



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RYCHLOŘEZNÉ FRÉZOVACÍ NÁSTROJE VYRÁBĚNÉ PRÁŠKOVOU METALURGIÍ

HIGH SPEED STEEL MILLING CUTTERS MADE BY POWDER METALLURGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Martin Svoboda**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Rychlořezné frézovací nástroje vyráběné práškovou metalurgií

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na frézy z rychlořezných ocelí vyráběných pomocí práškové metalurgie.

Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Charakteristika metody frézování
2. Charakteristika rychlořezných ocelí
3. Charakteristika práškové metalurgie
4. HSS PM frézovací nástroje a jejich využití pro praxi

Závěr

Seznam literatury:

PTÁČEK, L. a kol.. Nauka o materiálu I. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN: 80-7204-283-1.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.


HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce je rešerší zabývající se frézami z rychlořezných ocelí vyrobenými pomocí práškové metalurgie (HSS PM frézy). První až třetí kapitola se obecně věnuje frézování, rychlořezným ocelím a práškové metalurgii. Ve čtvrté kapitole jsou zpracovány konkrétní HSS PM frézy od několika výrobců. Přehled obsahuje mechanické vlastnosti fréz a jejich možné použití. Je zaměřen na dominantní typ HSS PM fréz, což jsou frézy stopkové.

Klíčová slova

Frézování, rychlořezná ocel, prášková metalurgie, HSS PM frézy, stopkové frézy

ABSTRACT

Bachelor thesis is a research work describing milling cutters made of high speed steel by powder metallurgy (HSS PM milling cutters). In chapters one, two and three are generally described milling, high speed steels and powder metallurgy. In chapter four are introduced particular HSS PM milling cutters of a few producers. The summary contains mechanical properties of cutters and suitability for machining. It is focused on main type of HSS PM cutters, which are the end mills.

Key words

Milling, high speed steel, powder metallurgy, HSS PM milling cutters, end mills

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, M. *Rychlořezné frézovací nástroje vyráběné práškovou metalurgií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Rychlořezné frézovací nástroje vyráběné práškovou metalurgií** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Svoboda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a konzultace při vypracování bakalářské práce. Děkuji také rodině za dobré zázemí a jejich podporu.

OBSAH

ABSTRAKT.....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA METODY FRÉZOVÁNÍ	10
1.1 Kinematika frézování.....	10
1.2 Rozdělení metod frézování	11
1.2.1 Válcové frézování	12
1.2.2 Čelní frézování.....	13
1.3 Průřez třísky	13
1.4 Frézovací nástroje	14
1.5 Frézovací stroje	16
2 CHARAKTERISTIKA RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ	18
2.1 Zařazení a značení rychlořezných ocelí	18
2.2 Chemické složení	19
2.3 Tepelné zpracování	22
2.3.1 Žihání na měkko	22
2.3.2 Kalení	23
2.3.3 Popouštění.....	23
2.4 Základní vlastnosti a použití rychlořezných ocelí	25
3 CHARAKTERISTIKA PRÁŠKOVÉ METALURGIE	26
3.1 Výrobní postup.....	26
3.1.1 Výroba prášků.....	27
3.1.2 Příprava práškové směsi	27
3.1.3 Zhutňování	28
3.1.4 Slinování (spékání, sintrace)	29
3.1.5 Konečné úpravy	31
3.2 Využití práškové metalurgie	32
3.3 Slinování rychlořezných ocelí.....	32
4 HSS PM FRÉZOVACÍ NÁSTROJE A JEJICH VYUŽITÍ PRO PRAXI.....	33
4.1 ZPS-FN	33
4.2 Hoffmann Group	36
4.3 Emuge-Franken.....	39

4.4 WNT.....	42
4.5 Další výrobci.....	46
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

ÚVOD

Dnešní průmyslová výroba klade požadavky na stálé zvyšování produktivity, zlepšování kvality a snižováním nákladů. Jinak tomu není ani v oblasti třískového obrábění. Jedním z progresivních směrů je i výroba a použití nástrojů z rychlořezných ocelí (HSS), vyrobených pomocí metod práškové metalurgie (PM). Dle [1] byl výrobní postup vytvořen v roce 1965 (firma American Crucible Steels) a v roce 1969 uveden do praxe (švédská firma Stora-ASEA).

Oblast HSS PM kombinuje výhodné vlastnosti rychlořezných ocelí a metod práškové metalurgie. Jedná se zejména o tyto vlastnosti: vyšší obsah legujících prvků, vyšší houževnatost, lepší odolnost proti opotřebení, vyšší tvrdost a vyšší tvrdost za zvýšené teploty. Další výhodou je prodloužení životnosti nástroje a zvýšení výkonu (řezné a posuvové rychlosti). HSS PM materiály jsou navíc velmi vhodné pro aplikaci povlaků, přinášejících další zlepšení mechanických vlastností a prodloužení jejich trvanlivosti. Vhodné oblasti uplatnění jsou například hrubovací frézovací nástroje, nástroje na výrobu ozubení, protahovací nástroje nebo pásové pily [2].

Tato rešeršní bakalářská práce je zaměřena na frézy z rychlořezných ocelí vyrobené pomocí práškové metalurgie. Čtvrtá kapitola se zabývá stopkovými frézami tvořícími dominantní skupinu HSS PM frézovacích nástrojů.

Mezi parametry stopkových fréz se řadí [3]:

- typ frézy (např. pro hrubování nebo dokončování) a s tím související vroubkování profilu (neboli provedení bříty, např. N, HR nebo W),
- geometrie (např. úhel sklonu šroubovice nebo úhel čela),
- rozměry frézy (např. délka nebo průměr),
- počet zubů,
- provedení stopky (upínací prvky, např. weldon nebo rovná stopka),
- provedení špičky (např. s ostrou hranou 90 ° nebo rádius),
- materiál frézy,
- povlak frézy.

1 CHARAKTERISTIKA METODY FRÉZOVÁNÍ

Frézování je metoda obrábění ploch nerotačních součástí, při které je materiál odebírán břitý rotujícího nástroje - frézy. Proces odebírání materiálu je přerušovaný, jednotlivé zuby frézy odřezávají z obrobku třísky, jejichž tloušťka se proměnlivě mění. Posuvný pohyb obvykle koná obrobek, zpravidla ve směru kolmém k ose nástroje. Řezný pohyb probíhá po zkrácené cykloidě [4,5].

1.1 Kinematika frézování

Hlavní pohyb je rotační a je konán frézou. Posuvový pohyb je nejčastěji přímočarý a obvykle je konán obrobkem. Při okružním nebo planetovém frézování však může být posuvový pohyb rotační a může jej konat fréza nebo obrobek. U moderních frézek se posuvové pohyby realizují plynule ve všech směrech [6].

K základním řezným podmínkám patří řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$], posuvová rychlost v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$], posuv na zub f_z [mm] a hloubka frézování H [mm] [4].

Řezná rychlost je volena podle obrábělnosti materiálu (dělí se do tříd), materiálu frézy, způsobu obrábění (od hrubování až po dokončovací obrábění), způsobu upnutí a řezné kapaliny. Posuvovou rychlost je třeba nastavit především s ohledem na obrábělnost materiálu, druh frézy a požadovanou jakost povrchu. Hloubka frézování je ovlivněna například použitým nástrojem, tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrobek, možnostmi vzniku chvění [7].

Hodnoty řezné rychlosti v_c , posuvové rychlosti v_f a rychlosti řezného pohybu v_e se stanoví na základě vztahů (1.1), (1.2), (1.3) [5].

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (1.1)$$

Kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 D [mm] – průměr frézy,
 n [min^{-1}] – otáčky frézy.

$$v_f = z \cdot f_z \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (1.2)$$

Kde: v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – posuvová rychlost (obvykle se ale používají jednotky [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]),
 z [-] – počet zubů,
 f_z [mm] – posuv na zub,
 n [min^{-1}] – otáčky frézy.

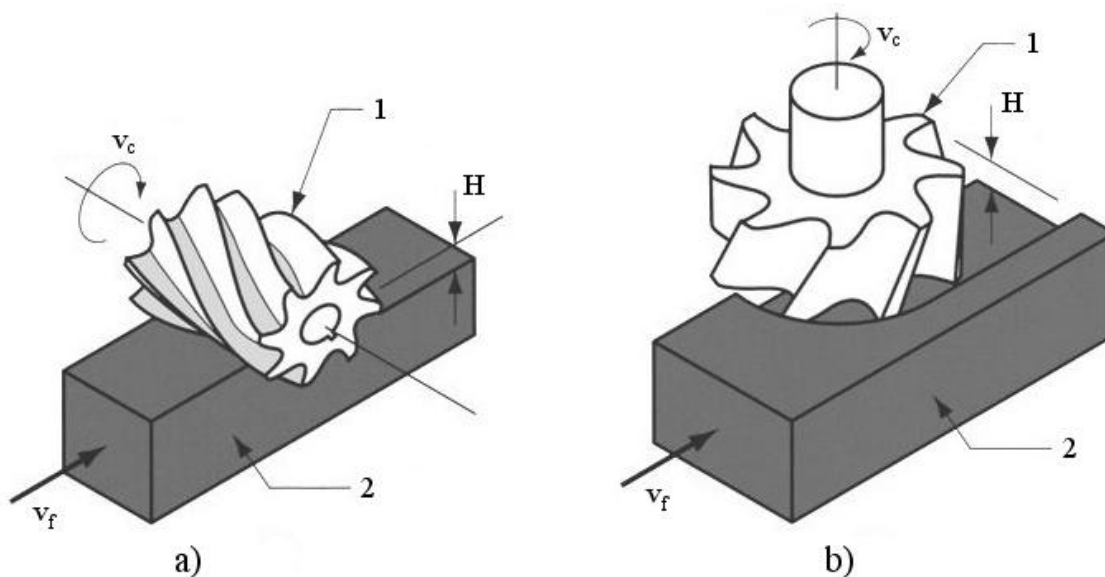
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = n \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + (z \cdot f_z)^2} \quad (1.3)$$

- Kde: v_e [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – rychlost řezného pohybu,
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – posuvová rychlost (obvykle se ale používají jednotky [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]),
 n [min^{-1}] – otáčky frézy,
 D [mm] – průměr frézy,
 z [-] – počet zubů,
 f_z [mm] – posuv na zub.

Z důvodu, že $v_c \gg v_f$ probíhá řezný pohyb po zkrácené cykloidě blízké kružnici [5].

1.2 Rozdělení metod frézování

Dle použité frézy se z technologického hlediska rozlišuje válcové frézování (obvodem válcové frézy) a frézování čelní (čelem čelní frézy), oba způsoby jsou zobrazeny na obr. 1.1. Z těchto dvou způsobů dále ještě vycházejí například okružní nebo planetové frézování [4,5].

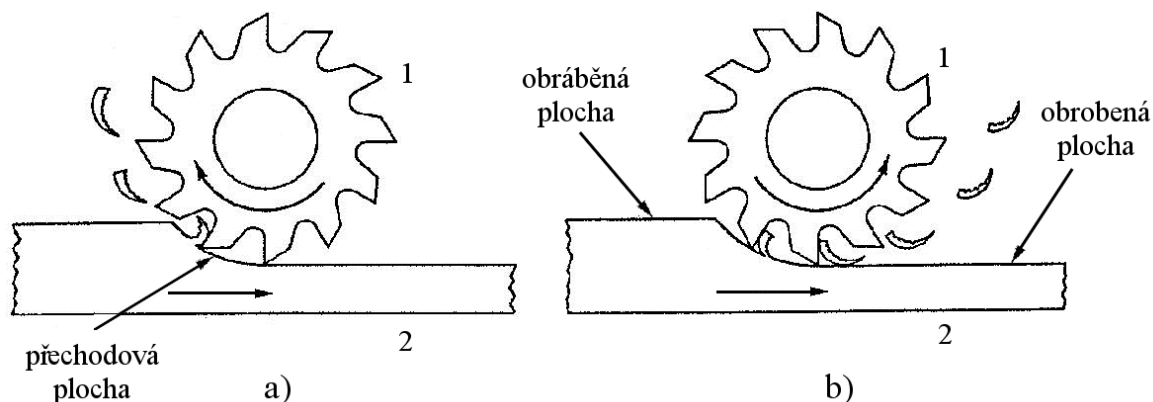


a) válcové frézování, b) čelní frézování
 1 – fréza, 2 – obrobek, v_c – řezná rychlost,
 v_f – posuvová rychlost, H – hloubka odebírané vrstvy

Obr. 1.1 Základní způsoby frézování [5,8].

1.2.1 Válcové frézování

Fréza má zuby pouze na svém obvodu. Hloubka frézování (H) se nastavuje kolmo na směr posuvu a zároveň kolmo na osu nástroje. Podle kinematiky se rozlišují dva druhy frézování: nesousledné (protisměrné) a sousledné (sousměrné), oba způsoby jsou na obr. 1.2 [4].



a) nesousledné frézování, b) sousledné frézování

1 – fréza, 2 – obrobek

Obr. 1.2 Kinematika válcového frézování [5,9].

Nesousledné frézování

Nástroj rotuje proti směru posuvu obrobku. Průřez třísky se mění z nulové počáteční do konečné maximální hodnoty. Mezi výhody nesousledného frézování patří [4]:

- nezávislost trvanlivosti nástroje na okujích, písčitém povrchu obrobku,
- na rozdíl od sousledného frézování není nutné vymezovat vůli mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky,
- dochází k menšímu opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy (při vřezávání) není závislý na hloubce řezu.

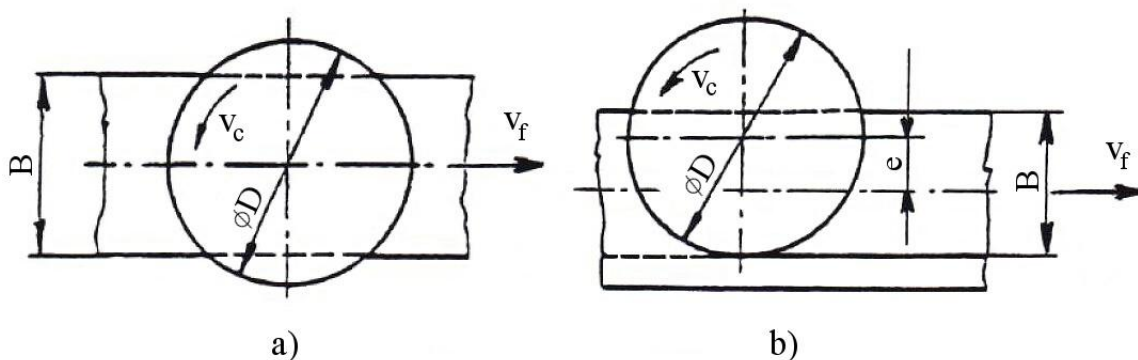
Sousledné frézování

Nástroj rotuje po směru posuvu obrobku. Průřez třísky se mění z maximální počáteční do konečné nulové hodnoty. Sousledný způsob frézování lze používat pouze na přizpůsobené frézce. Mezi jeho výhody patří [4]:

- vyšší trvanlivost břitů, která umožní obrábět vyšší řeznou rychlostí a rychlejším posuvem,
- je potřeba menší řezný výkon,
- použití jednodušších upínacích přípravků a menší sklon ke chvění,
- menší dosažitelná drsnost povrchu.

1.2.2 Čelní frézování

Fréza má zuby jak na svém obvodu, tak i na svém čele. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše rozlišujeme frézování symetrické (osa nástroje protíná střed obráběné plochy) a nesymetrické (osa nástroje středem frézované plochy neprochází), rozdíly jsou zobrazeny na obr. 1.3 [6].



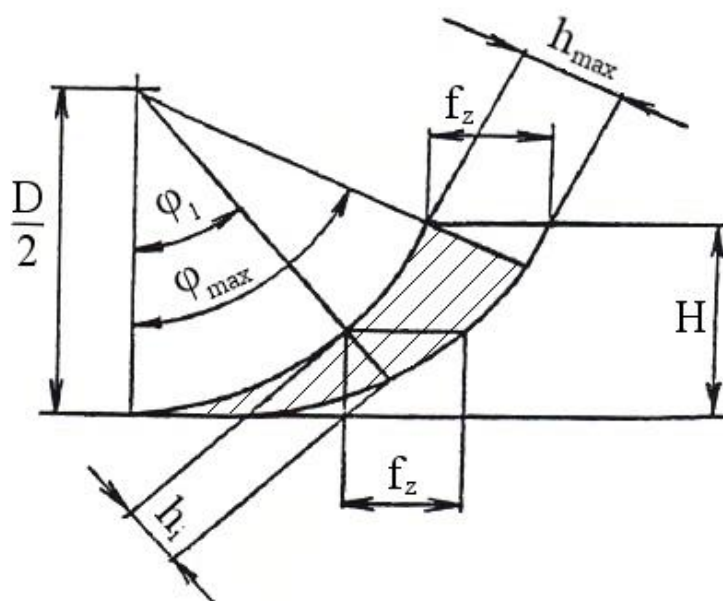
a) symetrické frézování, b) nesymetrické frézování

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, B – šířka frézované plochy,
 $\varnothing D$ – průměr frézy, e – vzdálenost osy frézy od osy frézované plochy

Obr. 1.3 Čelní frézování [5].

1.3 Průřez třísky

Průřez třísky pro válcovou frézu je na obr. 1.4.



Jmenovitá tloušťka třísky h_i je závislá na úhlu posuvového pohybu φ_1 .

Obr. 1.4 Průřez třísky při válcovém frézování [5].

Výpočet jmenovitého průřezu třísky pro polohu zubu frézy i je označen A_{Di} a vyjádřen podle vztahu (1.4) [4].

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.4)$$

Kde: A_{Di} [mm²] – jmenovitý průřez třísky,
 h_i [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,
 a_p [mm] – šířka záběru ostří,
 f_z [mm] – posuv na zub,
 φ_i [°] – úhel posuvového pohybu.

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky A_{Dmax} , která bude při $\varphi_i = \varphi_{max}$, se stanoví podle vztahu (1.5) [4].

$$A_{Dmax} = h_{max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{max} \quad (1.5)$$

Kde: A_{Dmax} [mm²] – maximální velikost jmenovitého průřezu třísky,
 h_{max} [mm] – maximální jmenovitá tloušťka třísky,
 a_p [mm] – šířka záběru ostří,
 f_z [mm] – posuv na zub,
 φ_{max} [°] – maximální úhel posuvového pohybu.

1.4 Frézovací nástroje

V praxi je používáno velké množství různých frézovacích nástrojů, obvykle jsou rozděleny podle různých hledisek [4,6]:

□ Podle umístění zubů:

- válcové,
- čelní,
- válcové čelní.

□ Podle nástrojového materiálu zubů:

- rychlořezná ocel,
- slinuté karbidy,
- cermety,
- řezná keramika,
- PKNB,
- PD.

- Podle provedení zubů:
 - frézy se zuby frézovanými,
 - frézy se zuby podsoustruženými.

- Podle směru zubů (vzhledem k ose rotace frézy):
 - frézy se zuby přímými,
 - frézy se zuby ve šroubovici pravé nebo levé.

- Podle počtu zubů (vzhledem k průměru frézy):
 - jemnozubé (počet zubů větší než $z > 1,25 \cdot \sqrt{D}$),
 - polohrubozubé (pro středně velké úběry),
 - hrubozubé (pro velké úběry při hrubování).

- Podle konstrukčního uspořádání:
 - frézy celistvé (těleso i zuby jsou z jednoho materiálu),
 - s vloženými noži (méně časté),
 - s vyměnitelnými břitovými destičkami (ty jsou upevněny k tělesu frézy).

- Podle geometrického tvaru funkční části jsou to frézy:
 - válcové,
 - kotoučové,
 - úhlové,
 - drážkovací,
 - kopirovací,
 - rádiusové,
 - na výrobu ozubení a další.

- Podle způsobu upnutí:
 - frézy nástrčné (upnutí za centrální otvor), viz obr. 1.5,
 - frézy stopkové (upnutí za válcovou nebo kuželovou stopku), viz obr. 1.6.

- Podle smyslu otáčení frézy (při pohledu od vřetena stroje):
 - pravořezné,
 - levořezné.



Obr. 1.5 Nástrčná fréza [10].



Obr. 1.6 Stopková fréza [11].

1.5 Frézovací stroje

V praxi se užívá široké spektrum frézek s různými parametry. Jejich možnosti se dále rozšiřují použitím širokého sortimentu příslušenství (např. vrtací hlavy, otočné stoly, dělicí přístroje). Jako základní dělení se používá toto: konzolové, stolové, rovinné, speciální [4].

- Konzolové frézky [5]:
 - svislé (vřeteno má osu svisle),
 - vodorovné (vřeteno má osu vodorovně),
 - univerzální (vřeteno má osu vodorovně a pracovní stůl je otočný o $\pm 45^\circ$ ve vodorovné rovině).

- Stolové frézky [5]:
 - svislé (vřeteno má osu svisle),
 - vodorovné (vřeteno má osu vodorovně).

□ Rovinné frézky [4]:

Bývají robustní konstrukce, která umožňuje obrábět na nich těžké součásti. Pracovní stůl je pohyblivý vodorovně, pouze v jednom směru.

□ Speciální frézky [5]:

Tyto frézky jsou určeny pro práci na speciálně zaměřených procesech, jako jsou frézování závitů, ozubení ozubených kol a další procesy.

V dnešní době mají velký význam víceosá CNC obráběcí centra. Tato centra jsou schopna efektivně provádět různé obráběcí operace [6]. Dva příklady takových obráběcích center jsou na obr. 1.7 a 1.8.



Obr. 1.7 Pětiosé CNC obráběcí centrum Hurco VMX 42 HSRTi [12].



Obr. 1.8 CNC horizontální frézovací centrum TAJMAC-ZPS H 630 [13].

2 CHARAKTERISTIKA RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ

Za jednoho z prvních předchůdců rychlořezných ocelí lze označit ocel vytvořenou v roce 1900 R. W. Taylorem a W. Whitem se složením 1,85 % C, 8 % W, 7,8 % Cr, 0,3 % Mn. Později bylo toto složení upraveno na 0,7 % C, 19 % W, 5,5 % Cr, 0,3 % V a může se označovat za předchůdce dnešních rychlořezných ocelí. S přibývajícím poznatky o účincích a vlastnostech jednotlivých legur se chemické složení průběžně měnilo. I v širokém spektru různých konkurenčních materiálů zůstává význam rychlořezných ocelí v technické praxi zachován [14].

Původní význam označení „rychlořezná“ ocel vyjadřoval dříve neobvykle vysokou řeznou rychlost (v angličtině označení High Speed Steel, často zkracované zkratkou HSS, v češtině zkratkou RO). Zvýšení řezné rychlosti ale vedlo k nutnosti změn technologie a následnému technickému rozvoji, například bylo nutno upravit pohony a odstranit transmisi obráběcích strojů [15].

Další možnosti vylepšování vlastností nástrojů z RO jsou ve využití práškové metalurgie (tímto tématem se zabývá 3. kapitola práce), nitridování, boridování a povlakování různými metodami [15].

2.1 Zařazení a značení rychlořezných ocelí

Dle normy ČSN jsou rychlořezné oceli podskupinou nástrojových ocelí třídy 19 a jsou označovány ve formátu 19 8xx [15].

Dělení nástrojových ocelí je uvedeno v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Rozdělení nástrojových ocelí [15].

Nástrojové oceli	nelegované (uhlíkové)	legované (nízko, středně a vysokoalegované)	rychlořezné (vysokoalegované)
Označení dle ČSN	19 0xx - 19 2xx	19 3xx - 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku [%]	0,3 - 1,4	0,8 - 1,2	0,7 - 1,3
Obsah legur [%]	do 1 %	10 až 15	více než 30
Legury	Mn, Cr, Si	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kalici prostředí	voda	olej	vzduch, vakuum
Tvrdość [HRC]	62 - 64	66	64 - 68
Typické použití	ruční nářadí – pilky, pilníky, sekáče a další	strojní nářadí pro nízké řezné rychlosti (do 25 m/min) – např. vrtáky nebo frézy	nástroje pro řezné rychlosti do 40 m/min – např. vrtáky, výhrušnice, závitníky, frézy

Dle normy EN ISO jsou rychlořezné oceli označovány písmeny HS a dále mezi pomlčkami následují hmotnostní procenta obsahu prvků v přesném pořadí: wolfram, molybden, vanad a kobalt. Například ocel **HS 10-4-3-10** obsahuje: 10 hm. % W, 4 hm. % Mo, 3 hm. % V a 10 hm. % Co. Dále rychlořezné oceli standardně obsahují kolem 4 hm. % chromu [15].

Rychlořezné oceli jsou také označovány jako ledeburitické oceli. Důvod je následující: většina legur jsou totiž prvky, které rozšiřují oblast existence feritu a zmenšují oblast existence austenitu v soustavě Fe-Fe₃C. Dochází k posuvu eutektoidního bodu (bod S) a bodu maximální rozpustnosti uhlíku v austenitu (bod E) směrem k nižším hodnotám obsahu uhlíku (směrem doleva). Strukturální složka, nazývaná ledeburit, se proto může vyskytovat i při obsahu uhlíku nižším než 2,11 %. Je však nutné uvažovat rozdíl mezi touto strukturální složkou a typickým ledeburitem nelegovaných bílých litin, který se může lišit chemickým složením i morfoloogicky [16].

Rychlořezné oceli lze rozdělovat podle různých kritérií:

- Podle technologie výroby [15]:
 - lité,
 - tvářené,
 - **vyráběné práškovou metalurgií.**

- Podle výkonu [15]:
 - pro běžné výkony (např. ocel 19 820),
 - výkonné (např. oceli 19 802, 19 830),
 - vysoce výkonné (např. oceli 19 856, 19 861).

- Podle chemického složení [17]:
(toto je v současné době nejvíce používané kritérium)
 - wolfram-chrom-vanadové oceli,
 - wolfram-chrom-molybden-vanadové oceli,
 - wolfram-chrom-vanad-kobaltové oceli,
 - wolfram-chrom-molybden-vanad-kobaltové oceli.

2.2 Chemické složení

Rychlořezné nástrojové oceli se vyznačují velkým množstvím legur (legujících přísad). Je to z důvodů zvýšení odolnosti proti popouštění a zabránění ztráty řezivosti [14].

Zdroj [15] uvádí, že rychlořezné oceli mají obsah uhlíku mezi 0,7-1,3 %, obsah legur přesahuje 30 % a hlavními legurami jsou wolfram, molybden, chrom, vanad a kobalt.

Dle [18] může mít typická rychlořezná ocel chemické složení: 0,75 % C, 18 % W, 1 % V, 4 % Cr.

Příklady chemického složení některých ocelí jsou v tab. 2.2 a také v příloze 1.

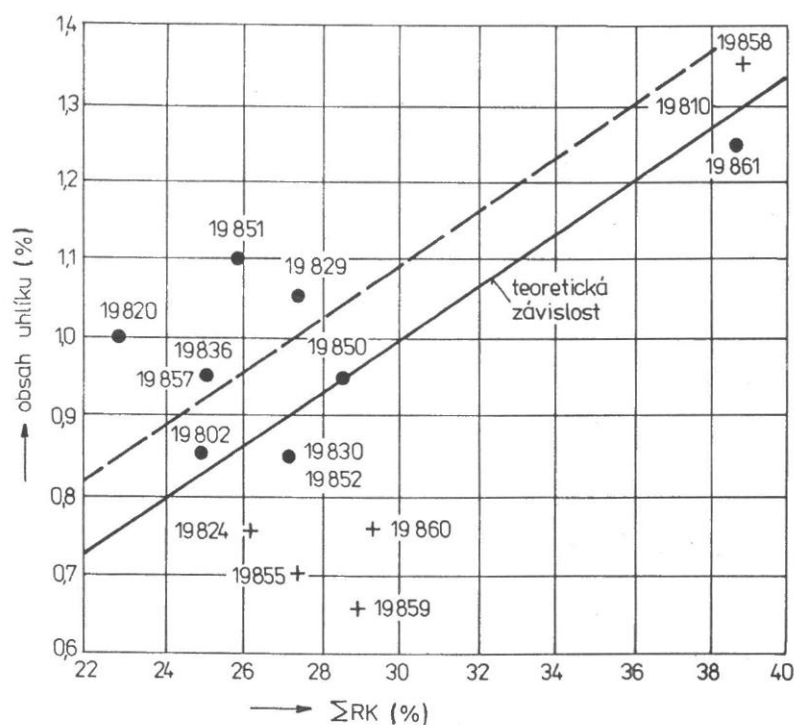
Tab. 2.2 Chemické složení některých rychlořezných ocelí [15].

Druh RO	Značení dle ČSN	C [hm %]	Cr [hm %]	W [hm %]	Mo [hm %]	V [hm %]	Co [hm %]
18 % W	19 855	0,70	4,2	18,0	-	1,50	4,8
	19 859	0,50	4,2	18,0	-	1,75	9,5
	19 860	0,75	4,2	18,0	0,7	1,60	9,5
10 % W	19 856	0,95	4,2	10,2	-	2,35	5,0
	19 857	0,95	4,2	10,2	-	2,35	9,8
W + Mo	19 850	0,95	4,2	5,8	5,0	2,00	8,0
	19 852	0,85	4,2	6,2	4,8	1,85	5,0
W + Mo	19 858	1,35	4,4	12,0	-	4,25	5,0
W + Mo + V	19 861	1,25	4,1	10,2	3,8	3,30	10,5

Uhlík

Obsah uhlíku se udává v rozmezí 0,7 až 4 %. Spodní hodnota obsahu uhlíku je dána snahou zamezit ztrátě řezivosti, způsobené konzervací delta feritu po zakalení [14,16].

Do nedávné doby bylo možné optimální obsah uhlíku při různém obsahu legur ilustrovat závislostí dle obr. 2.1.



Obr. 2.1 Optimální obsah uhlíku při různém obsahu legur [14].

V dnešní době však s rozvojem moderních technologií a zvýšeným obsahem vanadu (nad 4 %) dosahuje obsah uhlíku až 4 % [16].

Při nepřerušovaném řezu se s vyšším obsahem uhlíku zvyšuje řezivost. Při přerušovaném řezu se s vyšším obsahem uhlíku snižuje houževnatost, což je způsobeno vyšším obsahem karbidů. Obsah uhlíku v rychlořezné oceli ovlivňuje řezivost, mechanické vlastnosti a tepelné zpracování [14,16].

Wolfram

Je jednou ze základních legur rychlořezných ocelí. Wolfram vytváří směsné karbidy typu M_6C . Přibližně polovina karbidů M_6C tvoří eutektické karbidy, které se nerozpouští a zvyšují odolnost proti opotřebení. Druhá polovina tvoří drobné karbidy. Velká část těchto drobných karbidů se při kalení rozpouští a tím se zvyšuje obsah wolframu rozpuštěného v martenzitu. Od množství tohoto rozpuštěného wolframu (ale také dalších prvků) se odvíjí tepelná stálost materiálu. Malá část drobných karbidů, které se nerozpustí, brání při tepelném zpracování materiálu růstu zrna. Díky malé difuzní rychlosti, zpomalující jeho rozpad, pomáhá wolfram zachovat zvýšenou tvrdost i za vyšších teplot [14,16].

Molybden

Může zčásti nebo zcela nahrazovat wolfram (při obsahu do 5 % molybdenu lze počítat, že 1 % molybdenu je stejně účinné jako 1,4 až 1,9 % wolframu). Na vlastnosti rychlořezných ocelí má molybden obdobný vliv jako wolfram. Při obsahu přibližně do 2 % dodává materiálu lepší řezivost. Při obsahu do 5 % zvyšuje houževnatost, protože způsobuje výhodnější rozložení eutektických karbidů po odlití. Molybdenové RO je proto možné použít při práci přerušovaným řezem. Negativní vlastností je zvýšená citlivost na oduhlíčení a přehřátí při kalení, zvláště při obsahu nad 4 % molybdenu. Obecně zvyšuje prokalitelnost oceli [14,16].

Chrom

Po odlití bývá část chromu rozpuštěna v matici materiálu. Další část tvoří, spolu s malým množstvím dalších prvků, karbidy $M_{23}C_6$. V průběhu austenitizace se tyto karbidy úplně rozpouští. Chrom po rozpuštění zlepšuje prokalitelnost. Rozpuštěný uhlík zlepší zakalitelnost, ale má i negativní vliv, protože se zvýší obsah zbytkového austenitu (snížením teploty martenzit start a martenzit finiš). Z důvodu omezení obsahu zbytkového austenitu do 25 % a také z ekonomického hlediska (cena chromu) bývá obsah chromu v rychlořezných ocelích kolem 4 % [14,16].

Vanad

Většina vanadu tvoří velmi tvrdé karbidy V_4C_3 , malá část je v karbidech M_6C a v matici. Při úvaze o chemickém složení je třeba počítat s tím, že 1 % vanadu na sebe váže přibližně 0,17 % uhlíku. Přítomnost karbidů vanadu způsobuje zvýšení řezivosti a odolnosti proti opotřebení. Na druhou stranu je potom materiál těžko obrobitelný. Vanad zvyšuje sklon ke karbidické řádkovitosti a jeho drobné karbidy, které se rozpouští až při vysokých teplotách, brání růstu zrna [14,16].

Kobalt

Samostatné karbidy kobalt netvoří, kolem 97 % kobaltu je při kalení rozpuštěno v austenitu. Rozpuštěný v základní matici pak kobalt zvyšuje odolnost proti popouštění. Na druhou stranu se ale zvyšuje množství zbytkového austenitu, kvůli kterému je nutné provést popouštění vícekrát – tři až pětkrát. Kobalt způsobuje v materiálu větší sklon k oduhličování při tepelném zpracování [14,16].

Další prvky

Mangan svými vlastnostmi působí zhoršení obrobiteľnosti ocelí žíhaných naměkko. Také působí stabilizačně na zbytkový austenit. Obsah bývá omezen do 0,45 % [14].

Křemík stabilizuje delta ferit a jeho obsah bývá omezen do 0,45 % [14].

Nikl netvoří karbidy, úplně se rozpouští v matici a pomáhá zvyšovat houževnatost. Kvůli snaze omezit množství zbytkového austenitu (nikl je austenitotvorný) se omezuje množství niklu do 0,25 % [14].

Měď při obsahu asi od 0,3 % způsobuje růst a stabilizaci zrn austenitu. Problémem je, že měď, která se do oceli může dostat třeba špatným tříděním kovových odpadů, nelze metalurgickým postupem odstranit [16].

Síra, fosfor a dusík se považují za nečistoty. Jejich sloučeniny FeS, MnS a Fe₃P jsou nežádoucími vměstky, které zhoršují mechanické vlastnosti – houževnatost a únavovou pevnost. Fosfor působí nežádoucím způsobem na mezifázových rozhraních matrice-karbid. Dusík může způsobit vznik bublin [14,16].

2.3 Tepelné zpracování

U rychlořezných ocelí je tepelné zpracování důležitým procesem k dosažení požadovaných vlastností. Ve zkratce lze říci, že žíhání naměkko slouží ke snížení tvrdosti a tím ke zlepšení obrobiteľnosti; kalení a popouštění k zlepšení mechanických vlastností [14].

2.3.1 Žíhání naměkko

Provádí se ze dvou důvodů: prvním, častějším, důvodem je snížit tvrdost nástroje před obráběním. Používá se tzv. transformační žíhání naměkko. Ocel se zahřeje mírně nad teplotu A₁ (přibližné rozmezí 780 až 840 °C) a na této teplotě se udržuje po dobu 2 až 4 hodin. Pomalým ochlazením se teplota sníží mírně pod teplotu A₁ (přibližně na 760 °C). Následuje další výdrž kolem 4 hodin a ochlazení v peci nebo na vzduchu.

Druhým, méně častým, důvodem je žíhání ocelí, které je potřeba z různých důvodů překalit. Provádí se, aby se snížilo nebezpečí vzniku naftalínového lomu. Ocel se zahřeje pod teplotu A₁ a probíhá dlouhá výdrž (12 až 16 hodin) na této teplotě. Běžně se tento způsob příliš nepoužívá, je totiž náročné přesně regulovat poměrně úzké pásmo teplot [14,16].

2.3.2 Kalení

Základní postup tepelného zpracování je ohřátí na austenitizační teplotu, výdrž na ní a kalení, po kterém následuje několikanásobné popouštění (viz dále). Začíná se stupňovitým ohřevem (protože vysokolegované rychlořezné oceli mají nízkou tepelnou vodivost) s cílem zabránit vzniku napětí mezi jádrem a povrchem. První stupeň bývá v rozmezí 450 až 500 °C. Druhý stupeň ohřevu bývá těsně pod teplotu A_1 . Třetí stupeň kolem teploty 900 °C. Dále probíhá ohřev na austenitizační teplotu (může být i velmi vysoká, blízká teplotě solidu) a výdrž na ní. Solné lázně dříve používané k ohřevu byly nahrazeny vakuovými pecemi.

Výdrž na austenitizačních teplotách je ve vakuových pecích oproti solným lázním delší, ale při nižší teplotě. V průběhu ohřívání dochází k rozpouštění karbidů. Například karbidy chromu při teplotách mezi 950 až 1000 °C, naopak karbidy vanadu se i při vysokých teplotách rozpouští jen v malé míře.

Při ohřívání je však potřeba zachovat určité množství drobných karbidů nerozpuštěných, aby zabránily zhrubnutí zrna. Cílem všech ohřevů je zvýšit obsah legur a uhlíku v austenitu, což bude mít po zakalení pozitivní vliv na tvrdost vzniklého martenzitu.

Samotné kalení dříve probíhalo také v solných lázních a postup se nazýval termální kalení. V současné době se používá kalení ve vakuových zařízeních pomocí tlaku inertního plynu, které má svoje výhody. Dle [18] jsou časté kalicí teploty v rozmezí 1200 až 1280 °C.

Množství uhlíku a legur rozpuštěných v austenitu ovlivňuje hodnotu teplot martenzit start a martenzit finiš a tím také množství zbytkového austenitu po zakalení. Materiálové listy udávají možné širší rozmezí kalicích teplot. Kalením z nižších teplot se díky nerozpuštěným karbidům dosáhne větší odolnosti proti opotřebení, ale menší odolnosti proti popouštění. Kalením z vyšších teplot se kvůli rozpuštěným legurám sníží odolnost proti opotřebení, ale zvýší se odolnost proti popouštění.

S rostoucí kalicí teplotou klesají teploty martenzit start a martenzit finiš a tím roste množství zbytkového austenitu. Po zakalení z nižších teplot je výsledná tvrdost určena tvrdostí martenzitu, při zakalení z vyšších teplot tvrdost vlivem zbytkového austenitu klesá. Obvyklá tvrdost po kalení bývá 62 až 64 HRC. Je tedy potřeba najít vhodnou kalicí teplotu podle požadavků na vlastnosti materiálu. Někdy může po kalení následovat mezioperace – zmrazování [14,16].

2.3.3 Popouštění

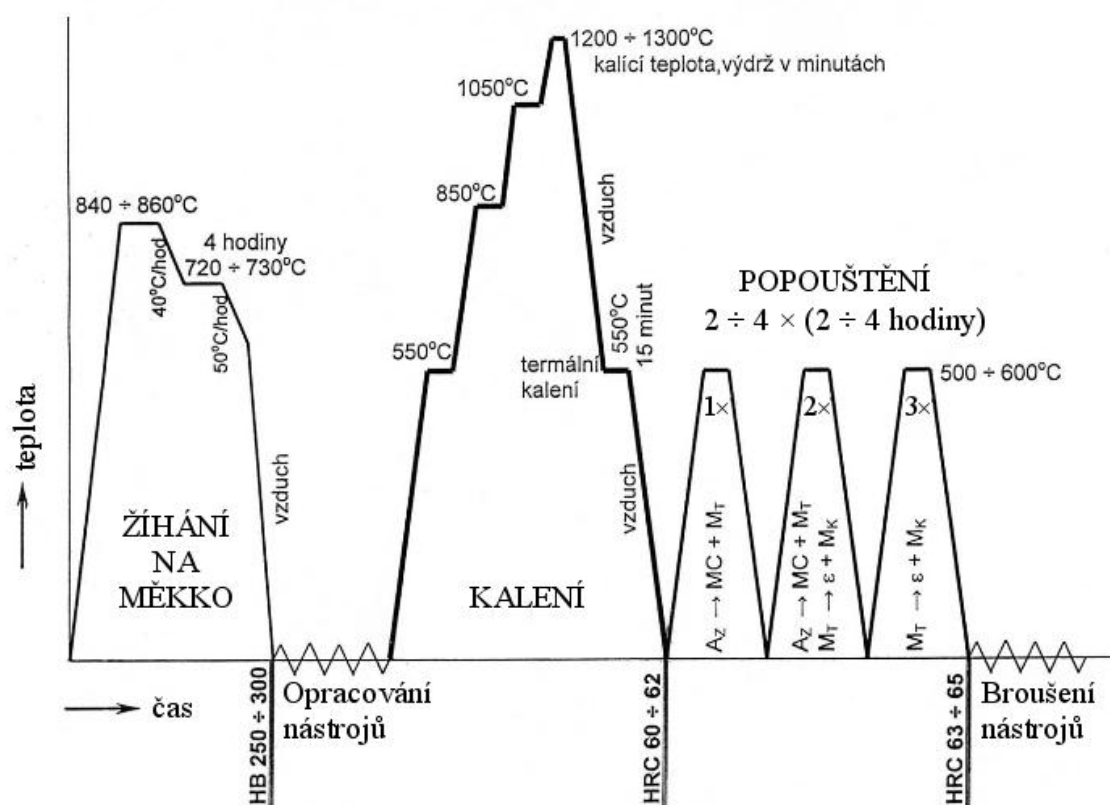
Po zakalení se struktura rychlořezné oceli skládá z martenzitu, zbytkového austenitu, eutektických karbidů, zčásti také karbidů sekundárního původu a případně karbidů primárního původu (u ocelí s vysokým obsahem vanadu). Popouštění se musí provádět velmi brzy po zakalení, protože zbytkový austenit se při pokojové teplotě za 3 až 5 hodin stabilizuje a stává se proti popouštění odolným [14,16,18].

Bylo zjištěno, že k největšímu nárůstu sekundární tvrdosti dochází při zahřívání na teploty 540 až 580 °C. Popouštěcí křivky ukazují závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě. Tvar křivek je pro různé kalicí teploty podobný, křivky se liší

kvantitativně. V praxi se ale používají vrstevnicové diagramy, uvedené v materiálových listech [14,16,18].

Z martenzitu se začínají vylučovat karbidy (nejprve wolframu) a v těchto karbidech se poté rozpouštějí další prvky. Při zvyšování teploty dochází k precipitaci karbidů v matici. Zvláště karbidy vanadu působí zvýšení sekundární tvrdosti. Dalším důvodem zvýšení sekundární tvrdosti je transformace zbytkového austenitu na martenzit (podstatou je ochuzení austenitu o uhlík a v důsledku toho zvýšení teploty martenzit start). Původní obsah až 25 % zbytkového austenitu se po prvním popouštění snižuje asi na 10 %, spolu se zvýšením tvrdosti. Bohužel při tom ale vznikne pnutí a proto se proces opakuje. Druhým popouštěním se zbytkový austenit sníží asi na 5 %, sníží se pnutí a dojde k popouštění nově vzniklého martenzitu. Popouštěcí proces probíhá několikrát, zpravidla dva až třikrát, u kobaltových rychlořezných ocelí tři až pětkrát. Popouštěním se nelze zbavit některých vad vzniklých v průběhu předešlého zpracování (jedná se například o zhrubnutí zrna) [14,16,18].

Postup tepelného zpracování rychlořezných ocelí je na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Schéma tepelného zpracování rychlořezných ocelí [17].

2.4 Základní vlastnosti a použití rychlořezných ocelí

Tvrdost, která je důležitá proti opotřebení, bývá u rychlořezných ocelí mezi 63 až 67 HRC. Pevnost v ohybu, která se zvyšuje hlavně při prvním popouštění, se udává v hodnotách 3000 až 4000 MPa. Rychlořezné oceli mají poměrně dobrou houževnatost. Vysoký obsah legur umožňuje dobrou prokalitelnost. Rychlořezné oceli odolávají při obrábění teplotám do 600 °C, proto je možné je používat pro práci přerušovaným řezem. Používají se na nástroje, jako jsou například: tvarové nástroje, frézy (modulové, stopkové), vrtáky, výstružníky nebo závitorezné nástroje [14,19].

Přehled některých druhů rychlořezných ocelí a jejich použití je v tab. 2.3.

Tab. 2.3 Přehled některých rychlořezných ocelí a jejich použití [15].

Skupina	Třída	Vlastnosti	Použití
Pro běžné výkony	19 820	Vysoká tvrdost a houževnatost, zvětšená odolnost proti opotřebení.	Nástroje na běžné použití při menším tepelném namáhání.
Výkonné	19 802	Vysoká houževnatost, dobrá odolnost proti opotřebení, snadná obrobiteľnost.	Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů nižší až střední pevnosti.
	19 810	Velmi vysoká odolnost proti opotřebení a vysoká odolnost proti popouštění, nižší houževnatost.	Nástroje pro jemné obrábění a na obrábění abrazivních materiálů.
	19 829	Vyšší tvrdost, odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost.	Obrábění při zvětšeném tepelném namáhání. Na obrábění materiálů střední pevnosti i pomocí přerušovaného řezu.
	19 830	Nejvyšší houževnatost, velká odolnost proti opotřebení.	
Vysoce výkonné	19 850	Vysoká tvrdost a odolnost proti popouštění, dobrá houževnatost, dobrá řezivost.	Nejvíce namáhané nástroje pro těžkoobrobitelné, houževnaté a velmi pevné materiály, při náročných řezných podmínkách.
	19 851	Velmi vysoká tvrdost, menší houževnatost.	Obrábění nepřerušovaným řezem, na obrábění pevných materiálů.
	19 852	Vyšší odolnost proti opotřebení, dobrá houževnatost.	Obrábění vysokými rychlostmi nebo obrábění materiálů vysoké pevnosti.
	19 855	Dobrá odolnost proti popouštění a opotřebení.	Představuje doplňkový sortiment pro nástroje na kovy.
	19 856	Velmi vysoká odolnost proti popouštění, nižší houževnatost.	Obrábění těžkoobrobitelných materiálů vysokými rychlostmi.
	19 857	Velmi vysoká odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost.	Nejvíce namáhané nástroje pro obrábění pevných materiálů.
	19 861	Vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá houževnatost, horší obrobiteľnost.	Nejvíce namáhané nástroje pro obrábění při požadavku vysoké odolnosti proti opotřebení.

3 CHARAKTERISTIKA PRÁŠKOVÉ METALURGIE

Technologie práškové metalurgie (v angličtině Powder Metallurgy; v obou jazycích se užívá zkratka PM) je historicky nejstarší stupeň metalurgie. Práškové zlato bylo používáno Inký, ozdobné kovové prášky Egyptany. V pozdějších dobách našly principy PM uplatnění při výrobě zbraní. V 17. a 18. století byla PM nahrazována metalurgií taveného železa, její větší rozvoj nastal na přelomu 19. a 20. století. Jednalo se o výrobu wolframu a dalších kovů, které mají vysokou teplotu tání a dále to byl rozvoj slinutých karbidů, cermetů a dalších technik a materiálů. Od roku 1974 začíná rozvoj slinovaných rychlořezných ocelí. Díky rozvoji poznatků je dnes technologie práškové metalurgie konkurenčně na úrovni konvenčním metodám výroby.

Podstatou technologie PM je zpracovávání výchozích surovin na výrobky působením tepla (nebo tlaku nebo obojího) tak, aby teplota nepřesáhla teplotu tavení alespoň jedné ze složek [18,20,22].

Výhody PM jsou [20,21]:

- použití při práci s materiály s velmi vysokými teplotami tavení, případně u materiálů s velmi rozdílnými teplotami tavení,
- použití u materiálů s velkými rozdíly v hustotě,
- použití u materiálů, které mají v tekutém stavu omezenou vzájemnou rozpustnost,
- využití v případě, kdy nelze použít třískové obrábění,
- možnosti spojení různých druhů materiálů (třeba kovové a nekovové),
- možnost vyrobit shodné výrobky jako konvenčními metodami, avšak s lepšími vlastnostmi,
- malá produkce odpadu při výrobě.

Naopak nevýhody PM jsou [20,22]:

- omezení tvaru (možnosti lisovací techniky) a velikosti výrobku (lisovací síla a šíření tlaku),
- omezení hustoty výrobku – je obtížné dosáhnout takové objemové hmotnosti jako pomocí odlévání,
- vyšší náklady na zařízení a nástroje.

3.1 Výrobní postup

Výrobní postup se skládá z těchto hlavních procesů: výroba prášků – příprava práškové směsi – zhutňování – slinování – konečná úprava (to může být dolisování, doslinování a kalibrování) [18].

3.1.1 Výroba prášků

Jednou z hlavních charakteristik prášku je velikost jeho částic. Zmenšením jejich velikosti se zvětší měrný povrch částic a tím rostou kapilární síly mezi nimi – to se označuje jako nárůst geometrické aktivity. Vysoká zbytková energie povrchu zvyšuje reakční schopnost a tím usnadňuje proces slinování. Kromě velikosti částic jsou důležité také další parametry, například objem po setřesení, tekutost a slisovatelnost, chemické složení, tvar a rozložení částic [20,21].

Způsoby přípravy prášků lze rozdělit na [20,21,22]:

- fyzikálně-mechanické:
 - drcení (čelistové a kladivové drtiče),
 - mletí (kulové, vířivé, kladívkové, vibrační mlýny a atritory; využívá se nárazů tvrdých mlecích těles - používají se různé tvary; proces může probíhat za sucha nebo za mokra),
 - rozprašování (atomizace) tekutého kovu (proud tekutého kovu se rozstříkuje pomocí vody nebo tlakového plynu nebo odstředivou silou - například metody REP, PREP a poté ochlazením vznikají malé částice),
 - usazování prášku z plynné fáze.

- chemické a elektrochemické:
 - chemická redukce tuhé fáze a rozklad (redukce nejčastěji pomocí elementární formy C nebo H nebo pomocí jejich sloučenin a poté následuje rafinace),
 - redukce z vodných roztoků kovových solí (redukce probíhá pomocí plynů, nejčastěji vodíkem nebo oxidem uhelnatým; používá se ve spojení s hydrometalurgickými procesy),
 - elektrolýzou (pomocí elektrického proudu, působícího jako redukční činidlo, z vodných roztoků nebo z roztavených solí; na anodě probíhá oxidace a kov se rozpouští, na katodě probíhá redukce a kov se vylučuje),
 - selektivní rozpouštění hranic zrn.

3.1.2 Příprava práškové směsi

Dle [20,21] bývají prováděny tyto operace:

Rozměrové třídění prášku probíhá pomocí prosévání (vibrační síta), vzdušné separace (proud vzduchu) nebo pomocí plavení (proud kapaliny).

Redukce prášků se musí provádět, pokud jsou povrchové vrstvy částic zoxidovány (probíhá v pecích na slinování ve zvláštní atmosféře).

Může probíhat čištění směsi od nemagnetických příměsí (magnetické separátory) a čištění od zoxidovaných částic (elektrostatické separátory).

Pokud je prášek vyroben rozprašováním vodou, tak probíhá jeho sušení.

Často se přidávají různé přísady, jsou to slinovadla (zdokonalují slinování), plniva a lisovací přísady (plastifikátory a maziva zlepšující lisovatelnost). Maziva se před slinováním musí odstranit (vypařením zvýšenou teplotou).

Míchání směsi prášků na požadované složení probíhá v kulových mlýnech nebo míchačích, ke zlepšení mísení lze použít mísící přísady [20,21].

3.1.3 Zhutňování

Cílem je zhutnění směsi prášků do tvaru a rozměrů odpovídajících požadovanému výrobku. Rozměry je nutné zvětšit o přídavek na smrštění, ke kterému dochází při slinování. Ke zhutňování se nejčastěji používá lisování. Lisování způsobuje plastické deformace částic prášku. Dochází k většímu kontaktu mezi částicemi, sníží se pórovitost a to má pozitivní vliv na dokonalost difuze. Lisovací nástroje bývají vyrobeny z nástrojových ocelí a jejich činné plochy z kvalitních slinutých karbidů [20,21].

Způsoby zhutňování se řadí do dvou hlavních skupin: zhutňování s a bez použití tlaku [20,21,22]:

1, Zhutňování s použitím tlaku (statického nebo dynamického) při pokojové nebo zvýšené teplotě

Lisování v matricích má největší technické uplatnění; jednosměrné lisování je jednodušší, ale obousměrné lisování zajistí lepší rozložení hustoty ve výlisku; používají se mechanické nebo hydraulické lisy [20,21].

Protlačování (extruze) probíhá za běžné nebo zvýšené teploty; směs prášku a plastifikátorů je protlačována (přímým nebo nepřímým způsobem) přes trysku do žádaného tvaru tyčí nebo trubek; plastifikátor je třeba před slinováním odstranit; tlak vzniká pomocí pístu nebo šneku; někdy se materiál uzavírá do pouzdra z plechu (i pro rychlořezné oceli), pouzdra se poté odstraňují (odloupnutím, odmořením) [20,21].

Zhutňování **válcováním** se uskutečňuje třením pomocí dvou protiběžně rotujících válců, mezi kterými prochází prášek; někdy následuje na stejné technologické lince slinování; užítí pro výrobu pásů a plechů, často se zvláštními vlastnostmi (magnetické, elektrické), povlakovaných nebo bimetalických materiálů [20,21].

Metoda **izostatického lisování** spočívá v působení tlaku (přenos tlaku plynem nebo kapalinou) na prášek, uzavřený v pouzdře; pouzdro musí mít speciální vlastnosti (za normálního tlaku se chová jako pevná látka, za vysokého tlaku jako kapalina; např. kaučuk); výhodou je eliminace tření mezi práškem a stěnami a rovnoměrné působení tlaku ze všech stran; další výhodné vlastnosti jsou: dosažitelná vyšší hustota, možnost vyrábět součásti větších rozměrů, možnost použití obtížně lisovatelných prášků [20,21,22].

Izostatické lisování se dále dělí na dvě metody [20,21,22]:

Izostatické lisování za studena (CIP – cold isostatic pressing) probíhá v ocelové tlakové nádobě; lisovací kapalina působí tlakem 200 až 400 MPa; maximální tlak působí pouze v řádu sekund, ale snižování tlaku musí probíhat pomalu kvůli tvorbě trhlin; používají

se dvě koncepce: systém se suchým pouzdem (dry bag) a systém s mokřým pouzdem (wet bag).

Izostatické lisování za tepla (HIP – hot isostatic pressing; hipování) je vlastně spojením lisování se slinováním; potřebnou teplotu až 2000 °C zajišťuje ohřívací zařízení odizolované uvnitř tlakové nádoby; tlak pracovního média bývá do 200 MPa a používá se argon; porézní materiály se musí umístit do pouzdra a odplynit, pouzdro se posléze odstraňuje (obráběním, loužením); použití i pro rychlořezné oceli; velkou výhodou jsou velmi dobré mechanické vlastnosti výlisků (struktura, houževnatost, malá pórovitost a další).

Kování lze použít pro neslinované (kování prášku) i slinované výlisky; poskytuje vysokou hustotu i dobrou přesnost; sled technologických operací: příprava práškové směsi – lisování předlisku – ohřev na odstranění maziva – slinování (pokud bude probíhat kování již slinutého výlisku) – kování – závěrečné úpravy [20,21].

Pro **lisování explozí** existují dvě metody: exploze v uzavřených tlakových nádobách (princiálně podobná konvenčnímu lisování) a exploze na volném prostranství (přímé stlačování tzv. kontaktním systémem pro trubky a tyče nebo lisování s plochou náloží pro desky) [20,21].

Injekční vstřikování kovů (MIM – metal injection moulding) vychází z technologie vstřikování plastů; dosažení přesných rozměrových tolerancí; po smíchání s pojivem (vosk, polymer) se ohřátá směs vstřikuje pod tlakem do formy, poté je klíčové odstranění pojiva (různé metody) a nakonec slinování, při kterém dochází k velkému smrštění (kvůli odstraněnému pojivu); uplatnění ve velkoobjemové výrobě [20,21].

2, Zhutňování bez použití tlaku

Dle [20,21] je předností, že nejsou potřeba nákladná lisovací zařízení a i výroba menších sérií je ekonomická. Jako příklady lze uvést:

- **volný zásyp** – prášek se nasype do formy a přímo slinuje, dochází k malému zhutnění a velkému smrštění,
- **metoda keramického lití** – pomocí lití směsi prášku a nosné kapaliny (směs se označuje jako tzv. břecha),
- **vibrační zhutňování.**

3.1.4 Slinování (spékání, sintrace)

Při slinovacím procesu se materiál převádí z práškového stavu do kompaktního stavu s požadovanou mikrostrukturou, mechanickými a dalšími požadovanými vlastnostmi. Slinování následuje buď po zhutňování, nebo u některých metod jsou oba procesy

v jednom kroku (např. HIP). Podstatou slinování je zmenšení měrného povrchu materiálu, jeho zhutnění a snížení pórovitosti [20,21].

Mechanismy přenosu hmoty jsou různé a je jich několik: viskózní tok, plastický tok, evaporace-kondenzace, objemová (mřížková) difuze, difuze po hranicích zrn, povrchová difuze [20].

Mezi důležité proměnné slinovacího procesu patří:

- Slinovací teploty jsou různé pro různé materiály, viz tab. 3.1. Zdroj [20] uvádí pro jednosložkový systém teploty v rozmezí 0,6 až 0,75 teploty tání materiálu. Pro směsi prášků s více složkami pak teploty blízké nebo o málo vyšší než teplota tání složky s nejnižší hodnotou teploty tání. Při vyšších teplotách je objemový transport hmoty intenzivnější.

Tab. 3.1 Příklady slinovacích teplot a časů [23].

Materiál	Teplota [°C]	Čas [min]
Měď, mosaz, bronz	760-900	10-40
Nikl	1000-1150	30-40
Nerezová ocel	1100-1290	30-60
Karbid wolframu	1430-1500	20-30
Molybden	2050	120
Wolfram	2350	480
Tantal	2400	480

- Doba slinování se odvíjí podle slinovací teploty. Při vyšší teplotě stačí kratší slinovací čas. Doba se tedy liší podle teploty i podle druhu materiálu v rozmezí několika minut až hodin. Několik příkladů je uvedeno v tab. 3.1 výše [24].
- Slinování probíhá častěji bez působení vnějšího tlaku, může být ale prováděno i s působením vnějšího tlaku (např. izostatické lisování za tepla) [20].
- Rychlost slinování s rostoucí dobou průběžně klesá. U směsi prášků s menší velikostí částic nebo větší pórovitostí probíhá slinování rychleji [20,24].
- Proces slinování může být jednostupňový nebo podle potřeby i vícestupňový [20].
- Pracovní atmosféra slouží k zamezení reakcí mezi výliskem a okolní atmosférou, případně také k redukci stávajících oxidů. Jsou používány tyto plyny: vodík, štěpný plyn NH_3 , endoplyn, exoplyn a nebo vakuum [20].
- Typ slinovacího procesu: slinování v tuhém stavu, slinování v systému s přechodnou kapalnou fází, slinování v systému se stabilní kapalnou fází [20].
- Objemové nebo lineární smrštění [20].

Aktivované slinování

Jde o působení dalších činitelů, usnadňujících slinovací proces. Aktivaci lze provést více způsoby, například přidáním plynných, kapalných nebo pevných látek či pomocí působení různých vnějších mechanických činitelů [20].

Napájení kovem (infiltrace)

Částečné nebo úplné ponoření pórovitých skeletů výlisků (polo- nebo již slinutých) do tekutého kovu nebo položení napájecího kovu na skelet. Cílem je nasátí napájecího kovu a vyplnění dutin a pórů materiálu tímto kovem. Proces je vhodný pro přípravu těžko vyrobitelných kompozitních materiálů [20].

Slinovací pece

Slinování probíhá ve slinovacích pecích, jejich přehled je v tab. 3.2 [20].

Tab. 3.2 Rozdělení slinovacích pecí [20].

Kritérium rozdělení:				
ochranná atmosféra	ohřev		provoz	
<ul style="list-style-type: none"> • vodíková • s prům. plyny • se štěpnými plyny NH₃ • vakuová 	<input type="checkbox"/> elektrický <ul style="list-style-type: none"> • odporový • indukční 	<input type="checkbox"/> plynový	<input type="checkbox"/> s plynulým provozem <ul style="list-style-type: none"> • kanálové narážecí • tunelové s vozíky • tunelové krokové 	<input type="checkbox"/> s přerušovaným provozem <ul style="list-style-type: none"> • zvonové

Technologie slinování

V dnešní době je technologií větší množství, jako příklady lze uvést přímý ohřev průchodem elektrického proudu, průběžný nebo přerušovaný ohřev v pecích, slinování pod tlakem, HIP nebo Fluid Die metodu [18].

3.1.5 Konečné úpravy

Provádí se, pokud je třeba ještě upravit vlastnosti slinutého výrobku. Je možné provádět tyto úpravy [22,25]:

- opakované lisování a slinování (zvýšení hustoty, zmenšení smrštění),
- kalibrování (dolisování za studena s cílem zvýšit rozměrovou přesnost a tvar),
- třískové obrábění (bývá poměrně neobvyklou úpravou),
- chemicko-tepelné zpracování (cementace, nitridace a další),
- povrchové úpravy (difuzní zinkování a chromování a jiné).

3.2 Využití práškové metalurgie

V následujícím přehledu jsou stručně uvedeny významné skupiny různých výrobků práškové metalurgie dle [20]:

- výrobky na bázi železa (s různými pevnostmi, korozivzdorné a rychlořezné oceli)
- výrobky z neželezných kovů (např. na bázi mědi, hliníku nebo titanu)
- kluzné materiály a ložiska
- třecí (frikční) materiály
- výrobky z pórovitých materiálů a filtry
- disperzně zpevněné materiály (např. hliníkové, niklové)
- kontaktní materiály (pro elektrotechnický průmysl)
- tvrdé materiály (jako cermety, syntetický diamant, kubický nitrid boru CBN)
- slinuté karbidy (důležité materiály zvláště pro obráběcí nástroje)
- magnetické materiály (měkké, tvrdé), ferity (z oxidů kovů)
- uhlíkové materiály

3.3 Slinování rychlořezných ocelí

Výroba rychlořezných ocelí pomocí práškové metalurgie přináší určité výhodné vlastnosti oproti konvenční výrobě. Jedná se o dosažení více homogenní struktury (vyhnutí se vzniku nestejnorodé struktury obsahující segregace). Na druhou stranu jsou zde i specifické problémy, například špatná lisovatelnost. Jako vhodné postupy se uplatňují izostatické lisování za tepla, protlačování a kování [20,25].

Jako příklad typického postupu uvádí [26] tento: rozprášení taveniny pomocí tlakového plynu (dusík), uzavření prášku do kovového pouzdra, zhutnění polotovaru pomocí izostatického lisování za tepla za vzniku vývalku, který je většinou dále válcován nebo kován dle požadavků.

Jiným příkladem je následující metoda firmy ASEA: rozprášení taveniny pomocí tlakového plynu, výroba polotovaru pomocí lisování a jeho kování. Polotovar se vloží do pouzdra a po naplnění dusíkem zavaří. Pomocí izostatického lisování za studena se zvýší hustota a pomocí izostatického lisování za tepla (přibližně při 1050 až 1150 °C a 100 MPa) proběhne slinování a nakonec se odstraní pouzdro [25].

4 HSS PM FRÉZOVACÍ NÁSTROJE A JEJICH VYUŽITÍ PRO PRAXI

Tato kapitola se věnuje přehledu fréz z rychlořezných ocelí vyrobených pomocí práškové metalurgie a jejich mech. vlastnostem. Podkapitoly jsou děleny na jednotlivé výrobce.

4.1 ZPS-FN

Jedná se o společnost, která byla původně součástí koncernu Baťa a jejíž tradice výroby sahá do 30. let 20. století. V roce 1992 se oddělila jako dceřiná společnost ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a od roku 2001 je samostatnou společností. Ze dvou výrobních divizí se Divize Tepelného zpracování zabývá službami tepelného zpracování materiálů (kalení, popouštění, nitridace a další) a Divize Frézy výrobou fréz. U druhé jmenované divize se jedná o výrobu různých druhů fréz (HSS a slinuté karbidy). Firma je největším českým výrobcem fréz z rychlořezných ocelí. Společnost sídlí ve Zlíně [27,28,29].

Materiály [30]

Pro HSS frézy se používají materiály: HSS, HSSE, HSS Co5, HSS Co8, **HSSE-PM**.

HSSE-PM je vysoce výkonná ocel vyrobená pomocí práškové metalurgie. Ocel má homogenní strukturu a je použitelná pro obrábění vysoce pevných a těžko obrobitelných materiálů (např. titanu a jeho slitin). Tvrdost se pohybuje mezi 64 až 67 HRC. Chemické složení materiálu je uvedeno v tabulce:

C [%]	W [%]	Mo [%]	V [%]	Co [%]	Cr [%]
1,28	6,4	5,0	3,1	8,5	4,2

Povlaky [31]

Používají se pro zvýšení životnosti a produktivity nástroje. PVD povlaky mají vysokou povrchovou tvrdost a odolnost proti otěru, snižují tření a přenos tepla do nástroje. Užívá se technologie katodového obloukového napařování (realizace švýcarskou technologií Platin v kooperaci se společností LISS a.s.). Pro většinu aplikací byl vybrán jako optimální povlak TiAlN (univerzál). Pro HSS frézy se používají povlaky: TiN, TiCN, TiAlN, **AlTiN**, AlTiCrN, nACRo, CrN.

AlTiN má vysokou oxidační odolnost a je použitelný pro náročné aplikace jako frézování vysokými rychlostmi nebo bez chlazení. Lze s ním obrábět např. tvárné litiny, oceli vysokých pevností nebo oceli pro kování. Povlak umožňuje zvýšit řeznou rychlost oproti nepovlakovanému nástroji přibližně 1,5x.


V následující části jsou uvedeny 3 vybrané HSS frézy a jejich popis [32,33,34]:

- Fréza válcová čelní krátká, 1 břit přes střed, typ N, ploška weldon (kód zboží 120517)
- Fréza válcová čelní krátká, 1 břit přes střed, typ NR, ploška weldon (kód zboží 124517)
- Fréza válcová čelní dlouhá, 1 břit přes střed, typ HR, ploška weldon (kód zboží 129517)

**Fréza válcová čelní krátká, 1 břít přes střed, typ N, ploška weldon
(kód zboží 120517) [32]**



Vlastnosti:

Typ	Typ N Univerzální použití. Vhodné pro materiály do pevnosti 900 MPa.
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 12 °
Délka; počet zubů	Krátká; 4 nebo 5
Upínací prvek	Válcová stopka s ploškou (Weldon) dle DIN 1835 B
Materiál	HSSE-PM
Povlak	Pro HSSE-PM standardní povlak - AlTiN
Možné směry posuvu	


Použití pro materiály:

		v_c [m · min ⁻¹]
Automatové a konstrukč. oceli do 600 MPa	DIN 1.0037, DIN 1.0050, 11 109, 11 500	82
Konstrukční a lité oceli do 850 MPa	DIN 1.0503, DIN 1.0070, 12 050, 422650	70
Nástrojové oceli nízkoleg. do 1100 MPa	DIN 1.12711, 19 662, 422865	44
Zušlechtěné oceli do 900 MPa	DIN 1.5710, DIN 1.8159, 16 240	56
Nástrojové oceli vysokoleg. do 1100 MPa	DIN 1.3243, 19 436	44
Nástr. a zušlechtěné oceli nad 1100 MPa	DIN 1.2343, 15 241, 15 260, 19 552	37
Litina do 240 HB	GG - 15, GG - 20, 422415, 422420	62
Nerezavějící oceli do 850 MPa	DIN 1.4013, 17 041	28
Slitiny Cr-Ni do 850 MPa	DIN 1.4301, Nimonic, Hasteloy B, 17 242	23
Hliník, Al-Si slitiny do 500 MPa	DIN 3.3211, 424254, 424203	280-500
Titan, slitiny titanu do 1200 MPa	DIN 3.7124, DIN 3.7165, DIN 3.7185	22

**Fréza válcová čelní krátká, 1 břít přes střed, typ NR, ploška weldon
(kód zboží 124517) [33]**



Vlastnosti:

Typ	Typ NR Pro hrubování materiálů s nižší až střední pevností (do 700 MPa), opracování Ra 12,5 a hrubší.
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 12 °
Délka; počet zubů	Krátká; 4 nebo 5 nebo 6
Upínací prvek	Válcová stopka s ploškou (Weldon) dle DIN 1835 B
Materiál	HSSE-PM
Povlak	Pro HSSE-PM standardní povlak - AlTiN
Možné směry posuvu	


Použití pro materiály:

		v_c [m · min ⁻¹]
Automatové a konstrukč. oceli do 600 MPa	DIN 1.0037, DIN 1.0050, 11 109, 11 500	82
Konstrukční a lité oceli do 850 MPa	DIN 1.0503, DIN 1.0070, 12 050, 422650	70
Zušlechtnuté oceli do 900 MPa	DIN 1.5710, DIN 1.8159, 16 240	56
Litina do 240 HB	GG - 15, GG - 20, 422415, 422420	62
Nerezavějící oceli do 850 MPa	DIN 1.4013, 17 041	28

**Fréza válcová čelní dlouhá, 1 břit přes střed, typ HR, ploška weldon
(kód zboží 129517) [34]**



Vlastnosti:

Typ	Typ HR Pro hrubování materiálů se střední až vyšší pevností (do 1200 MPa), opracování Ra 6,3 a hrubší.
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 10 °
Délka; počet zubů	Dlouhá; 4
Upínací prvek	Válcová stopka s ploškou (Weldon) dle DIN 1835 B
Materiál	HSSE-PM
Povlak	Pro HSSE-PM standardní povlak - AlTiN
Možné směry posuvu	

Použití pro materiály:

		v_c [m · min ⁻¹]
Nástrojové oceli nízkoleg. do 1100 MPa	DIN 1.12711, 19 662, 422865	44
Nástrojové oceli vysokoleg. do 1100 MPa	DIN 1.3243, 19 436	44
Nástr. a zušlechtěné oceli nad 1100 MPa	DIN 1.2343, 15 241, 15 260, 19 552	37
Litina nad 240 HB	GG - 30, 422430	44
Slitiny Cr-Ni do 850 MPa	DIN 1.4301, Nimonic, Hasteloy B, 17 242	23
Titan, slitiny titanu do 1200 MPa	DIN 3.7124, DIN 3.7165, DIN 3.7185	22

4.2 Hoffmann Group

Kořeny firmy sahají do roku 1919. Důležitým krokem je zavedení značky GARANT v roce 1973, která je dnes prémiovou značkou společnosti v oblasti třískového obrábění. Samotná Hoffmann Group je založena v roce 1993. Díky vybudování mnoha poboček a center má dnes zastoupení nebo obchodní partnery ve více než 50 zemích celého světa a také k ní patří několik partnerských, právně samostatných, firem. České zastoupení je v Ejovicích (Plzeňský kraj). Sortiment firmy je poměrně široký (obsahuje kolem 500 výrobních značek), součástí jsou i nástroje pro obrábění včetně fréz z rychlořezných ocelí vyrobených práškovou metalurgií [35,36].


V následující části jsou uvedeny 3 vybrané HSS frézy a jejich popis [37,38,39]:

- Stopková fréza HSS-PM TiAlN 6 mm GARANT (kód zboží 191580)
- Hrubovací fréza HSS-PM 6 mm GARANT (kód zboží 192491)
- Hrubovací fréza HSS-PM 10 mm GARANT (kód zboží 192520)

Stopková fréza HSS-PM TiAlN 6 mm GARANT (kód zboží 191580) [37]



Vlastnosti:


Typ	Typ N (normální)
Geometrie	Uhel sklonu šroubovice = 50 °
Počet zubů	4
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	TiAlN
Možné směry posuvu	

Pro nejvyšší nároky na obráběcí výkon. Geometrie čelních břitů pro zanořování do materiálu. Excentrické podbroušení. Pro obvodové dokončovací frézování pro zhotovování nejvyšších kvalit povrchu. Vynikající výsledky při frézování na sucho.

Použití pro materiály: (velmi vhodné)

	v_c [m · min ⁻¹]
Obecné stavební oceli do 500 MPa	83
Nelegované kalené oceli do 750 MPa, nelegované cementační oceli do 750 MPa, nitridované oceli do 750 MPa	64
Nelegované a legované zušlechtěné oceli do 900 MPa, nitridované oceli do 900 MPa, nástrojové oceli do 900 MPa	64
Legované kalené oceli do 1100 MPa, legované cementační oceli do 1100 MPa, legované nástrojové oceli do 1100 MPa	37
Nerezové oceli sřené do 700 MPa, austenitické oceli do 850 MPa	23
Dobře obrobitelné oceli, dobře obrobitelné nerezové oceli, hliník a neželezné kovy	
Použití s emulzí s min. 4 % podílu tuku (závitorez. min. 8 %)	
Použití pro obrábění bez chlazení	

Hrubovací fréza HSS-PM 6 mm GARANT (kód zboží 192491) [38]**Vlastnosti:**


Typ	Typ WR pro hrubování
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 36 °
Počet zubů	3
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	–
Možné směry posuvu	

Podbroušený vroubkovaný profil. Geometrie čelních břitů pro zanořování do materiálu. Pro obvodové nebo svislé frézování (zanořování). Speciální úhel čela pro hliník a nezelezné kovy. Prostorné, jemně broušené drážky pro odvod třísek. Speciální hrubovací profil pro bezpečný odvod třísek. Vhodné pro velký objem úběru materiálu díky velkému prostoru pro třísky.

**Použití pro materiály:
(velmi vhodné)**

	v_c [m · min ⁻¹]
Hliník do 350 MPa, hliník tvořící dlouhé třísky, termoplasty a duroplasty, slitiny hořčíku, měkká měď	220
Hliníková slévárenská litina < 10 % Si do 600 MPa, hliník tvořící krátké třísky, nízkolegovaná měď do 400 MPa	138
Obecné stavební oceli do 500 MPa	83
Použití s emulzí s min. 4 % podílu tuku (závitořez. min. 8 %)	
Použití pro obrábění bez chlazení	

Hrubovací fréza HSS-PM 10 mm GARANT (kód zboží 192520) [39]**Vlastnosti:**

Typ	Typ WR pro hrubování
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 36 °
Počet zubů	3
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	–
Možné směry posuvu	

Podbroušený vroubkovaný profil. Geometrie čelních břitů pro zanořování do materiálu. Speciální úhel čela pro hliník a neželezné kovy. Prostorné, jemně broušené drážky pro odvod třísek. Vhodné pro velký objem úběru materiálu díky velkému prostoru pro třísky.

Použití pro materiály:

(velmi vhodné)	v_c [m · min ⁻¹]
Hliník do 350 MPa, hliník tvořící dlouhé třísky, termoplasty a duroplasty, slitiny hořčíku, měkká měď	138
Hliníková slévárenská litina < 10 % Si do 600 MPa, hliník tvořící krátké třísky, nízkolegovaná měď do 400 MPa	83
Použití s emulzí s min. 4 % podílu tuku (závitorez. min. 8 %)	

4.3 Emuge-Franken

Společnost Emuge-Franken má přes 90 let dlouhou tradici. Zabývá se produkcí kvalitních nástrojů v oblasti výroby a měření závitů, upínání nástrojů i obrobků a frézování. V celém programu společnosti je nabízeno kolem 110000 položek. Její dvě hlavní střediska se nachází v Německu: EMUGE-Werk Richard Glimpel ve městě Lauf a FRANKEN Präzisionswerkzeuge v Rueckersdorfu. Společnost má zastoupení asi v 50 zemích po celém světě. Jedno ze servisních center firmy se nachází i v Brně-Lišni [40,41].

V následující části jsou uvedeny 3 vybrané HSS frézy a jejich popis dle katalogu [42]:

- HSS Stopková fréza DIN 844 krátká (kód zboží 1564C)
- HSS Stopková fréza extra krátká (kód zboží 1308)
- HSS Stopková fréza DIN 844 dlouhá (kód zboží 1358)


HSS Stopková fréza DIN 844 krátká (kód zboží 1564C) [42]

1564C



1565C

Vlastnosti:

Typ	Typ NF; střední vroubkování profilu
Geometrie	Uhel sklonu šroubovice = 30 °
Délka; počet zubů	Krátká; 4 nebo 5 nebo 6
Upínací prvek	Válcová stopka s unáš. ploškou dle DIN 1835 B (1564C) Válcová stopka dle DIN 1835 A (1565C)
Materiál	HSSE-PM
Povlak	TICN
Možné směry posuvu	

Polodokončovací stopková fréza s plochým, přesahujícím utvařečem třísky. Tvoří téměř dokončený povrch. Pro materiály s pevností do 1400 MPa. Velmi vhodné pro vysokolegované materiály. Snadný odvod krátkých třísek.

**Použití pro materiály:
(velmi vhodné)**

	v_c [m · min ⁻¹]
Oceli do 600 MPa (tvářené za studena, konstrukční, automatové)	60
Oceli do 800 MPa (konstrukční, cementační, lité)	55
Oceli do 1000 MPa (cementační, tepelně odolné, pro práci za studena)	40
Korozivzdorné oceli do 950 MPa (fritické, martenzitické)	28
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (100 až 250 MPa)	48
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (250 až 450 MPa)	42
Litina s kuličkovým grafitem (GJS) (350 až 500 MPa)	38
Litina s vločkovým grafitem (GTMW, GTMB) (250 až 500 MPa)	40


HSS Stopková fréza extra krátká (kód zboží 1308) [42]

1308



1008

Vlastnosti:

Typ	Typ N; bez vroubkování profilu
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °
Délka; počet zubů	Extra krátká; 4 nebo 5 nebo 6
Upínací prvek	Válcová stopka s unáš. ploškou dle DIN 1835 B (1308) Válcová stopka dle DIN 1835 A (1008)
Materiál	HSSE-PM
Povlak	–
Možné směry posuvu	
Dokončovací stopková fréza. Tvoří hladké povrchy. Pro materiály s pevností do 1400 MPa. Vhodná pro tvorbu drážek dle DIN 6885-1.	

Použití pro materiály:**(velmi vhodné)**

	v_c [m · min ⁻¹]
Oceli do 600 MPa (tvářené za studena, konstrukční, automatové)	35
Oceli do 800 MPa (konstrukční, cementační, lité)	30
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (100 až 250 MPa)	25
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (250 až 450 MPa)	22


HSS Stopková fréza DIN 844 dlouhá (kód zboží 1358) [42]

1358



1058

Vlastnosti:

Typ	Typ HR; jemné vroubkování profilu
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °
Délka; počet zubů	Dlouhá; 4 nebo 6
Upínací prvek	Válcová stopka s unáš. ploškou dle DIN 1835 B (1358) Válcová stopka dle DIN 1835 A (1058)
Materiál	HSSE-PM
Povlak	–
Možné směry posuvu	
Hrubovací stopková fréza s jemným kruhovým utvařečem třísky. Pro materiály s pevností do 1200 MPa. Na povrchu se utváří výrazné stopy.	

Použití pro materiály:**(velmi vhodné)**

	v_c [m · min ⁻¹]
Oceli do 800 MPa (konstrukční, cementační, lité)	18
Oceli do 1000 MPa (cementační, tepelně odolné, pro práci za studena)	15
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (100 až 250 MPa)	15
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (250 až 450 MPa)	13

4.4 WNT

Firma WNT Deutschland GmbH má tradici dlouhou téměř 30 let. Hlavním programem firmy je výroba nástrojů pro třískové obrábění. Společnost má dnes zastoupení ve více než 15 zemích světa. Katalogy WNT, vydávané v konkrétních jazykových mutacích, obsahují asi 45000 položek. Firma prosazuje svůj koncept „Total tooling“ zaměřený na komplexní péči o zákazníka a rychlou dostupnost produktů. Společnost sídlí v Kemptenu (Bavorsko) v Německu. V roce 2005 byla založena česká pobočka, která se nachází ve Velkém Meziříčí [43,44].

V následující části jsou uvedeny 3 vybrané HSS frézy a jejich popis [45,46,47]:

- Stopková dokončovací PM fréza (kód zboží 5000725020)
- Hrubovací dokončovací PM fréza (kód zboží 54224120)
- Hrubovací dokončovací PM fréza (kód zboží 50187120)

Stopková dokončovací PM fréza (kód zboží 5000725020) [45]**Vlastnosti:**

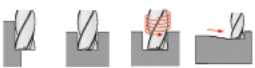
Typ	Typ H; bez vroubkování profilu
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 11 °
Délka; počet zubů	Krátká; 8
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	TI200PRO
Příklady obrábění	

S břity s nerovnoměrným dělením. Dokončovací frézování vysoce pevných a křehkých materiálů. Velmi vhodné pro frézování tenkostěnných obrobků a plechů. Dobrá výsledná kvalita povrchu.

**Použití pro materiály:
(velmi vhodné)**
 v_c
[m · min⁻¹]
Žáruvzdorné slitiny

Čistý titan do 900 MPa	30
Slitiny titanu do 700 MPa	30
Slitiny titanu do 1200 MPa	24

Hrubovací dokončovací PM fréza (kód zboží 54224120) [46]**Vlastnosti:**

Typ	Typ HR; jemné vroubkování profilu
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 10 °
Délka; počet zubů	Střední; 4
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	TICN
Příklady obrábění	
Hrubovací frézování materiálů s vyšší pevností v tahu než u typu NR. Bezpečné lámání třísek a jejich odvod z pracovní oblasti. Při práci lze použít větší posuvy.	

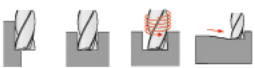
**Použití pro materiály:
(velmi vhodné)**
 v_c
[m · min⁻¹]
Ocel

Obecná stavební ocel do 800 MPa	65-90
Automatová ocel do 800 MPa	55-75
Cementační ocel nelegovaná do 800 MPa	50-65
Cementační ocel legovaná do 1000 MPa	45-65
Ocel k zušlechťování nelegovaná do 850 MPa	50-60
Ocel k zušlechťování nelegovaná do 1000 MPa	35-45
Ocel k zušlechťování legovaná do 800 MPa	45-65
Ocel k zušlechťování legovaná do 1300 MPa	35-45
Nitridační ocel do 1000 MPa	35-45
Nástrojová ocel pro práci za studena do 1300 MPa	30-40
Nástrojová ocel pro práci za tepla do 1300 MPa	25-35

Litina

Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (100 až 350 MPa)	40-55
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (300 až 1000 MPa)	30-40
Litina s kuličkovým grafitem (GJS) (300 až 500 MPa)	35-45
Litina s kuličkovým grafitem (GJS) (550 až 800 MPa)	35-45
Litina s vločkovým grafitem s bílým lomem (GTMW) (350 až 450 MPa)	40-50
Litina s vločkovým grafitem s černým lomem (GTMB) (350 až 450 MPa)	35-45

Hrubovací dokončovací PM fréza (kód zboží 50187120) [47]**Vlastnosti:**

Typ	Typ HS; jemné vroubkování profilu
Geometrie	Úhel sklonu šroubovice = 30 °, úhel čela = 10 °
Délka; počet zubů	Dlouhá; 4
Upínací prvek	Válcová stopka s unášecí ploškou dle DIN 1835 B
Materiál	HSS PM
Povlak	TICN
Příklady obrábění	
Hrubovací frézování zejména slévarenské litiny a slitin niklu.	

**Použití pro materiály:
(velmi vhodné)**
 v_c
[m · min⁻¹]

Litina	
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (100 až 350 MPa)	40-55
Litina s lupínkovým grafitem (GJL) (300 až 1000 MPa)	30-40
Litina s kuličkovým grafitem (GJS) (300 až 500 MPa)	35-45
Litina s kuličkovým grafitem (GJS) (550 až 800 MPa)	35-45
Litina s vločkovým grafitem s bílým lomem (GTMW) (350 až 450 MPa)	40-50
Litina s vločkovým grafitem s černým lomem (GTMB) (350 až 450 MPa)	35-45
Žáruvzdorné slitiny	
Čistý nikl	15-20
Čistý titan do 900 MPa	25-35
Slitiny titanu do 700 MPa	25-35

4.5 Další výrobci

V následujícím výčtu je zmíněno několik dalších firem, které se také zabývají HSS PM frézami, popřípadě HSS frézami. Firmy jsou schopny zhotovit frézy dle individuálních požadavků zákazníka.

- Monometal nástroje s.r.o. (ČR) [48]
- Kalenast s.r.o. (ČR) [49]
- Gühring KG (Německo) [50]
- Fraisa SA (Švýcarsko) [51]
- Fenes S.A. (Polsko) [52]

ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na frézy z rychlořezných ocelí vyrobené pomocí metod práškové metalurgie. Obsahem přehledu ve čtvrté kapitole byly stopkové frézy. Bylo tak zvoleno z důvodu toho, že stopkové frézy tvoří hlavní část nabídky HSS PM fréz u výrobců, kteří byli v přehledu uvedeni. Mezi další druhy (HSS PM) fréz patří například drážkovací frézy, rádiusové frézy nebo nástrčné frézy. Z dalších používaných HSS PM nástrojů, kromě fréz, lze uvést třeba závitníky, vrtáky nebo protahovací trny.

U většiny výrobců tvoří HSS PM frézy malou část celkového sortimentu nabídky, přesto jsou však do budoucna perspektivní a jsou zde další možnosti rozvoje.

Součástí dnešních trendů je používání povlakovaných nástrojů. Procesy povlakování přináší další možnosti jak ještě zvýšit užité vlastnosti nástrojů a jsou poměrně aktuálním tématem.

Frézy uvedené v přehledu nemají (kromě parametrů délky a možného počtu zubů) uvedeny rozměry. Je to z důvodu toho, že v nabídkách firem se nachází jedna konkrétní fréza ve více různých rozměrových variantách. Mezi obvykle udávané rozměrové údaje patří průměr nástroje a průměr stopky, délka řezné části a celková délka nástroje a počet zubů.

V přehledu fréz v tabulkách uvádějících „použití pro materiály“ jsou uvedeny materiály hodnocené výrobcem jako „velmi vhodné“. Za omezených podmínek je možné použití i pro jiné materiály. V katalozích a přehledech bývají tyto dvě skupiny označeny jako „velmi vhodné“ (very suitable) a „omezené použití“ (suitable).

V dnešní digitální době se výběr a objednávání nástrojů přesunul na internet. Nabídky a katalogy s potřebnými informacemi je možné najít online na stránkách výrobců. Také konzultace je možné provádět touto cestou.

Výroba metodami práškové metalurgie má oproti konvenčním metodám tyto výhody (některé již byly v práci zmíněny) [20,53]:

- možnosti spojení různých druhů materiálů (třeba jinak obtížně spojitelných),
- dosažení poměrně přesného tvaru a rozměrů s nutností pouze malého dalšího opracování,
- vznik malého množství odpadu při výrobě (tvoří pouze několik procent),
- výrobky mají dobrou chemickou homogenitu,
- výroba povrchů s vysokou odolností proti opotřebení,
- výroba nástrojů s geometrií obtížně dosažitelnou konvenčním obráběním,
- duplikáty výrobků jsou přesné a beze změn,
- mezi další výhody patří i možnost snadno vyrobit dutiny pro vnitřní přívod chladicí kapaliny.

Přehled fréz byl zaměřen na firmy ZPS-FN, Hoffmann Group, Emuge-Franken a WNT. Největším českým výrobcem HSS PM fréz je již zmiňovaný podnik ZPS-FN se sídlem ve Zlíně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] WENG, Yuqing, Han DONG a Yong GAN. *Advanced Steels The Recent Scenario in Steel Science and Technology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-364-2176-654.
- [2] *Think HSS: Introduction* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.hssforum.com/IntroductionEN.pdf>
- [3] *Think efficiency, Think HSS: Milling* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.hssforum.com/MillingEN.pdf>
- [4] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [5] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Výrobní technologie II: [obrábění]*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2189-4.
- [6] HUMÁR, Anton. *Technologie I základní metody obrábění – 1. část* [online]. Brno: VUT-FSI, 2004 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf
- [7] SOUKUP, Miroslav. *Frézování kovových materiálů* [online]. ISŠTE Sokolov [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://rhea.isste.cz/download.php?soubor=frezovani.pdf>
- [8] *Milling Parameters Illustrated* [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: http://images.slideplayer.com/15/4731483/slides/slide_29.jpg
- [9] *Nesousledné a sousledné frézování* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.oocities.org/hippodenso2000/photos/milling1.jpg>
- [10] *Hoffmann-group.com* [online]. [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: https://www.hoffmann-group.com/medias/sys_master/root/h54/h09/8871609106462/b18150.jpg
- [11] *Zps-fn.cz* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.zps-fn.cz/root/_temp/products/frezy-HSS/12_140608_1.jpg
- [12] *Hurco.cz* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.hurco.cz/uploaded/maschinen-gfx/VMX42HSRTiHead.jpg>
- [13] *Tajmac-zps.cz* [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/images/h630.jpg>
- [14] FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994.
- [15] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [16] JURČI, Peter. *Nástrojové oceli ledeburitického typu*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04439-1.
- [17] NĚMEC, Karel. *Nástrojové oceli: Studijní opory předmětu Struktura a vlastnosti materiálů* [online]. Brno: VUT-FSI [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/podklady-pro-vyuku-zimni-semestr>

- [18] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
- [19] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [20] SKOTNICOVÁ, Kateřina a Miroslav KURSA. *Prášková metalurgie: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3596-9.
- [21] VALÁŠEK, Petr. *Kompozity, prášková metalurgie a keramika*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2014. ISBN 978-80-213-2488-6.
- [22] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium CTT-K* [online]. Brno: VUT-FSI, 2006 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_5.htm
- [23] *Lecture 10: Powder Metallurgy* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://nptel.ac.in/courses/112107144/Metal%20Forming%20&%20Powder%20metallurgy/lecture10/lecture10.htm>
- [24] *Sintering* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://riad.pk.edu.pl/~mnykiel/iim/KTM/MP/DOWNLOAD/pdf/CHAPT06.PDF>
- [25] KRAUS, V. *Tepelné zpracování a slinování: přednášky* [online]. Západočeská univerzita [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/TZSprcelk.pdf>
- [26] HILLSKOG, T. Powder-Metallurgy Tool Steel: An Overview. *MetalForming Magazine* [online]. January 2003, p. 48-51. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.bucanada.ca/media/pm_tool_steels_metalformingmagazine03.pdf
- [27] *Společnost ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/spolecnost-zps-fn-a-s/>
- [28] *Společnost ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/divize-frezy/>
- [29] *Společnost ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/divize-tepelneho-zpracovani/>
- [30] *Materiály používané k výrobě HSS fréz ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/materialy-pouzivane-k-vyrobe-hss-frez/>
- [31] *Povlaky HSS fréz ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/povlaky-pouzivane-ke-zvyseni-zivotnosti-a-produktivity-frez/>
- [32] *Katalog ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/frezy-valcove-a-valcove-celni-se-stopkou-valcovou-hss/3359id/frezy-valcove-celni-kratke,-1-zub-pres-stred,-typ-n,-din-844,-iso-1641,-~csn-222130,-ploska-weldon,-rychlomezna-ocel-hsse-pm/>
- [33] *Katalog ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/frezy-valcove-a-valcove-celni-se-stopkou-valcovou-hss/3359id/frezy-valcove-celni-kratke,-1-zub-pres-stred,-typ-nr,-din-844,-iso-1641,-ploska-weldon,-rychlomezna-ocel-hsse-pm/>

- [34] *Katalog ZPS-FN* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/frezy-valcove-a-valcove-celni-se-stopkou-valcovou-hss/3359id/frezy-valcove-celni-dlouhe,-1-zub-pres-stred,-typ-hr,-din-844,-iso-1641,-ploska-weldon,-rychlomezna-ocel-hsse-pm/>
- [35] *Společnost Hoffmann-Group* [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/company/group/unternehmenshistorie>
- [36] *Společnost Hoffmann-Group* [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/company/group/systempartner>
- [37] *Katalog Hoffmann-Group* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Monobr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/Fr%C3%A9zy-HSS/Stopkov%C3%A1-fr%C3%A9za-HSS-PM-TiAlN-6-mm-GARANT/p/191580>
- [38] *Katalog Hoffmann-Group* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Monobr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/Fr%C3%A9zy-HSS/Hrubovac%C3%AD-fr%C3%A9za-HSS-PM-6-mm-GARANT/p/192491>
- [39] *Katalog Hoffmann-Group* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Monobr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/Fr%C3%A9zy-HSS/Hrubovac%C3%AD-fr%C3%A9za-HSS-PM-10-mm-GARANT/p/192520>
- [40] *Společnost Emuge-Franken* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://emuge-franken3.com/unternehmen+M52087573ab0.html>
- [41] *Společnost Emuge-Franken* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.emugefranken.cz/1-home.html>
- [42] *Katalog Emuge-Franken* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/FRANKEN_frezovani_240.zip
- [43] *Společnost WNT* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/firma/total-tooling-jiz-10let.html>
- [44] *Společnost WNT* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/firma/total-tooling-jiz-10let/total-tooling-koncept-wnt.html>
- [45] *Katalog WNT* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Stopkov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/Dokon%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD/Typ%20H/HSSE%20DOKON%C4%8COVAC%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20H-PM-SC-925-60-930%C2%B0-9R2-60-9Z8-9HB-9K%20TI200PRO%205000725020>
- [46] *Katalog WNT* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Stopkov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/Hrubov%C3%A1n%C3%AD/Typ%20HR/HSS%20HRUBOVAC%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20HR-PM-SR-912-60-930%C2%B0-9Z4-9HB-9ML%20TICN%2054224120>

- [47] *Katalog WNT* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Stopkov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/Hrubov%C3%A1n%C3%AD%20%20dokon%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD/Typ%20HS/HSS%20HRUBOVAC%C3%8D%20DOKON%C4%8DOVAC%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20HS-PM-SS-912-60-930%C2%B0-9Z4-9HB-9L%20TICN%2050187120>
- [48] *Společnost Monometal* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.monometal.com/>
- [49] *Společnost Kalenast* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: http://www.kalenast.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=600172&id=1001&p1=53
- [50] *Společnost Gühring* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <https://shop.guehring.de/filter?doRedirect=false&subregister=FSGU03F&features%5B8%5D.id=feature-schneidstoff&features%5B8%5D.options%5B0%5D.id=HSS-E-PM&features%5B8%5D.options%5B0%5D.enabled=true&range.min=&range.max=>
- [51] *Společnost Fraisa* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.fraisa.com/en/assets/media/pdf/kataloge/en/FRAISA-end-milling-tools-2014.pdf>
- [52] *Společnost Fenes* [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?url=http://www.katalogi-narzedziowe.pl/katalogi-pliki/narzedzia-skrawajace/fenes-frezy-katalog-2015.pdf&embedded=true>
- [53] *Powder Metallurgy - Advantages of Powder Metallurgy over Conventional Metal Fabrication Techniques* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1416>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka / symbol	jednotka	popis
CIP	[-]	izostatické lisování za studena
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HIP	[-]	izostatické lisování za tepla
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSS (RO)	[-]	High Speed Steel (rychlořezná ocel)
HSS Co5	[-]	rychlořezná ocel s přísadou kobaltu (5 %)
HSS Co8	[-]	rychlořezná ocel s přísadou kobaltu (8 %)
HSS PM	[-]	rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií
HSSE	[-]	litá rychlořezná ocel
MIM	[-]	injekční vstřikování kovů
NO	[-]	nástrojové oceli
PD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický nitrid boru
PM	[-]	prášková metalurgie
PREP	[-]	Plasma Rotating Electrode Process (metoda atomizace taveniny)
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition (metoda povlakování)
REP	[-]	Rotating Electrode Process (metoda atomizace taveniny)
RO	[-]	rychlořezná ocel
A_1	[° C]	eutektoidní teplota systému Fe-Fe ₃ C
A_{Di}	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	[mm ²]	maximální velikost jmenovitého průřezu třísky
B	[mm]	šířka frézované plochy
D	[mm]	průměr frézy
H	[mm]	hloubka frézování
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti povrchu
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
e	[mm]	vzdálenost osy frézy od osy frézované plochy
f_z	[mm]	posuv na zub
h_i	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
h_{max}	[mm]	maximální jmenovitá tloušťka třísky
n	[min ⁻¹]	otáčky frézy
v_c	[m · min ⁻¹]	řezná rychlost
v_e	[m · min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
v_f	[m · min ⁻¹]	posuvová rychlost (obvykle se ale použ. jednotky [mm · min ⁻¹])
z	[-]	počet zubů frézy
φ_i	[°]	úhel posuvového pohybu
φ_{max}	[°]	maximální úhel posuvového pohybu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Chemické složení rychlořezných ocelí [14]

Příloha 2 Přehled slinovacích procesů [20]

PŘÍLOHA 1: CHEMICKÉ SLOŽENÍ RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ

Ocel značky	Chemické složení oceli v procentech										
	C	Mn max.	Si max.	P max.	S max.	Cr	Ni max.	Mo	V	W	Co
19 800	0,75 - 0,85	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	1,30 - 2,00	8,00 - 9,50	
19 802	0,80 - 0,90	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	2,00 - 2,70	9,50 - 11,0	
19 810	1,20 - 1,35	0,45	0,45	0,035	0,035	4,00 - 4,80		max. 0,50	3,60 - 4,50	10,0 - 12,0	
19 813	1,00 - 1,10	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		4,50 - 5,50	1,20 - 1,90	max. 0,50	
19 820	0,95 - 1,05	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		2,20 - 3,20	2,00 - 2,70	2,40 - 3,40	
19 824	0,70 - 0,80	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	1,00 - 1,60	17,0 - 19,0	
19 829	0,98 - 1,08	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		4,50 - 5,50	1,50 - 2,20	5,50 - 7,00	
19 830	0,80 - 0,90	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		4,50 - 5,50	1,50 - 2,20	5,50 - 7,00	
19 850	0,90 - 1,00	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		4,50 - 5,50	1,70 - 2,40	5,00 - 6,50	7,30 - 8,70
19 851	1,05 - 1,15	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		3,30 - 4,30	1,50 - 2,20	6,20 - 7,70	4,50 - 5,50
19 852	0,80 - 0,90	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		4,50 - 5,50	1,50 - 2,20	5,50 - 7,00	4,30 - 5,20
19 855	0,65 - 0,75	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	1,20 - 1,80	17,0 - 19,0	4,20 - 5,20
19 856	0,90 - 1,00	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	2,00 - 2,70	9,50 - 11,0	4,50 - 5,50
19 857	0,90 - 1,00	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	2,00 - 2,70	9,50 - 11,0	9,00 - 10,5
19 858	1,30 - 1,45	0,45	0,45	0,035	0,035	4,00 - 4,80		max. 0,50	3,80 - 4,70	11,0 - 13,0	4,50 - 5,50
19 859	0,60 - 0,70	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		max. 0,50	1,50 - 2,20	17,0 - 19,0	9,00 - 10,5
19 860	0,70 - 0,80	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		0,50 - 0,90	1,30 - 1,90	17,0 - 19,0	9,00 - 10,0
19 861	1,15 - 1,30	0,45	0,45	0,035	0,035	3,80 - 4,60		3,50 - 4,30	3,00 - 3,70	9,50 - 11,0	10,0 - 11,5
R8M3K6C	1,05 - 1,13					3,50 - 3,90		3,40 - 4,00	1,50 - 1,90	7,50 - 8,50	5,80 - 6,50
ASP 23	1,27					4,20		5,00	3,10	6,40	
ASP 30	1,27					4,20		5,00	3,10	6,40	8,5
ASP 60	2,30					4,20		7,00	6,50	6,50	10,5
42 29 92	0,75 - 0,90	0,50	0,70	0,040	0,040	3,80 - 4,50	0,25	0,70 - 1,00	2,00 - 2,70	9,50 - 11,0	

PŘÍLOHA 2: PŘEHLED SLINOVACÍCH PROCESŮ

Slinování					
bez tlaku				tlakové	
v tuhém stavu		s tekutou fází		nízké tlaky	vysoké tlaky
vícemolekulární systém <ul style="list-style-type: none"> • slinování kompozitů • aktivované slinování • homogenizace 	jednomolekulární systém	s přechodnou kapalnou fází <ul style="list-style-type: none"> • reaktivní slinování • tuhý roztok 	s stabilní kapalnou fází <ul style="list-style-type: none"> • smíšená fáze • super-solidus 	<ul style="list-style-type: none"> • creep • viskózní tok 	<ul style="list-style-type: none"> • plastický tok