



Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Lukáš Charvát**

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Selection of metal-working tools for high feed milling in SKODA AUTO a.s., Mlada Boleslav plant

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering
Author: **Lukáš Charvát**
Supervisor: Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Charvát**

Osobní číslo: **S13000264**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav**

Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Shrnutí poznatků o vysokoposuvovém frézování.
2. Návrh metodiky experimentů pro výzkum vhodných nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav.
3. Realizace řešení.
4. Vyhodnocení experimentů pro výzkum vhodných nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě v ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav.
5. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.



Rozsah grafických prací: **Obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby.**

Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran textu**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KOCMAN, K., PROKOP, K.** *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
2. **BILÍK, O.** *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
3. **VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol.** *Obrábění*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s. ISBN -.
4. **Firemní podklady.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.**

Katedra obrábění a montáže

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miloslav Ledvina**

Katedra obrábění a montáže

Ostatní konzultanti: **Jiří Pavlíček**

ŠKODA AUTO, a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **2. března 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. srpna 2017**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 28. 06. 2016

Podpis:



Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav

Anotace:

Předložená bakalářská práce zpracovaná na téma "Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav" se zabývá výběrem vhodného dodavatele nástrojů pro technologii vysokoposuvového frézování (HFM).

V teoretické části byl proveden rozbor týkající se problematiky frézování, automatizace výroby, používaných nástrojů a materiálů. Další významnou součástí teoretické části je fyzikální podstata opotřebení bříty, formy a kritéria opotřebení bříty nástroje.

Experimentální část nejprve popisuje metodiku experimentů, stroj a vstupní parametry, dále materiály vybrané pro výzkum, ekonomické porovnání a končí vyhodnocením výsledků.

Klíčová slova: vysokoposuvové frézování, nástroj, opotřebení, produktivita, vibrace

Selection of metal-working tools for high feed milling in SKODA AUTO a.s., Mlada Boleslav plant

Annotation:

This bachelor thesis elaborated on the theme "Selection of metal-working tools for high feed milling in SKODA AUTO a.s., Mlada Boleslav plant" deals with the selection of suitable supplier of tools for high feed milling technology.

The theoretical part was analyzed on the issue milling, manufacturing automation, tools and materials used. Another important part of this chapter is the physical nature of tool wear, mold and tool life criteria .

Experimental part describe methodology of experiments and machine input parameters, as well as the materials selected for the research, economic comparisons and ends with an evaluation of the results .

Keywords: high feed milling, tool, wear, productivity, vibration

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2016

Archivní označ. zprávy: Počet stran: 70 Počet tabulek: 12
Počet příloh: 2 Počet obrázků: 72

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav

**Selection of metal-working tools for high feed milling in SKODA AUTO
a.s., Mlada Boleslav plant**

Evidenční číslo práce: **KOM 1283**

Jméno a příjmení: **Lukáš Charvát**

Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.**

Katedra obrábění a montáže

Konzultant: **Ing. Miloslav Ledvina**
Katedra obrábění a montáže

Jiří Pavlíček

ŠKODA AUTO a.s.

Počet stran: 70

Počet příloh: 2

Počet tabulek: 12

Počet obrázků: 72

Datum: 28.6.2016

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce **Ing. et Ing. Štěpánce Dvořáckové, Ph.D.** za příkladné vedení, ochotu, odborné konzultace a velmi důležité a přínosné rady a připomínky při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantům této práce panu **Jiřímu Pavlíčkovi** a kolektivu spolupracovníků, zejména pak panu **Jiřímu Kellerovi** za odborné rady.

V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mých studií.

Lukáš Charvát

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	12
1 Úvod.....	14
2 Technologie frézování.....	15
2.1. Základní způsoby frézování.....	15
2.2. Stroje – frézky.....	17
2.3. Mechanizace a automatizace obráběcích strojů.....	17
2.4. Nástroje – frézy.....	18
2.4.1. Plochy nástroje.....	19
2.4.2. Ostří nástroje.....	19
2.4.3. Nástrojové materiály.....	20
2.5. Druhy nástrojů – fréz.....	21
2.5.1. Druhy nástrojů pro CNC obráběcí centra.....	23
2.6. Upínání nástrojů a obrobků.....	23
2.7. Opotřebení břitu.....	25
2.7.1. Fyzikální podstata opotřebení.....	25
2.7.2. Formy opotřebení.....	29
2.7.3. Kritéria opotřebení.....	30
2.8. Vztahy – vzorce.....	31
2.8.1. Kinematika.....	31
2.8.2. Průřez třísky.....	32
2.8.3. Řezné síly.....	33
2.9. Technologie vysokoposuvového frézování (HFM – high feed milling)....	34
3 Experiment.....	37

3.1.	Metodika experimentu.....	37
3.1.1.	Stroj.....	37
3.1.2.	Dodavatelé.....	39
3.1.3.	Způsob upínání.....	39
3.1.4.	Materiály.....	40
3.1.5.	Řezné podmínky.....	41
3.1.5.1.	Řezné podmínky pro materiál 1.7131.....	42
3.1.5.2.	Řezné podmínky pro materiál 1.2631.....	43
3.2.	Vlastní experiment – materiál 1.7131.....	45
3.2.1.	Produktivita výroby.....	46
3.2.2.	Vibrace a zatížení.....	46
3.2.3.	Posuv na zub.....	48
3.2.4.	Objem odebraného materiálu.....	48
3.2.5.	Opotřebení břitu.....	49
3.3.	Vlastní experiment – materiál 1.2631.....	50
3.3.1.	Produktivita výroby.....	51
3.3.2.	Vibrace a zatížení.....	51
3.3.3.	Posuv na zub.....	53
3.3.4.	Objem odebraného materiálu.....	53
3.3.5.	Opotřebení břitu.....	54
3.4.	Ekonomické porovnání.....	55
3.4.1.	D20.....	56
3.4.2.	D25.....	57
3.4.3.	D30, D32, D35.....	58

3.4.4.	D50, D52.....	59
3.4.5.	D63, D66.....	60
3.4.6.	Celkové pořizovací náklady na frézovací sérii.....	61
4	Diskuze.....	62
5	Závěr.....	66
	Použitá literatura.....	67
	Seznam příloh.....	70

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Jednotka	Popis
ψ	[°]	úhel záběru frézy
φ_i	[°]	úhel posuvového pohybu
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
Si	[-]	křemík
Cr	[-]	chrom
V	[-]	vanad
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
W	[-]	wolfram
C	[-]	uhlík
Al_2O_3	[-]	oxid hlinitý
v_c	$[\text{m}\cdot\text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}]$	posuvová rychlost
n	$[\text{s}^{-1}]$	otáčky
a_p	[mm]	hloubka řezu
a_e	[mm]	šířka řezu
f	$[\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}]$	posuv
f_z	[mm]	posuv na zub
f_n	[mm]	posuv na otáčku
z	[-]	počet zubů (břítu) nástroje
h_i	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
b_i	[mm]	jmenovitá šířka třísky
e	[mm]	excentricita
A_{Di}	$[\text{mm}^2]$	jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	$[\text{mm}^2]$	maximální velikost jmenovitého průřezu třísky
$\varnothing D$	[mm]	průměr frézy
D	[mm]	délka
\check{S}, B	[mm]	šířka
V	[mm]	výška
F_{ci}	[N]	řezná síla
k_{ci}	[N]	měrná řezná síla
n_z	[N]	počet zubů v záběru
C_{Fc}	[N]	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu

x	[-]	exponent vlivu tloušťky třísky
VB	[mm]	opotřebení na hřbetu nástroje
KV _y	[mm]	radiální opotřebení špičky
KT	[mm]	velikost žlábků na opotřebeném hřbetu nástroje
CNC	[-]	obráběcí stroje číslicově řízené počítačem
NC	[-]	obráběcí stroje číslicově řízené
ČSN	[-]	česká státní norma
ISO	[-]	mezinárodní organizace pro normalizaci
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
HFM	[-]	high feed milling – frézování vysokým posuvem
SK	[-]	slinuté karbidy

1. Úvod

Technologie frézování vysokým posuvem (tzv. HFM – High feed milling) je zaměřena na extrémně vysoký úběr materiálu za krátký čas bez velkých nároků na kvalitu obrobené plochy. Používá se tedy převážně při hrubování. K dosažení hodnot krátkých obráběcích časů se využívají specifika této metody, která jsou – malá axiální hloubka záběru a malý úhel nastavení. Při nastavení vyšší řezné rychlosti a vyšších otáček oproti konvenčním metodám frézování a vysoké rychlosti posuvu dosáhneme požadovaného extrémního úběru materiálu. Dalším předpokladem je použití kvalitních nástrojů.

Hlavním cílem předkládané práce bylo vybrat nejvhodnější nástroje pro použití k vysokoposuvovému (HFM) frézování v nářadovně ve ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav.

Zadavatelem, firmou ŠKODA AUTO, bylo požadováno zoptimalizování výroby svařovacího nářadí. Z toho důvodu bylo potřeba provést porovnávací zkoušky nástrojů pro vysokoposuvové frézování a z nich na základě výsledků vybrat dodavatele, který by byl partner pro budoucí dlouhodobou spolupráci.

Pro výběr vhodných nástrojů bylo osloveno devět dodavatelů frézovacího nářadí. Byly to firmy TaeguTec, Depo, Hoffmann, Fette, Pokolm, Seco, Pramet, Sumitomo a Kennametal.

Jako materiál pro zkoušky frézování byla použita konstrukční ocel třídy 14 - 1.7131 (ČSN 14220) a nástrojová ocel třídy 19 - 1.2631 (ČSN 19559), obě v rozměru 200x200x300 (ŠxVxD) a bez tepelných úprav.

Bakalářská práce je rozdělena do třech hlavních částí – a to část teoretickou, experimentální a závěrečnou.

V teoretické části je popsána technologie frézování, druhy nástrojů a formy a kritéria jejich opotřebení.

Experimentální část je zaměřena na samotný výzkum, který se zabývá produktivitou výroby, hodnotami vibrací a zatížení na vřetení stroje, posuvy na zub, objemy odebraného materiálu, velikostí opotřebení VBD a cenovým srovnáním jednotlivých řešení.

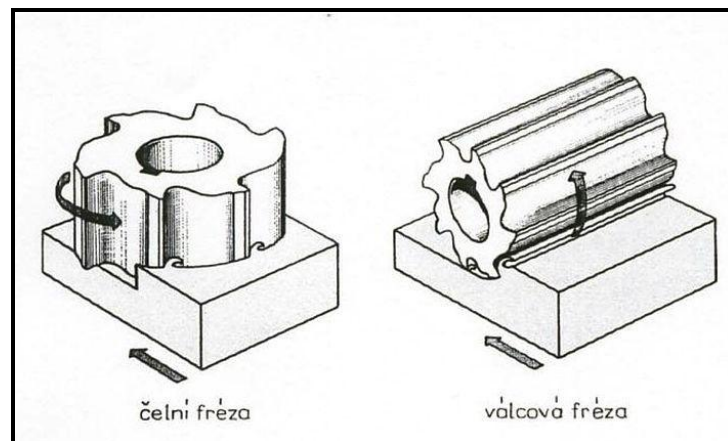
Závěrečná část je pak věnována shrnutí a vyhodnocení experimentu a interpretaci dosažených výsledků.

2. Technologie frézování

2.1. Základní způsoby frézování

Frézování je obráběcí metoda využívající odebrání materiálu obrobku břitý rotujícího nástroje. Posuv je nejčastěji vykonáván obrobkem převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (např. obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces není plynulý a každý zub frézy přerušovaně odřezává krátké třísky o proměnné tloušťce.

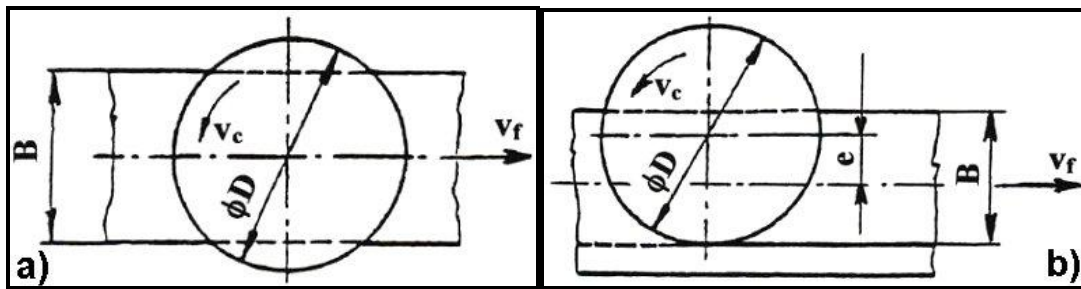
Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování **čelní**, kdy se frézuje čelem nástroje (obr.2-1) a frézování **válcové** kdy se frézuje obvodem nástroje (obr.2-1). Od těchto základních způsobů jsou odvozeny další způsoby frézování, např. **okružní** a **planetové**. [1, 2]



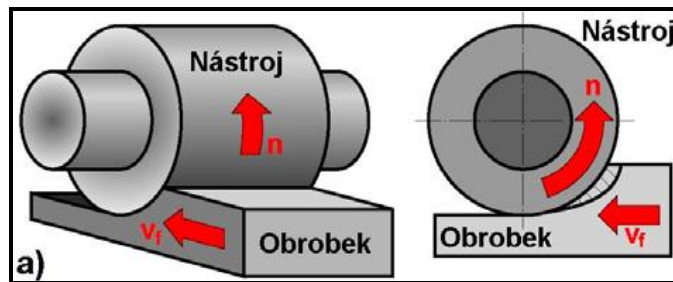
Obr.2-1 Způsoby frézování [3]

Při **čelním frézování** se používají frézy, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje frézování **symetrické**, při kterém prochází osa nástroje středem frézované plochy (obr. 2-2a) a **nesymetrické**, při kterém je osa nástroje mimo střed frézované plochy (obr. 2-2b). U čelního frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně. [1,4]

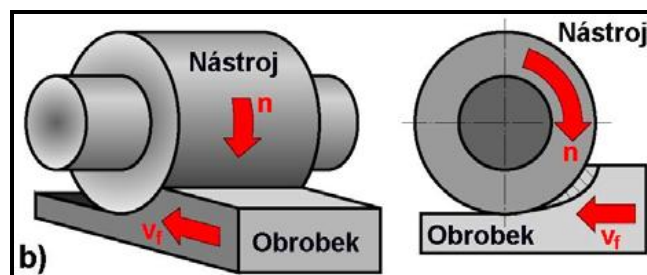
Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Používají se frézy, které mají zuby vytvořeny po obvodu nástroje a hloubka odebrané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Osa otáčení frézy je rovnoběžná s obrobenou plochou. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování **nesousledné** (protisměrné, nesousměrné, obr. 2-3) a **sousledné** (sousměrné, obr. 2-4). [4]



Obr. 2-2 Čelní frézování symetrické a nesymetrické [1]



Obr. 2-3 Válcové frézování nesousledné [4]



Obr. 2-4 Válcové frézování sousledné [4]

Při **nesousledném frézování** rotuje nástroj proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. Tříska se neodděluje ve chvíli kdy má nulovou tloušťku, ale až po skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. To má za následek vznik silových účinků a deformací, které zvyšují opotřebení břitu. Během nesousledného frézování má řezná síla složku, která působí směrem vzhůru a odtahuje obrobek od stolu stroje. [4, 5]

Výhody nesousledného frézování:

- trvanlivost nástroje není závislá na okujích, písčitém povrchu obrobku a pod.,
- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- vzniká jen malé opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.

Při **sousledném frézování** nástroj rotuje ve směru posuvu obrobku. Tříska se odděluje ve chvíli, kdy má nulovou tloušťku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Vznikající řezné síly působí obvykle směrem dolů, proti stolu stroje. Frézovat sousledně lze pouze za předpokladu, že je vymezena vůle a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje. [4, 5]

Výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost břitů, lze použít vyšší posuvy a řezné rychlosti,
- stačí nižší řezný výkon,
- řezná síla působí proti stolu – jednodušší upínání,
- menší sklon ke kmitání,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,
- nižší drsnost povrchu po obrobení.

Hlavní, rotační pohyb u všech druhů frézování koná nástroj, posuvový pohyb je většinou přímočarý a koná ho obrobek. U okružního a planetového frézování může být i pohyb rotační a může ho konat obrobek nebo nástroj. [4]

2.2. Stroje – frézky

Frézovací stroje - frézky se vyrábí ve velkém počtu modelů a velikostí, často pak s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Zpravidla se člení do čtyř základních skupin - **konzolové, stolové, rovinné a speciální**. Dále rozlišujeme frézky ovládané ručně a řízené programově. [4]

2.3. Mechanizace a automatizace obráběcích strojů

Mechanizace, tj. nahrazení ruční práce obsluhy obráběcích strojů a automatizace jejich pracovních cyklů patří mezi obecně platné trendy vývoje výrobního zařízení. Tyto trendy vedou k usnadnění a zrychlení práce, zvýšení výkonu, efektivnosti a přesnosti výroby.

Obráběcí stroje mohou být automatizovány zcela nebo částečně. U plně automatizovaných strojů (automatů) probíhá celý pracovní cyklus (výměna obráběné součásti, spuštění stroje, obrobení součásti) bez zásahu obsluhy. U částečně automatizovaných strojů (poloautomatů) je automatizován pouze vlastní cyklus obrábění, obsluha musí vyměnit obráběnou součást a spustit stroj. U automatů a

poloautomatů je pracovní cyklus seřízen jen na provedení konkrétní operace, v konkrétním pořadí na určitém konkrétním obrobku.

Úkony obsluhy:

- nastavení požadovaných řezných podmínek (v_c , a_p , f),
- upnutí nástroje a jeho ustavení do pracovní polohy,
- upnutí obrobku,
- seřízení časového sledu strojních operací a jejich provedení,

Pracovní cyklus stroje:

- přísuv nástroje z výchozí polohy do pracovní polohy,
- provedení řezného pohybu,
- návrat nástroje do výchozí polohy.

Čas potřebný na seřízení stroje je důležitým kritériem pro hodnocení stupně jeho automatizace. Podle délky času potřebného pro seřízení stroje, v poměru k celkovému času výroby, jsou obráběcí stroje rozdělovány na stroje s **tvrdou** a stroje s **pružnou** automatizací. Tvrdě automatizované stroje se dlouze seřizují a při náběhu nové výroby je třeba vyměnit některé součásti - proto se tyto stroje hodí pouze pro velkosériovou a hromadnou výrobu. U obráběcích strojů s pružnou automatizací trvá seřízení na výrobu nové součásti jen krátce a není třeba měnit žádný automatizační prvek. [4, 6, 7, 8]

2.4. Nástroje - frézy

Části frézy jsou těleso, stopka, upínací díra, řezná část, základna a břit.

Těleso je část nástroje, na které jsou přímo vytvořené nebo upevněné elementy ostří (obr. 2-5, označeno 1).

Stopka je část nástroje určená pro upnutí.

Upínací díra je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, určených pro nastavení a upnutí nástroje.

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu. Používá se při výrobě, ostření a upnutí nástroje. Obecně je osa

nástroje středová čára stopky nebo upínací díry nástroje. Obvykle je rovnoběžná nebo kolmá k danému povrchu nástroje.

Řezná část je funkční část nástroje obsahující prvky, které tvoří třísku (obr. 2-5, označeno 3). Těmito prvky jsou ostří, čelo a hřbet. U vícezubého nástroje má každý zub (břit) svou řeznou část.

Základna je plochý prvek stopky nástroje, který je zpravidla rovnoběžný nebo kolmý k základní rovině nástroje (obr. 2-5, označeno 2). Slouží pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření. Všechny nástroje však nemusí mít jednoznačně určenou základnu.

Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem nástroje a může být spojený s hlavním i vedlejším ostřím. [1, 2, 9]

2.4.1. Plochy nástroje

Při vniknutí nástroje do obrobku začíná samotný řezný proces. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. Každá plocha povrchu řezné části nástroje se označuje symbolem skládajícím se z písmene **A** a z indexu řecké abecedy, který určuje druh plochy (např. A_γ - čelo). Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují s čárkou (např. A_α' - vedlejší hřbet).

Čelo A_γ je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska (obr. 2-5). Tvar čela určuje křivka vytvořená průsečíkem plochy čela A_γ s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří P_n (pokud je definovaný v jiných rovinách, musí být jednoznačně specifikován).

Pomocí **utvařeče třísky** je lámána nebo svinována (utvářena) tříska. Je to část čelní plochy realizovaná vhodným tvarováním čela, nebo přiloženým utvařečem.

Hřbet (A_α , A_α') je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku (obr. 2-5). **Hlavní hřbet A_α** směřuje k přechodové ploše obrobku, **vedlejší hřbet A_α'** směřuje k obrobené ploše obrobku. [2, 4, 10]

2.4.2. Ostří nástroje

Ostří je prvek řezné části nástroje, kterým se realizuje vlastní proces řezání.

Hlavní ostří **S** je část ostří začínající v bodě, kde je nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r rovný nule a která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku (obr. 2-5).

nástrojový materiál splňovat po dostatečně dlouhou dobu i při vysokých teplotách. [11, 12]

Nejčastěji používané materiály na nástroje jsou nástrojové (rychlořezné oceli), slinuté karbidy (SK), které se můžou také povlakovat pro zlepšení vlastností. Mezi další materiály určené pro specifitější použití patří řezná keramika na bázi Al_2O_3 , cermety a tzv. supertvrdé materiály, kterými jsou polykrystalický diamant (PD) a polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB). [1]

2.5. Druhy nástrojů - fréz

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy jsou vícebřité, někdy i tvarově složité nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

a) Podle umístění zubů na tělese nástroje se rozlišují frézy válcové (mají zuby na válcové ploše - a1), čelní (mají zuby na čelní ploše - a2), válcové čelní (mají zuby na čelní i válcové ploše - a3).

b) Podle nástrojového materiálu zubů se rozlišují frézy z rychlořezné oceli (b1), slinutých karbidů (b2), cermetů (b3), řezné keramiky (b4), KNB (b5) a PKD (b6).

c) Podle provedení zubů se rozlišují frézy se zuby frézovanými (c1) nebo podsoustruženými (c2).

d) Podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby příkými (d1) a zuby ve šroubovici (d2), pravé nebo levé.

e) Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé (e1), polohrubozubé (e2) a hrubozubé (e3). Pro klidný chod frézy má být počet zubů takový, aby současně řezaly nejméně dva zuby.

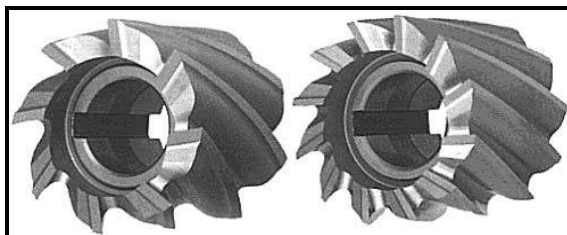
f) Podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy celistvé (těleso i zuby jsou z jednoho materiálu - f1), s vloženými noži (f2) a frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, mechanicky upevněnými k tělesu frézy (f3).

g) Podle geometrického tvaru funkční části se rozlišují frézy válcové (g1), kotoučové (g2), úhlové (g3), drážkovací (g4), kopírovací (g5), rádiusové (g6), na výrobu ozubení (g7), atd.

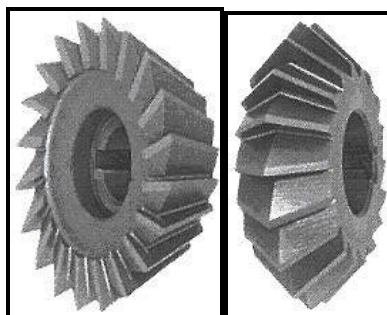
h) Podle způsobu upnutí jsou frézy nástrčné (upínají se na centrální otvor - h1) a stopkové (upínají se za válcovou - h2 nebo kuželovou stopku - h3).

i) Podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena stroje se frézy dělí na pravořezné (i1) a levořezné (i2). [4, 13, 14]

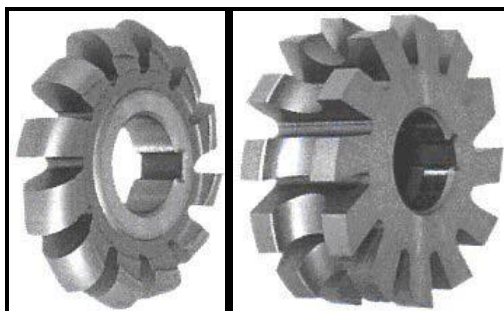
Pozn.: údaj v závorce (písmeno + číslo: např. a1, d3, f2, g5, atd.) slouží pro identifikaci fréz na obr.2-6 až 2-14. [4]



Obr.2-6 (a3, b1, c1, d2, e2, f1, g1, h1, i1)



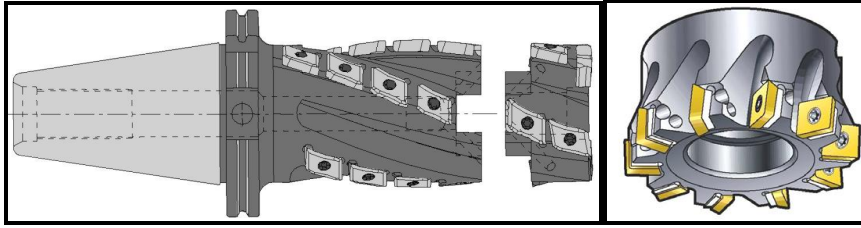
Obr.2-7 (a3, b1, c1, d1, e3, f1, g3, h1, i1) Obr.2-8 (a1, b1, c1, d1, e2, f1, g3, h1, i2)



Obr.2-9 (a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1, i2)

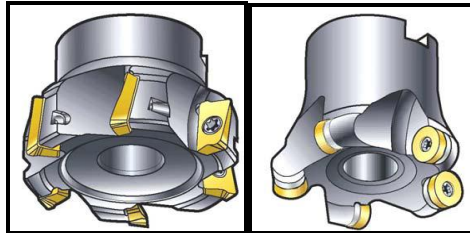


Obr.2-10 (a3, b2, c1, d2, e3, f1, g4, g5, h2, i1)



Obr.2-11 (a3, b2, c-, d2, e3, f3, g1, h3, i1)

Obr.2-12 (a2, b2, c-, d2, e2, f3, g-,
h1, i1)



Obr.2-13 (a2, b2, c-, d2, e3, f3, g-, h1, i1)

Obr.2-14 (a2, b2, c-, d1, e3, f3, g-, h1, i1)

2.5.1. Druhy nástrojů pro CNC obráběcí centra

Nástroje pro CNC obráběcí centra mají stavebnicovou konstrukci, obvykle s těmito členy: – základní držák pro upnutí na obráběcím centru,

- redukční členy (umožňují změnu velikosti příčného průřezu),
- prodlužovací členy (umožňují změnu polohy špičky řezné části nástroje),
- upínací členy sloužící pro upnutí řezných částí nástroje,
- řezná část nástroje (nebo normalizovaný nástroj),

Nástroje je potřeba seřídit na speciálním seřizovacím přístroji (nutnost zabezpečení požadované polohy řezné části nástroje, s kterou pracuje řídicí program stroje). Jednotlivé řezné části se vyrábí z kvalitních nástrojových materiálů s vysokou řezivostí a jejich optimální trvanlivost obvykle nepřesahuje hodnotu $T=15$ minut (pracují s vysokými řeznými rychlostmi). Všechny nástroje jsou na obráběcích centrech uloženy v zásobnících nástrojů. [4,15,16]

2.6. Upínání nástrojů a obrobků

Pro upínání nástrčných fréz na frézkách se používají frézovací trny. Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetena může být buď metrický s kuželovitostí 1:20, nebo Morse 1:19 až 20 nebo strmý 1:3,5. Metrický a Morse kužel jsou samosvorné a mohou přenést krouticí moment z vřetena na frézovací trn. Aby upnutí

nástrojů na trnech bylo co nejtuzší, upínají se frézy co nejbliže k vřetenu. Výsuvné rameno je k fríze rovněž přisunuto co nejbliže.

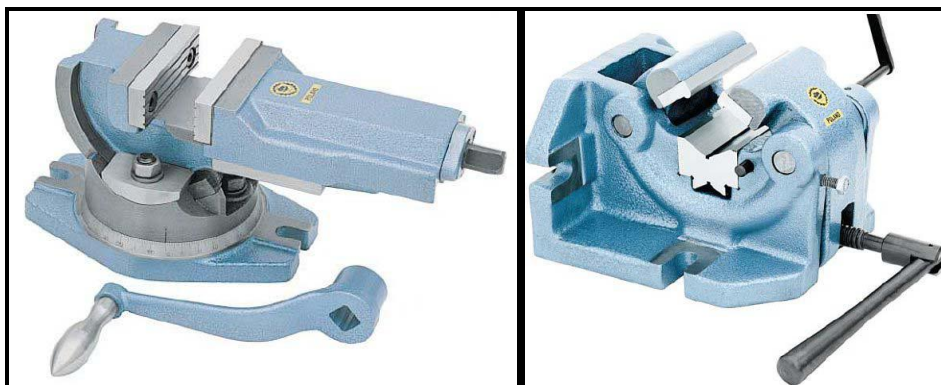
Čelní nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají krátkými upínacími trny letmo upnutými do vřetena stroje. Frézy s kuželovou stopkou se upínají pomocí redukčních pouzder přímo do upínacího kužele ve vřetenu frézky. Redukční pouzdro se používá také tehdy, neshoduje-li se kužel frézovacího trnu s kuželem vřetena. Frézy s válcovou stopkou se upínají do vřetena frézky při použití sklíčidla s upínacím pouzdrem.

Frézy s válcovou stopkou o průměru 3-50 mm se v současné době velmi často upínají pomocí speciálních tepelných nebo hydraulických upínačů. V tepelném upínači je nástroj vložen do tělesa upínače a poté spolu s ním ohříván ve speciálním zařízení pomocí magnetického pole cívky vysokofrekvenčního generátoru. Průběh ohřevu je tak rychlý, že zvýšení teploty nástroje v důsledku vedení tepla je minimální. Poté je upnutý nástroj ochlazen proudem vzduchu (ke zkrácení doby ochlazování se používají hliníková tělesa s žebrováním, která obepínají upínač s nástrojem, a vestavěný ventilátor). Uvolnění nástroje se provede ohřevem ve stejném zařízení.

Současným záběrem několika zubů vznikají při frézování velké řezné síly, takže obrobek musí být také řádně upnut. Je důležité, aby obrobek nebyl při upínání deformován a aby byla obráběná i upínací plocha co nejbliže vřetena. Menší obrobky se obvykle upínají do běžných strojních svěráků, otočných a sklopných svěráků (obr.2-15), speciálních svěráků pro upínání válcových součástí (obr.2-16) apod. Uvedené svěráky mohou být ovládány ručně, pneumaticky nebo hydraulicky.

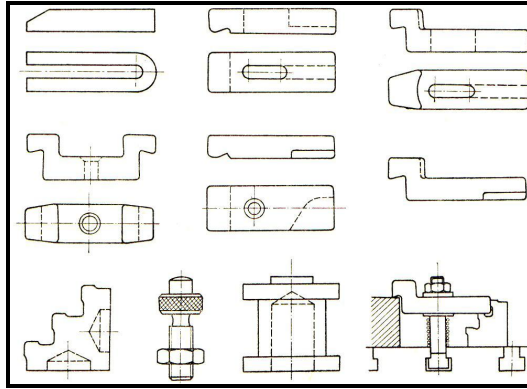
K upínání větších obrobků se používají rozličné upínací pomůcky, kterými jsou upínky, opěrky, podpěry, apod. (obr.2-17). Všechny tyto upínací pomůcky jsou upevňovány do T-drážek stolu frézky pomocí speciálních šroubů s čtvercovou hlavou.

[4]



Obr.2-15 Otočný sklopný svěrák [4]

Obr.2-16 Samostředící svěrák [4]



Obr.2-17 Základní upínky a podpěry obrobků [4]

2.7. Opotřebení břitu

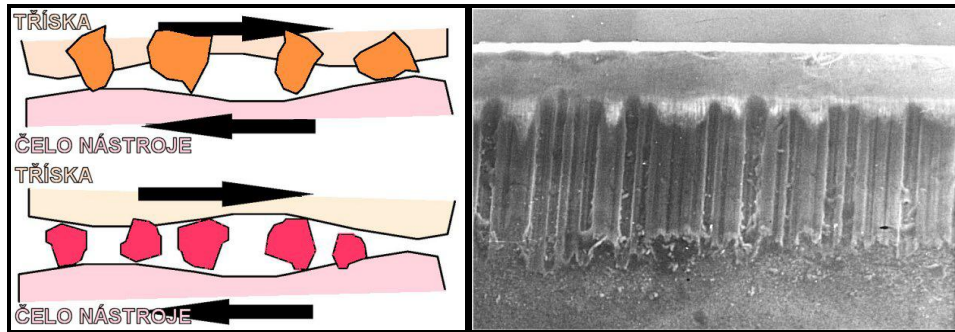
Podkapitola opotřebení břitu se opírá o odbornou literaturu a normy. Postupně jsou uvedeny poznatky o fyzikální podstatě opotřebení, jeho formách a kritériích. [1, 2, 4]

2.7.1. Fyzikální podstata opotřebení

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj – obrobek, nástroj - tříška, i ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje.

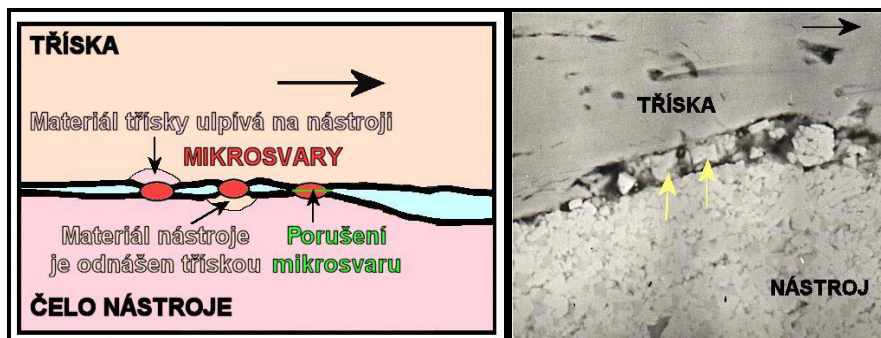
Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech zejména na fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, druhu obráběcí operace, geometrie nástroje, pracovních podmínkách, řezném prostředí, atd. V jeho průběhu působí mnoho odlišných fyzikálně - chemických jevů (mechanizmů opotřebení). K základním mechanismům opotřebení patří zejména:

- **abraze** (brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje) - obr.2-18 a 2-19,
- **adheze** (vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů) - obr.2-20 a 2-21,



Obr.2-18 Schéma abraze [17]

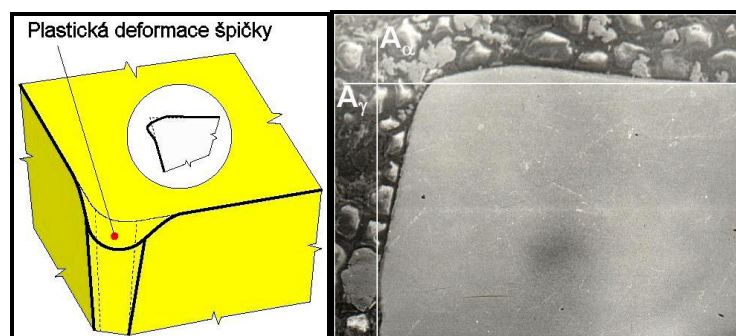
Obr.2-19 Abrazně opotřebený hřbet [4]



Obr.2-20 Schéma adheze [17]

Obr.2-21 Adheze u nástroje [4]

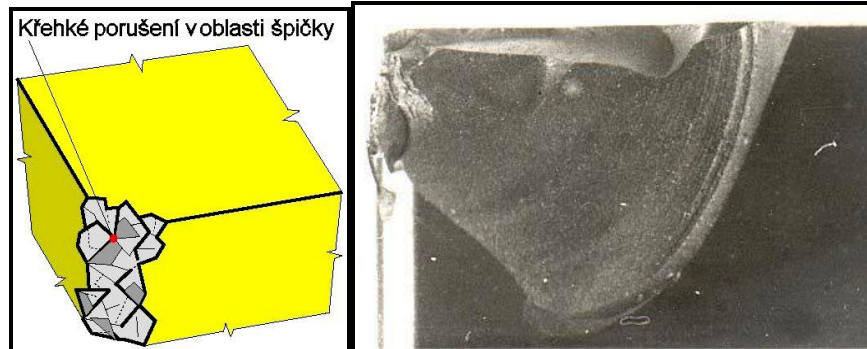
- **difúze** (migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje),
- **oxidace** (vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí),
- **plastická deformace** (důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase), která se může ve svém nejnepříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení - obr.2-22 a 2-23,



Obr.2-22 Schéma plastického porušení [17]

Obr.2-23 Plastické porušení čela [4]

- **křehký lom** (důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd.) - obr.2-24 a 2-25



Obr.2-24 Křehký lom [17]

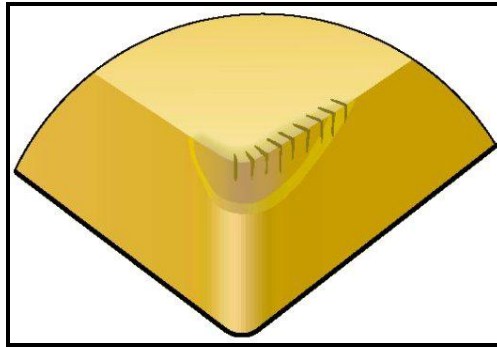
Obr.2-25 Křehký lom nástroje [4]

Abraze a adheze jsou též obvykle označovány jako fyzikální mechanismy opotřebení, difúze a oxidace jako chemické. Všechny čtyři působí v průběhu času plynule s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný. Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (náhlá změna tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špičky). Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace. Čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na čele (příp. na špičce) mají výrazný vliv i další faktory, kterými jsou např. geometrie nástroje, druh operace (hrubování, dokončování) a v neposlední řadě i řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu a chlazení).

Mimo výše uvedené základní mechanizmy uvádí odborná literatura i tyto další mechanismy opotřebení:

- **mechanická únava,**
- **tepelná únava** (projevuje se většinou vytvářením hřebenovitých trhlin, kolmých na ostří, a to na čele i hřbetu nástroje - obr.2-26,
- **delaminační opotřebení** (odlupování tenkých vrstev z povrchu nástroje - častý jev zejména u povlakovaných SK),
- **termoelektrické opotřebení** (odstraňování elektricky vodivého materiálu z funkčních povrchů nástroje),
- **rozpuštění nástrojového materiálu** (v jednotlivých bodech na povrchu nástroje),

- **elektrochemické opotřebení** (výměna iontů mezi materiálem nástroje a obrobku).



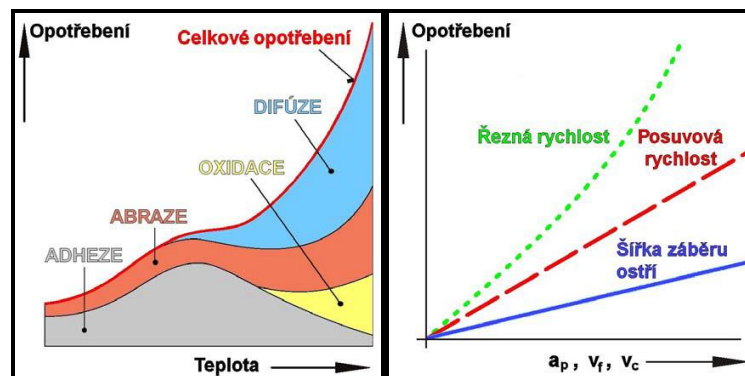
Obr.2-26 Hřebenovité trhliny [4]

Schopnost bříty odolávat abrazivnímu oťeru je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu oťeru odolávat dobře, avšak nemusí stejně dobře odolávat také jiným mechanismům opotřebení.

Adhezní oťer se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele bříty nástroje. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem a kdy je umožněno adhezní spojení obou materiálů.

Teplota řezání, chemické vlastnosti nástrojového materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difúzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost materiálu jen relativně malý podíl. O podílu difúzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku.

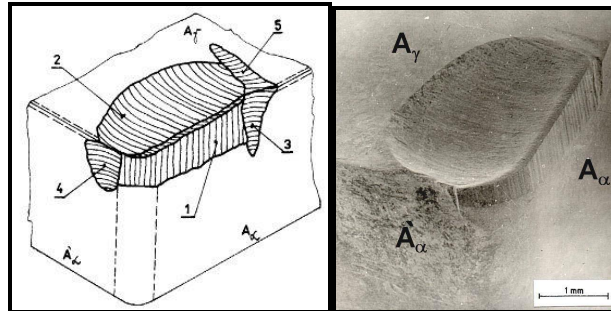
Plynule působící základní mechanismy opotřebení mají různý podíl na celkovém opotřebení a tento podíl se mění s narůstající teplotou (obr.2-27). Z řezných podmínek má na intenzitu celkového opotřebení největší vliv řezná rychlost v_c , menší vliv vykazují posuvová rychlost v_f a nejmenší šířka záběru ostří a_p (obr.2-28).



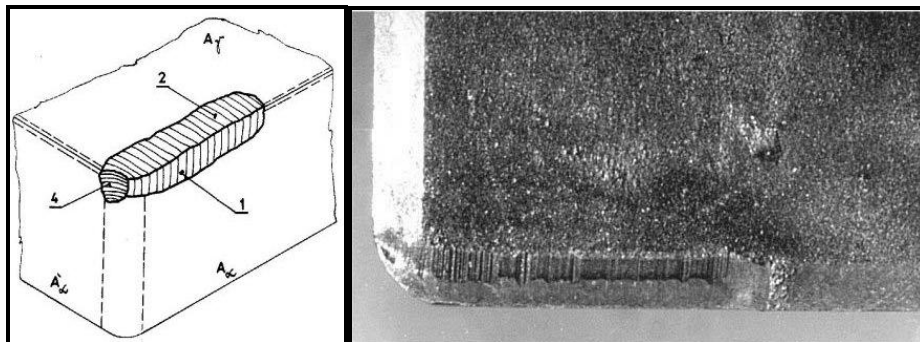
Obr.2-27 Vliv tepl. na jedn. mech. opotř. [17] Obr.2-28 Vliv řezn. podm. na opotř. [17]

2.7.2. Formy opotřebení

Vzhled břitu nástroje ze slinutého karbidu, se všemi typickými formami opotřebení, je uveden na obr.2-29, vzhled břitu nástroje z řezné keramiky na obr.2-31. Jednotlivé formy opotřebení jsou na obou obrázcích označeny následovně: 1 - fazetka opotřebení na hřbetě, 2 - výmol na čele, 3 - primární hřbetní rýha, 4 - sekundární (oxidační) hřbetní rýha, 5 - rýha na čele. Na obr.2-30 a obr.2-32 jsou dokumentovány opotřebované plochy nástroje ze slinutého karbidu resp. řezné keramiky.

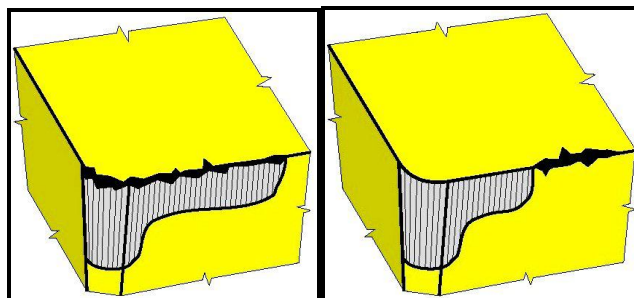


Obr.2-29 Formy opotř. břitu nást. z SK [4] Obr.2-30 Opotřebovaný břit nástroje z SK [4]



Obr.2-31 Formy opotř. břitu nást. z ŘK [4] Obr.2-32 VBD z ŘK opotř. na čele [4]

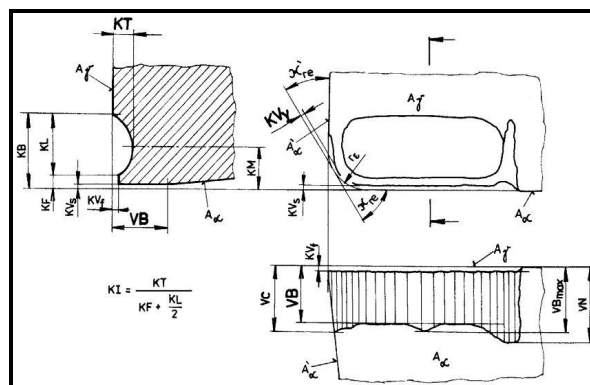
Některé další formy opotřebení, které se mohou vyskytovat na břitu nástroje, jsou uvedeny na obr.2-33 (vylomení břitu v místě záběru) a obr.2-34 (vylomení břitu mimo záběr).



Obr.2-33 Vylomení v místě záběru [17] Obr.2-34 Vylomení mimo záběr [17]

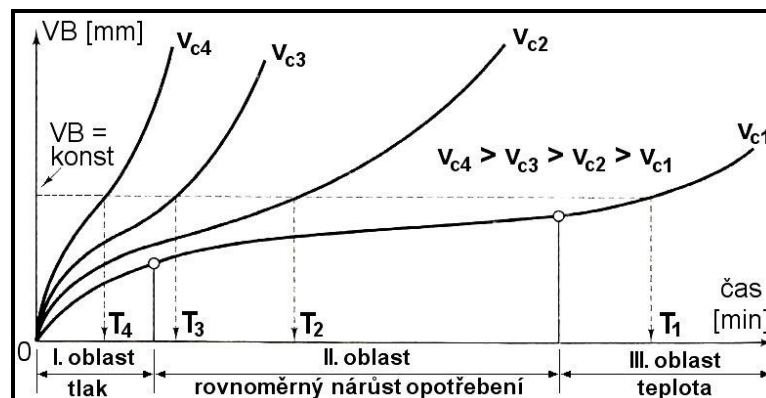
2.7.3. Kritéria opotřebení

Kritéria kvantifikující opotřebení, jsou uvedena na obr.2-35. Mezi nejčastěji užívaná kritéria patří VB - šířka fazetky opotřebení na hřbetě, KT - hloubka výmolu na čele, KVy - radiální opotřebení špičky. Kritérium KVy je významné zejména u dokončovacích operací, protože způsobuje změnu rozměru obrobenej plochy. Označování jednotlivých kritérií odpovídá místním zvyklostem, které se poněkud liší od normy ČSN ISO 3685, která označuje kritéria opotřebení na hřbetě VBC (VC na obr.2-35), VBB (VB), VBB max (VBmax) a VBN (VN).



Obr.2-35 Kritéria opotřebení řezného nástroje [4]

Doporučené hodnoty kritéria VB leží v rozsahu 0,2÷0,8 mm, jeho charakteristický časový průběh je uveden na obr.2-36 (křivka pro nejmenší řeznou rychlost v_{c1}). Poměrně rychlý nárůst hodnoty VB v oblasti I je způsoben velkým měrným tlakem, který působí na styku hlavního hřbetu nástroje s přechodovou plochou obrobku v důsledku velmi malé stykové plochy. V oblasti II hodnota VB rovnoměrně narůstá v důsledku působení základních mechanismů opotřebení, nakumulované tepelné zatížení nástroje znamená výrazné zvýšení intenzity opotřebení v oblasti III.



Obr.2-36 Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti [4]

Časový průběh hloubky výmolu na čele (**KT**) má charakter exponenciální křivky. Doporučené hodnoty leží v rozsahu 0,2÷0,3 mm, limitní hodnota se např. pro soustružení počítá v praxi podle vztahu:

$$KT = 0,06 + 0,3f \text{ [mm]},$$

kde: **f** [mm] - hodnota posuvu na otáčku.

Dalším praktickým kritériem opotřebení, které při hospodárných řezných podmínkách může rozhodovat o trvanlivosti břitu mnohem častěji než např. kritérium VB, je prolomení výmolu na čele (2) do vedlejšího ostří v oblasti sekundární hřbetní rýhy (4) - obr.2-29. Toto kritérium bude rozhodující zejména z hlediska posuzování struktury obrobeného povrchu, neboť znamená výrazné zhoršení parametrů drsnosti.

2.8. Vztahy – vzorce

Podkapitola vztahy – vzorce se opírá o odbornou literaturu a normy. Postupně jsou uvedeny výpočtové vztahy pro kinematiku frézování, průřez třísky a řezné síly. [4, 18, 19, 20]

2.8.1. Kinematika:

Hodnota řezné rychlosti se vypočítá podle vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

Základní jednotkou posuvového pohybu je posuv na zub f_z [mm], což je délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu záběru zubu. Z posuvu na zub lze vypočítat posuv na otáčku f_n [mm] (délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu jedné otáčky nástroje):

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}$$

Posuvová rychlost se vypočítá podle vztahu:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

kde: **D** [mm] - průměr nástroje

n [min⁻¹] - otáčky nástroje.

z [-] - počet zubů (břitů) nástroje

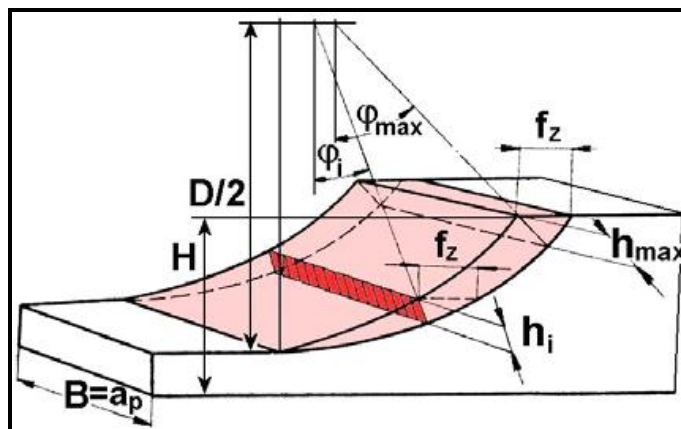
2.8.2. Průřez třísky:

Tloušťka odřezávané třísky h_i se při válcovém nesousledném frézování mění od nulové do maximální hodnoty a od maximální hodnoty do nuly při frézování sousledném (obr.2-37). Jmenovitá tloušťka třísky h_i v libovolné fázi jejího odřezávání se vyjádří vztahem:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i [\text{mm}]$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,

φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.



Obr.2-37 Průřez třísky při válcovém frézování [4]

Úhel posuvového pohybu φ_i se mění nejen v závislosti na poloze řešeného zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici, také podél příslušného ostří. Jmenovitý průřez třísky pro polohu zubu frézy i se označí A_{Di} a vyjádří se na základě poměrů naznačených na obr.2-37:

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i [\text{mm}^2]$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky bude při $\varphi_i = \varphi_{\max}$

$$A_{D\max} = a_p \cdot h_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{\max} [\text{mm}^2]$$

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2} [-]$$

U čelního frézování se tloušťka třísky rovněž mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu φ_i a je navíc ovlivněna i úhlem nastavení hlavního ostří κ_r (na obr.2-38 je hodnota $\kappa_r = 90^\circ$), proto se její okamžitá hodnota vypočítá podle vztahu:

$$h_i = f_z \cdot \sin\varphi_i \cdot \sin\kappa_r \text{ [mm]}$$

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i konstantní a vypočítá se podle vztahu:

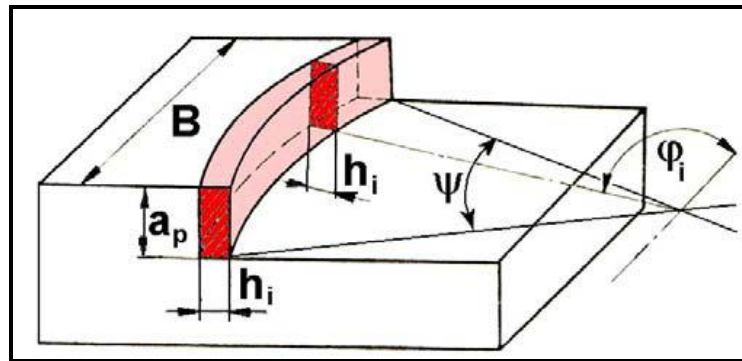
$$b = \frac{a_p}{\sin\kappa_r} \text{ [mm]}$$

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro $\kappa_r = 90^\circ$:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i \text{ [mm}^2\text{]}$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při $\varphi_i = 90^\circ$, takže:

$$A_{Dmax} = a_p \cdot f_z \text{ [mm}^2\text{]}$$



Obr.2-38 Průřez třísky při čelním frézování [4]

2.8.3. Řezné síly

Při specifikaci řezných sil při frézování se vychází ze silových poměrů na jednom břitu, který je v poloze určené úhlem φ_i . Pro válcové frézování nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla působící na břitu F_i rozkládá na složky F_{ci} a F_{cni} , resp. na složky F_{fi} a F_{fni} - obr.2-39.

Při čelním frézování se řezná síla F_{ci} vyjádří obdobným postupem:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i \text{ [N]}$$

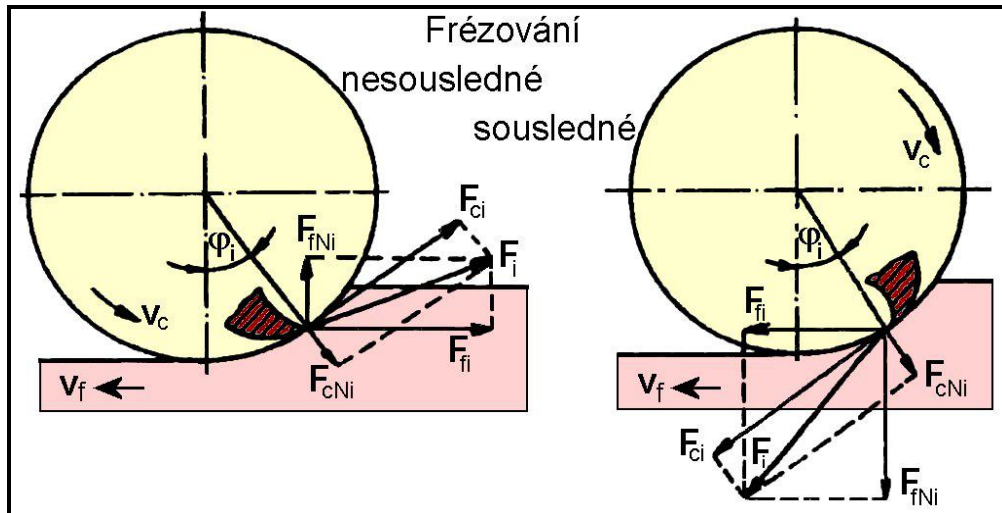
Měrná řezná síla k_{ci} se pro čelní frézování vyjádří pomocí vztahu:

$$k_{ci} = \frac{C_{FG}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{FG}}{(f_z \cdot \sin\kappa_r \cdot \sin\varphi_i)^{1-x}} \text{ [Mpa]}$$

Počet zubů v záběru se pro čelní frézování vypočítá podle vztahu:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z [-]$$

kde: C_{Fc} - konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu [-],
 x - exponent vlivu tloušťky třísky [-],
 ψ - úhel záběru frézy [°].



Obr.2-39 Řezné síly na zubu [4]

2.9. Technologie HFM – High feed milling – vysokoposuvové frézování

HFM je zaměřená na extrémně vysoký úběr materiálu bez velkých nároků na kvalitu obrobené plochy. Používá se tedy převážně při hrubování a umožňuje nám frézovat i obrobky z kalené oceli. Tuto metodu lze aplikovat při rovinném frézování, ponorném frézování, kapesování, drážkování a pomocí šroubové interpolace můžeme také frézovat otvory a ušetřit si tak vrtací operaci.

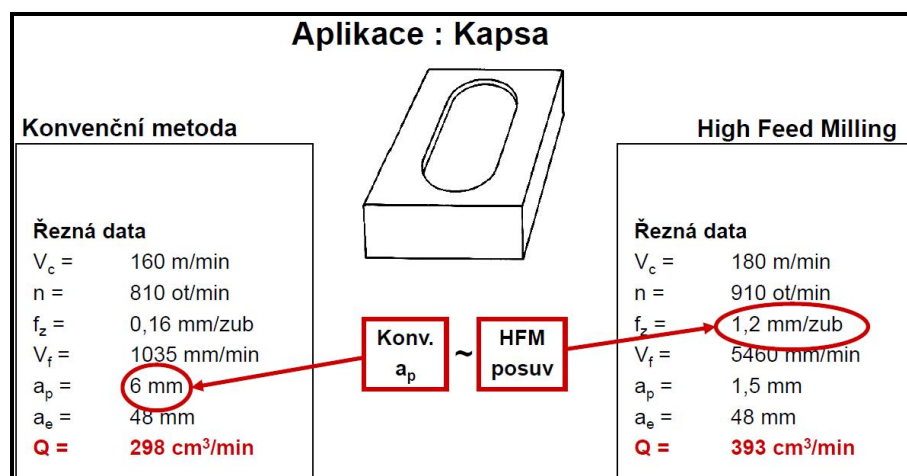
K dosažení požadovaných hodnot co nejkratších obráběcích časů se využívají specifika této metody, která jsou – malá axiální hloubka záběru (a_p) a malý úhel nastavení (κ_r). Při nastavení vyšší řezné rychlosti (v_c) a vyšších otáček (n) oproti konvenčním metodám frézování si pak můžeme dovolit ve spojení s výše uvedenými specifiky nastavit vysoké rychlosti posuvu (v_f) a z toho vyplývající vysoký posuv na zub (f_z), čímž dosáhneme požadovaného extrémního úběru materiálu. Navíc díky působení řezných sil do axiálního směru se zmenšuje odtlačení nástroje a tím se nám minimalizuje nebezpečí vzniku nežádoucích vibrací, což je také jeden z požadavků pro zachování dlouhodobé přesnosti stroje a životnosti jeho vřetene. Axiální síly také zlepšují stabilitu soustavy nástroj - upínač.

Dalším předpokladem je použití kvalitních nástrojů. Při frézování vysokým posuvem dochází k vysokým teplotám na řezu třísky. To klade na nástroj značné nároky, neboť je nutné, aby si udržel dlouhou životnost. Stroj musí být dále vybaven výkonným řídicím systémem, který umožní rychle zpracovat NC program tak, aby byla zachována plynulost řezu při tak vysokých posuvech.

Ve srovnání s frézami s kruhovými destičkami, které jsou výborné pro kopírovací frézování s malým vyložení a_p nebo při stabilních podmínkách, jsou frézy pro vysoké posuvy vynikající pro frézování s velkým vyložení. Důvodem je zmenšení vibrací kvůli správnému působení řezných sil.

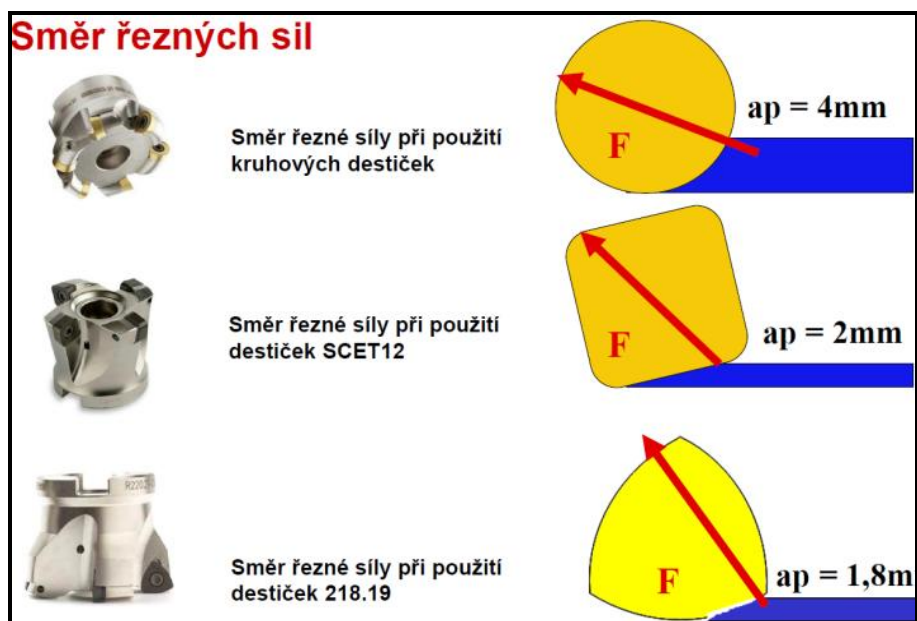
VÝHODY:

- frézování kapes frézami pro vysoké posuvy je vysoce efektivní a produktivní metoda vhodná pro nestabilní podmínky
- mohou být dosaženy extrémně velké poměry odebraného materiálu.
- frézování vysokými posuvy je vhodné pro zvýšení produktivity v aplikacích jako je frézování kapes, kde je možné použít vysoké posuvy i při obtížných podmínkách obrábění.
- zavedením vysokoposuvového frézování dojde k výrazným úsporám času vlastního obrábění
- vysoký poměr odebraného materiálu a snížení vibrací - snížení výrobních nákladů.
- frézování vysokým posuvem je extrémně výkonné - až desetkrát rychlejší než konvenční frézovací metody - velké možnosti pro zvýšení produktivity. [21,25]

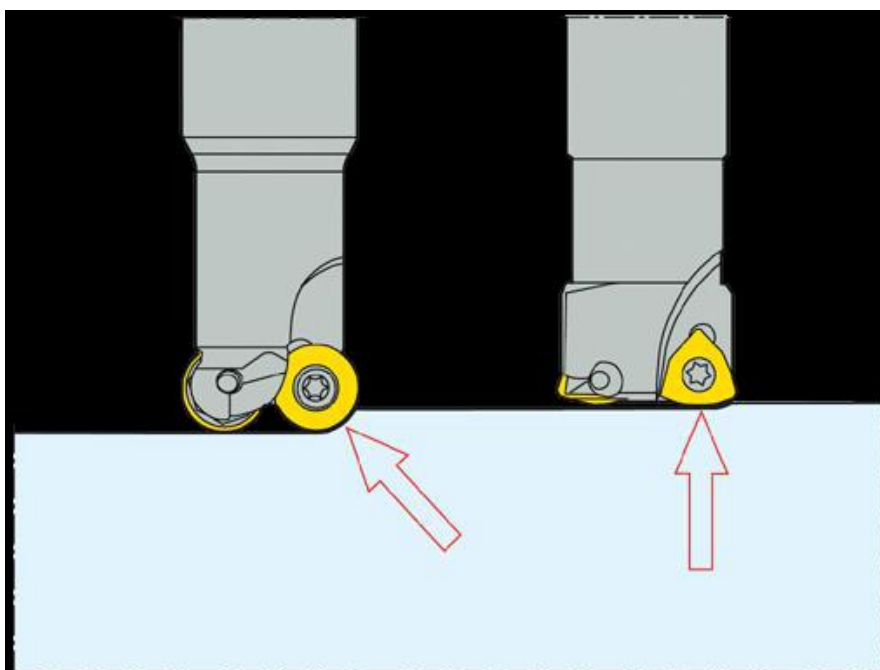


Obr.2-40 Porovnání konvenční a HFM metody [21]

Porovnání směru řezných sil pro různé tvary VBD



Obr.2-41 Porovnání směru působících řezných sil [21]



Obr.2-42 Porovnání směru působících řezných sil [21]

3. Experiment

3.1. Metodika experimentu

Na základě požadavku na zvýšení produktivity výroby svařovacího nářadí bylo rozhodnuto začít používat technologii frézování vysokým posuvem. Z toho důvodu bylo nutné provést porovnávací zkoušky nástrojů pro vysokoposuvové frézování a na základě výsledků vybrat dodavatele pro nákup ověřovací série nástrojů a pro budoucí spolupráci.

Určujícími kritérii zkoušek byly produktivita výroby, hodnota vibrací a zatížení na vřetení stroje, posuv na zub, objem odebraného materiálu, velikost opotřebení VBD a ekonomické porovnání. Hodnota produktivity jednotlivých nástrojů byla určena jako čas potřebný k odfrézování 58 mm výšky z materiálu. Pro ekonomické porovnání jednotlivých řešení bylo s dodavatelem dohodnuto, že nacení celé série nástrojů - čelních fréz, začínající na D20, dále D25, D30, D50 a D65 nebo nejbližších odpovídajících průměrových hodnot. Z těchto dílčích cen vyšla cena za celou sérii, která byla následně porovnávána. Dalším zohledňovaným kritériem byly vibrace na vřetení CNC stroje, kde byla zadavatelem (firmou ŠKODA AUTO) určena jako maximální povolená hodnota 6 mm/s. Společně s vibracemi se také sledovalo maximální zatížení vřetena stroje při frézování. Tento ukazatel však nebyl brán jako určující nýbrž měl pouze informativní charakter energetické náročnosti procesu frézování s daným nástrojem. Posledním kritériem zkoušek byla velikost opotřebení VBD. Po každém frézovacím cyklu byly břitové destičky z nástroje demontovány a v laboratoři podrobeny zkoumání pod mikroskopem. Na základě výrobcem určených katalogových hodnot a druhů opotřebení VBD byla určena velikost opotřebení břitových destiček. Další krok následující po provedení všech zkoušek byl zaznamenání hodnot do tabulek a jejich přepočítání na výstupní parametry.

3.1.1. Stroj

Zkoušky byly prováděny na stroji **Deckel Maho DMU65 monoBLOCK®** (obr.3-2) od výrobce DMG, který byl ovládán pomocí řídicího systému Heidenhein iTNC530. Přesné parametry použitého stroje jsou v příloze (Příloha P1) této práce.

Jednalo se o stavebnicový pružně rozšiřitelný stroj, který od své nejjednodušší tříosé verze se stolem 1000 x 650 mm až po pětiosou verzi s dynamickým naklápacím otočným stolem (obr.3-1) zvládá všechny disciplíny frézovací technologie, počínaje hrubováním až po obrábění na čisto.



Obr.3-1 DMU65 monoBLOCK® - stůl [22]

Velikosti drah v jednotlivých osách jsou 650 x 650 x 560 mm (X, Y, Z). U pětiosé verze může celý povrch otočného stolu díky těmto parametrům přejíždět pod nástrojem a všechny obrobky tak mohou být obrobeny na jediné upnutí. Jednalo se o rozhodující vlastnost pro dosažení maximální přesnosti a kvality povrchu.

Ve standardu byla také jednoduchá a komfortní obsluha při nakládání nástrojů do nástrojového zásobníku a komfortní vkládání obrobků do stroje seshora za pomoci jeřábu.

Výrazným rysem tohoto stroje je displej zobrazující využití a vibrace vřetene, díky němu byla zajištěná průběžná kontrola stavu stroje. Podobně jako u tachometru vozidla, je i zde červená nebezpečná zóna umožňující jediným pohledem zkontrolovat aktuální stav stability obráběcího procesu na dynamické barevné stupnici.

Standardní paket výbavy je završen ovládním DMG ERGOline® s 19" obrazovkou (obr.3-3) a 3D řídicími systémy – Siemens (Sinumerik 840D soluti-online) nebo Heidenhain (iTNC 530). [24]



Obr.3-2 DMU65 monoBLOCK® [22]



Obr.3-3 DMU65 monoBLOCK® - ovládání DMG ERGOline® s 19" obrazovkou [22]

3.1.2. Dodavatelé

Bylo osloveno 10 dodavatelů nástrojů pro frézování, z nichž 9 disponovalo vhodným řešením pro technologii vysokoposuvového frézování. Jednalo se o firmy **TaeguTec, Depo, Hoffmann, Fette, Pokolm, Seco, Pramet, Sumitomo a Kennametal**. Testovaná varianta nástroje byla pouze jedna a její průměr byl určen na D25 s cca 100-110 mm vyložením. Parametry nástrojů jednotlivých výrobců jsou uvedeny v tabulce 3-1.

3.1.3. Způsob upínání

Způsob upínání byl zadán. Jednalo se o upínání pomocí šroubovacího systému s použitím upínače s kuželem **HSK63** (obr.3-4), který se standardně používá na stroji **DMU 65 monoBLOCK®**. Nástroj byl chlazen středem pomocí vzduchu.

Tab. 3-1 Dodavatelé a parametry nástrojů

Náradí									
Výrobce	TeaguTec	Depo	Hoffmann	Fette	Pokolm	Seco	Pramet	Sumitomo	Kennametal
Nástroj	TEBL 425- M12-06	32550/12	22 1905 25/4	ECP V07.025TF03 3-1	3 25 248	R217.21- 1225.RE- LP06.14	25E3R032M1 2-SZD09-C	MSX06025M1 2Z3	KFX25Z02M 12W009
VBD - typ	BLMP0603R -M	X0206122	221925 06	9186493	03 48 860	LPHW06031 0TR-MD07	ZDCW09T3 04	WDMT0603 ZDTR-H	W0EJ00512 SRHD
Jakost mat.	TT9080	K10	X400	LC610Q	K10	MP2500	7010	ALP200	KCPK30
Počet VBD	4	3	4	3	3	4	3	3	2
Počet řez.hran	4	3	4	4	4	2	4	3	6



Obr.3-4 Upínací kužel HSK63 [23]

3.1.4. Materiály

Z důvodu nutnosti získání co možná nejkomplexnějších dat o nástrojích na vysokoposuvové frézování v nářađovně ŠKODA AUTO a.s., byly po dohodě s oddělením technologie a materiálové přípravy navrženy dva rozdílné druhy materiálů

bez tepelných úprav - konstrukční ocel třídy 14 - 1.7131 (ČSN 14220) a nástrojová ocel třídy 19 - 1.2631 (ČSN 19559), které se v průběhu experimentu frézovaly metodou rovinného frézování. Rozměry materiálu byly 200x200x300 (ŠxVxD).

Základní informace o zkoušených materiálech jsou uvedeny v tabulce 3-2.

Tab. 3-2 Charakteristika testovaných materiálů [14]

ČSN 14220	
Charakteristika	Ocel Mn-Cr k cementování a ke kyanování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobitelná - pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechťená na pevnost 690 - 880 MPa. Je vhodná pro strojní součásti pro zušlechťení do \varnothing 35 mm, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře (hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky), pro sériovou výrobu strojních součástí za předpokladu dodržení téže technologie tepelného zpracování také u odběratele. Svařitelnost dobrá.
Chemické složení	C 0,14 - 0,19 ; Mn 1,10 - 1,40 ; Si 0,17 - 0,37 ; Cr 0,80 - 1,10
ČSN 19559	
Charakteristika	Ocel Cr-Mo-Si-V ke kalení - na formy, nástroje pro tváření a stříhání za tepla. Hloubka zakalení do hloubky asi 150 mm v celém průřezu při kalení na vzduchu nebo do oleje. Tvárnost za tepla a obrobitelnost ve stavu žháném na měkko dobrá. Na formy k tlakovému lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin ze zinku a hořčíku. Na velmi namáhané nástroje pro průtlačné lisování neželezných kovů, nástroje pro stříhání za tepla, nože nůžek, prostřihovací trny, ostřihovací matrice atp.
Chemické složení	C 0,55 ; Mn 0,5 ; Si 0,9 ; Cr 8,5 ; Mo 1,1 ; V 0,2 ; W 1,1

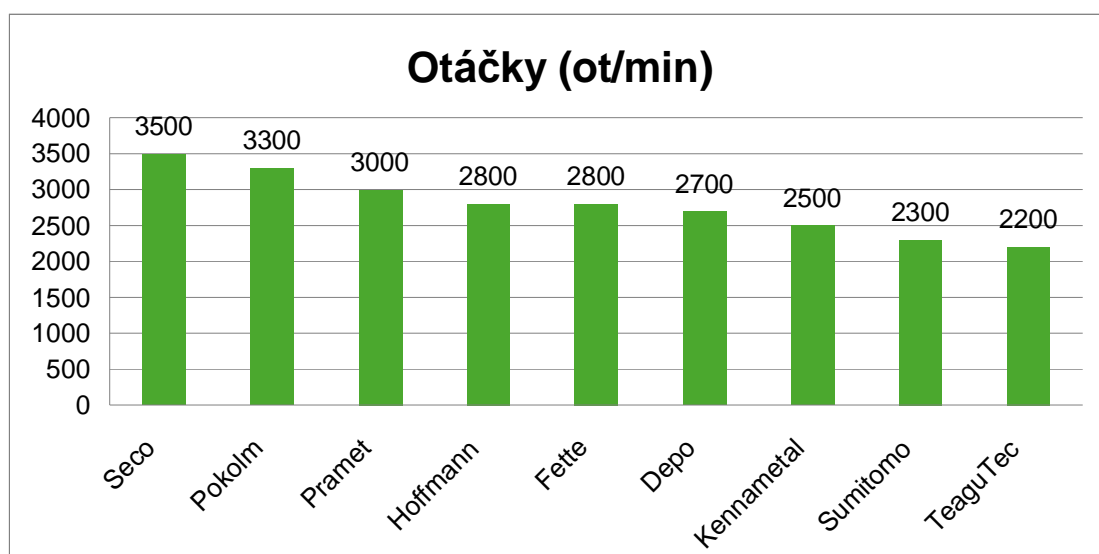
3.1.5. Řezné podmínky

Zadání řezných podmínek bylo omezeno pouze na parametry hloubky řezu a šířky záběru. Zbývající parametry a řezné podmínky byly ponechány na dodavatelích. Dodavateli zvolené parametry byly řezná rychlost, otáčky vřetene a posuv. Tyto údaje byly využity při nastavování CNC stroje, přípravě každé zkoušky a pro následné vyhodnocení celého experimentu. V tabulkách 3-3 a 3-4 a obrázcích 3-5 až 3-8 (ve kterých jsou zleva doprava hodnoty od nejlepších po nejhorší) jsou přehledně shrnuty a vyobrazeny vstupní parametry pro oba materiály.

3.1.5.1. Řezné podmínky pro materiál 1.7131

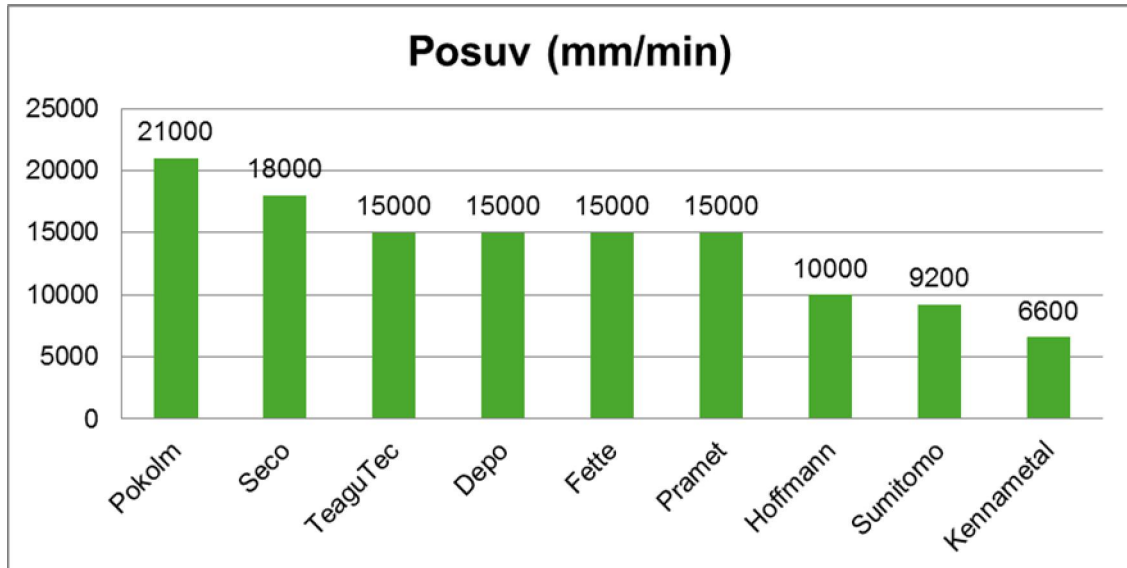
Tab. 3-3 Řezné podmínky pro materiál 1.7131

Řezné podmínky - 1.7131									
Výrobce	TeaguTec	Depo	Hoffmann	Fette	Pokolim	Seco	Pramet	Sumitomo	Kennametal
Řezná rychl. (m/min)	172	212	220	220	259	274	235	180	196
Otáčky (ot/min)	2200	2700	2800	2800	3300	3500	3000	2300	2500
Posuv (mm/min)	15000	15000	10000	15000	21000	18000	15000	9200	6600
Hl.řezu (mm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Šířka záběru (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15



Obr. 3-5 Otáčky pro materiál 1.7131

Nejvyšší vstupní otáčky nástroje byly navrženy firmou SECO. Dále se na hranici 3000 ot/min dostaly ještě firmy Pokolm a Pramet. Zbývající dodavatelé pro své nástroje navrhli otáčky nižší. S nejnižšími otáčkami pak do zkoušek vstupovaly frézy od výrobců Sumitomo a TeaguTec.



Obr. 3-6 Posuv pro materiál 1.7131

Rychlost posuvu nástroje byla velmi důležitým parametrem při těchto zkouškách. Nejvyšší rychlost posuvu byla zvolena firmou Pokolm (21000 mm/min) následovaná firmou Seco (18000 mm/min). Nad rychlost 10000 mm/min se se svými nástroji nedostali dodavatelé Hoffmann, Sumitomo a Kennametal.

3.1.5.2. Řezné podmínky pro materiál 1.2631

Nejvyšší vstupní otáčky nástroje byly opět navrženy firmou SECO, byly však již nižší z důvodu tvrdšího materiálu. Shodné otáčky byly navrženy rovněž výrobcí Pokolm a Hoffmann. Zástupci firem Depo, Kennametal, Sumitomo, Hoffmann a TeaguTec ponechali velikost otáček na stejné úrovni jako u materiálu 1.7131. Ostatní výrobci otáčky snížili.

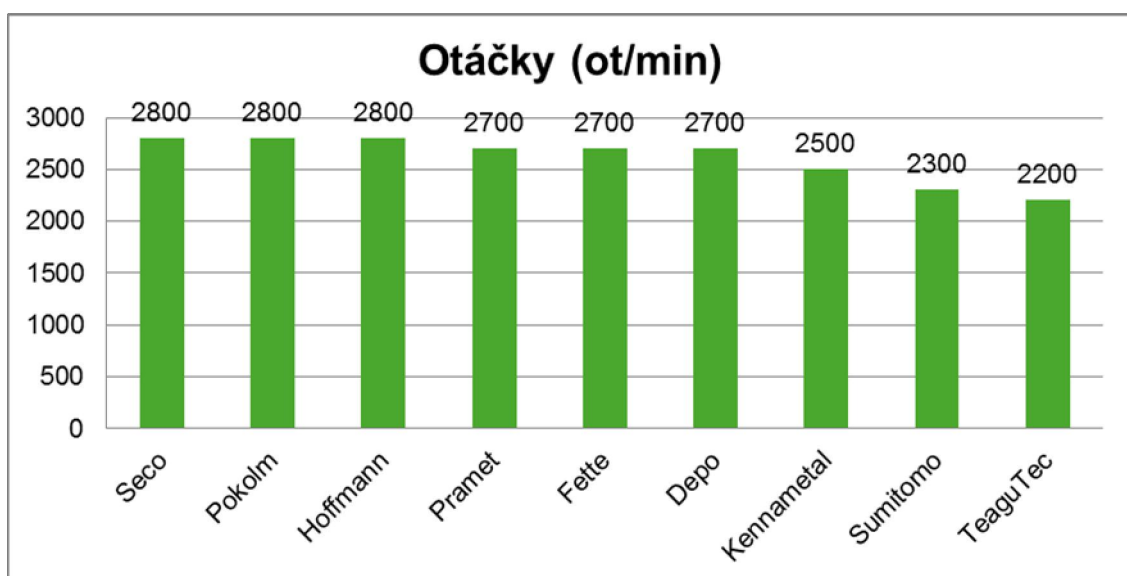
Nejvyšší rychlost byla opět zvolena firmou Pokolm (15800 mm/min) následovaná firmou Seco (15000 mm/min). Zástupci firem Kennametal a Hoffmann ponechali rychlost posuvu na stejné úrovni jako u materiálu 1.7131. Ostatní výrobci rychlost posuvu snížili.

Po realizaci vlastního experimentu byla získaná data zpracována a vyhodnocena. VBD byly demontovány a nafoceny pro pozdější zhodnocení. V poslední

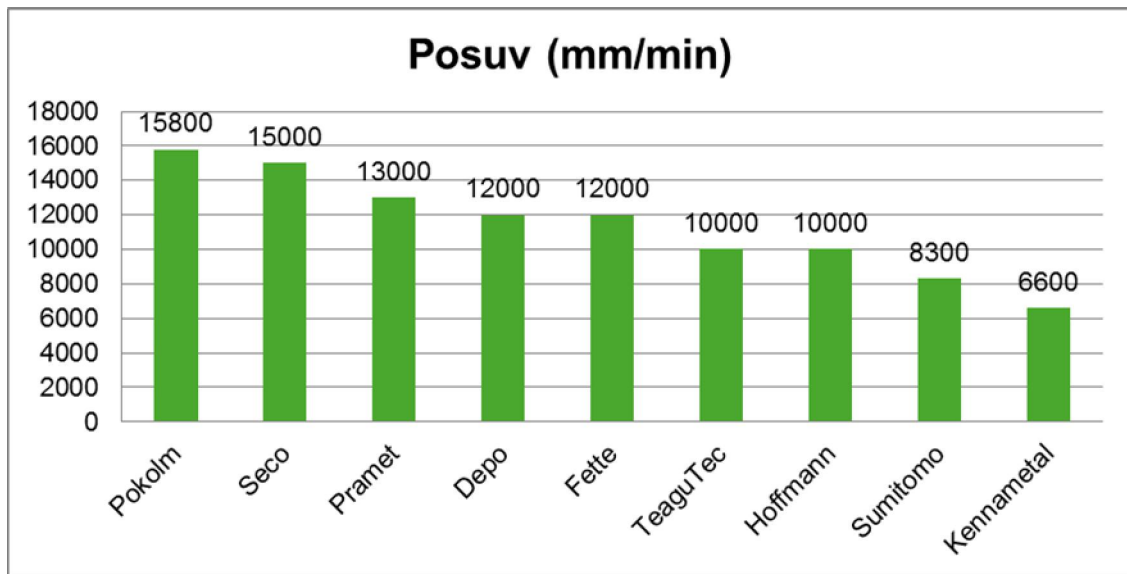
fázi bylo přistoupeno k porovnání ekonomické náročnosti jednotlivých řešení. Na základě získaných výsledků a vstupních a výstupních výkonnostních parametrů jednotlivých nástrojů byl zvolen potencionální dodavatel.

Tab. 3-4 Řezné podmínky pro materiál 1.2631

Řezné podmínky - 1.2631									
Výrobce	TeaguTec	Depo	Hoffmann	Fette	Pokolm	Seco	Pramet	Sumitomo	Kennametal
Řezná rychl. (m/min)	172	212	220	212	220	220	212	180	196
Otáčky (ot/min)	2200	2700	2800	2700	2800	2800	2700	2300	2500
Posuv (mm/min)	10000	12000	10000	12000	15800	15000	13000	8300	6600
Hl.řezu (mm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Šířka záběru (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15



Obr. 3-7 Otáčky pro materiál 1.2631



Obr. 3-8 Posuv pro materiál 1.2631

3.2. Vlastní experiment - materiál 1.7131

Data z experimentu pro materiál 1.7131 jehož základní informace byly uvedeny v tab. 3-2.

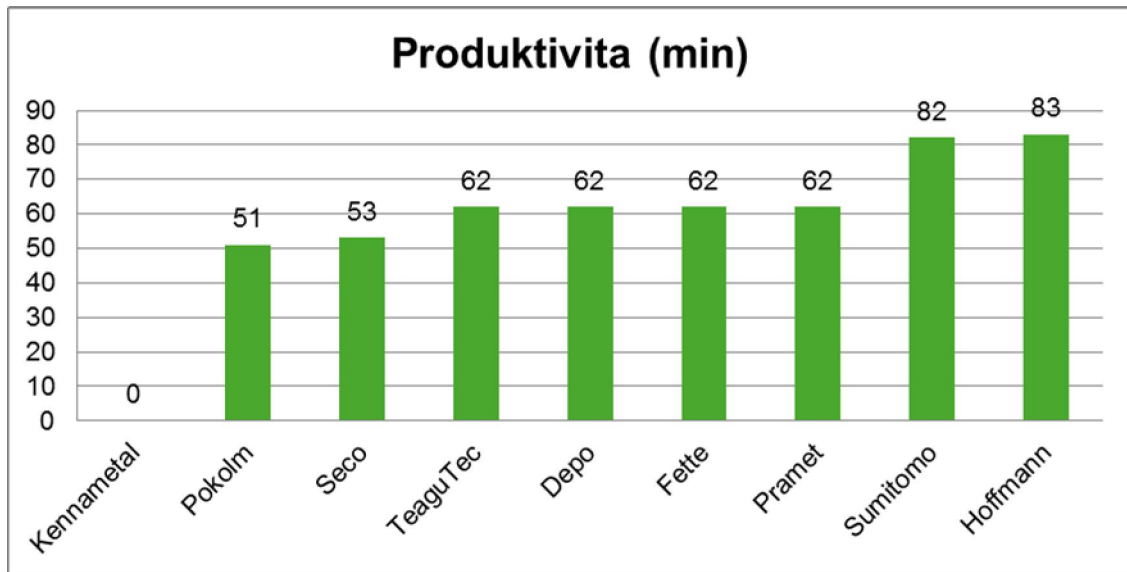
Tab. 3-5 Výstupy pro materiál 1.7131

Výstupy pro materiál 1.7131									
Výrobce	TeaguTec	Depo	Hoffmann	Fette	Pokolm	Seco	Pramet	Sumitomo	Kennametal
Zatížení (%)	15	16	11	16	18	18	15	12	10
Vibrace (mm/s)	5	6	5	7	6	2	9	12	15
Opotřebení (%)	50	50	50	50	100	50	100	100	X
Posuv na zub (mm/zub)	1,36	1,85	0,89	1,48	2,12	1,28	1,6	1,33	1,32
Objem odebra.mat.(cm ³ /min)	113	113	75	113	150	135	113	68	49
Produktivita(min)	62	62	83	62	51	53	62	82	X

3.2.1. Produktivita výroby

Produktivita je časový údaj změřený po odebrání 58 mm výšky z materiálu a závisí na rychlosti posuvu, šířce záběru a hloubce řezu.

U frézy Kennametal nedošlo u materiálu 1.7131 k dokončení experimentu. Důvodem byly vysoké hodnoty vibrací. Nejrychleji se podařilo odebrat požadovanou výšku nástroji z dílny firmy Pokolm. S malým časovým odstupem pak následovala fréza Seco a nejmenší produktivitu práce vykázal nástroj firmy Hoffmann.

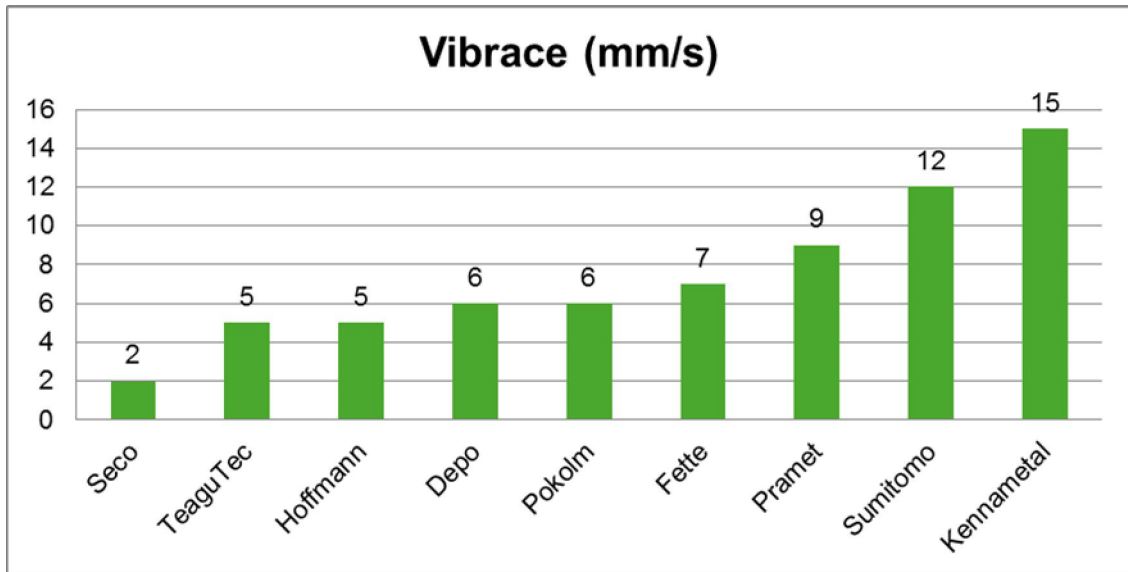


Obr. 3-9 Graf produktivity pro materiál 1.7131

3.2.2. Vibrace a zatížení

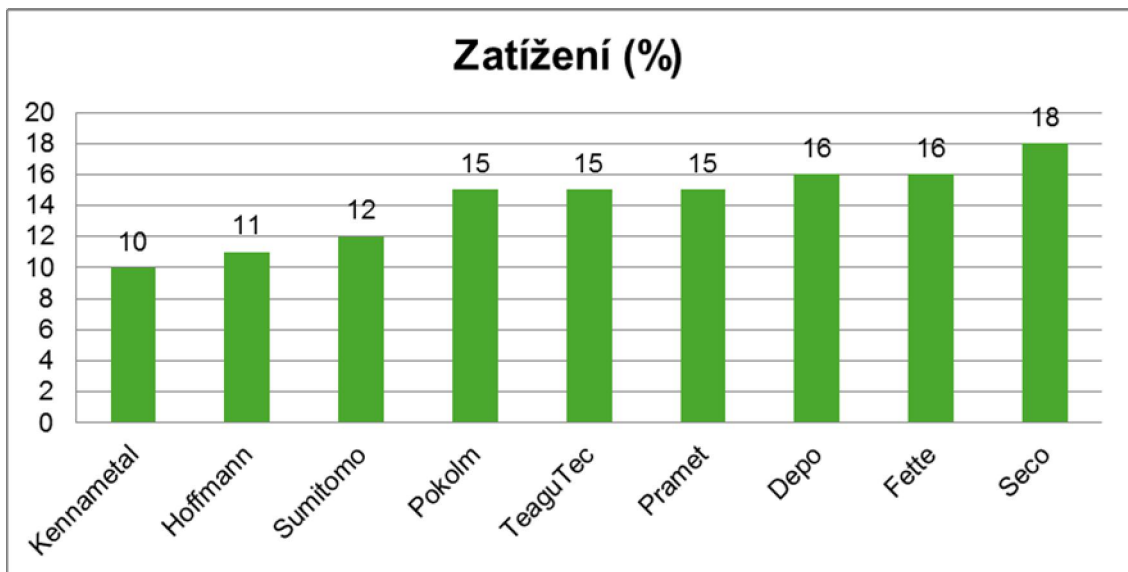
Maximální povolená hodnota vibrací na vřetení stroje je uvedena v podkapitole 3.1. Metodika experimentu.

Vibrace na vřeteno od nástrojů z firem TaeguTec, Depo, Hoffmann, Pokolm a Seco byly při zkouškách v povolených hodnotách. Nástroje, které ke zkoušce dodaly firmy Fette, Pramet a Sumitomo při obrábění vibrovaly nad povolenou hodnotu což by z dlouhodobého hlediska mohlo vést k poškození vřetene obráběcího stroje. Rovněž zkouška nástroje od výrobce Kennametal musela být po 15 minutách ukončena. Důvodem ukončení byly velmi vysoké vibrace, které by mohly i v krátkodobém horizontu vést k poškození vřetena stroje.



Obr. 3-10 Graf vibrací pro materiál 1.7131

Zatížení vřetena stroje nebylo určujícím kritériem zkoušek, mělo spíše informativní charakter o energetické náročnosti procesu frézování s daným nástrojem.



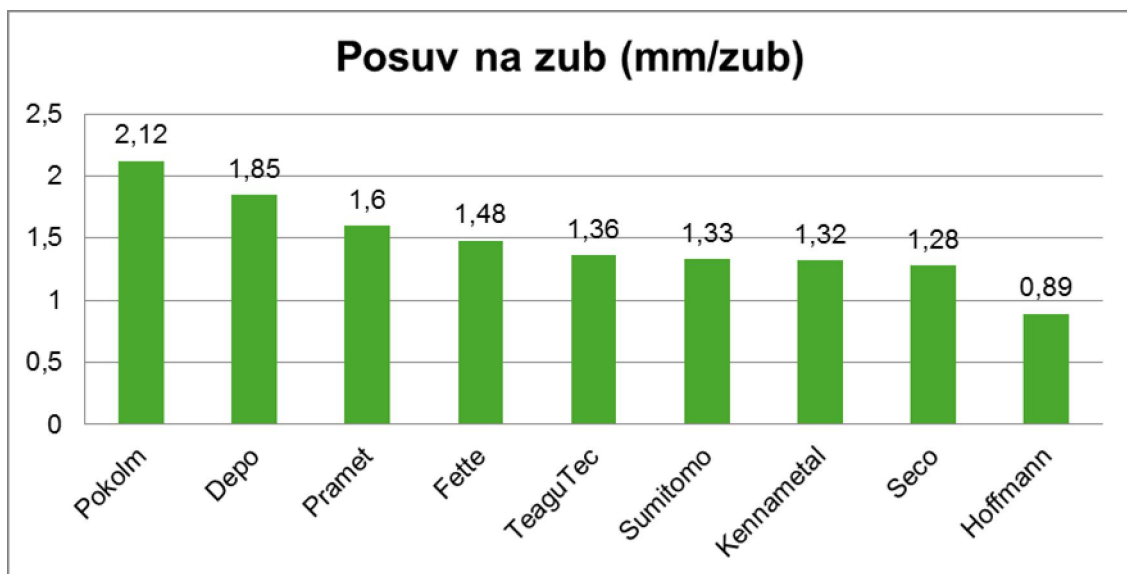
Obr. 3-11 Graf zatížení pro materiál 1.7131

Nejnižší hodnoty zatížení vykázal nástroj firmy Kennametal (který však způsoboval nejvyšší vibrace). Nejvyšší zatížení vřetene způsobovaly nástroje výrobců Pokolm a Seco (které měly nejvyšší hodnoty otáček a posuvů, nástroj Seco zároveň způsoboval nejnižší vibrace).

3.2.3. Posuv na zub

Hodnota posuvu na zub se určuje z údajů řezné rychlosti, průměru frézy, otáček vřetene, rychlosti posuvu a počtu efektivních řezných hran.

Jediná společná hodnota pro všechny dodavatele byl průměr frézy. Ostatní hodnoty si dodavatelé technologie zvolili sami nebo byly určeny konstrukcí frézy (počet efektivních řezných hran). Z realizovaného měření byl zjištěn nejvyšší posuv na zub u nástroje firmy Pokolm následován Depem. Naopak nejmenší hodnota posuvu vyšla u nástroje od firmy Hoffmann.

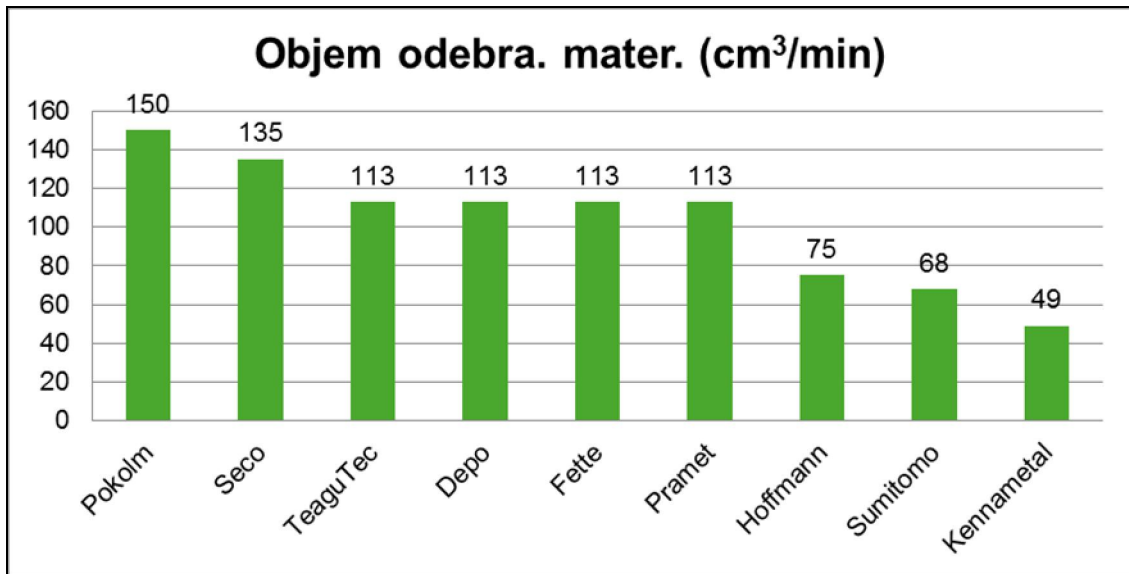


Obr. 3-12 Graf posuvu na zub pro materiál 1.7131

3.2.4. Objem odebraného materiálu

Objem odebraného materiálu je údaj, který se vypočte z hloubky řezu, šířky záběru frézy a rychlosti posuvu.

Hodnoty hloubky řezu a šířky záběru byly pro všechny dodavatele určeny firmou ŠKODA AUTO. Objem odebraného materiálu byl pak ovlivněn především rychlostí posuvu, který byl nejvyšší u frézy Pokolm ($150 \text{ cm}^3/\text{min}$) následovaný nástrojem od firmy Seco ($135 \text{ cm}^3/\text{min}$).



Obr. 3-13 Graf objemu odebraného materiálu pro materiál 1.7131

3.2.5. Opotřebení břitu

Po každém frézovacím cyklu byly břitové destičky z nástroje demontovány a v laboratoři podrobeny zkoumání pod mikroskopem. Na základě výrobcem určených katalogových hodnot a druhů opotřebení VBD byla určena velikost opotřebení břitových destiček.

Použité řezné hrany demontovaných destiček z nástrojů od výrobců Pokolm (obr.3-14), Pramet a Sumitomo vykázaly po zkoušce takové opotřebení a otupení, že by jejich opětovné použití nebylo možné. Na destičkách TeaguTec, Depo, Hoffmann (obr.3-15), Fette a Seco bylo pod mikroskopem odhaleno jen mírné opotřebení. Destičky z nástroje od firmy Kennametal nebyly v laboratoři zkoumány neboť z důvodu velmi vysokých vibrací na vřetení stroje nebyla zkouška s tímto nástrojem dokončena. Všechna fotodokumentace opotřebení VBD je součástí přílohy (Příloha P2) této práce.



Obr.3-14 Ukázka opotřebení [25]



Obr.3-15 Ukázka opotřebení [25]

3.3. Vlastní experiment - materiál 1.2631

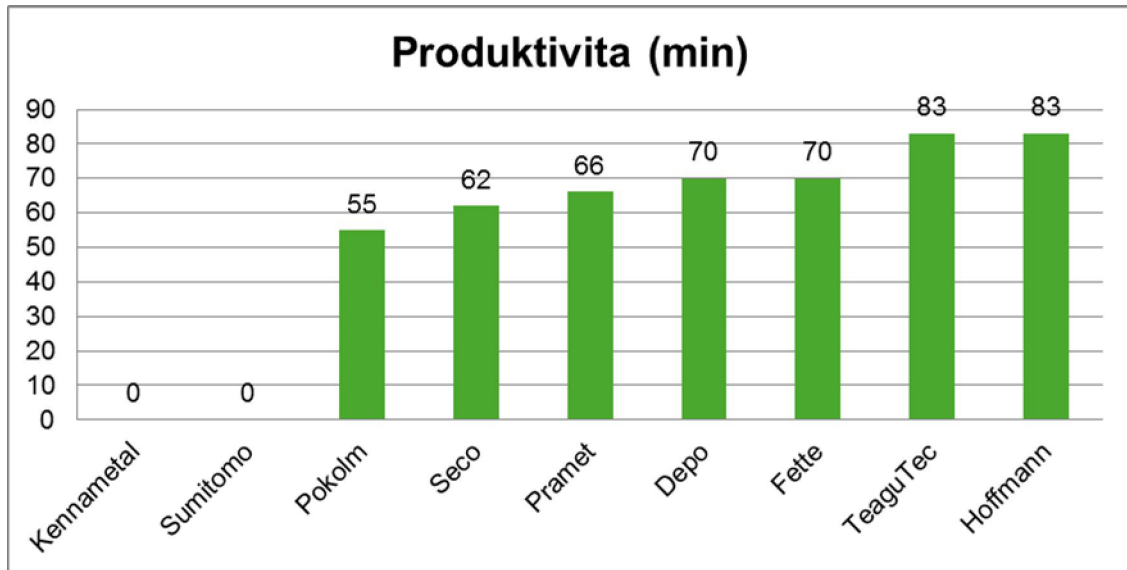
Data z experimentu pro materiál 1.2631, jehož základní informace byly uvedeny v tab. 3-2.

Tab. 3-6 Výstupy pro materiál 1.2631

Výstupy pro materiál 1.2631									
Výrobce	TeaguTec	Depo	Hoffmann	Fette	Pokolm	Seco	Pramet	Sumitomo	Kennametal
Zatížení (%)	15	16	14	15	13	14	15	11	10
Vibrace (mm/s)	5	6	5	7	6	3	9	13	15
Opotřebení (%)	100	100	100	100	30	30	100	100 - destrukce VBD	X
Posuv na zub (mm/zub)	1,13	1,48	0,89	1,48	1,88	1,33	1,6	1,2	1,32
Objem odebra.mat.(cm ³ /min)	75	90	75	90	120	113	98	62	49
Produktivita(min)	83	70	83	70	55	62	66	X	X

3.3.1. Produktivita výroby

Produktivita je časový údaj změřený po odebrání 58 mm výšky z materiálu a závisí na rychlosti posuvu, šířce záběru a hloubce řezu.



Obr.3-16 Graf produktivity pro materiál 1.2631

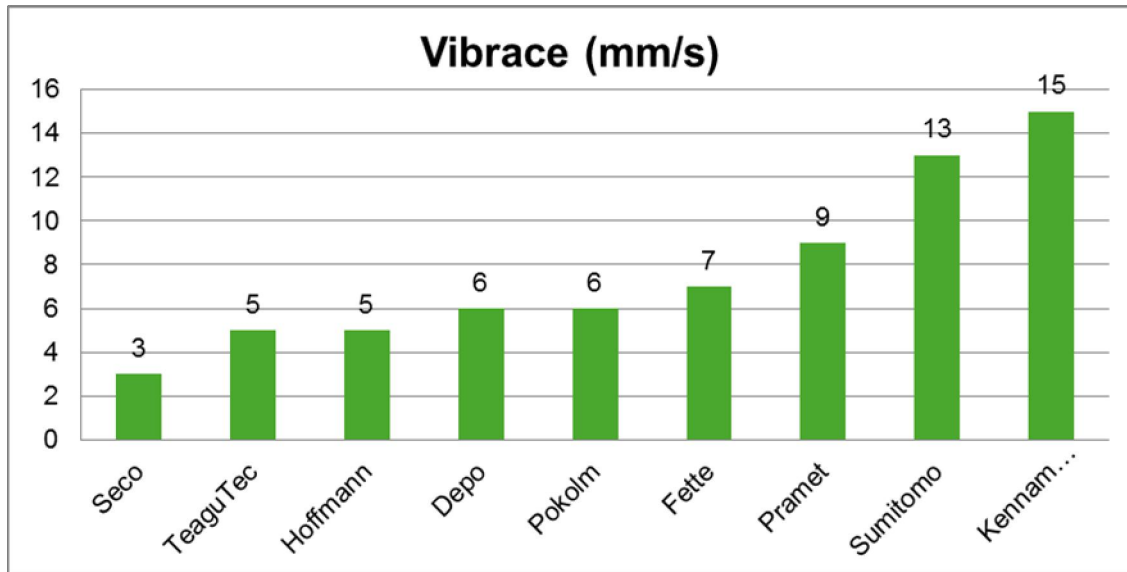
Jelikož většina dodavatelů zvolila menší hodnoty posuvů u oceli třídy 19, jsou celkové produktivní časy vyšší než u materiálu nižší třídy. U frézy Kennametal byla zkouška ukončena po 3 minutách z důvodu vysokých hodnot vibrací a čas nebyl zaznamenán. Na nástroji od firmy Sumitomo došlo po 46 minutách k destrukci VBD a proto byl test ukončen a čas nezaznamenán. Nejrychleji se podařilo odebrat požadovanou výšku nástroji z firmy Pokolm. S vyšším časovým odstupem pak následuje fréza Seco a nejmenší produktivitu práce vykázal opět nástroj Hoffmann.

3.3.2. Vibrace a zatížení

Maximální povolená hodnota vibrací na vřetení stroje je uvedena v podkapitole 3.1. Metodika experimentu.

Vibrace na vřetení z nástrojů od firem TaeguTec, Depo, Hoffmann, Pokolm, Seco a Pramet byly při zkouškách v povolených hodnotách. Nástroje dodané firmami Fette, Pramet a Sumitomo opět jako u materiálu 1.7131 při obrábění vibrovaly nad povolenou hodnotu a z dlouhodobého hlediska by mohly zapříčinit poškození vřetene obráběcího stroje. Na fréze Sumitomo navíc došlo po 46 minutách k destrukci VBD a test musel být ukončen. Zkouška nástroje od výrobce Kennametal musela být

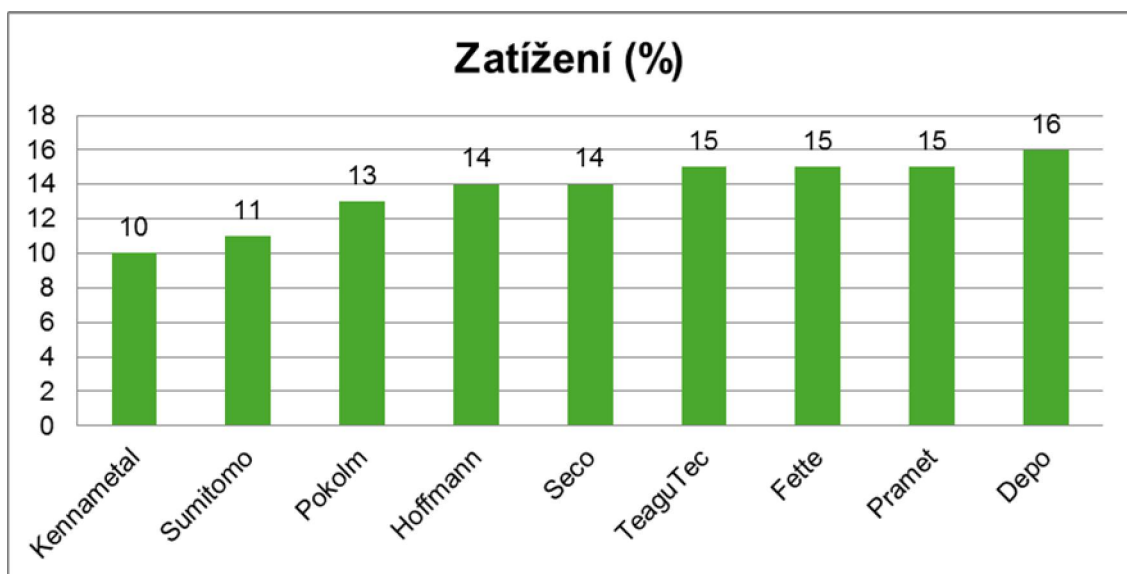
ukončena po 3 minutách z důvodu velmi vysokých vibrací, které by mohly i v krátkodobém horizontu poškodit vřeteno stroje.



Obr.3-17 Graf vibrací pro materiál 1.2631

Zatížení vřetena stroje nebylo určujícím kritériem zkoušek, ale jednalo se o pomocné informativní hodnoty energetické náročnosti procesu frézování s daným nástrojem.

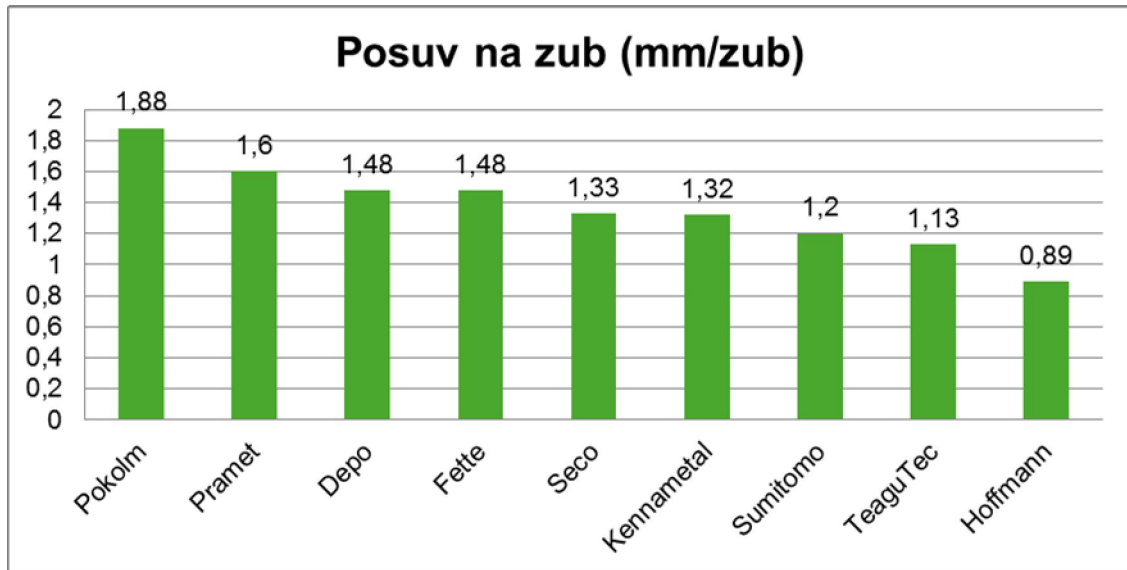
Nejnižší hodnoty zatížení vykázal nástroj firmy Kennametal a nejvyšší zatížení vřetene způsoboval nástroj firmy Depo.



Obr.3-18 Graf zatížení pro materiál 1.2631

3.3.3. Posuv na zub

Hodnota posuvu na zub se určuje z údajů řezné rychlosti, průměru frézy, otáček vřetene, rychlosti posuvu a počtu efektivních řezných hran.



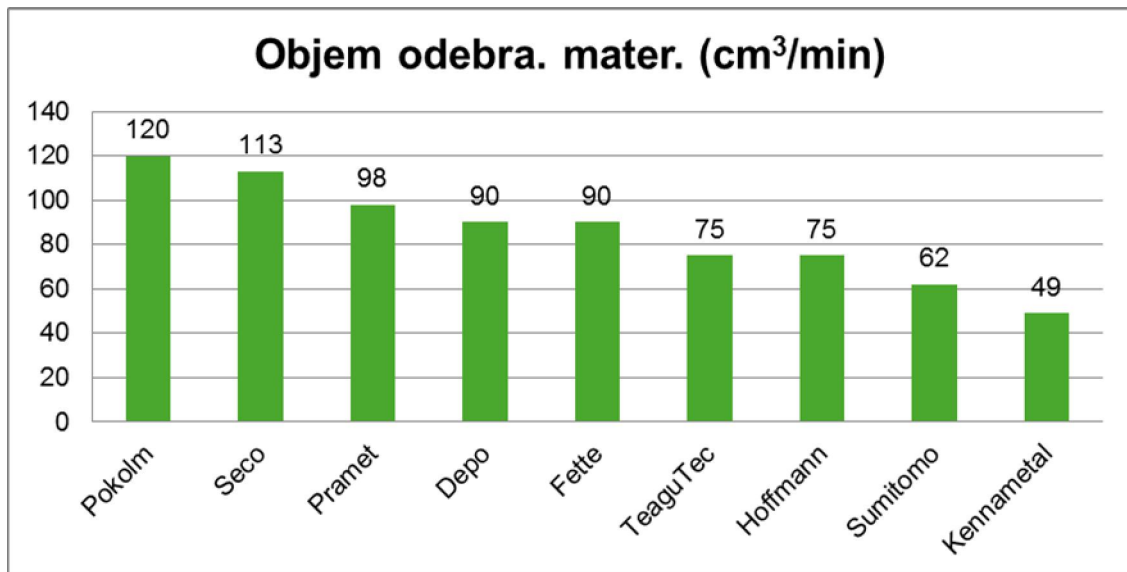
Obr.3-19 Graf posuvu na zub pro materiál 1.2631

Hodnota společná pro všechny firmy byl průměr frézy, ostatní parametry si dodavatelé technologie zvolili sami nebo byly určeny konstrukcí frézy (počet efektivních řezných hran). Z realizovaného měření bylo zjištěno, že nejvyšší hodnotu posuvu na zub vykazuje stejně jako u materiálu 1.7131 nástroj firmy Pokolm (1,88 mm/zub), dále Pramet (1,6 mm/zub) a Depo (1,48 mm/zub). Naopak nejmenší hodnota posuvu na zub vyšla opět (jako u předchozího materiálu) u nástroje Hoffmann.

3.3.4. Objem odebraného materiálu

Objem odebraného materiálu je údaj, který se vypočte z hloubky řezu, šířky záběru frézy a rychlosti posuvu.

Hodnoty hloubky řezu a šířky záběru byly pro všechny dodavatele určeny firmou ŠKODA AUTO. Objem odebraného materiálu byl pak ovlivněn především rychlostí posuvu. Kromě zástupců firmy Hoffmann, kteří u oceli třídy 19 nechali rychlost posuvu stejnou, nastavili ostatní dodavatelé posuvy nižší, jak je vidět z tab. 3-3 resp. 3-4. Pořadí je tedy téměř stejné jako u materiálu 1.7131, došlo pouze k záměně pořadí firem Pramet a TaeguTec.

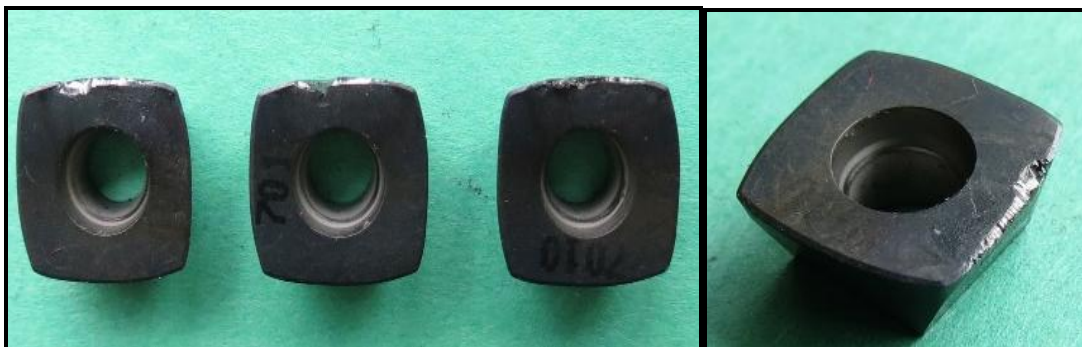


Obr.3-20 Graf objemu odebraného materiálu pro materiál 1.2631

3.3.5. Opotřebení bříty

Po každém frézovacím cyklu byly břitové destičky z nástroje demontovány a v laboratoři podrobeny zkoumání pod mikroskopem. Na základě výrobcem určených katalogových hodnot a druhů opotřebení VBD byla určena velikost opotřebení břitových destiček.

Demontované destičky z nástrojů od výrobců Pramet (obr.3-21), TeaguTec (obr.3-22), Depo, Hoffmann a Fette vykazaly po zkoušce takové opotřebení a otupení, že by jejich opětovné použití nebylo možné. Na destičkách Pokolm (obr.3-23) a Seco bylo pod mikroskopem odhaleno minimální opotřebení, tyto destičky by mohly být bez problémů znovu použity. Opotřebení destiček z dílny firmy Kennametal a Sumitomo (obr.3-24) nebylo v laboratoři zkoumáno. Z důvodu velmi vysokých vibrací na vřetení stroje nebyla zkouška s nástrojem od firmy Kennametal dokončena. U výrobce Sumitomo došlo po 46 minutách k destrukci VBD a zkouška také nebyla dokončena.



Obr.3-21 Ukázka opotřebení [25]



Obr.3-22 Ukázka opotřebení [25]



Obr.3-23 Ukázka opotřebení [25]



Obr.3-24 Ukázka opotřebení [25]

3.4. Ekonomické porovnání

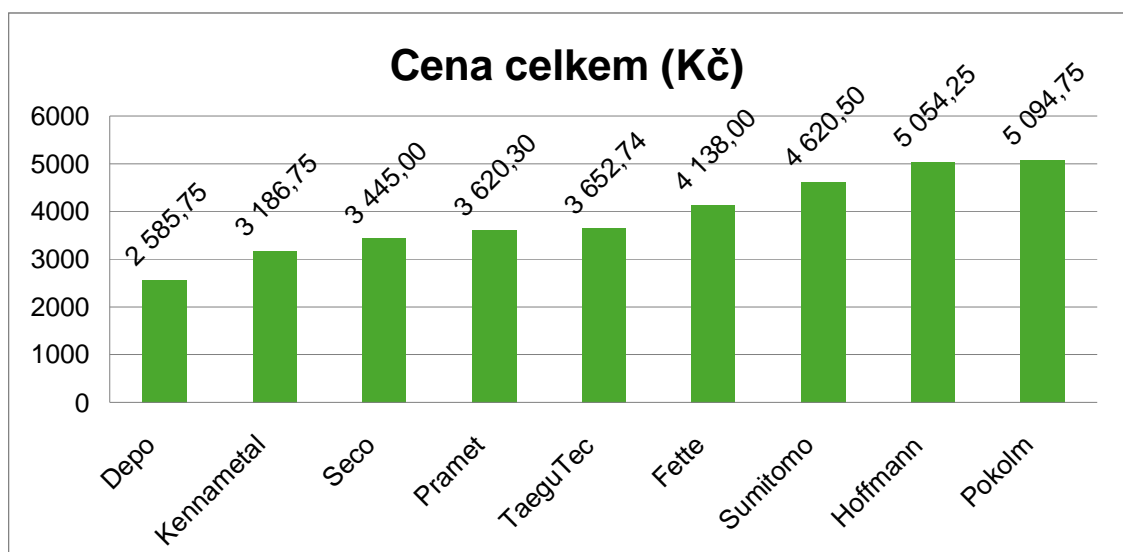
V neposlední řadě bylo přistoupeno k porovnání ceny jednotlivých dodavatelů. Pro toto porovnání bylo s dodavateli dohodnuto, že nacení celou sérii nástrojů - fréz čelních (začínající na D20, dále D25, D30, D50 a D65 nebo nejbližších odpovídajících průměrových hodnot). Z uvedených dílčích cen vyšla cena za celou sérii, která byla následně porovnávána.

3.4.1. D20

U průměru frézy 20mm měli téměř všichni výrobci shodný počet VBD. Rozdíl cen byl tedy ovlivněn hlavně cenou za samotný nástroj. Nejlevnější varianta byla naceněna od výrobce Depo, která se jako jediná dostala pod 3000,- Kč. Dále následovaly frézy od firem Kennametal a Seco. Jako nejdražší byla naceněna fréza výrobce Pokolm.

Tab.3-7 D20

Výrobce	Rozměr	Cena - nástroj (Kč)	Cena - VBD (Kč)	Počet VBD	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	D20x1x49 M10	3102,00	183,58	3	3652,74
Depo	D20x0,8x30 M10	2113,25	157,50	3	2585,75
Hoffmann	D20x0,8x30 M10	4462,50	197,5	3	5054,25
Fette	D20x1x30 M10	3750,00	194,00	2	4138,00
Pokolm	D20x1x42 M10	4660,50	144,75	3	5094,75
Seco	D20x0,8x28 M10	3085,00	120,00	3	3445,00
Pramet	D20x1x49 M10	3296,90	107,80	3	3620,30
Sumitomo	D20x0,8x30 M10	4412,00	69,50	3	4620,50
Kennametal	D20x0,8x30 M10	2713,50	157,50	3	3186,75



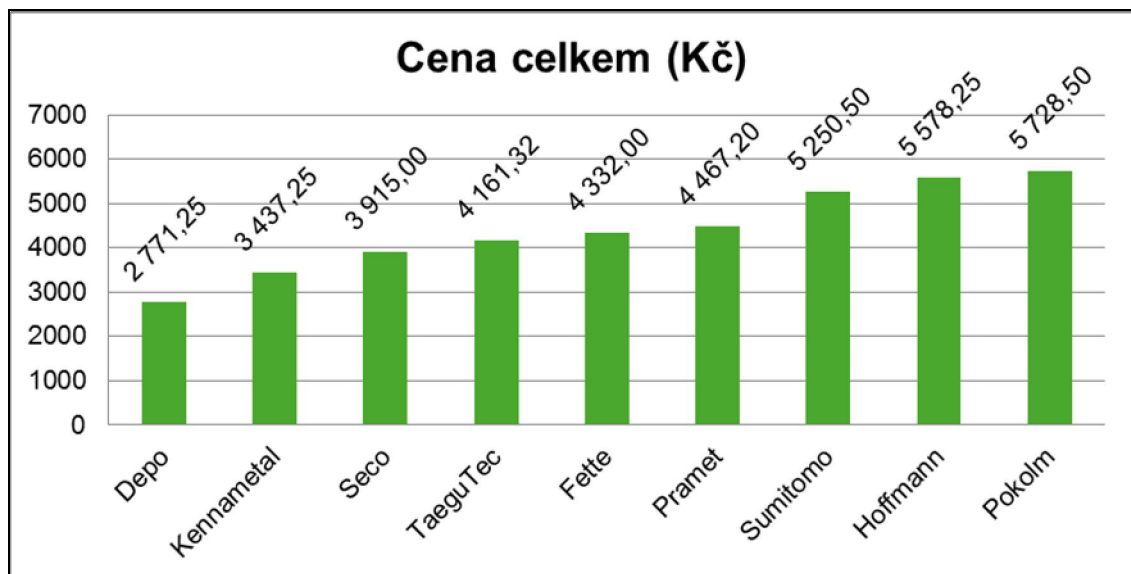
Obr.3-25 Grafické srovnání ceny za D20

3.4.2. D25

Od průměru frézy 25mm je již odlišný počet VBD na nástrojích jednotlivých výrobců což vedlo k ovlivnění rozdílů cen. Nejlevnější byla opět varianta od výrobce Depo, která se opět jako jediná dostala pod 3000,- Kč, následovaná frézami Kennametal a Seco. Jako nejdražší byl znovu naceněn nástroj výrobce Pokolm.

Tab.3-8 D25

Výrobce	Rozměr	Cena - nástroj (Kč)	Cena - VBD (Kč)	Počet VBD	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	D25x1x49 M12	3427,00	183,58	4	4161,32
Depo	D25x0,8x30 M12	2298,75	157,50	3	2771,25
Hoffmann	D25x0,8x30 M12	4789,25	197,25	4	5578,25
Fette	D25x1x33 M12	3750,00	194,00	3	4332,00
Pokolm	D25x1x42 M12	5070,00	219,50	3	5728,50
Seco	D25x0,8x30 M12	3435,00	120,00	4	3915,00
Pramet	D25x1x54 M12	4132,10	111,70	3	4467,20
Sumitomo	D25x0,8x30 M12	5042,00	69,50	3	5250,50
Kennametal	D25x0,8x35 M12	2927,75	272,75	2	3437,25



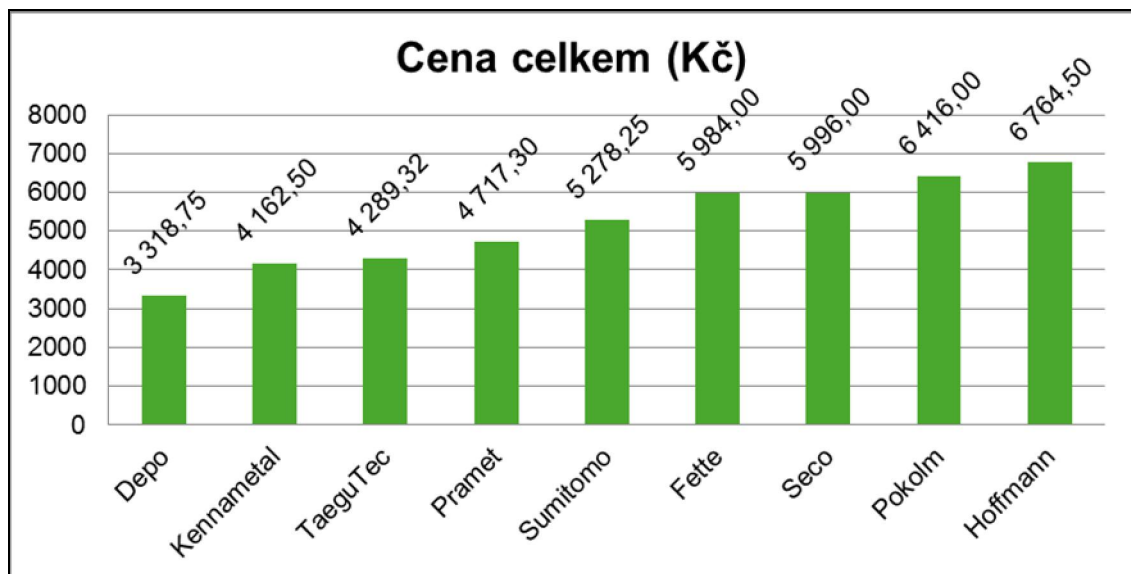
Obr.3-26 Grafické srovnání ceny za D25

3.4.3. D30, D32, D35

Po srovnání cen za frézy průměru 30 - 35 mm vyšla jako nejlevnější varianta od výrobce Depo, která se jako jediná dostala pod hodnotu 4000,- Kč, následovaná frézou Kennametal. Nejdraže vyšly nástroje od výrobců Pokolm a Hoffmann, které by oba vyšly přes 6000,- Kč.

Tab.3-9 D30, D32, D35

Výrobce	Rozměr	Cena - nástroj	Cena - VBD (Kč)	Počet VBD	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	D32x1x63 M16	3555,00	183,58	4	4289,32
Depo	D35x0,8x35 M16	2688,75	157,50	4	3318,75
Hoffmann	D32x1x42 M16	5778,25	197,25	5	6764,50
Fette	D32x1,2x43 M16	5115,00	217,25	4	5984,00
Pokolm	D30x1.5x42 M16	5538,00	219,50	4	6416,00
Seco	D35x0,8x35 M16	5516,00	120,00	4	5996,00
Pramet	D32x1x63 M16	4382,20	111,70	3	4717,30
Sumitomo	D32x1x63 M16	5042,00	78,75	3	5278,25
Kennametal	D35x0,8x43 M16	3344,25	272,75	3	4162,50



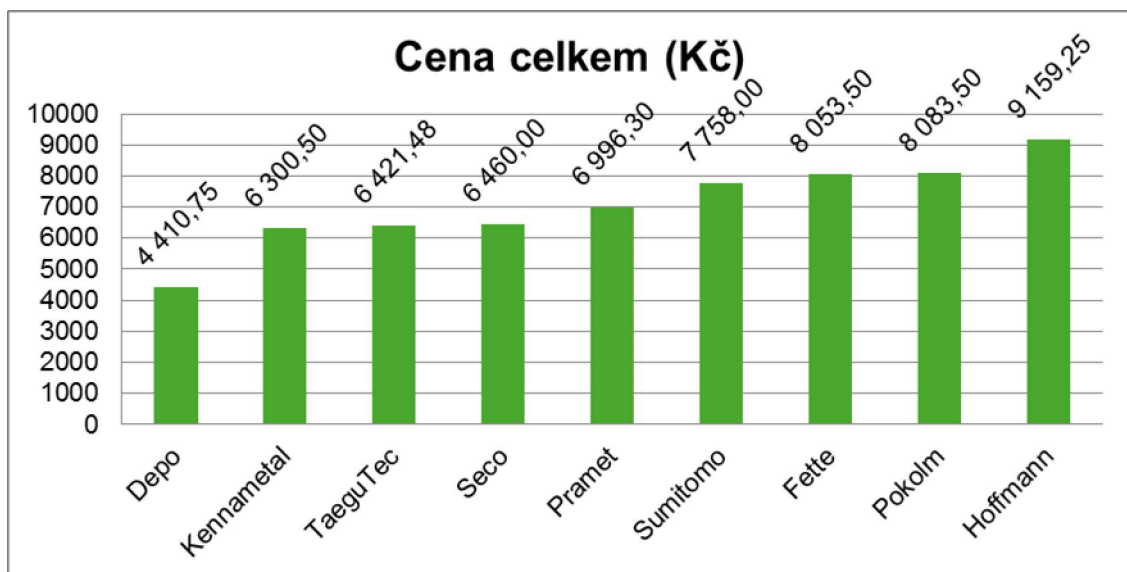
Obr.3-27 Grafické srovnání ceny za D30, D32, D35

3.4.4. D50, D52

U varianty frézy průměru 50 - 52 mm bylo provedeno cenové srovnání jako u předchozích variant. Nejlevnější byl nástroj Depo, který vykazoval cenu pod 4500,- Kč. S rozdílem bezmála 5000,- Kč od nejlevnějšího nástroje je na posledním místě fréza od firmy Hoffmann.

Tab.3-10 D50, D52

Výrobce	Rozměr	Cena - nástroj (Kč)	Cena - VBD (Kč)	Počet VBD	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	D50x1,6x40	5320,00	183,58	6	6421,48
Depo	D52x1x50	3785,75	156,25	4	4410,75
Hoffmann	D52x1x40	7808,00	270,25	5	9159,25
Fette	D52x1,2x40	6750,00	217,25	6	8053,50
Pokolm	D52x10x52	6766,50	219,50	6	8083,50
Seco	D50x2x40	5450,00	252,50	4	6460,00
Pramet	D50x1,6x40	6446,30	137,50	4	6996,30
Sumitomo	D50x1,6x40	7354,00	101,00	4	7758,00
Kennametal	D52x1x40	4936,75	272,75	5	6300,50



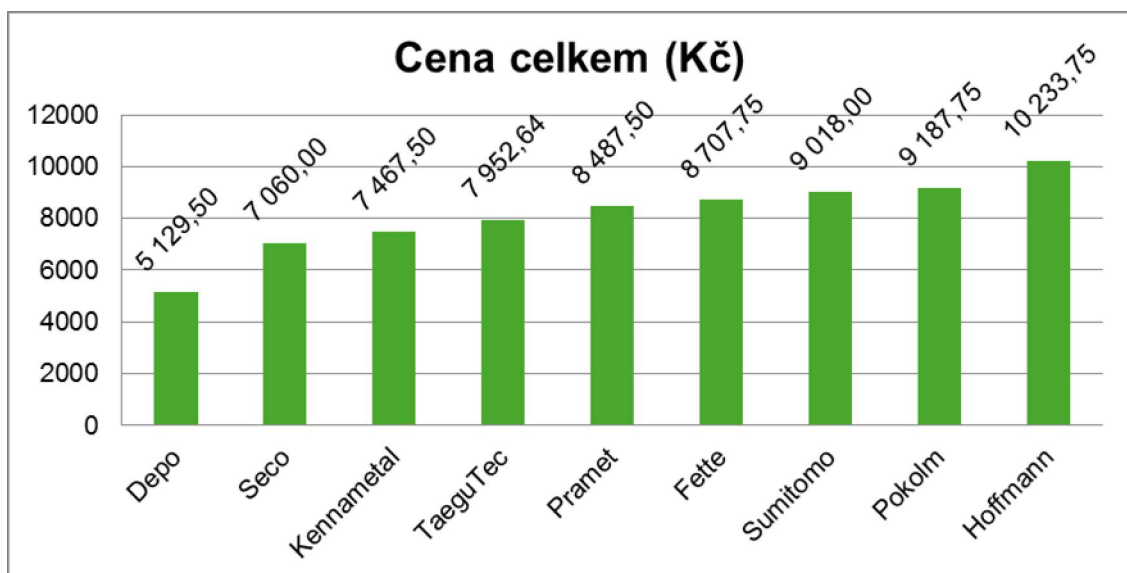
Obr.3-28 Grafické srovnání ceny za D50, D52

3.4.5. D63, D66

U největšího průměru frézy stále zůstal cenově nejvýhodnější výrobek od firmy Depo. Jako nejdražší frézy průměru byly naceněny nástroje od výrobců Pokolm a Hoffmann. Výrobek firmy Hoffmann dokonce překročil cenu 10000,- Kč.

Tab.3-11 D63, D66

Výrobce	Rozměr	Cena - nástroj (Kč)	Cena - VBD (Kč)	Počet VBD	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	D63x1,5x50	6484,00	183,58	8	7952,64
Depo	D66x1,5x50	4348,25	156,25	5	5129,50
Hoffmann	D66x1x40	8415,00	363,75	5	10233,75
Fette	D66x1,5x50	7110,00	228,25	7	8707,75
Pokolm	D66x2x52	7390,50	256,75	7	9187,75
Seco	D66x2x50	6050,00	252,50	4	7060,00
Pramet	D66x1,6x50	7800,00	137,50	5	8487,50
Sumitomo	D63x1,5x50	8614,00	101,00	4	9018,00
Kennametal	D66x1x40	5831,00	272,75	6	7467,50



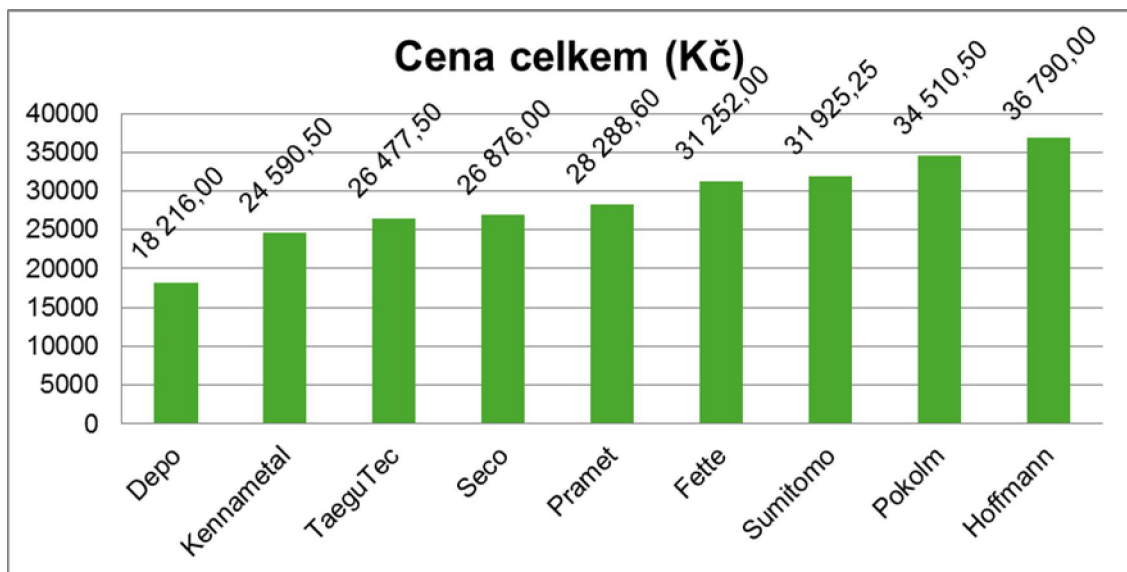
Obr.3-29 Grafické srovnání ceny za D63, D66

3.4.6. Celkové pořizovací náklady na frézovací sérii

Po sečtení dílčích cen za jednotlivé průměrové varianty byla stanovena cena za celou sérii nástrojů od jednotlivých výrobců. Výsledná cena byla určujícím ukazatelem pro vyhodnocení ekonomické náročnosti jednotlivých variant. Bylo zjištěno, že nejlevnější technologii nabízí firma Depo, která dokázala celou frézovací sérii nabídnout za cenu pod 20000,- Kč. Následovali výrobci Kennametal, TaeguTec a Seco, kteří se s cenou pohybovali okolo 25000,- Kč. Ceny sérií od dalších čtyř dodavatelů byly vypočteny přes 30000,- Kč. Nejdražše vycházel nákup frézovací série od dodavatele Hoffmann, jehož cena byla 36790,- Kč. Tato cena byla více jak dvojnásobně vyšší než u nejlevnějšího dodavatele firmy Depo.

Tab.3-12 Celkové pořizovací náklady

Výrobce	Cena celkem (Kč)
TaeguTec	26477,50
Depo	18216,00
Hoffmann	36790,00
Fette	31252,00
Pokolm	34510,50
Seco	26876,00
Pramet	28288,60
Sumitomo	31925,25
Kennametal	24590,50



Obr.3-30 Grafické srovnání cen za celkové pořizovací náklady

4. Diskuze

Hlavním cílem předkládané práce bylo vybrat nejvhodnější nástroj pro použití k vysokoposuvovému frézování (HFM) v nářaďovně ve ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav.

Základní informace k problematice řešené v této práci jsou uvedeny v teoretické části, kapitola 2.

Tato část práce je věnována způsobům frézování (podkapitola 2.1.), stručně uvádí druhy konvenčních strojů - frézek (podkapitola 2.2.), možnosti mechanizace a automatizace výrobních systémů (podkapitola 2.3.). Dále je zde uveden popis nástroje - frézy, jeho ploch, ostří a příklady nástrojových materiálů (podkapitola 2.4.). Rovněž jsou zmíněny druhy nástrojů - fréz (podkapitola 2.5.), možnosti jejich upínání a upínání obrobků (podkapitola 2.6.), fyzikální podstata, formy a kritéria opotřebením břítu nástroje (podkapitola 2.7.) a základní výpočtové vztahy pro kinematiku frézování, parametry třísky a řezné síly (podkapitola 2.8.). Na závěr této kapitoly jsou shrnuty obecně známé skutečnosti o technologii vysokoposuvového frézování (HFM), její výhody a porovnání s běžnou metodou (podkapitola 2.9.).

Hlavním informacím vedoucím k dosažení cíle předkládané práce je věnována celá kapitola 3.

Aby mohly být provedeny porovnávací zkoušky, bylo zapotřebí určit základní kritéria, která byla pro všechny dodavatele totožná, podmínky ekonomického srovnání, povolené hodnoty vibrací a specifikovat metodiku posuzování opotřebením VBD. Základní informace o použitém CNC stroji, na kterém byly experimenty prováděny, představení dodavatelů, nástrojů a jejich parametrů, druh upínání nástroje na CNC stroji a způsob jeho chlazení při samotném frézování, specifikace materiálů, na kterých byly zkoušky prováděny a parametry a řezné podmínky, které si dodavatelé navrhovali pro svůj nástroj sami - vše výše uvedené je obsahem podkapitoly 3.1. Hlavní částí podkapitol 3.2. a 3.3. je samotný průběh experimentu. Porovnání cen jednotlivých nástrojů a jejich celých sad od každého výrobce je věnována podkapitola 3.4..

Ze souboru zkoušek, měření a získaných výsledků uvedených v kapitolách 3.2. - 3.4. bylo zjištěno následující:

- **Produktivita výroby**

Pro materiál 1.7131 byl zvolen jako nejproduktivnější nástroj od firmy Pokolm. S malým časovým odstupem pak následuje fréza od firmy Seco a nejmenší produktivitu práce vykázal nástroj Hoffmann. Z důvodu vysokých vibrací na vřetení nedošlo k dokončení zkoušky s frézou Kennametal.

Pro materiál 1.2631 byl zvolen jako nejproduktivnější nástroj od firmy Pokolm. S vyšším časovým odstupem pak následuje fréza od firmy Seco a nejmenší produktivitu práce vykázala opět fréza od firmy Hoffmann. U fréz Kennametal a Sumitomo byla zkouška ukončena předčasně. V prvním případě z důvodu vysokých hodnot vibrací. Ve druhém případě došlo v průběhu zkoušky k destrukci VBD.

- **Vibrace a zatížení**

Pro materiál 1.7131 bylo zjištěno, že nejvyšší vibrace v průběhu frézování vykázal nástroj od firmy Seco. Dále byly zjištěny vibrace nad maximální povolenou hodnotu u nástrojů firem Fette, Pramet, Sumitomo a Kennametal. U frézy od firmy Kennametal byly vibrace tak vysoké, že muselo dojít k předčasnému ukončení zkoušky, aby nedošlo k poškození vřetene stroje.

Pro materiál 1.2631 byly při frézování naměřeny vibrace nad povolenou hodnotu u nástrojů, které ke zkoušce dodaly firmy Fette, Pramet a Sumitomo. Tyto vibrace by z dlouhodobého hlediska mohly zapříčinit poškození vřetene obráběcího stroje. Na fríze Sumitomo navíc došlo po 46 minutách k destrukci VBD a test musel být ukončen. Zkouška nástroje od výrobce Kennametal musela být ukončena po 3 minutách z důvodu velmi vysokých vibrací, které by mohly i v krátkodobém horizontu poškodit vřeteno stroje. Nejmenší vibrace na vřetení stroje byly opět zjištěny u nástroje z firmy Seco.

- **Posuv na zub**

Pro materiál 1.7131 bylo ze zadaného průměru frézy a dodavatelem určených hodnot zjištěno, že nejvyšší posuv na zub vykazoval nástroj firmy Pokolm následován Depem a naopak nejmenší hodnota vyšla u nástroje od firmy Hoffmann.

Pro materiál 1.2631 byla zjištěna nejvyšší hodnota posuvu na zub pro nástroj firmy Pokolm, dále Pramet a Depo. Naopak nejmenší hodnotu vykázal opět nástroj Hoffmann.

- **Objem odebraného materiálu**

Pro materiál 1.7131 bylo z hloubky řezu, šířky záběru frézy a rychlosti posuvu vypočteno a následně zkouškou ověřeno, že nejvyšší odebraný objem materiálu umožňuje fréza Pokolm se svými zadanými parametry následovaná nástrojem od firmy Seco. Naopak nejnižší objem odebraly frézy od firem Hoffmann, Sumitomo a Kennametal.

Pro materiál 1.2631 byly dodavateli navrženy hodnoty rychlostí posuvů ve většině případů nižší než u materiálu 1.7131 a z toho důvodu byly odebrané objemy většinou nižší. Pořadí na prvních dvou a posledních třech místech se nezměnilo. Nejvíce materiálu za časový úsek odebraly frézy Pokolm a Seco, nejméně pak Hoffmann, Sumitomo a Kennametal.

- **Opotřebení**

Pro materiál 1.7131 byly po každém frézovacím cyklu břitové destičky z nástroje demontovány a v laboratoři podrobeny zkoumání pod mikroskopem. Na základě výrobcem určených katalogových hodnot a druhů opotřebení VBD byla určena velikost opotřebení břitových destiček. Použité řezné hrany demontovaných destiček z nástrojů od výrobců Pokolm, Pramet a Sumitomo vykázaly po zkoušce takové opotřebení a otupení, že by jejich opětovné použití bylo nemožné. Na destičkách TeaguTec, Depo, Hoffmann, Fette a Seco bylo pod mikroskopem odhaleno opotřebení, které však nevylučovalo jejich další použití. Opotřebení destiček z dílny firmy Kennametal nebylo v laboratoři zkoumáno, protože z důvodu velmi vysokých vibrací na vřetení stroje nebyla zkouška s tímto nástrojem dokončena.

Pro materiál 1.2631 vykázaly demontované destičky z nástrojů od výrobců Pramet, TeaguTec, Depo, Hoffmann a Fette po zkoušce takové opotřebení a otupení, že by jejich opětovné použití nebylo možné. Na destičkách Pokolm a Seco bylo pod mikroskopem odhaleno minimální opotřebení a z toho důvodu by mohly být bez problémů znovu použity. Opotřebení destiček z dílny firmy Kennametal a Sumitomo nebylo v laboratoři zkoumáno, jelikož jejich zkouška byla z výše uvedených důvodů předčasně ukončena.

- **Ekonomické porovnání**

Z celkového porovnání bylo zjištěno, že nejlevnější nástroje pro vysokoposuvové frézování nabízí firma Depo, jejíž každá jednotlivá varianta průměru nástroje byla znatelně levnější než všechny ostatní. Firma dokázala celou frézovací sérii nabídnout za cenu pod 20000,- Kč. V dalším pořadí jsou výrobci Kennametal, TaeguTec a Seco, kteří se s cenou pohybují okolo 25000,- Kč. Naopak nejdražší nástroje nabízí firmy Pokolm a Hoffmann. Firma Hoffmann nabízí nástroje za cenu 36790,- Kč a je tak více jak dvojnásobně vyšší než nejlevnější Depo. Ceny sérií od zbylých tří dodavatelů byly vypočteny v rozmezí 30000,- Kč ± 2000,- Kč.

5. Závěr

Předložená bakalářská práce zpracovaná na téma "Návrh nástrojů pro vysokoposuvové frézování v rámci výroby ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav" se zabývá výběrem vhodného dodavatele nástrojů pro technologii vysokoposuvového frézování (HFM), která zvyšuje produktivitu a tím pádem zlevňuje výrobu součástí pro svařovací přípravky.

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí.

V teoretické části byl proveden rozbor týkající se problematiky frézování, automatizace výroby, používaných nástrojů a materiálů. Větší prostor v této kapitole je věnován fyzikální podstatě opotřebení břitu, formám a kritériím opotřebení břitu nástroje.

Experimentální část byla zaměřena na vytvoření metodiky samotného experimentu, nastavení pravidel, určení kritérií a výchozích podmínek a specifikace stroje pro provedení testů. Rovněž se zabývá charakteristikou vybraných materiálů pro výzkum, shrnutím vstupních parametrů a řezných podmínek, vyhodnocením dat a výstupních parametrů z provedených experimentů. V neposlední řadě byla experimentální část zaměřena na ekonomické porovnání.

Po vyhodnocení datového souboru získaného z provedených testů, měření, výpočtů a laboratorního zkoumání lze formulovat následující:

1. Nejlepších hodnot a výsledků v průběhu testování dosáhly nástroje od firem Pokolm a Seco.
2. Na základě ekonomického porovnání byla následně vybrána firma SECO.

Vlastní přínos práce

Práce shrnuje poznatky o frézování vysokým posuvem. Dané téma úzce souvisí s mým pracovním zaměřením. Práce popisuje a shrnuje průběh návrhu a výběru nástrojů pro vysokoposuvové frézování v nářadovně ve ŠKODA AUTO a.s. v závodě v Mladé Boleslavi. Po nákupu zkušební série nástrojů, jejich odzkoušení a ověření se bude tato technologie dále používat jako standardní na výrobu komponent pro přípravky do svařoven společnosti ŠKODA AUTO a.s. pro svařování karoserií automobilů.

POUŽITÁ LITERATURA:

- [1] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*, 1.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] BEŇO, J. *Teória rezania kovov*. Košice: Vienala, 1999. ISBN 80-7099-429-0
- [3] *Frézování, způsoby* [online]. eStránky.cz, 2016 [cit. 2016-07-09]. Dostupné z: http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani_zpusoby/frezovani-valcovou-a-celni-frezou.jpg.html
- [4] HUMÁR, A. *Technologie obrábění – první část studijní opory pro magisterskou formu studia „Strojírenská technologie“*, [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, [cit. 2016-06-28], Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [5] MÁDL, J. *Technologie obrábění, Díl 1*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2000. ISBN 80-0102-091-6
- [6] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Diagnostika pracovní přesnosti NC obráběcích strojů*, In: *Mezinárodní konference „TD 2000 – DIAGO 97“*, Zlín: Academia centrum Fakulty technologické VUT, 1997. ISBN 80-214-085
- [7] PROKOP, J. *Obrábění ve světě. Stav a trendy obráběcí techniky*, MM Průmyslové spektrum, 2002, roč.1, č.3. ISSN 1211-6653
- [8] ZELENÝ, J. *Pružné výrobní buňky, systémy a linky*, Speciální vydání. MM Průmyslové spektrum, červen 2000. s.99-109. ISBN 80-85986-19-1
- [9] KOČMAN, K., NĚMEČEK, P. *Aktuální příručka pro technický úsek*, 19.aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 080-902247-2-5
- [10] BÁTORA, A., VASILKO, K. *Obrobené povrchy. Technologická dědičnost, funkčnost*, Trenčín: Trenčianská univerzita v Trenčíne, 2000. ISBN 80-88914-19-1

- [11] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*, Brno: CCB spol s.r.o., 1995. ISBN 80-85-825-10-4
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ. *Obrobitelnost strojírenských materiálů. Strojírenská technologie, Ústav Techniky a Řízení Výroby UJEP, 1998. ISBN 80-70442-32-8*
- [13] KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka, 3. svazek*, Praha: Scientia, 1996. ISBN 80-85827-23-9
- [14] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky, 5. vydání*. Praha: Albra, 2011. ISBN 80-7361-081-4
- [15] KUDELA, M. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*, Praha: Sandvik CZ, 1997. ISBN 80-2382-222-5
- [16] L.M.T. - FETTE spol. s.r.o. *Nástroje pro výrobu zápusťek a forem*, Ústí n. Labem: Tiskárna Horák, 2002.
- [17] *Řezné nástroje: Opotřebení břitu nástroje* [online]. Brno: Nová média, s. r. o., 2014 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/rezne-nastroje-opotrebeni-britu-nastroje/>
- [18] ČSN ISO 3002-1 (220011): *Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení Časť 1: Geometria aktívnej časti rezných nástrojov. Základné termíny, súradnicové sústavy, nástroje a pracovné úhly, lamače triesky*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [19] ČSN ISO 3002-3 (220014): *Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení. Časť 3: Geometrické a kinematické veličiny pri rezaní*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [20] ČSN ISO 3002-4 (220036): *Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení. Časť 4: Sily, práca a výkon*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

- [21] *SECO Tools: High Feed Milling Technology* [online]. Brno: Seco Tools, 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/Global/Products/Milling/Highfeed-Milling/HFM-Technology/#>
- [22] *DMG MORI: DMU 65 monoBLOCK®* [online]. Brno: DMG MORI, 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-monoblock/dmu-65-monoblock>
- [23] *RSZ Tools: HSK 63 Ax20x100* [online]. Meerbusch: RS Zerspanungstechnik, 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: http://www.rszttools.de/shop/product_info.php?products_id=7703
- [24] *T+T Technika a trh* [online]. Brno: CCB spol s.r.o., 2011 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/obrabeni/svetova-premiera-dmu-65-monoblock>
- [25] Firemní podklady

Seznam příloh

Příloha P1: Specifikace obráběcího stroje Deckel Maho DMU65 monoBLOCK®

Příloha P2: Fotodokumentace opotřebení VBD

Příloha P1: Specifikace obráběcího stroje Deckel Maho DMU65 monoBLOCK®

Deckel Maho DMU65 monoBLOCK®

Hlavní znaky:

Univerzální frézovací stroj s větším pracovním prostorem pro obrobky do \varnothing 840 mm, 500 mm výšky a max. 1.000 kg se sklopným a otočným stolem a pro obrobky do 1.000 x 840 x 560 mm a max. 1.800 kg s pevným stolem. Nakládání obrobků jeřábem až za střed stolu je ve standardu.

Parametry:

- pojezdy 735 mm (650) x 650 mm x 560 mm
- hlavní pohon: motorové vřeteno 10.000 1/min
- výkon 13 kW (40% ED); 9 kW (100% ED)
- upínání nástrojů SK 40 dle DIN 69871
- upínací stopka dle DIN 69872
- vertikální vřeteník
- automatická výměna nástrojů s dvojitým chapačem
- řetězový zásobník nástrojů na 30 míst SK 40
- pevný stůl 1.000 mm x 650 mm
- vana na třísky s integrovanou nádrží na 500 l
- 3D-řízení Heidenhain iTNC 530 HSCI

Pracovní stůl

- NC-otočný naklápěcí stůl plocha stolu v C-ose: d 650 mm, integrovaná v pevném stole 800 mm x 650 mm

deska stolu - C-osy

- 1x T-drážka 14 H7 (středící, uprostřed)
- 8x T-drážka 14 H12 (upínací)

deska pevného stolu

- 4 x T-drážka 14 H12 (upínací)
- závitový raster 8x M12
- přípustné zatížení: 600 kg
- rozsah otáčení C-osy: 360°
- rozsah naklápění A-osy: +120°/-120°

Hlavní pohon

- Motorové vřeteno do 18 000 ot/min
- upínání nástrojů SK40 dle DIN 69871 s aktivním chlazením

Opce - hlavní pohon

- Uchycení nástroje pro HSK-A 63 podle DIN 69893

Zásobník nástrojů

- Vertikální zásobník s 60 posicemi SK 40 popř. opčně zvolené upínání

Automatizace / měření / kontrola

- Měřicí infra sonda Heidenhain TS 649
- SK 40 příp. opčně zvolené upínání nástrojů
- Proměřování nástrojů v pracovním prostoru Blum Laser
- proměřování délky a průměru nástroje vertikálně
- 3D quickSET
- Sada nástrojů pro kontrolu a korekci kinematické přesnosti 5-osé konfigurace stroje

Chlazení a odvod třísek

- Výrobní paket obsahuje:
- dopravník třísek shoz 950mm, šířka 670mm s nádrží na 600 l, papírový pásový filtr
- přívod vnitřního chlazení středem vřetene(AD) o tlaku 40 bar/23 l/min (teoretický výkon čerpadla)
- oplachování třísek ve dveřích pracovního prostoru
- Air clear: ofukování průhledového okna dveří pracovního prostoru
- Pistole k oplachování třísek s čerpadlem - 1 bar/40 l/min (teor. výkon čerpadla)
- Chlazení vzduchem přes střed vřetene

Opce řídicího systému iTNC 530

- Elektronické ruční kolečko iTNC 530

Ostatní opce

- Bezpečnostní sklo pro dveře pracovního prostoru
- Rotační průhledové okénko
- Operační režim 4 " kontrola procesu obrábění" - Manuální zásah do pracovního prostoru při otevřených pracovních dveřích

Technický popis

rozjezdy:	X = 650 mm (podélně)
	Y = 650 mm (příčně)
	Z = 560 mm (vertikálně)
upínací šroub:	vzduchem ovládaný upínač nástrojů pro šroub DIN 69872 Form A bzw. B
náběh na otáčky:	ca. 2,5 s
brzdný čas:	ca. 2,5 s
výkon pohonu:	13 kW (40% ED) - 9 kW (100% ED)

<i>krouticí moment:</i>	83 Nm (40% ED) - 57 Nm (100% ED)
<i>druh uložení:</i>	hybridní ložiska
<i>zatahovací síla nástroje:</i>	8 kN
vertikální frézovací hlava	
výměník nástrojů / zásobník:	programově řízená výměna nástrojů do pracovního vřetena zařízení na výměnu nástrojů se základním vertikálním zásobníkem integrovaným do kabiny, odděleným od pracovního prostoru
30 míst v zásobníku SK 40 (standard)	
povolená hmotnost nástroje	8 kg
povolená celková hmotnost nástrojů v zásobníku:	30 míst: 80 kg
lineární odměřovací systémy:	přímé, fotoelektrické rozlišení 0,001 mm
přesnost stroje:	P = 0,008 mm (dle VDI/DGQ 3441) X-, Y- a Z-osa
centrální mazání:	automatické minimální mazání valivých vedení
kabina, vana na třísky:	zcela uzavřená kabina včetně střechy s posuvnými dveřmi velkoplošné bezpečnostní okno
přívod chladicího prostředku	lišta s tryskami na vertikálním vřeteníku, ofuk (max. 6 bar) 4 trysky na chladicí kapalinu, 4 trysky
potřebný tlak vzduchu:	objem zásobníku chladicí kapaliny: ca. 500 l 6 bar
průměrná spotřeba stlačeného vzduchu:	ca 20 m ³ /h

3D-řízení Heidenhain iTNC 530 s HSCI (HEIDENHAIN Serial Controller Interface)

ovládací panel:	ERGOline
hardware:	procesor: Pentium M 1,8GHz obrazovka: 19" TFT barevná plochá obrazovka rozlišení 1.280 x 1.024 pixel vertikální a horizontální Softkeys

klávesnice:	alfanumerická klávesnice s funkčními tlačítky pro
NC-datová paměť:	pevný disk: 80 GB
obráběcí cykly:	vrtací a frézovací cykly, tvarová kapsa, návazané kontury,
	kompletní obrábění kapes a drážek, bodová předloha, řádkování rovinných a šikmých ploch, frézování vnitřních a vnějších závitů, interpolace na válci, cykly dotykové sondy.
souřadnicový systém:	kartézské, polární
transformace souřadnic:	posunutí, otáčení, zrcadlení, zvětšení/zmenšení (dle jednotlivých os)
transformace rovin:	definice pracovní roviny v libovolném prostorovém uspořádání.
rozhraní pro přenos dat:	ethernetové rozhraní: Fast Ethernet 10/100 BaseT(100 mBit), síťový protokol TCP/IP seriové rozhraní: 1x V.24/RS 232 C USB-podpora externích zálohovacích přístrojů (USB-Sticks, pevné disky, CD-ROM) přes 3 volná USB rozhraní (2 x USB 1.1, 1 x USB 2.0)

Dotykové měřicí čidlo s infra přenosem Heidenhain TS 649

Měřicí čidlo automaticky podáváno ze zásobníku nástrojů do pracovního vřetena.

Rozsah funkcí:

- korekce polohy nástroje najetím otočného stolu NC do polohy
- zjištění středu kruhu a poloměru otvoru nebo čepu.
- korekce posunutí nulového bodu
- modifikace korekce nástroje
- kontrola tolerancí nástroje

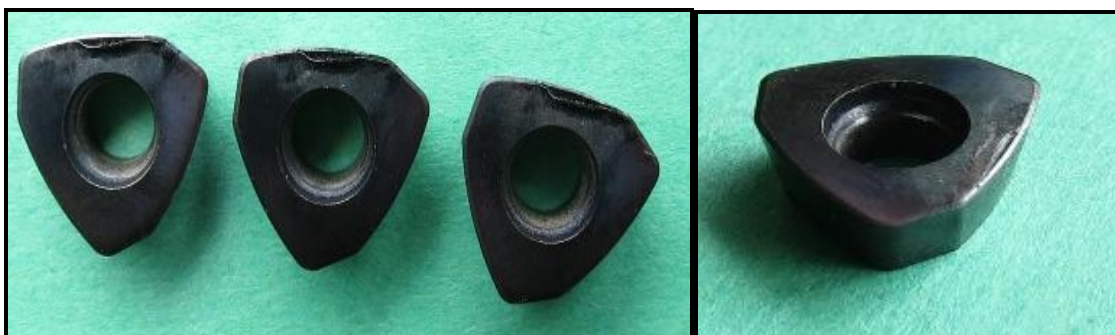
Příloha P2: Fotodokumentace opotřebení VBD

Přehled opotřebení VBD - 1.7131

TaeguTec



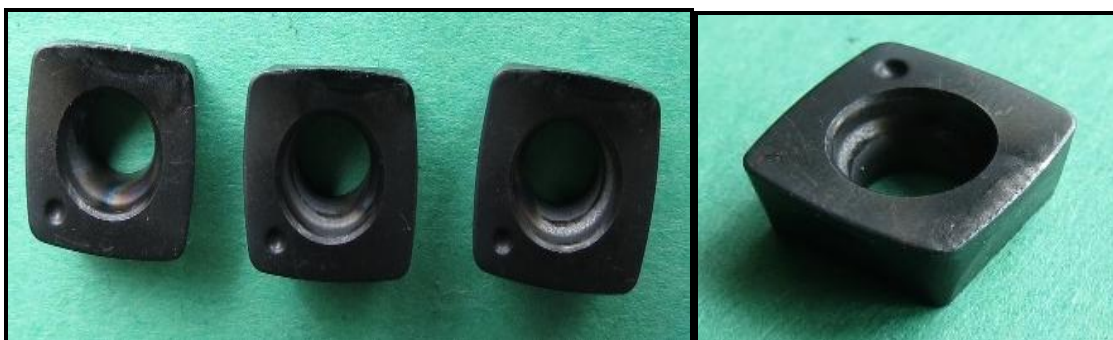
Depo



Hoffmann



Fette



Pokolm



Seco



Pramet



Sumitomo



Kennametal



Přehled opotřebení VBD - 1.2631

TaeguTec



Depo



Hoffmann



Fette



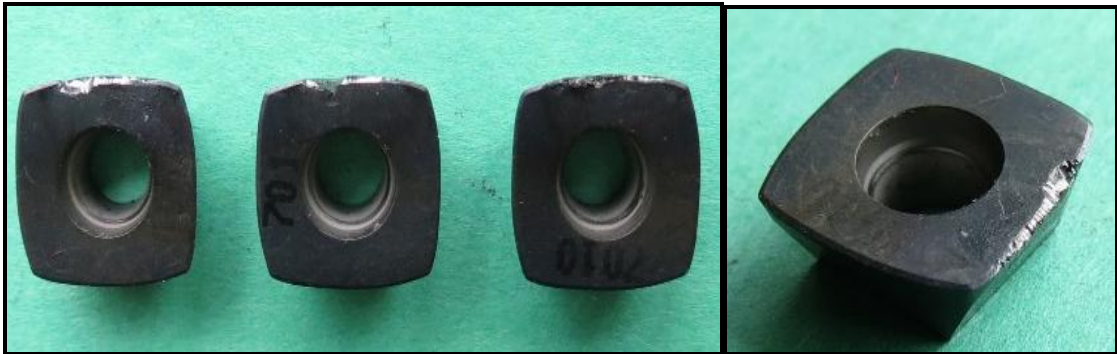
Pokolm



Seco



Pramet



Sumitomo



Kennametal

