcího stroje je uloženo většinou ve dvou radiálních a jednom axiálním ložisku ve vřeteníku. Část vřetena, která přesahuje vřeteník, označujeme jako přední konec. Tato část slouží k upínání obrobku případně nástroje dle druhu stroje. Parametry předního konce vřetena jsou normalizovány. Ložisko vřetena nacházející se v oblasti předního konce se nazývá hlavní, nebo také přední. Má podstatný vliv na přesnost chodu vřetena. Vřeteno obráběcího stroje můžeme rozložit na několik konstrukčních elementů. Jednotlivé elementy a příklady jejich možných variant zobrazuje obr. 3.

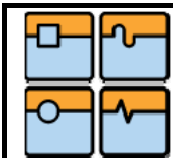


Obr. 3 Skladba vřetena [1]

1.3 Požadavky ovlivňující konstrukční řešení

Vřeteno obráběcího stroje je důležitým prvkem ve stavbě obráběcích strojů, ovlivňuje výrazně výsledné parametry obrobku (jakost povrchu, geometrická přesnost aj.). Z těchto důvodů jsou na konstrukční řešení vřeten kladeny vysoké požadavky:

- ❖ přesnost chodu vřetena – určeno radiálním a axiálním házením;
- ❖ ideální vedení – při změně smyslu zatížení a jeho velikosti nesmí vřeteno měnit pozici v prostoru;
- ❖ schopnost uložení vřetena eliminovat vůli vzniklou opotřebením;
- ❖ uložení vřetena musí mít co nejvyšší účinnost (vliv na: oteplování a tepelné dilatace, změnu polohy a funkce);



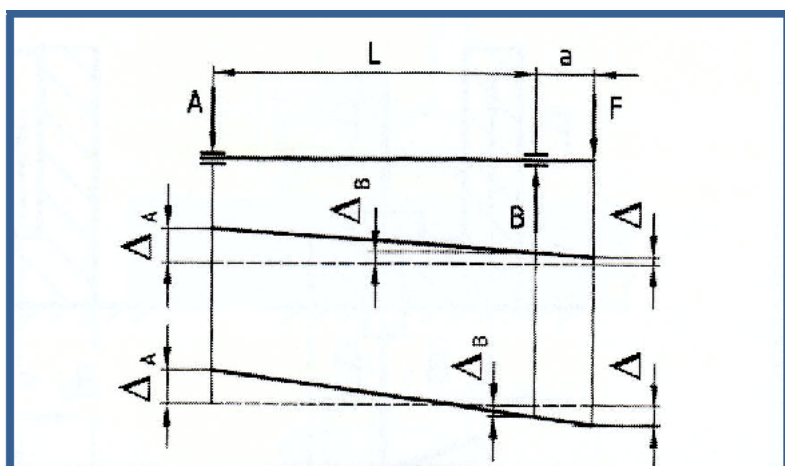
- ❖ vysoká tuhost vřetena – deformace a přesnost vřetena má fatální vliv na přesnost práce obráběcího stroje.

1.3.1 Přesnost chodu vřetena obráběcího stroje

Přesnost chodu vřetena se kontroluje na předním konci vřetena na té ploše, která má přímý vliv na přesnost otáčení obrobku (upínací kužel pro soustružnický hrot; plocha pro upevnění upínací desky či sklíčidla apod.) nebo nástroje.[1]

Radiální házení je určeno těmito faktory:

- ❖ nepřesnost rotace vřetena – osa rotace vřetena mění pozici během otáčky mezi krajními body (házení ložisek);
- ❖ nesouosost plochy měření a osy otáčení;
- ❖ úchylka kruhovitosti plochy, na které se měří házení.



Obr. 4 Vliv házení ložisek na přesnost chodu [1]

Celkové naměřené radiální házení je součtem předchozích tří hodnot. Nesouosost a nekruhovitost plocha lze redukovat zpřísněním výrobních tolerancí. Nepřesnost rotace je dána vlastnostmi ložisek, tedy jejich házením v radiálním směru.

Vliv radiálního házení ložisek na radiální házení předního konce vřetena je závislý na

poměru délky vyložení ke vzdálenosti ložisek a na velikosti i směru házení obou ložisek. Je-li házení předního ložiska Δ_B a zadního Δ_A stejného směru a smyslu, platí podle obr. 4:

$$\frac{\Delta_A - \Delta}{\Delta_B - \Delta} = \frac{L + a}{a} [1] \quad (1.1)$$

a z toho

$$\Delta = \frac{\Delta_B(a + L) - \Delta_A a}{L} = \Delta_B \frac{a}{L} (\Delta_B + \Delta_A) [1] \quad (1.2)$$

Bude-li

$$\frac{\Delta_A}{\Delta_B} = \frac{L + a}{a} [1] \quad (1.3)$$

bude $\Delta = 0$ a vřeteno nebude na předním konci házet.[1]



V praxi nelze s touto situací počítat. Obecně však platí pravidlo pro volbu a montáž uložení vřeten obráběcích strojů:

- ❖ přesnější přední ložisko (hází méně než zadní) - minimalizace házení předního konce vřetena;
- ❖ montáž ložisek – obě musí v jedné rovině házet v jednom smyslu.

U valivých ložisek volíme přední ložisko se zvýšenou přesností a na zadní ložisko použijeme ložisko běžné přesnosti. Bude-li házení obou ložisek v jedné rovině opačných smyslů, bude maximální házení na předním konci vřetena dle vztahu:

$$\Delta = \Delta_B \frac{a}{L} (\Delta_B + \Delta_A) [1] \quad (1.4)$$

Axiální házení, měřené na čelní ploše vřetena, určují tyto faktory:

- ❖ házení ložiska v axiálním směru;
- ❖ neideální kolmost čela k ose rotace.

1.3.2 Tuhost vřetena obráběcího stroje

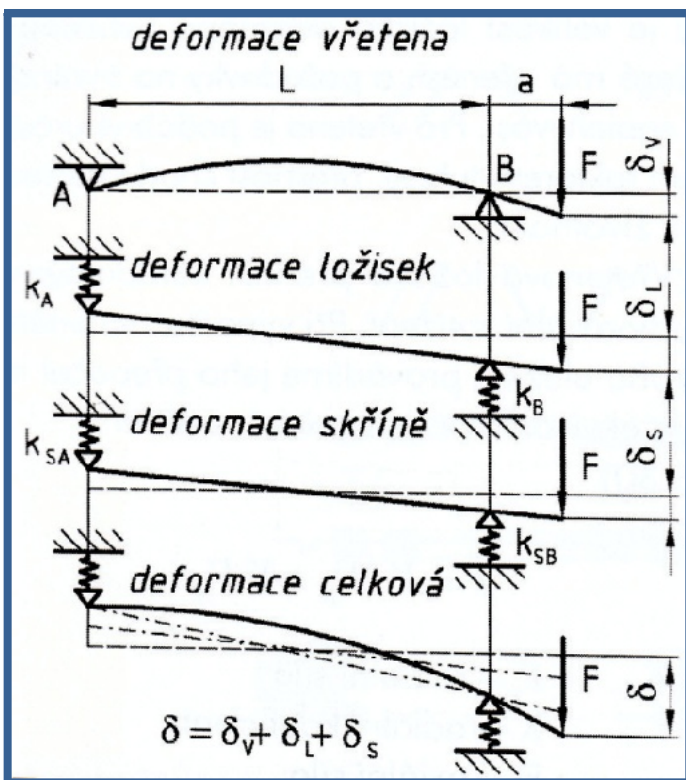
Tuhost vřetena má velký vliv na přesnost práce a zároveň i na dynamickou stabilitu obráběcího stroje. Většinou se uvádí tuhost na předním konci vřetena, protože deformace v tomto místě má přímý vliv na jakost práce.

Celková deformace na koci ložiska je dána dle obr. 5 součtem jednotlivých deformací vřetena, ložiska a skříně:

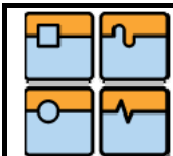
$$\delta = \delta_v + \delta_L + \delta_s [1] \quad (1.5)$$

Velikost dílčí deformace vřetena δ_v určíme, když předpokládáme dokonale tuhé ložiska, dle obr. 6 tak, že vřeteno rozdělíme na část mezi ložisky (délka L , moment setrvačnosti J_1) a konec přepislý (délka a , moment setrvačnosti J_2), zatížený silou F je:

$$\delta_v = \delta_{1V} + \delta_{2V} [1] \quad (1.6)$$



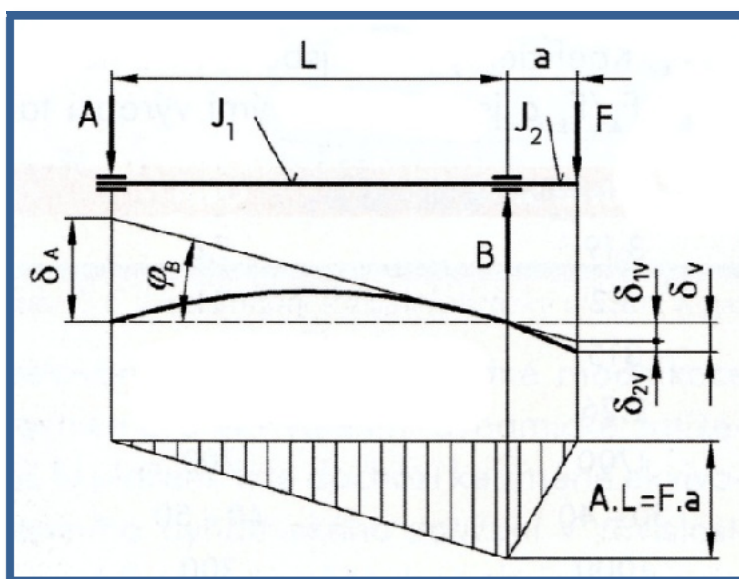
Obr. 5 Deformace vřetena - vliv tuhosti vřetena, ložisek, skříně [1]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Složka δ_{1V} průhybu je způsobena deformací vřetena mezi ložisky a složka δ_{2V} je průhyb převislého konce. Dále δ_A je myšlený průhyb části vřetena mezi ložisky pro případ, že by tato část byla v ložisku B vetknuta a na konci A zatížena reakcí ložiska A. Výsledný průhyb vřetena na jeho konci v místě působíště síly F bude:

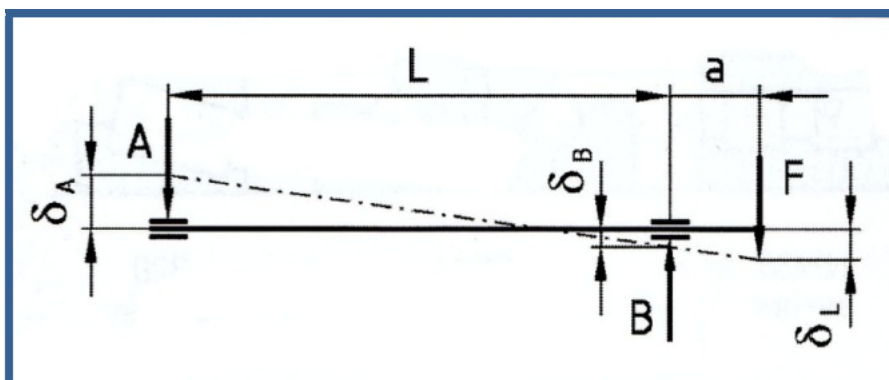
$$\delta_V = \frac{F a^2}{3E} \left(\frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) [1] (1.7)$$



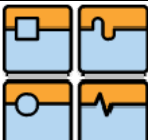
Obr. 6 Vliv poddajnosti vřetena [1]

Vliv tuhosti uložení, tedy deformace obou ložisek způsobenou reakčními silami můžeme vyjádřit, pokud známe tuhost ložiska nebo jejich poddajnost C_A , C_B , jejich vliv na celkovou deformaci vřetena (předpokladem je dokonalá tuhost vřetena):

$$\delta_L = \frac{F}{L^2} [a^2 C_A + (a + L)^2 C_B] [1] (1.8)$$



Obr. 7 Vliv poddajnosti ložisek [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poslední složka celkové deformace je způsobena poddajností tělesa vřeteníku δ_s , její matematické vyjádření musí být odvozeno vždy pro konkrétní případ, výpočet je poměrně složitý, proto je vhodné využití metody konečných prvků.[1]

Celková deformace na konci vřetena způsobená poddajností vřetena a ložisek tedy bude:

$$\delta_v = \delta_v + \delta_L [1] (1.9)$$

a dosazením dostáváme

$$\delta = \frac{Fa^2}{3E} \left(\frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) + \frac{F}{L^2} [a^2 C_A + (a + L)^2 C_B] [1] (1.10)$$

Z výrazu pro δ_v vyplývá, že tato část deformace se zmenšuje se zmenšující se vzdáleností ložisek L . Naproti tomu při zmenšující se vzdálenosti ložisek L se část deformace δ_L zvětšuje. U každého vřetena bude tedy existovat jistá vzdálenost ložisek L_o , při které bude deformace na konci vřetena nabývat minimálních hodnot. Tuto vzdálenost musíme určovat u každého uložení individuálně. [1]

2 TYPY VŘETEN OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

2.1 Způsob rozdělení vřeten

Typ vřeten obráběcích strojů můžeme rozdělit buď podle technologických procesů, ke kterým jsou určena, tedy na:

- ❖ soustružnické;
- ❖ frézovací (vertikální, horizontální);
- ❖ brusné;
- ❖ pro vyvrtávací stroje;
- ❖ vrtací;
- ❖ pro dřevoobráběcí stroje;
- ❖ univerzální apod.

Nebo podle konstrukčního uspořádání vřetena, které je závislé na technologickém procesu, jelikož každá technologie obrábění má jiné charakteristické silové působení, např. při vrtání je největší silou axiální síla, proto musí být vřeteno vrtačky dimenzováno tak, aby splňovalo požadavky na něho kladené.

2.2 Rozdělení dle konstrukce

Z konstrukčního hlediska dělíme vřetena obráběcích strojů podle:

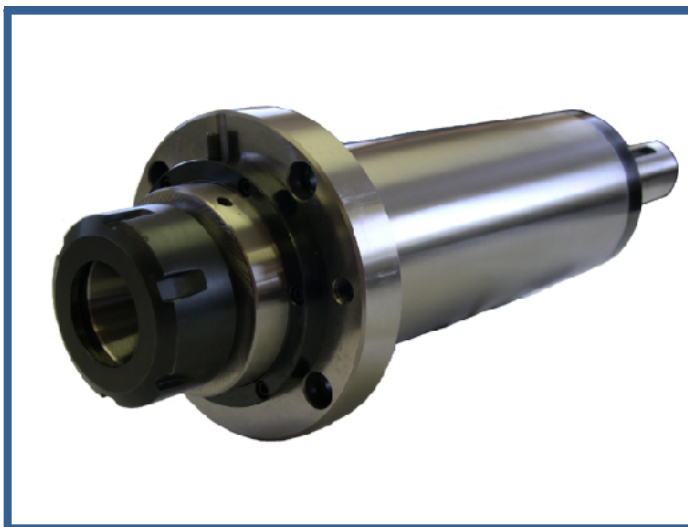
- ❖ způsobu zástavby vřetena do stroje;
- ❖ typu použitých ložisek;
- ❖ způsobu mazání ložisek;
- ❖ způsobu utěsnění vřetena;
- ❖ druhu náhonu;
- ❖ typu upínacího kužele.

2.2.1 Způsob zástavby vřetena

Jednotlivé konstrukční řešení vřeten se mohou lišit, ale můžeme je rozčlenit do dvou základních skupin, podle toho jak jsou uloženy do nosné struktury stroje, tedy vřeteníku. Prvním z nich je zástavba vřetena do tělesa rotačního tvaru, které označujeme jako tzv. tubus. Druhou možností je vřeteno uložit do tělesa skříňového (kvádrového) tvaru.

I. Tubus

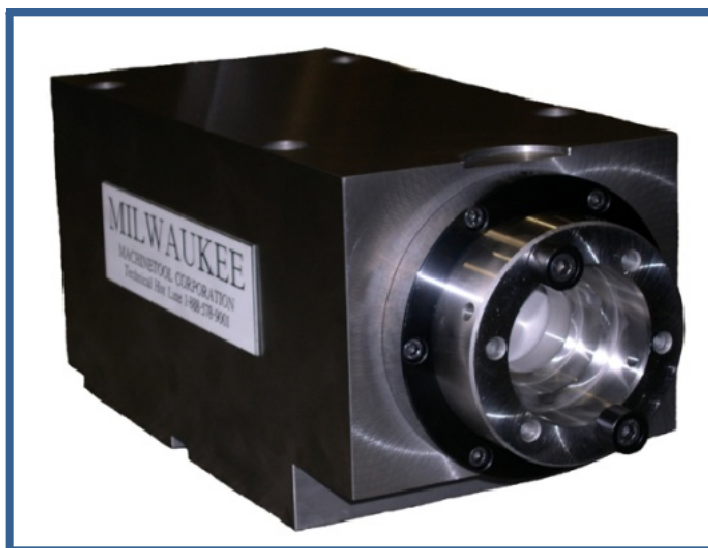
Těleso vřetena má rotační tvar a ukládá se do přesně vyvrtaného otvoru. Toto konstrukční řešení umožňuje snadnou výměnu vřetena (lehká manipulace) v případě poruchy. Skladováním náhradního vřetena minimalizujeme ztrátu času při odstávce stroje během opravy.



Obr. 8 Uložení vřetena do tubusu [7]

II. Skříň

Těleso vřetena této konstrukce je ve tvaru kvádra a umísťuje se na rovinnou plochu. Uložení v tělese skříňového typu má vyšší tuhost oproti tubusu, ale při výměně musíme vyjmout celé skříňové těleso (horší manipulace).



Obr. 9 Uložení vřetena do skříně [7]

2.2.2 Vřetenová ložiska

Úkolem ložiska je radiální a axiální uložení vřetena a zachycení sil, které na něho působí. Ložiska vřeten musí splňovat tyto požadavky:

- ❖ přesnost – ložisko nesmí házet s měnící se velikostí síly a její orientací;
- ❖ maximální tuhost;
- ❖ malé pasivní odpory – vliv oteplení;



- ❖ malé opotřebení;
- ❖ klidný chod;
- ❖ možnost vymezovat vůle;
- ❖ jednoduchá údržba a spolehlivost.

K uložení vřeten se využívají kluzné ložiska (hydrodynamické, hydrostatické) a valivé. Typ ložiska volíme podle zatížení, velikosti otáček, případně jinými požadavky, které jsou na vřeteno kladené.

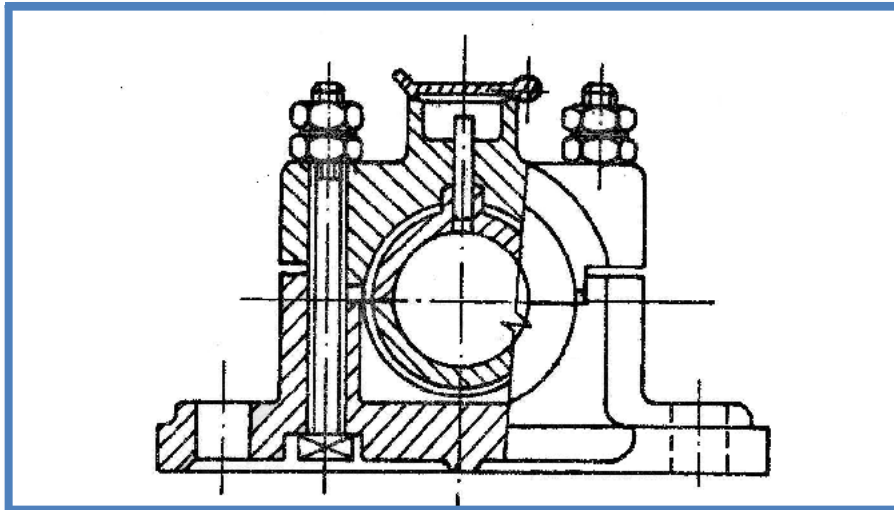
I. Kluzná ložiska

a) hydrodynamické

Výhodou těchto ložisek je, že jsou poměrně málo citlivá na výrobní nepřesnosti, dobře tlumí vibrace a rázy, mají malé vnější rozměry.

Nevýhodou je, že potřebují dostatečné a spolehlivé mazání, jelikož je zapotřebí odvádět teplo z ložiska, které způsobuje jeho deformace a tím zmenšuje tloušťku olejového filmu.

Tyto ložiska by se měla rozbíhat bez zatížení a krátkou dobu – tlak oleje se vytváří v tělese ložiska při určité obvodové rychlosti čepu (zamezení nadměrného opotřebení).



Obr. 10 Uložení hydrodynamického ložiska [4]

Jednotlivé typy:

- ❖ ložisko s pevným kluzným pouzdem;
- ❖ ložisko s pružným kluzným pouzdem;
- ❖ ložisko se stavitelnou kuželovou pánví;
- ❖ Mackensonovo ložisko;
- ❖ ložisko Filmatic.

**b) hydrostatické**

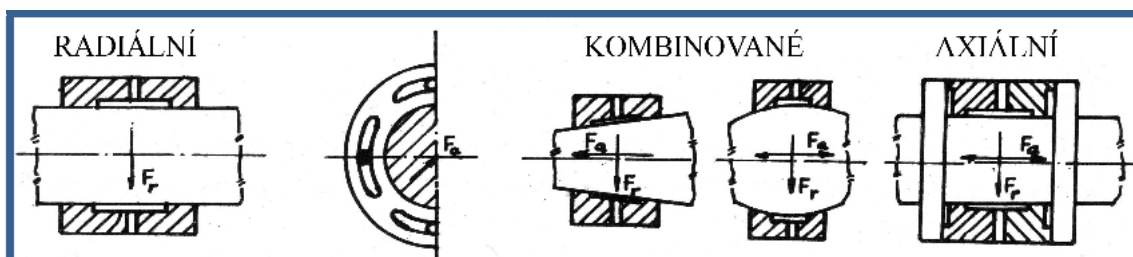
Tlak oleje vzniká za pomoci vnějšího zdroje, z těchto důvodů můžeme tyto ložiska zatížit již při nulových otáčkách. Tlaková kapalina působí po celém obvodu ložiska a vymezují tím jeho vůli. Díky vyššímu tlaku než je atmosférický je zabráněno vnikání nečistot z vnějšku do ložiska. Mají malý součinitel tření a klidný chod.

Oproti tomu mají vyšší náročnost na výrobu, protože musí být vyrobeny s větší rozměrovou přesností. Je nutný vnější tlakový zdroj. Před rozběhem musí být v ložisku tlak o požadované hodnotě.

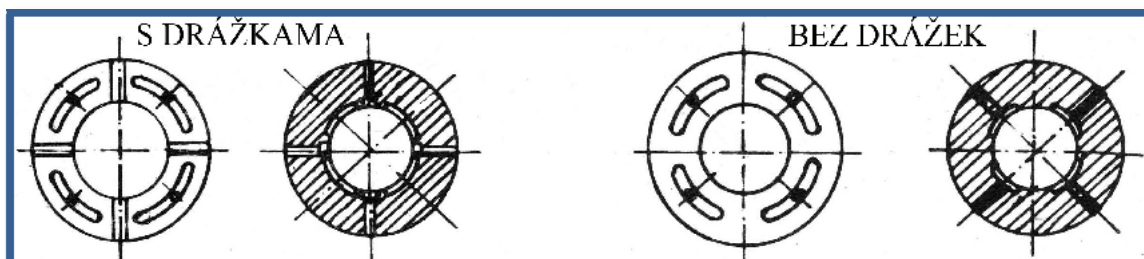
Jednotlivé typy:

- ❖ radiální;
- ❖ axiální;
- ❖ kombinované (sférické, válcové, kuželové).

Tyto varianty hydrostatických ložisek mohou být konstrukčně řešeny s drážkami mezi kapsami nebo bez nich. Drážky umožňují lepší odvod tepla, ale snižují tuhost ložisek.



Obr. 11 Typy hydrostatických ložisek [2]



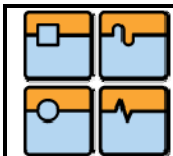
Obr. 12 Typy hydrostatických ložisek [2]

II. Valivá ložiska

Valivá ložiska jsou převážně využívána pro uložení vřeten, díky vysoké tuhosti a možnosti úplné eliminace vůle.

Mají velmi malý součinitel tření a tím i minimální oteplení a ztráty výkonu. Výhodou je i jednoduché mazání, rychlá vyměnitelnost, vysoká únosnost při malých otáčkách a velká tuhost, která lze zvýšit předepnutím.

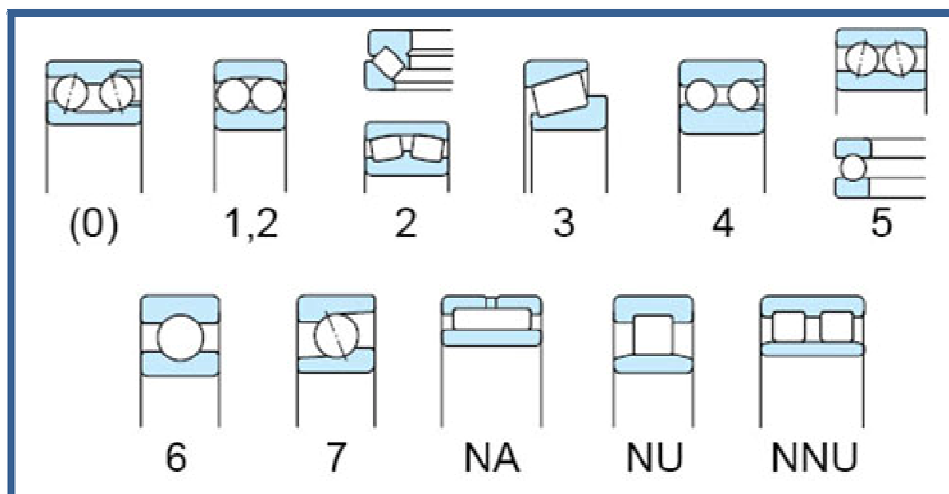
Ovšem naproti tomu mají větší vnější průměr, mají vyšší cenu, jsou citlivé na rázy, netlumí kmitání, musíme je chránit před vniknutím nečistot a obtížněji se dosahuje požadované přesnosti.



Používané typy ložisek:

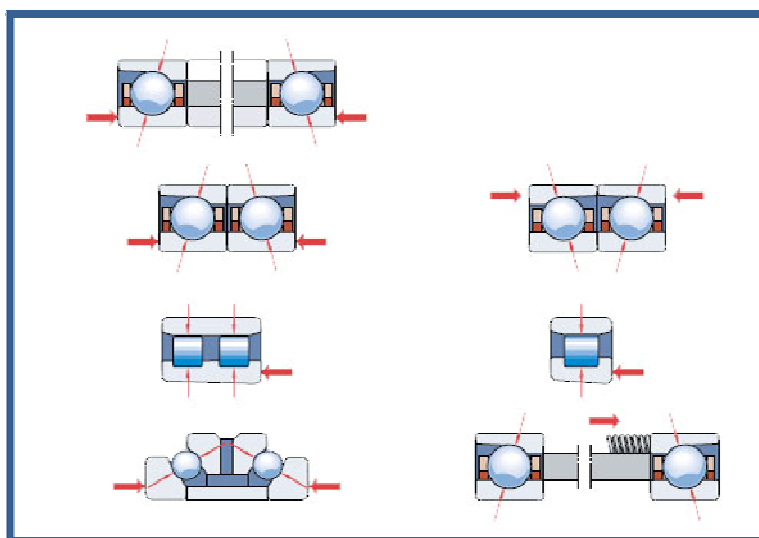
- ❖ dvouřadé válečkové ložisko;
- ❖ jednořadé kuličkové ložisko;
- ❖ ložisko s kosoúhlým stykem;
- ❖ kuželíkové ložisko;
- ❖ jehlové ložisko;
- ❖ axiální kuličkové ložisko;
- ❖ axiální ložisko s kosoúhlým stykem.

Pro vysokootáčková vřetena se používají kuličková ložiska s keramickými valivými elementy, tzv. hybridní ložiska. Výhodou je nižší hmotnost valivých elementů, tedy i nižší hodnoty odstředivých sil. Mají menší tepelnou vodivost, nepřenášejí teplo mezi vnitřním a vnějším kroužkem. Jsou nemagnetické a odolné vůči korozi.



Obr. 13 Typy valivých ložisek [9]

Předepnutím ložisek uložení vřetena můžeme docílit bezvůlového uložení, vyšší tuhosti a pracovní přesnosti. Základní způsoby předepnutí jsou zobrazeny na obr. 14.



Obr. 14 Metody předepnutí ložisek [10]



2.2.3 Mazání vřetenových ložisek

Účelem mazání ložisek je minimalizace tření, tedy opotřebení mezi valivými elementy s vnitřním a vnějším ložiskovým kroužkem. Tím dochází k zvýšení životnosti a spolehlivosti. Přehled způsobů mazání je na obr. 15.

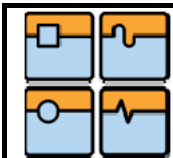


Obr. 15 Způsoby mazání vřetenových ložisek [1]

Při mazání se využívá u moderních strojů centrálních mazacích systémů, které snižují množství spotřebovaného maziva oproti konvenčním metodám a vylučují lidský faktor z výrobního procesu.

Mazací tuky jsou nejpoužívanější. Tuk se skládá z 90 % z minerálního nebo ropného oleje a 10 % zahušťovadla. Jako zahušťovadlo se používají vápenaté, sodné, nebo lithné mýdla. Různé typy ložisek potřebují rozdílné množství maziva, příslušné množství je stanoveno výrobcem. Trvanlivost tuku závisí na množství, druhu, typu ložiska, otáčkách, teplotě a namontovaném stavu.[1]

Mazání olejem se využívá při vysokých provozních otáčkách, kde je zapotřebí odvádět vzniklé teplo z uložení ložiska. Při mazání olejovou mlhou se přivádí mazivo k ložisku pomocí stlačeného vzduchu, za pomoci mazacích trubiček nebo hadiček. Případně lze užít i mazací trysky, které nanesou stanovené množství oleje na ložisko.

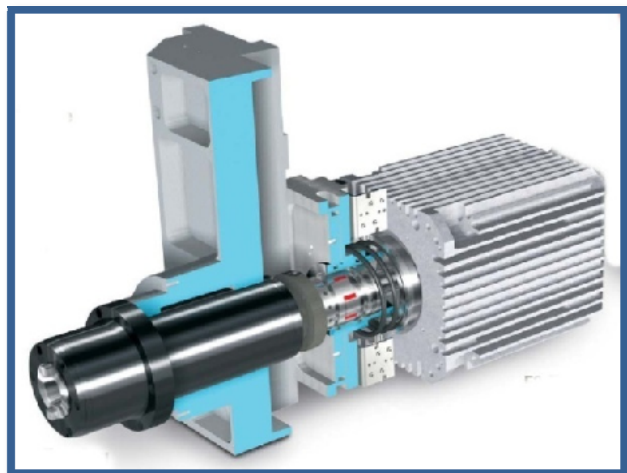


2.2.4 Náhon vřetena

Pohon vřetena je realizován vloženým převodem (řemenem, ozubenými koly, převodovkou), nebo přímým náhonem (vřeteno spojeno se servomotorem, elektrovřeteno).



Obr. 16 Náhon vřetena řemenem [11]



Obr. 17 Přímý náhon [12]

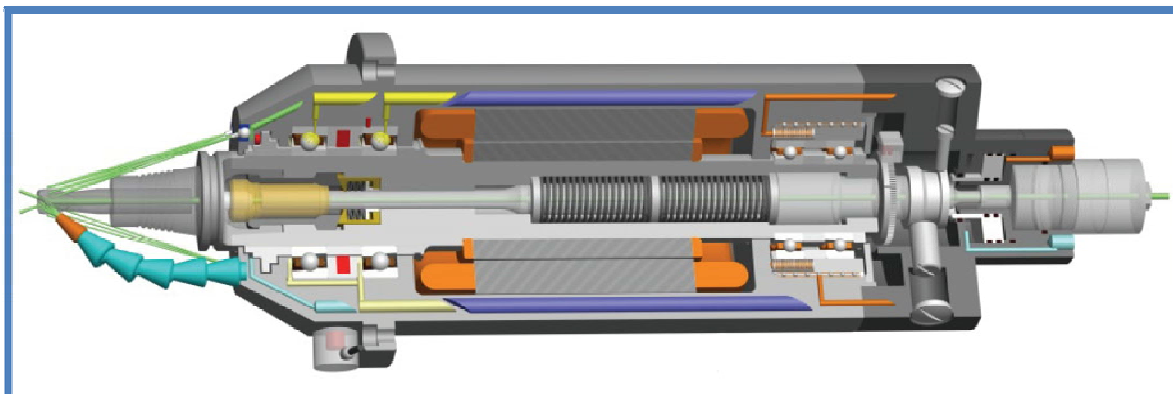
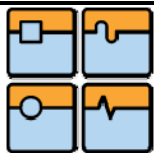
Výhodou převodu ozubenými koly, popř. převodovkou (nejčastěji planetovou) je možnost přenosu vysokého krouticího momentu. A při použití převodovky i relativně vysokých převodových poměrů. Nevýhodou tohoto pohonu je vyšší hmotnost, hlučnost a možnost rezonance, při dosažení kritických otáček. Stroje s vřetenem poháněným tímto způsobem jsou určeny především pro univerzální využití.

Náhon vřetena řešený pomocí řemene přenáší menší krouticí moment oproti ozubeným kolům, ale jeho předností je schopnost tlumit kmity a rázy, které vznikají při rozběhu motoru, nebo během obrábění. Využívají se zejména klínové řemeny (viz obr. 16), vícenásobné řemeny nebo synchronní řemeny, které zajišťují synchronizaci vřetena s hnacím hřídelem.

Další možností řešení náhonu je spojením vřetena se servomotorem nebo tzv. elektrovřeteno. Výhodou této konstrukce je malý zastavěný prostor. Takto řešený pohon se využívá u strojů pro tzv. vysokorychlostní obrábění (HSC), protože tyto pohony se vyznačují vysokou dynamickou stabilitou.

Elektrovřeteno je konstrukčně řešeno tak, že elektromotor je včleněn do vlastního vřetena a tím je docíleno velmi kompaktního řešení.

Rotor elektromotoru je nalisován na vřeteno a stator je umístěn v tělese vřetena (viz obr. 18). Díky tomuto uspořádání se minimalizuje chvění a umožňuje to velmi pružně měnit velikost otáček. U elektrovřetena se využívají jak asynchronní tak synchronní motory. Aby se eliminovali tepelné deformace je jak stator, tak rotor chlazen, nejčastěji vzduchem. Případně chladicí kapalinou – vodou.



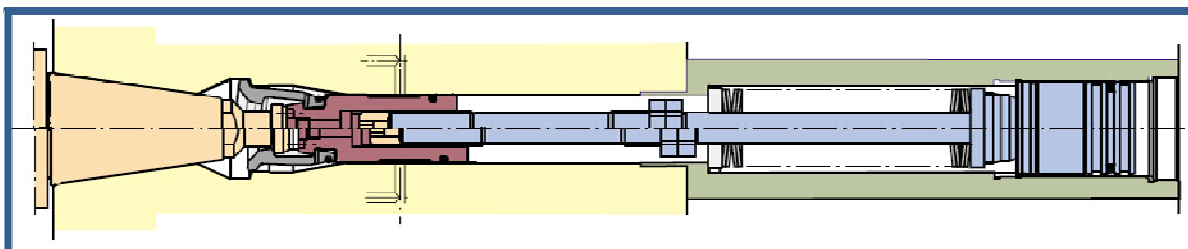
Obr. 18 Elektrovřeteno [16]

2.2.5 Upínací kužel vřetena a přívod řezné kapaliny

Přední konec vřetena slouží k upnutí nástroje nebo upínacích zařízení pro obrobky, dle druhu stroje. Upínací dutina má nejčastěji kuželový tvar, její osa rotace je totožná s osou otáčení vřetena v rámci výrobních tolerancí. Její parametry jsou dány typem použitého upínacího systému a jsou normalizovány. Mezi nejpoužívanější patří:[1]

- ❖ upínací kužel ISO;
- ❖ upínací kužel HSK;
- ❖ Morse kužel;
- ❖ Coromant Capto® (trojúhelníkový profil);
- ❖ BIG Plus;
- ❖ aj.

➤ Upínací systém s kuželem ISO

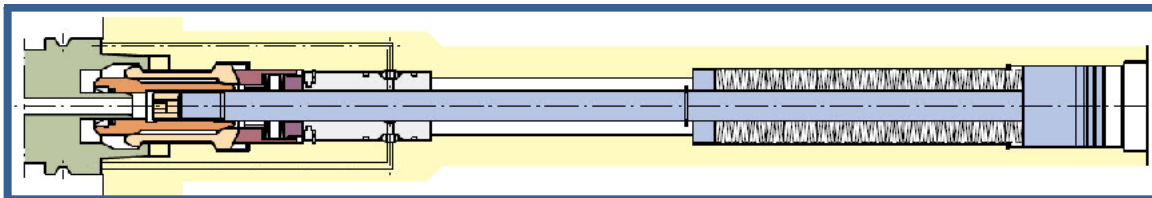


Obr. 19 Upínací systém s ISO kuželem [14]

U upínacího systému s ISO kuželem je nástrojový držák vtahován do nesamosvorného kužele s kuželovitostí 7:24. Díky kuželovému otvoru dochází k vystředění nástroje, držák nedosedá na čelní plochu vřetena oproti systému s kuželem BIG Plus, který je v mnoha ohledech podobný systému s ISO kuželem. Upínací síla je vyvozována pomocí talířových pružin umístěných v dutině vřetena. Nástrojový držák je upínán za upínací šroub, který je našroubován do zadního konce upínače, pomocí upínací čelisti. Viz obr. 19. [1]



➤ Upínací systém s kuželem HSK



Obr. 20 Upínací systém s kuželem HSK [14]

U upínacího systému s HSK kuželem dochází k upnutí nástrojového držáku za vnitřní dutinu do nesamosvorného kužele s kuželovitostí 1:10. Držák je středěn kuželem a dosedá na čelo vřetena, tím je zvýšena tuhost soustavy vřeteno – držák – nástroj. Upínací síla je vyvozována předepjatými talířovými pružinami umístěnými v dutině vřetena. Viz obr. 20. [1]

Pro uvolnění se v obou případech využívá lineárního hydromotoru, jenž stlačuje talířové pružiny. Hydromotor je buď integrován do tělesa vřetena, nebo je připojen k vřetenu v tzv. uvolňovací jednotce. [1]

➤ Coromant Capto®

Coromant Capto® je modulární upínací systém společnosti Sandvik Coromant, vyznačuje se polygonním profilem trojúhelníkového tvaru.

Výhody použití tohoto upínacího systému: [8]

- ❖ modulární systém;
- ❖ lepší přenos krouticího momentu a stabilita;
- ❖ zkrácení nástrojů díky jejich integraci;
- ❖ více prostoru uvnitř stroje díky kratším nástrojům;
- ❖ není zapotřebí upínacích držáků.



Obr. 21 Profil upínacího systému Coromant Capto® [17]

Druh upínacího systému určuje maximální pracovní otáčky vřetena. Obecně lze říci, že pro nižší otáčky cca do $10\,000\text{ min}^{-1}$ se používají systémy s upínacími kužely ISO, Coromant Capto® a BIG Plus. Pro vysokorychlostní obrábění (otáčky cca $18\,000\text{ min}^{-1}$) se používá upínací systémy s kuželem HSK.

Upínací systémy musí zajistit přísun řezné kapaliny k místu řezu a vzduchu pro očištění upínacího držáku.

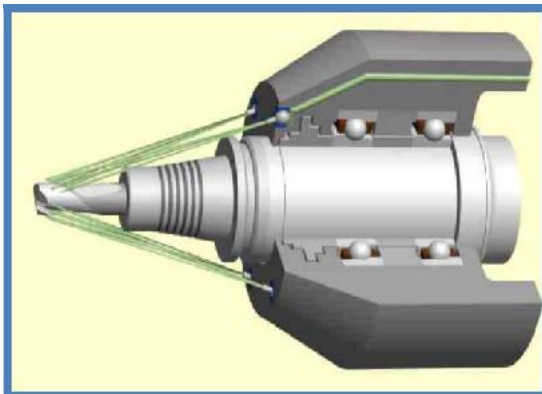
Metody přívodu řezné kapaliny

Řeznou kapalinu můžeme vést třemi základními způsoby. Můžeme ji vést tělesem vřetena a na nástroj ji dopravovat pomocí trysky (obr. 23), nebo v ose vřetena a středem nástroje přímo do místa řezu (obr. 22). Třetí možností je přivádět kapalinu mimo těleso vřetena tryskou.

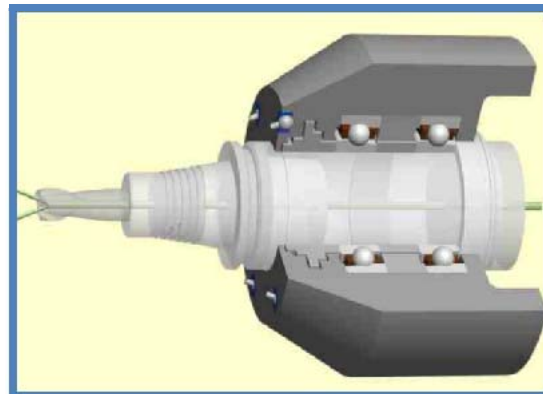
Výhodou přívodu řezné kapaliny středem vřetena je ochlazování nástroje po celé jeho délce, tím dochází k jeho tepelné stabilizaci, což má za následek zlepšení jakosti obrobené plochy, vyšší životnost břitů nástroje. Nejčastěji se tento způsob využívá při vrtání hlubokých



děr, nebo při frézování drážek a dutin. Tlak chladicí směsi je cca 80 bar. [15]



Obr. 23 Vedení kapaliny tělesem vřetena [15]



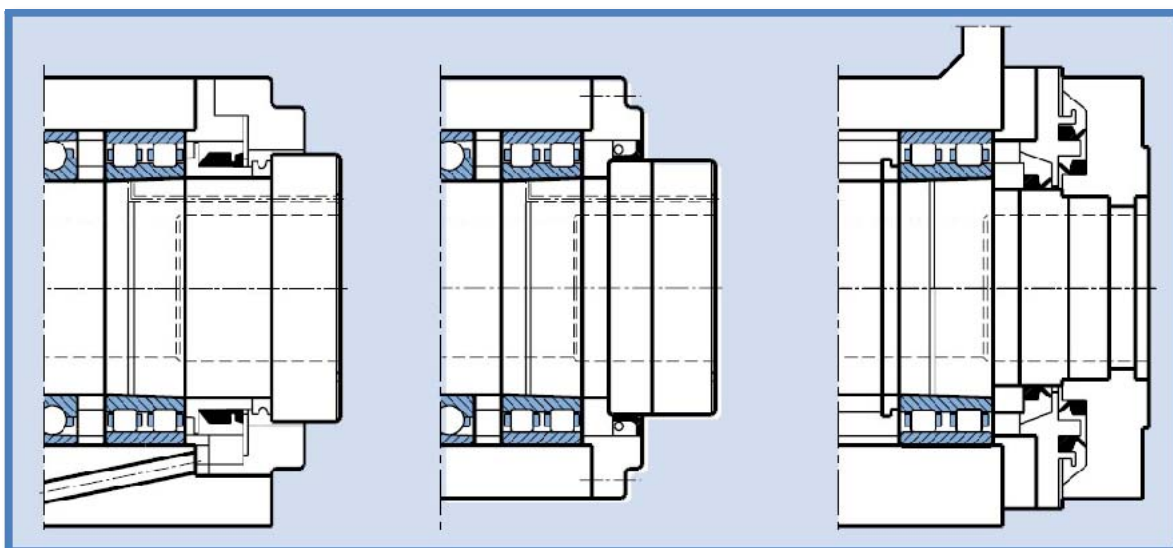
Obr. 22 Vedení kapaliny v ose vřetena [15]

2.2.6 Způsoby utěsnění vřetena

Těsnění vřetena je velmi důležité, musí chránit vnitřní prostor vřetena před vniknutím nečistot a vlhkosti. Tím zabrání poškození ložisek a degradaci maziva. Dále musí zabránit úniku maziva, aby nedocházelo k nedostatečnému mazání a tím k snížení efektivity práce vřetena. Způsoby těsnění můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- ❖ dotykové těsnění;
- ❖ bezdotykové těsnění.

Dotykové těsnění (obr. 24) jsou v kontaktu s hřídelí vřetene, tím dochází mezi styčnými plochami k tření a vzniká teplo, které ovlivňuje přesnost vřetena. Z těchto důvodů se dotykové těsnění využívá pro nižší otáčky, pro součinitel $n \cdot d_m \leq 200\,000$ (n – otáčky ložiska; d_m – střední průměr ložiska). [9]



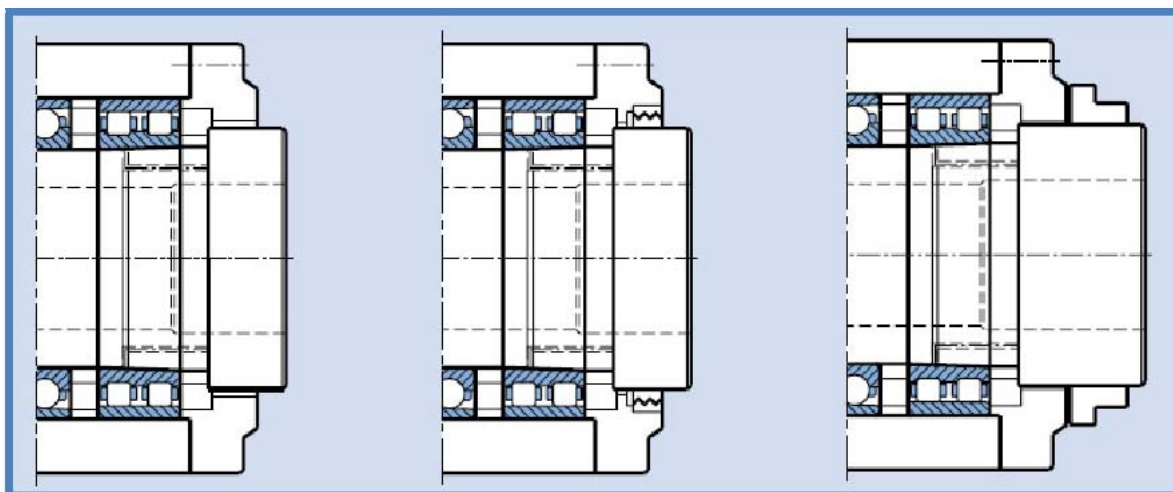
Obr. 24 Příklad dotykového těsnění [10]



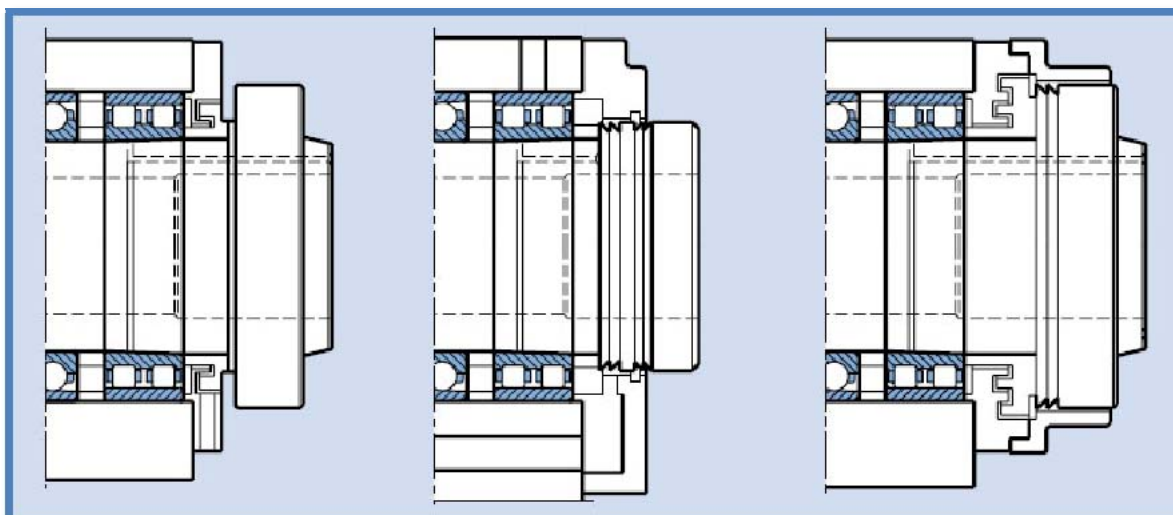
Nejpoužívanější typy:[1]

- gufera;
- V – kroužky (nižší oteplení než u gufera);
- speciální druhy.

Bezdotykové těsnění je mnohem výhodnější, protože neovlivňuje vřeteno tepelnými deformacemi. Negativním faktorem je vyšší cena a složitější výroba. Použitím labyrintového těsnění s přetlakovým vzduchem je zabráněno vniknutí řezní kapaliny a nečistot do vnitřního prostoru vřetena. Dalším možným konstrukčním řešením je před labyrintové těsnění umístit ještě jeden labyrint a vytvořit mezi nimi ve vřetenu odstříkovací drážku ve tvaru „V“. Vůle v labyrintu bývá $0,1 \div 0,2$ mm. Pro odstranění akumulované směsi řezné kapaliny, oleje a nečistot, která se vytváří v prostoru „V“ drážky mezi prvním a druhým labyrintem, jsou ve spodní části labyrintu u horizontálně uloženého vřetena vyvrtány odtokové otvory. Příklady konstrukčních řešení bezdotykových těsnění jsou na obr. 25 a obr. 26. [9]



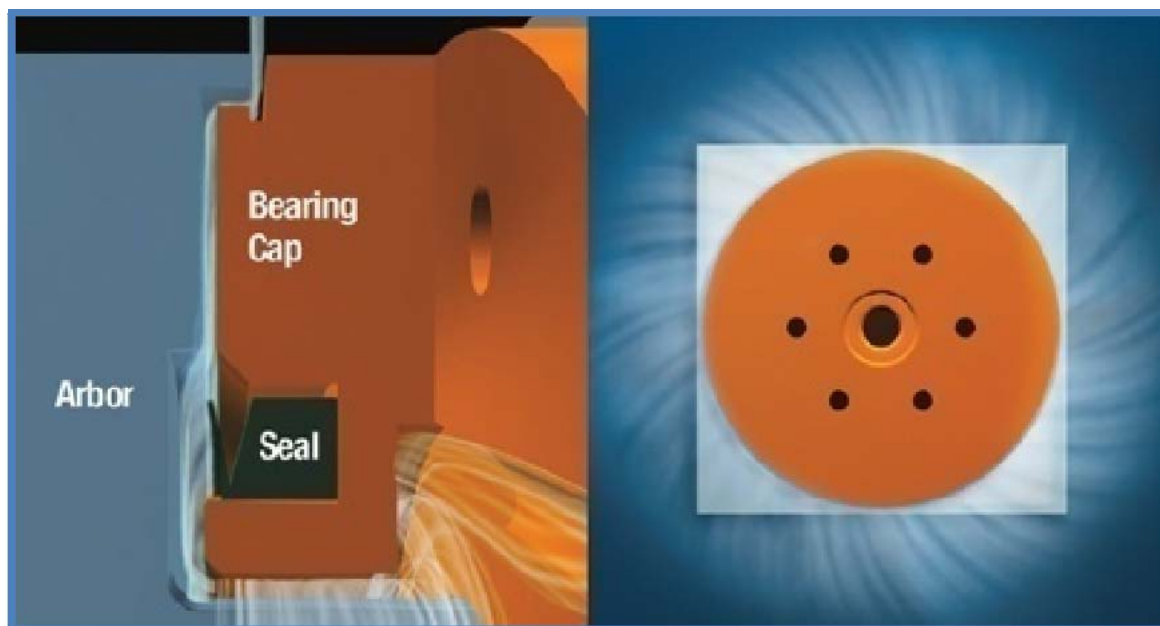
Obr. 26 Příklady bezdotykového těsnění [10]



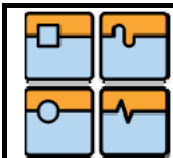
Obr. 25 Příklady bezdotykového těsnění [10]



Příkladem řešení bezdotykového těsnění je těsnicí systém AirShield™ firmy Setko. Tento těsnicí systém poskytuje dynamickou a statickou ochranu před vniknutím nečistot a řezné kapaliny. Systém pracuje v jakékoliv poloze, proto může být použit i tam, kde nelze využít jiné bezdotykové těsnění. Systém využívá stálý proud vzduchu konstantního tlaku, který je dopravován k přednímu a zadnímu ložisku, kde je tangenciálně usměřňován dokola kolem celého vřetene. Výhodou je jednoduchá, bezúdržbová konstrukce, bez pohyblivých částí.



Obr. 27 Těsnicí systém AirShield™ [26]



3 PŘEHLED VŘETEN VYBRANÝCH VÝROBCŮ

3.1 TAJMAC – ZPS, a.s.

❖ Horizontální frézovací stroje

H 40 – horizontální obráběcí centrum

Tab. 3.1 Parametry vřetena stroje H 40 [18]

Provedení vřetena	TREND	CONTOUR
Upínací kužel	ISO 40	HSK –A63
Maximální otáčky	10 000 min ⁻¹	16 000 min ⁻¹
Výkon trvalý/přetížení S6-40%	12/17 kW	15/21 kW
Krouticí moment/ přetížení S6-40%	90/127 Nm	71/100 Nm
Typ převodu	řemenový	elektrovřeteno

Volitelné provedení vřetena:

- ❖ vřeteno SK 40, 6000 min⁻¹, 12/17 kW, 152/216 Nm;
- ❖ vřeteno SK 40, 8000, 12/17 kW, 114/161 Nm.

Upínací kužele CAT 40 a BT 40.

H 50 – horizontální obráběcí centrum

Tab. 3.2 Parametry vřetena stroje H 50 [19]

Upínací kužel	ISO 50
Maximální otáčky	8 000 min ⁻¹
Výkon trvalý/přetížení S6-40%	12/18,5 kW
Krouticí moment/ přetížení S6-40%	367/565 Nm
Typ převodu	planetová 2° převodovka

Volitelné provedení vřetena:

- ❖ elektrovřeteno SK 40, 15 000 min⁻¹, 25/31 kW, 160/197 Nm;
- ❖ elektrovřeteno HSK-A 63, 8000, 25/31 kW, 160/197 Nm.

Chlazení nástroje osou vřetena kapalinou nebo vzduchem.

H 63 FA – horizontální pětiosé obráběcí centrum

Tab. 3.3 Parametry vřetena stroje H 63 FA [20]

Upínací kužel	ISO 50
Maximální otáčky	8 000 min ⁻¹
Výkon trvalý/přetížení S6-40%	17/25 kW
Krouticí moment/ přetížení S6-40%	415/611 Nm
Typ převodu	planetová převodovka



Obr. 29 H 50 [19]



Obr. 28 Vřeteno H 63 FA při pětiosém obrábění [20]

❖ Vertikální frézovací stroje

MCFV 2080 – vertikální obráběcí centrum

Tab. 3.4 Parametry vřetena stroje MCFV 2080 [21]

Provedení vřetena	STANDARD	TREND	CONTOUR
Upínací kužel	ISO 40	ISO 40	ISO 40
Maximální otáčky	10 000 min ⁻¹	12 000 min ⁻¹	15 000 min ⁻¹
Výkon trvalý/přetížení S6-40%	20/28 kW	17/25 kW	25/31 kW
Krouticí moment/ přetížení S6-40%	244/342 Nm	96/141 Nm	159/197 Nm
Typ převodu	planetová pře.	řemenový	elektrovřeteno
Provedení vřetena	STANDARD	TREND	CONTOUR
Upínací kužel	ISO 50	ISO 50	HSK-A 63
Maximální otáčky	8 000 min ⁻¹	8 000 min ⁻¹	18 000 min ⁻¹
Výkon trvalý/přetížení S6-40%	17/25 kW	17/25 kW	25/31 kW
Krouticí moment/ přetížení S6-40%	519/764 Nm	143/210 Nm	159/197 Nm
Typ převodu	planetová pře.	řemenový	elektrovřeteno

Volitelné provedení vřetena:

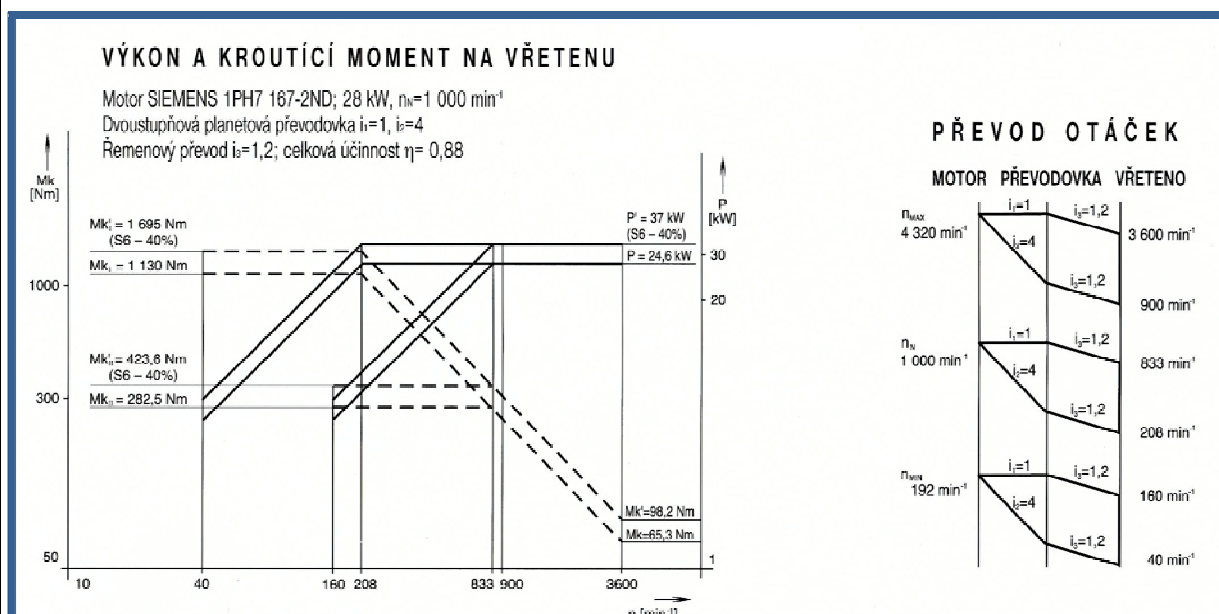
- ❖ vysokootáčková vřetenová jednotka 50 000 min⁻¹.
Chlazení nástroje osou vřetena kapalinou nebo vzduchem, olejovou mlhou.

❖ Soustruhy

TCH 500 – soustružnické centrum

Tab. 3.5 Parametry vřetena stroje TCH 500 [22] [23]

Provedení vřetena	PRIME 65/80	DOUBLE 65/80
Přední konec vřetena (DIN 55026)	A2 - 8	A2 - 8
Rozsah otáček	40 - 3600 min ⁻¹	40 - 3200 min ⁻¹
Výkon motoru S1/S6-40% ED	28/42 kW	28/42 kW
Max. krouticí moment S1/S6-40% ED	1 130/1 695 Nm	1 130/1 695 Nm
Typ převodu	planetová 2° převodovka	



Obr. 30 Charakteristiky TCH 500 [23]

3.2 KOVOSVIT MAS, a.s.

❖ Vertikální frézovací stroje

MCV 1270 – vertikální obráběcí centrum

Tab. 3.6 Parametry vřetena stroje MCV 1270 [24]

Provedení vřetena	POWER	SPEED	SPRINT
Upínací kužel	ISO 50 / ISO 40	ISO 40/ HSK- A63	HSK- A63
Maximální otáčky	8 000 min ⁻¹	12 000 min ⁻¹	15 000 min ⁻¹
Výkon motoru S1/S6-40%	28/43 kW	33/45 kW	25/35 kW
Krouticí moment S1/S6-40%	406/623 Nm	157/215 Nm	86/120 Nm
Provedení vřetena	RAPID		
Upínací kužel	HSK- A63		
Maximální otáčky	24 000 min ⁻¹		
Výkon motoru S1/S6-40%	19/26,7 kW		
Krouticí moment S1/S6-40%	60/86 Nm		



MCU 630V – vertikální pětiosé obráběcí centrum

Tab. 3.7 Parametry vřetena stroje MCU 630V [24]

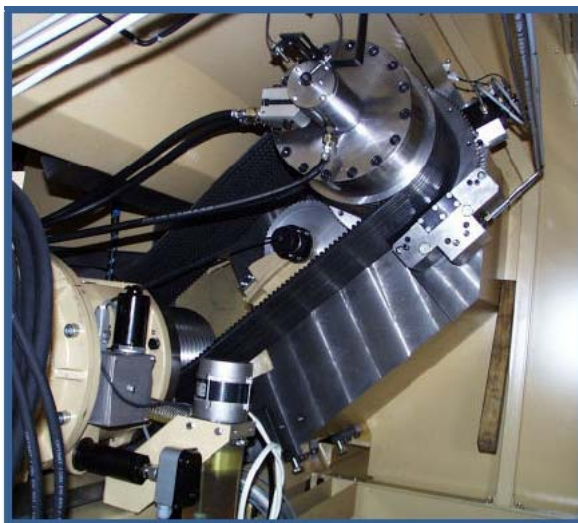
Provedení vřetena	SPRINT	POWER
Upínací kužel	ISO 50	HSK- A63
Maximální otáčky	10 000 min ⁻¹	18 000 min ⁻¹
Výkon motoru S1/S6-40% ED	20/26 kW	25/35 kW
Max. krouticí moment S1/S6-40% ED	262/340 Nm	87/130 Nm

❖ Soustruhy

SPH 50 CNC – CNC soustruh

Tab. 3.8 Parametry vřetena stroje SPH 50 CNC [24]

Přední konec vřetena (DIN 55026)	vel. 15/vel. 11	
Rozsah otáček	20 – 2 100 min ⁻¹	20 – 2 800 min ⁻¹
Výkon motoru S1/S6-40%	100/60 kW	
Max. krouticí moment S1/S6-40%	1 130/1 695 Nm	
Typ převodu	řemenový	



Obr. 31 Pohled na náhon vřetena SPH 50 CNC [24]

MASTURN 70 CNC – univerzální hrotový soustruh

Tab. 3.9 Parametry vřetena stroje MASTURN 70 CNC [24]

Přední konec vřetena (DIN 55027)	B11/C11
Rozsah otáček	0 – 1800 min ⁻¹
Výkon motoru	28/22 kW
Max. krouticí moment při 1°	3 000/2 370 Nm
Max. krouticí moment při 2°	540/430 Nm
Typ převodu	automatická 2° převodovka

3.3 Haas Automation, Inc.

❖ Horizontální frézovací stroje

EC – 1600 – horizontální obráběcí centrum

Tab. 3.10 Parametry vřetena stroje EC – 1600 [12]

Upínací kužel	ISO 50
Maximální otáčky	10 000 min ⁻¹
Maximální výkon	22,4 kW
Max. krouticí moment při 600 min⁻¹	339 Nm
Typ převodu	2° převodová hlava

❖ Vertikální frézovací stroje

VR - 11 B – vertikální pětiosé obráběcí centrum

Tab. 3.11 Parametry vřetena stroje VR – 11 B [13]

Upínací kužel	ISO 40
Maximální otáčky	7 500 min ⁻¹
Maximální výkon	22,4 kW
Max. krouticí moment při 1000 min⁻¹	102 Nm
Typ převodu	vektorově řízený motor
Mazání ložisek	olej - vzduch

❖ Soustruhy

SL - 40L – CNC soustruh

Tab. 3.12 Parametry vřetena stroje SL – 40L [11]

Přední konec vřetena (DIN 55026)	A2 - 8
Maximální otáčky	2 400 min ⁻¹
Maximální výkon motoru	30 kW
Max. krouticí moment při 150 min⁻¹	1 898 Nm
Typ převodu	2° převodovka

3.4 TOS VARNSDORF, a.s.

❖ Vyvrtávací stroje

WH (Q) 105 CNC – vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj

Tab. 3.13 Parametry vřetena stroje WH (Q) 105 CNC [27]

Upínací kužel	ISO 50
Rozsah otáček R/N	10 – 3 300/10 – 2 300 min ⁻¹
Jmenovitý výkon	28 kW
Typ převodu	digitálně řízený AC motor



Pracovní vřeteno je uloženo v dutém vřeteně, vedení mezi oběma vřeteny je mazáno tlakovým olejem. Duté vřeteno uloženo ve vřetenových kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem.

W 100 A - vodorovná vyvrtávačka

Tab. 3.14 Parametry vřetena stroje W 100 A [27]

Upínací kužel	ISO 50
Rozsah otáček	7,1 – 1 120 min ⁻¹
Jmenovitý výkon	11 kW
Typ převodu	převodovka

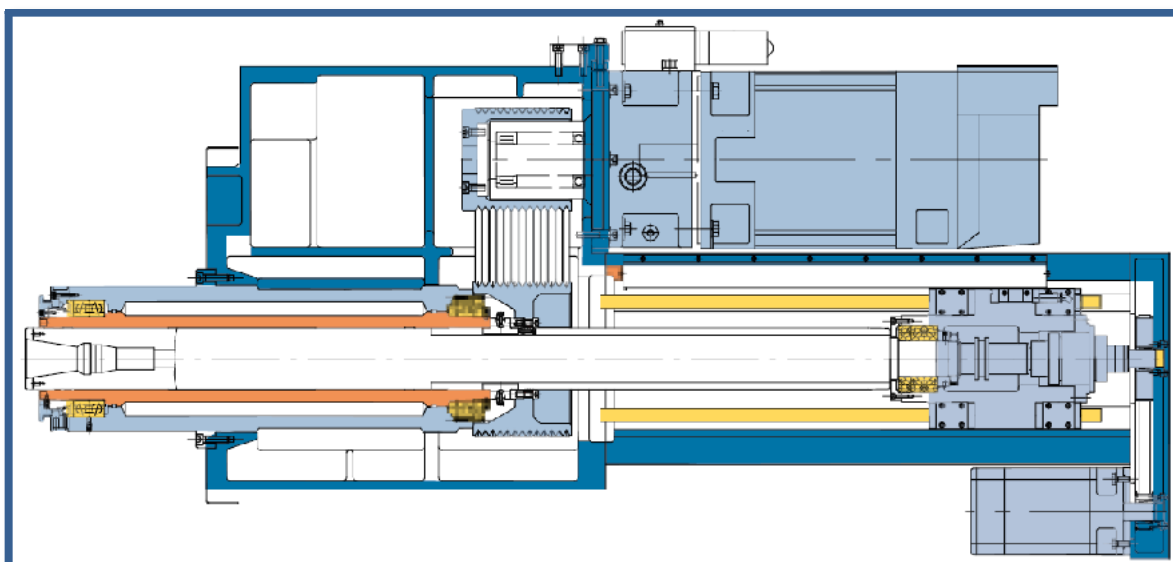
Pracovní vřeteno je uloženo ve dvou dutých vřetenech, na vnějším dutém vřetenu je uložena lícni deska.

3.5 UNION Werkzeugmaschinen GmbH

UNION T 150 - vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj

Tab. 3.15 Parametry vřetena stroje UNION T 150 [28]

Upínací kužel	ISO 50
Rozsah otáček	5 – 3 500 min ⁻¹
Maximální krouticí moment	2727 Nm
Maximální výkon	46, 61 kW
Typ převodu	řemenový

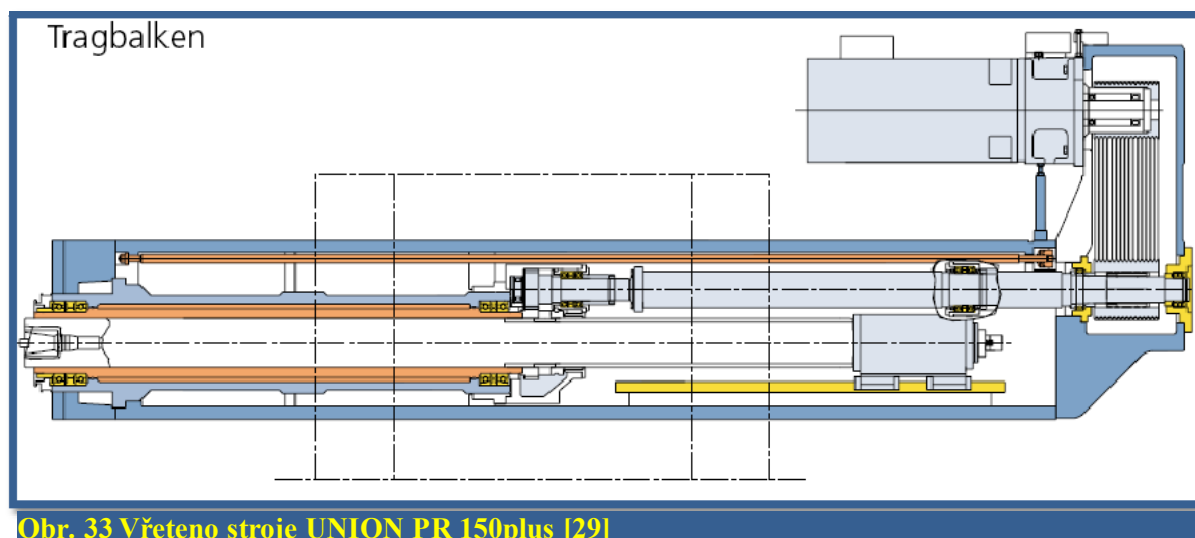


Obr. 32 Vřeteno stroje UNION T 150 [28]

Pracovní vřeteno je umístěno v dutém vřetenu, pro uložení vřetena je použita sestava kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem. Vřetenová ložiska jsou mazána trvalou tukovou náplní. Vřeteno je poháněno elektromotorem s dvoustupňovou převodovkou s oběhovým mazáním, olej je chlazen v chladiči pro tepelnou stabilizaci vřetena stroje. Krouticí moment je na vřeteno přenášen pomocí sady klínových řemenů. (obr. 32)

**UNION PR 150plus** - vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj**Tab. 3.16** Parametry vřetena stroje UNION PR 150plus [29]

Upínací kužel	ISO 50
Rozsah otáček	5 – 3 500 min ⁻¹
Maximální krouticí moment	2179 Nm
Maximální výkon	45, 55, 60 kW
Typ převodu	řemenový

**Obr. 33** Vřeteno stroje UNION PR 150plus [29]

Pracovní vřeteno je umístěno v dutém vřetenu, pro uložení jsou použity dvojce kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem sestavených do X. Krouticí moment je přenášen pomocí sady klínových řemenů na hnací hřídel, který tlumí vibrace a přenáší dále výkon na pracovní vřeteno. Vřetenová ložiska jsou mazána trvalou tukovou náplní. Vřeteno je těsněno pomocí labyrintu. (obr. 33)

3.6 WEISS Spindeltechnologie GmbH

Firma WEISS GmbH Spindeltechnologie se specializuje na výrobu vysoce přesných vřeten určených pro různé technologické aplikace. V jejím výrobním programu je řada standardizovaných typů vřeten a také vyrábí dle individuálního zadání.

❖ Soustružnické vřetena

Charakteristiky standardní řady:[30]

- asynchronní i synchronní motor;
- tubusové provedení;
- montážní pozice horizontální i vertikální předním koncem dolů, volitelně nahoru;
- vřetenová ložiska standardní, vysokorychlostní nebo hybridní;
- vektorové řízení elektromotoru;
- labyrintové těsnění, volitelně s přetlakovým vzduchem.

**Tab. 3.17** Parametry standardních vřeten s asynchronním motorem [30]

Typ	Konec dle DIN 55026	Jmenovitý výkon [kW]	Nominální otáčky [min ⁻¹]	Maximální otáčky [min ⁻¹]	Jmenovitý kr. moment S1-100% [Nm]
D175375-VXX	A4	13,4	1 500	7 700/9 100/10 500	85
D175380-VXX	A6	22,0	1 500	4 500/5 200/6 000	140
D175379-VXX	A11	39,3	500	2 700/ - / -	750

Pozn.: Maximální otáčky dle typu ložiska (standardní/vysokorychlostní/hybridní).

Ložiska soustružnických vřeten jsou mazána trvalou tukovou náplní. Mazací tuk je určen pro vysoké otáčky a teploty. Přibližně 20% až 35% dutiny ložiska je naplněno mazacím tukem. Těsnění je provedeno pomocí labyrintu s odstříkovacími drážkami a odtokovými dírami.

Tab. 3.18 Parametry standardních vřeten se synchronním motorem [30]

Typ	Konec dle DIN 55026	Jmenovitý výkon S1-100% [kW]	Nominální otáčky [min ⁻¹]	Maximální otáčky [min ⁻¹]	Jmenovitý kr. moment S1-100% [Nm]
D175408-VXX	A4	16,8	1 600	7 700/ - / -	100
D175414-VXX	A6	29,3	1 400	4 500/5 200/6 000	200
D175411-VXX	A8	103	1 200	4 000/ 4 700 / 5 200	820

Pozn.: Maximální otáčky dle typu ložiska (standardní/vysokorychlostní/hybridní).

HYDROSTATICKÉ VŘETENO – individuální řešení

Tab. 3.19 Parametry hydrostatického vřetena [30]

Přední konec vřetena	Speciální
Jmenovitý výkon S1 – 100%	16 kW
Jmenovitý krouticí moment S1 – 100%	42 Nm
Nominální otáčky	3 500 min ⁻¹
Maximální otáčky	8 500 min ⁻¹
Způsob zástavby	Skříň
Mazání ložisek	Nucený oběh oleje
Motor	Synchronní

❖ Frézovací vřetena

Charakteristiky standardní řady:[31]

- upínací kužel HSK, volitelně pro nízké otáčky ISO;
- ocelové nebo hybridní ložiska;
- mazání trvalou tukovou náplní nebo olej - vzduch;
- těsnění labyrintem s přetlakovým vzduchem;
- asynchronní i synchronní motor.

**Tab. 3.20** Parametry standardních vřeten s asynchronním motorem [31]

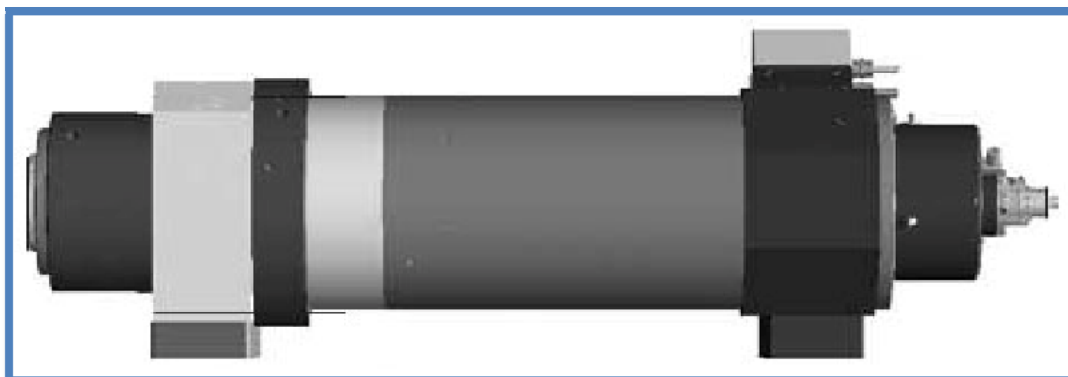
Typ	Upínací kužel	Jmenovitý výkon S1-100% [kW]	Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	Maximální otáčky [min ⁻¹]	Jmenovitý kr. moment S1-100% [Nm]	Mazání
F150A.30.18	HSK-E40	18	1 600	30 000	12	Tuk
F210A.24.18	HSK-A63	18	1 400	24 000	60	Olej - vzduch
F285A.15.32	HSK-A100	32	1 200	15 000	300	Olej - vzduch

Tab. 3.21 Parametry standardních vřeten se synchronním motorem [31]

Typ	Upínací kužel	Jmenovitý výkon S1-100% [kW]	Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	Maximální otáčky [min ⁻¹]	Jmenovitý kr. moment S1-100% [Nm]	Mazání
F150S.30.11	HSK-E40	11	8 000	30 000	13	Tuk
F210S.18.28	HSK-A63	28	4 200	18 000	63	Tuk
F285S.14.78	HSK-A100	78	3 000	14 000	250	Olej - vzduch

VŘETENO 80029 – individuální řešení**Tab. 3.22** Parametry vřetena 80029 [31]

Upínací kužel	HSK-A100
Jmenovitý výkon S1 – 100%	130 kW
Jmenovitý krouticí moment S1 – 100%	73 Nm
Jmenovité otáčky	17 000 min ⁻¹
Maximální otáčky	22 000 min ⁻¹
Způsob zástavby	Tubus
Mazání ložisek	Olej - vzduch
Motor	Synchronní

**Obr. 34** Vřeteno 80029 [31]



3.7 Franz Kessler GmbH

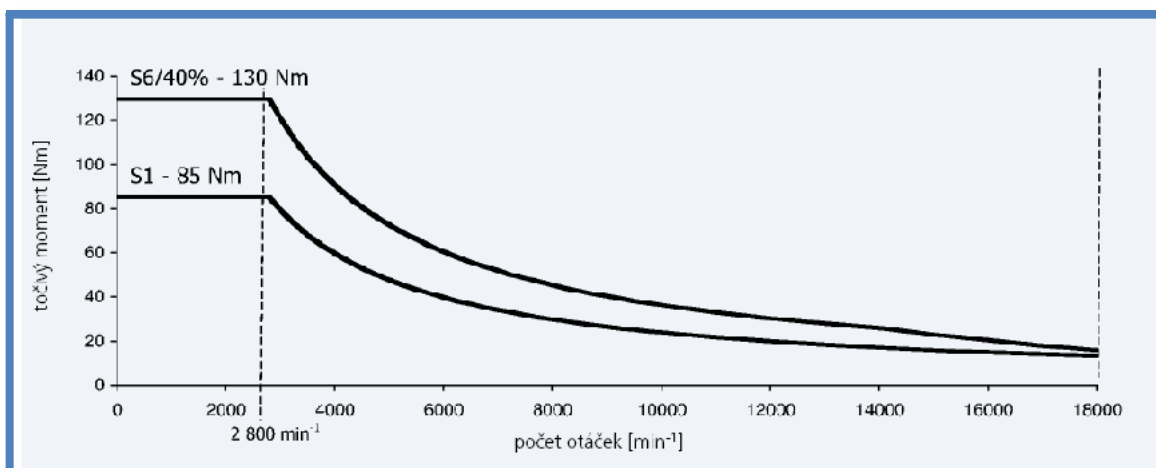
Firma Franz Kessler GmbH se specializuje na výrobu vřeten, dle individuálních zadání zákazníka, určených k frézování, soustružení a broušení.

❖ Některé realizované vřetena

VERTIKÁLNÍ VŘETENO PRO UNIVERZÁLNÍ STROJE

Tab. 3.23 Parametry vřetena pro univerzální stroje [32]

Maximální otáčky	18 000 min ⁻¹
Krouticí moment (S6)	130 Nm
Výkon (S6)	38 kW
Mazání	Olej - vzduch
Upínací systém	SK 40; BT 40; HSK A 63
Pohon	Asynchronní motor
Chlazení	Voda; olej



Obr. 35 Momentová charakteristika vřetena [32]

VERTIKÁLNÍ VŘETENO PRO UNIVERZÁLNÍ STROJE LC 100/200

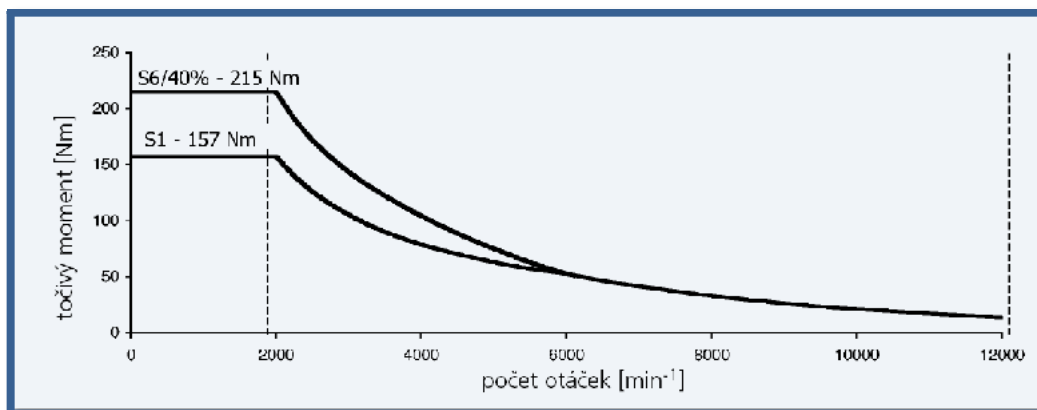
Tab. 3.24 Parametry vřetena LC 100/200 [32]

Typ vřetena	LC 100	LC 200
Maximální otáčky	12 000 min ⁻¹	12 000 min ⁻¹
Krouticí moment (S6)	120 Nm	215 Nm
Výkon (S6)	35 kW	45 kW
Mazání	Tuk	Tuk
Upínací systém	SK 40; BT 40; HSK A 63	SK 40; BT 40; HSK A 63
Pohon	Asynchronní motor	Asynchronní motor
Chlazení	Voda; olej	Voda; olej

Vřeteno LC 200 je použito u stroje MCV 1210 (vertikální obráběcí centrum určeno především pro nástrojařský průmysl) firmy TAJMAC – ZPS, a.s.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 36 Momentová charakteristika vřetena LC 200 [32]

SYNCHRONNÍ VŘETENO SOUSTRUHŮ

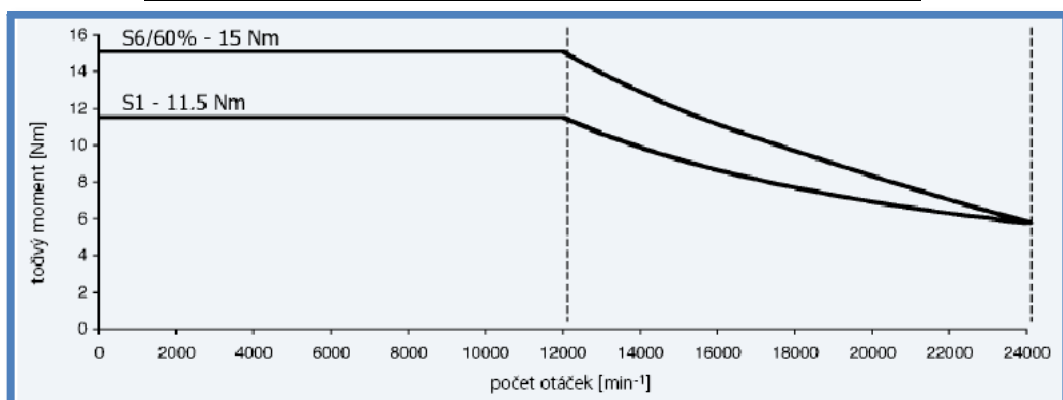
Tab. 3.25 Parametry synchronního vřetena soustruhů [32]

Typ vřetena	Chlazená vodou	Chlazená vzduchem
Maximální otáčky	3 200 min ⁻¹	3 200 min ⁻¹
Krouticí moment (S6)	1 000 Nm	750 Nm
Výkon (S6)	69 kW	45 kW
Mazání	Tuk	Tuk
Upínací systém	Dle DIN 55026	Dle DIN 55026
Pohon	Synchronní motor	Synchronní motor
Chlazení	Voda	Vzduch

VŘETENA KE ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

Tab. 3.26 Parametry vřeten ke zpracování dřeva [32]

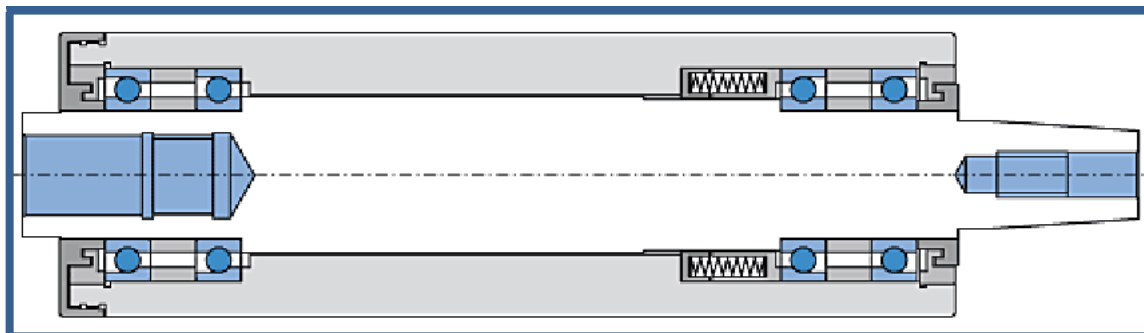
Maximální otáčky	24 000 min ⁻¹
Krouticí moment (S6)	15 Nm
Výkon (S6)	19 kW
Mazání	Tuk
Upínací systém	HSK- F -63
Pohon	Asynchronní motor
Chlazení	Voda



Obr. 37 Momentová charakteristika vřetena ke zpracování dřeva [32]



3.8 GMN Paul Müller industrie GmbH & Co. KG



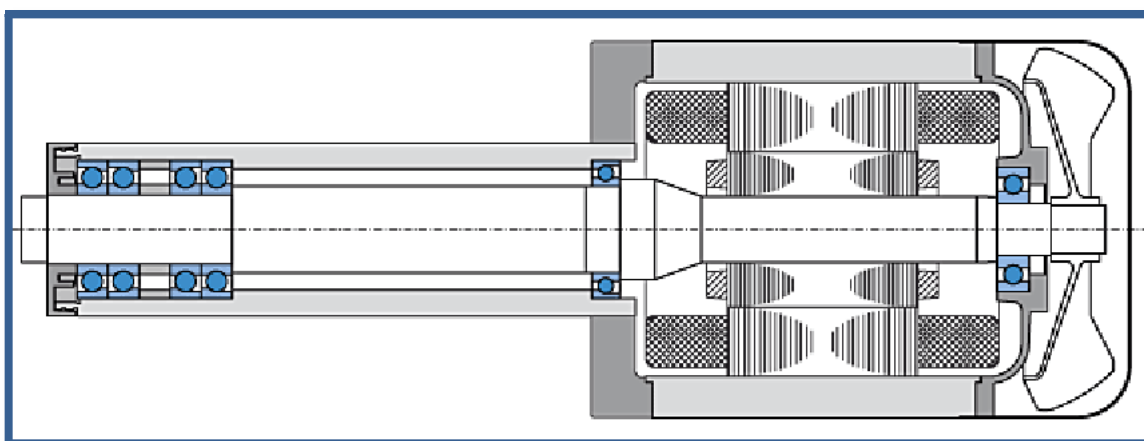
Obr. 38 Vřeteno TSP 80 [33]

TSP 80 – brousicí vřeteno poháněné řemenem

Hřídel vřetena je uložena ve čtyřech kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem. Mazání ložisek je zajištěno trvalou tukovou náplní. Pro zvýšení tuhosti a pracovní přesnosti jsou ložiska předepjata pomocí pružin. Těsnění je řešeno jako bezdotykové pomocí labyrintu. Vřeteno může být osazeno buď standardními vřetenovými ložisky, nebo hybridními.

Tab. 3.27 Hodnoty otáček dle typu ložiska[33]

Typ ložiska	Maximální otáčky (bez nástroje)
Standardní	$20\,000\text{ min}^{-1}$
Hybridní	$25\,000\text{ min}^{-1}$



Obr. 39 Vřeteno TSE [34]

TSE – vrtací a frézovací vřetena s přímým náhonem

Hřídel vřetena je v přední části uložen do čtyř kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem sestavených po dvojicích do X. Ložiska jsou mazána systémem olej - vzduch nebo trvalou tukovou náplní. Vřeteno má standardně upínací kužel HSK, může být osazeno i hybridními ložisky. Vřeteno je řízeno pomocí frekvenčního měniče. Motor je chlazen vzduchem.



4 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo uvést přehled používaných vřeten obráběcích strojů. První část práce je věnována konstrukčním faktorům, které ovlivňují parametry vřeten při jejich návrhu. Dále je zde uvedeno rozčlenění typů vřeten dle konstrukčního provedení a popis jednotlivých konstrukčních prvků a jejich možné varianty. V závěrečné části této práce jsou uvedeny konkrétní příklady vřeten od jednotlivých výrobců strojů a vřeten s výkonnostními parametry.

Tendence v konstrukci vřeten je návrh vřetena s ohledem na konkrétní využití stroje, dle přání zákazníků. Výrobci obráběcích strojů využívají při projektování nových typů produktové nabídky firem, které se specializují na konstrukci a výrobu vřeten. Cílem výrobců je snížit výrobní náklady stroje a zvýšit produktivitu a přesnost, toho je zejména dosahováno zaváděním strojů s přímým pohonem, nejčastěji elektrovřetenem. U strojů s univerzálním využitím se nejčastěji řeší pohon pomocí převodovky, ve většině případů planetovými. Převážná část strojů pro konvenční obrábění využívá pohonu přes řemenový převod, jelikož tlumí vibrace a rázy, což umožňuje přesnější obrábění a lepší jakost obrobené plochy. Velmi časté použití elektrovřeten je také u konstrukcí pro brousící stroje, větší stroje kombinují elektrovřeteno s integrovanou převodovkou. Obecně lze říci, že převod pomocí převodovky se využívá u strojů určených pro hrubší obrábění, kde jsou zapotřebí vysoké krouticí momenty a nižší otáčky. Převody řemenem díky vyrovnanému poměru otáčky - krouticí moment mají široké možnosti využití. Pro vysoké otáčky se používají hybridní ložiska, díky keramickým valivým elementům, které mají nižší hmotnost a působí na ně menší odstředivé síly, mají klidnější chod. Nejběžnější dnes používanou metodou mazání vřetenových ložisek je systém olej – vzduch, případně mazání ložisek trvalou tukovou náplní. Využívá se centrálních mazacích systémů, které zaručují spolehlivost a optimální tribologické podmínky v uložení ložiska. Pro dosažení vyšší výrobní přesnosti je okamžitý stav vřetena monitorován elektronickými čidly různého charakteru. Využívají se například vibrační čidla nebo teplotní čidla pro teplotní stabilizaci vřetena. Z tohoto důvodu jsou vřetena chlazena vzduchem nebo kapalinou, zejména elektrovřetena, protože díky ztrátám ve vinutí uloženého v tělese vřetena vzniká teplo. Pro upínání nástrojů se většinou využívá systémů umožňujících automatické upnutí, což umožňuje zvýšení produktivity práce. Jejich typ je ovlivněn maximálními otáčkami, pro nižší otáčky se využívají nejčastěji systémy s kuželem ISO, případně Coromant Capto®. Pro vyšší otáčky se používají upínací systémy s kuželem HSK. Těsnění vřetena je řešeno převážně bezdotykově pomocí labyrintů, které bývají doplněny přetlakovým vzduchovým těsněním. Nejpoužívanějším typem zástavby u obráběcích strojů je tubus, jeho výhodou je snadná výměna v případě potřeby, což snižuje náklady na odstávku stroje.

Do budoucna je snahou výrobců motorů minimalizovat rozměry a tepelné ovlivňování okolí. Narůstá také podíl synchronních pohonů, jejich výhodou je vyšší výkon při stejném zastavěném prostoru a snadné řízení v polohové vazbě. Výrobci ložisek se snaží optimalizovat vnitřní geometrii a mazání ložisek, za účelem snížení vzniku tepla při provozu. Lze také očekávat vzrůstající podíl elektrovřeten, díky tlaku na ekonomiku (snížování provozních nákladů a cen výrobků) a ekologii (snížování množství řezných kapalin apod.) výroby.



5 POUŽITÉ ZDROJE

Literatura:

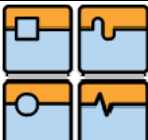
- [1] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. MM průmyslové spektrum – speciální vydání září, 2006. ISSN 1212-2572
- [2] Borský, V. *Základy stavby obráběcích strojů*, 2. vydání Brno: VUT Brno, 1991. 214 s. ISBN 80-214-0361-6
- [3] Borský, V. *Obráběcí stroje*, 1. vydání Brno: VUT Brno, 1992. 216 s. ISBN 80-214-0470-1
- [4] Kříž, R. a kol. *Strojní součásti I*, 3. opravené vydání Praha: SNTL, 1990. 192 s. ISBN 80-03-00217-6

World wide web:

- [5] *Lathes.co.uk* [online]. [cit. 2008-3-20].
URL: <<http://www.lathes.co.uk/atlas/img0.gif>>
- [6] *GMN USA* [online]. c2007, [cit. 2008-3-20].
URL: <<http://www.gmnusa.com/frameset.html>>
- [7] *Milwaukee MachineTool Corporation* [online]. c2006, [cit. 2008-4-25].
URL: <http://www.milwaukee machinetool.com/Spindle_Facts.htm>
- [8] *Hlavní katalog Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2008-4-20].
URL: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MainCatalogue_2008.zip>
- [9] *Ball and roller bearings* [online]. c1997, [cit. 2008-4-25].
URL: <http://www.ahrinternational.com/PDF_catalogues/KOYO/cat203e-1_ball_and_roller_bearings.pdf>
- [10] *High precision bearings* [online]. c2003, [cit. 2008-2-20].
URL: <<http://www.skf.com/files/261386.pdf>>
- [11] *CNC turning centers* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.haascnc.com/pdf/brochure/SLBrochure.pdf>>
- [12] *Horizontal machining centers* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.haascnc.com/pdf/brochure/HMCbrochure.pdf>>
- [13] *Vertical machining centers* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.haascnc.com/pdf/brochure/VMCbrochure.pdf>>
- [14] *Modular clamping technology* [online]. [cit. 2008-2-20].
URL: <<http://www.ame.com/images/productcatalog.pdf>>



- [15] *Comprehensive Knowledge in High Speed Cutting* [online]. [cit. 2008-2-20].
URL: <http://www.ibag-hsc.de/pdf_de/Prospekte/Katalog_en.pdf>
- [16] *IBAG Motorspindeln für Ihre HSC – Anwendungen* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.ibag-hsc.de/pdf_de/Prospekte/Uebersicht_de.pdf>
- [17] *Alpstool.co.jp* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.alpstool.co.jp/product/nctool/nc04capto.htm>>
- [18] *Horizontální obráběcí centrum H 40* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/H_40_A4_CJ.pdf>
- [19] *Horizontální obráběcí centrum H 50* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/H_50_A4_CJ.pdf>
- [20] *Horizontální obráběcí centrum H 63 FA* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/H_63_FIVE-AXIS_A4_CJ.pdf>
- [21] *Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/MCFV_2080_CZ.pdf>
- [22] *Soustružnické centrum TCH 500* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/TCH_500_A4_CJ.pdf>
- [23] *TCH 500*. Zlín: Tajmac – ZPS, 2003. 3 s.
- [24] *Kovosvit MAS, a.s.* [online]. c2008, [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.kovosvit.cz/2008/cs/index.html>>
- [25] *Setco The AirShield* [online]. c2003, [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.setcousa.com/files/pdf/S-0006-1a.pdf>>
- [26] *Setco* [online]. c2007, [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.setcousa.com/?fuseaction=home.viewPage&page_id=D3E0E0AB-EE77-6836-12B142E5E75E03D0>
- [27] *TOS VARNSDORF Výrobní program* [online]. c2006, [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.tosvarnsdorf.cz/Str/Cz/SecA/Tos_prog.html>
- [28] *UNION T 150* [online]. c2007, [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.union-bohrwerke.de/en/produkte/download/UNION-T-en.pdf>>
- [29] *UNION PR 150plus* [online]. c2007, [cit. 2008-4-30].
URL: <<http://www.union-bohrwerke.de/en/produkte/download/UNION-PR150-en.pdf>>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 45
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [30] *TURNING SPINDLES* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.weissgmbh.com/open_file.php?file=upload_1127948783.pdf&verzeichnis=download_de&readsave=0&mt=application/pdf>
- [31] *MILLING SPINDLES* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.weissgmbh.com/open_file.php?file=upload_1127949044.pdf&verzeichnis=download_de&readsave=0&mt=application/pdf>
- [32] *FRANZ KESSLER VÝROBKY* [online]. [cit. 2008-3-20].
URL: <http://www.franz-kessler.de/pdf/tschechisch/produkt_tschechisch_screen.pdf>
- [33] *GMN Grinding spindles* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.gmn.de/front_content.php?idcat=64&idart=187&lang=2>
- [34] *GMN Milling spindles and Drilling spindles* [online]. [cit. 2008-4-30].
URL: <http://www.gmn.de/front_content.php?idcat=65&idart=190&lang=2>
- [35] *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2008-3-25].
URL: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-poctvrte-vretena-a-vretenova-loziska>>



6 POUŽITÉ ZKRATKY, SYMBOLY A VELIČINY

kW	- kilowatt (10^3 W)
Nm	- newtonmetr
Δ_A [mm]	- házení zadního ložiska
Δ_B [mm]	- házení předního ložiska
Δ [mm]	- házení na předním konci vřetena
L [mm]	- vzdálenost ložisek
L_o [mm]	- optimální vzdálenost ložisek
a [mm]	- délka převislého konce vřetena
δ [mm]	- celková deformace
δ_V [mm]	- deformace vřetena
δ_L [mm]	- deformace ložisek
δ_S [mm]	- deformace skříně
δ_{IV} [mm]	- deformace vřetena mezi ložisky
δ_{2V} [mm]	- deformace převislého konce vřetena
F [N]	- síla působící na vřeteno
E [MPa]	- modul pružnosti v tahu
J_1 [kg.m ²]	- moment setrvačnosti vřetena mezi ložisky
J_2 [kg.m ²]	- moment setrvačnosti převislého konce vřetena
C_A [m.N ⁻¹]	- poddajnost ložiska A
C_B [m.N ⁻¹]	- poddajnost ložiska B

**7 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ**

Obr. 1 Soustruh 1. pol. 20. století	12
Obr. 2 Elektrovřeteno	12
Obr. 3 Skladba vřetena	13
Obr. 4 Vliv házení ložisek na přesnost chodu	14
Obr. 5 Deformace vřetena - vliv tuhosti vřetena, ložisek, skříně	15
Obr. 6 Vliv poddajnosti vřetena	16
Obr. 7 Vliv poddajnosti ložisek	16
Obr. 8 Uložení vřetena do tubusu	19
Obr. 9 Uložení vřetena do skříně	19
Obr. 10 Uložení hydrodynamického ložiska	20
Obr. 11 Typy hydrostatických ložisek	21
Obr. 12 Typy hydrostatických ložisek	21
Obr. 13 Typy valivých ložisek	22
Obr. 14 Metody předeprnutí ložisek	22
Obr. 15 Způsoby mazání vřetenových ložisek	23
Obr. 16 Náhon vřetena řemenem	24
Obr. 17 Přímý náhon	24
Obr. 18 Elektrovřeteno	25
Obr. 19 Upínací systém s ISO kuželem	25
Obr. 20 Upínací systém s kuželem HSK	26
Obr. 21 Profil upínacího systému Coromant Capto®	26
Obr. 22 Vedení kapaliny v ose vřetena	27
Obr. 23 Vedení kapaliny tělesem vřetena	27
Obr. 24 Příklady dotykového těsnění	27
Obr. 25 Příklady bezdotykového těsnění	28
Obr. 26 Příklady bezdotykového těsnění	28
Obr. 27 Těsnicí systém AirShield™	29
Obr. 28 Vřeteno H 63 FA při pětiosém obrábění	31
Obr. 29 H 50	31
Obr. 30 Charakteristiky TCH 500	32
Obr. 31 Pohled na náhon vřetena SPH 50 CNC	33
Obr. 32 Vřeteno stroje UNION T 150	35
Obr. 33 Vřeteno stroje UNION PR 150plus	36
Obr. 34 Vřeteno 800029	38
Obr. 35 Momentová charakteristika vřetena	39
Obr. 36 Momentová charakteristika vřetena LC 200	40
Obr. 37 Momentová charakteristika vřetena ke zpracování dřeva	40
Obr. 38 Vřeteno TSP 80	41
Obr. 39 Vřeteno TSE	41



8 SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1	Parametry vřetena stroje H 40	30
Tab. 3.2	Parametry vřetena stroje H 50	30
Tab. 3.3	Parametry vřetena stroje H 63 FA	30
Tab. 3.4	Parametry vřetena stroje MCFV 2080	31
Tab. 3.5	Parametry vřetena stroje TCH 500	32
Tab. 3.6	Parametry vřetena stroje MCV 1270	32
Tab. 3.7	Parametry vřetena stroje MCU 630V	33
Tab. 3.8	Parametry vřetena stroje SPH 50 CNC	33
Tab. 3.9	Parametry vřetena stroje MASTURN 70 CNC	33
Tab. 3.10	Parametry vřetena stroje EC – 1600	34
Tab. 3.11	Parametry vřetena stroje VR – 11 B	34
Tab. 3.12	Parametry vřetena stroje SL – 40L	34
Tab. 3.13	Parametry vřetena stroje WH (Q) 105 CNC	34
Tab. 3.14	Parametry vřetena stroje W 100 A	35
Tab. 3.15	Parametry vřetena stroje UNION T 150	35
Tab. 3.16	Parametry vřetena stroje UNION PR 150plus	36
Tab. 3.17	Parametry standardních vřeten s asynchronním motorem	37
Tab. 3.18	Parametry standardních vřeten se synchronním motorem	37
Tab. 3.19	Parametry hydrostatického vřetena	37
Tab. 3.20	Parametry standardních vřeten s asynchronním motorem	38
Tab. 3.21	Parametry standardních vřeten se synchronním motorem	38
Tab. 3.22	Parametry vřetena 80029	38
Tab. 3.23	Parametry vřetena pro univerzální stroje	39
Tab. 3.24	Parametry vřetena LC 100/200	39
Tab. 3.25	Parametry synchronního vřetena soustruhů	40
Tab. 3.26	Parametry vřeten ke zpracování dřeva	40
Tab. 3.27	Hodnoty otáček dle typu ložiska	41