

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Katedra Technologie Obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tvorba technické části katalogu fréz

Autor: **Vít Laudát**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:.....

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotně udělené rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji svému konzultantovi Ing. Jiřímu Němcovi za jeho moudré rady a poznatky při vypracovávání práce. Děkuji také svým rodičům a bratrovi za jejich podporu a pomoc při psaní práce.

Obsah

Obsah	5
1. Úvod.....	7
1.1 Specifikace práce a popis sortimentu	7
2. Nabízený sortiment	9
3. Základní informace o frézování.....	14
3.1 Rozdělení frézování dle vzájemné polohy osy frézy vůči obráběné ploše.....	15
3.1.1 Frézování obvodem.....	15
3.1.2 Čelní frézování.....	16
3.2 Sousedné a nesousedné frézování	16
3.3 Geometrie nástrojů	19
3.3.1 Tvar čela frézy	19
3.3.2 Geometrie břitu	20
3.3.3 Další vlastnosti fréz	22
3.4 Obráběné materiály	23
3.5 Jevy nastávající při frézování.....	25
3.5.1 Tvorba nárůstku	25
3.5.2 Ztráta stability řezného procesu	26
3.5.3 Teplo vznikající při frézování.....	28
3.6 Způsoby a strategie frézování	29
3.6.1 Frézování bokem frézy a stranové frézování.....	29
3.6.2 Trochoidní frézování	32
3.6.3 iMachining	33
3.6.4 Výroba drážek.....	35
3.6.5 Výroba drážek stopkovou frézou	36
3.6.6 Vlečení a vyklonění fréz.....	38
4. Rady a typy pro obrábění	39
5. Podklady pro vývoj webové aplikace na výpočet řezných podmínek.....	42
5.1 Funkce webové aplikace	42
5.2 Vývojové diagramy pro tvorbu webové aplikace.....	45
6. Porovnání nového nástroje s přeastřeným	48
6.1 Trvanlivost přeastřeného nástroje.....	50
7. Závěr	51
Seznam použitých knižních zdrojů:	52

Seznam obrázků:	55
Seznam použitých zkratek:	56
Příloha 1: Podklady pro vývoj webové aplikace	58
Příloha 2: Rady a tipy pro frézování.....	61

1. Úvod

Každý podnikatel chce být konkurenceschopný, konkrétně pro výrobce to znamená mít co možná nejnižší výrobní náklady při dané kvalitě. Pro dosažení požadovaných vlastností a zákazníkem požadované jakosti, a zároveň udržení výrobních nákladů na co nejnižší úrovni je potřeba zvolit adekvátní technologii a vhodné nástroje, pomocí kterých lze výrobu uskutečnit.

Výběr vhodné technologie výroby je poměrně komplexní záležitost, kde je nutné vzít v potaz mnoho vstupních faktorů. Je důležité náležitě ovládat znalosti z oboru obrábění, které se navíc ještě stále obohacují o nově přicházející technologie. Pro snazší orientaci a výběr vhodných nástrojů jsou firmami dodávajícími nástroje nabízeny příručky popisující zákazníkům možnosti využití jednotlivých nástrojů a technologií.

Účelem této práce je vytvořit teoretický základ pro právě takovou příručku, kterou bude využívat konkrétní společnost. V této práci tedy jsou popsány zásady technologie frézování včetně vhodné volby frézovacích nástrojů. Příručka má být zaměřena konkrétně na: frézování sousledné a nesousledné, výrobu drážek stopkovou frézou, frézování bokem a obrábění materiály. Kromě toho je požadováno ze strany zadavatele vytvořit poklady pro webovou aplikaci na výpočet rezných podmínek pro frézování. Aplikace by měla být vytvořena externím vývojářem na základě těchto podkladů a měla by být umístěna na webových stránkách společnosti. Na základě těchto materiálů se mohou technologové v podnicích, s nimiž má zadavatel obchodní kontakty, rozhodovat jaký nástroj a způsob frézování či jiné operace bude pro danou operaci nejlepší.

Je žádoucí, aby se provedla rešerše, na jejímž základě bude zpracován výstupní text do katalogu fréz. Za tím účelem je třeba prostudovat katalogy jiných firem a příručky o obrábění. Katalog fréz bude zaměřen na stopkové frézy, především tvrdokovové, menšího až středního průměru. Jedná se především o frézy určené na obrábění bokem frézy a obrábění normálních i tvarových dutin. Upínání stopkových fréz je zajištěno válcovou nebo kuželovou stopkou.

1.1 Specifikace práce a popis sortimentu

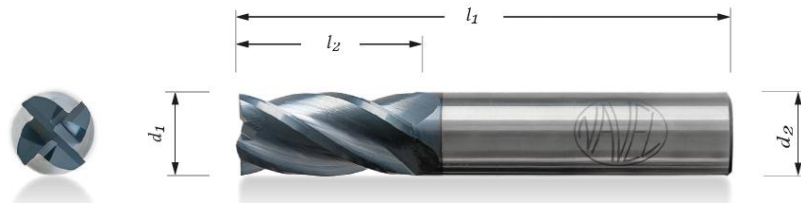
Firma Navel spol. s r.o., která je výrobcem nástrojů, si přeje, do svého aktuálního katalogu nástrojů přidat část, která by se měla zabývat teorií obrábění a bude umístěna v technické části katalogu. Protože hlavní část výrobního sortimentu firmy tvoří frézy, měla by se práce věnovat hlavně frézám. Technická část katalogu by měla popisovat vhodnost použití určitých fréz na různé způsoby obrábění a k tomu rady a návody pro frézování. Firma již vlastní katalog nabízí a má i vlastní internetové stránky, v zájmu firmy je rozšíření katalogu a stránek, právě toto rozšíření je cílem této práce. Obrázky, které firma použije pro objasnění textu, pro ni vytvoří grafik, tudíž v této práci mohou být použité obrázky z internetových a knižních zdrojů, firma je nebude potřebovat.

Dále je žádoucí vytvořit poklady pro tvorbu webové aplikace, která bude technologům pomáhat s volbou rezných podmínek při frézování. Mezi tyto rezné podmínky patří například: rezná rychlost, posuvová rychlost, počet zubů frézy, průměr frézy, materiály nástroje i obrobku atd. Webová aplikace by měla být umístěna na internetových stránkách firmy a na základě podkladů ji vytvoří externí vývojář. Podklady by se měly skládat z vývojového diagramu, který se stane základem pro tvorbu programu, a z obrázků vykreslujících základní vzhled webové aplikace. Na obrázcích by měla být vidět okénka s popisem, do kterých se

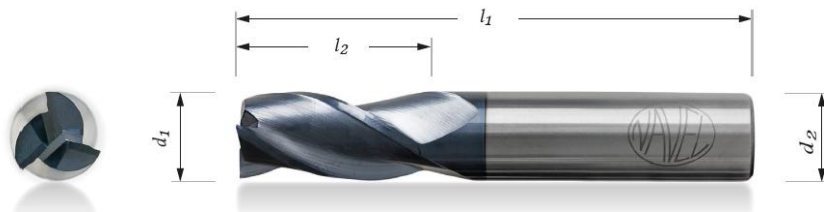
zapisují vstupní informace, a okénka ukazující výstupní informace. Některá políčka by měla být i „vstupně-výstupní“, informace do nich mohou být zapisovány, ale pokud se tak nestane a políčko zůstane nevyplněné, aplikace v tomto políčku zobrazí výsledek.

2. Nabízený sortiment

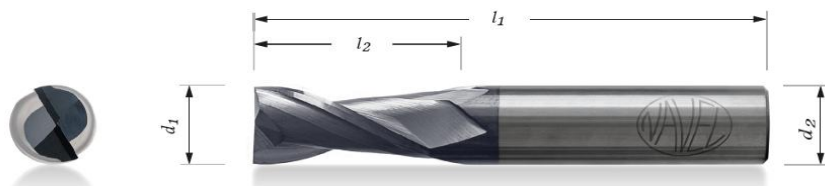
Protože se práce týká sortimentu firmy Navel, přesněji jeho podstatné části, fréz, bylo by vhodné nejdříve si vyráběný sortiment představit a až poté se začít věnovat teorii obrábění frézou, protože ta se váže právě na tyto nástroje. Navel je výrobcem a prodejcem nejen frézovacích nástrojů, kromě stopkových fréz nabízí i vrtáky, výstružníky, navrtáky a zabývá se i ostřením a povlakováním nástrojů. Nabízené nástroje jsou zhotoveny většinou ze slinutého karbidu, ale jsou nabízeny i nástroje z polykrystalického diamantu či kubického nitridu bóru.



Obr. 1 TK 4břítá fréza s rovným čelem

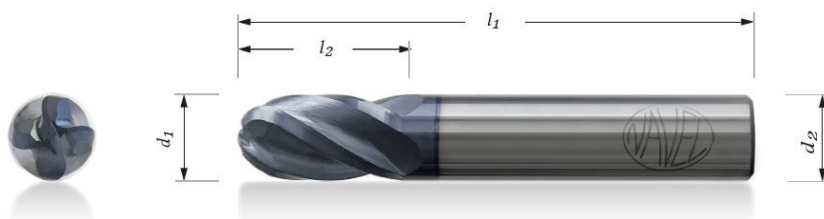


Obr. 2 TK 3břítá fréza s rovným čelem



Obr. 3 TK 2břítá fréza s rovným čelem

Protože frézy tvoří podstatnou část sortimentu, budou rozebrány dříve a podrobněji než ostatní nástroje. Na Obr. 1, Obr. 2 a Obr. 3 jsou vidět frézy do klasických ocelí s úhlem stoupání šroubovice 30° . Frézy jsou nabízeny v různých průměrech s počty zubů od dvou do čtyř. Břité frézy na Obr. 1 jsou broušené do středu, zatímco břité fréz na Obr. 2 a Obr. 3 jsou broušené přes střed a umožňují tedy výrobu uzavřených drážek, ale tyto frézy jsou vhodné i pro frézování drážek otevřených či frézování bokem.

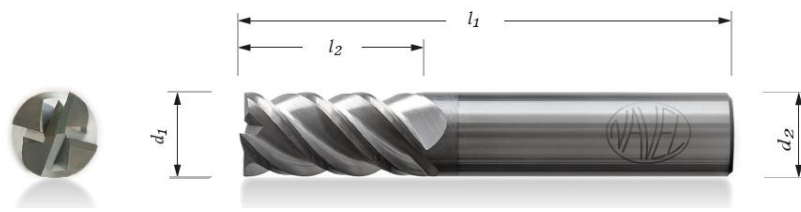


Obr. 4 TK 4břítá fréza s kulovým čelem



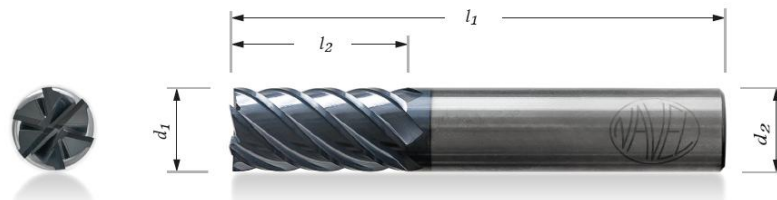
Obr. 5 TK 2břítá fréza s kulovým čelem

V nabídce firmy disponují i frézy do klasických ocelí s kulovým čelem, které jsou nabízeny ve více průměrech, v provedení s dvěma nebo čtyřmi zuby, které jsou uspořádány do šroubovice s úhlem stoupání 30°. Frézy jsou vhodné na tvorbu vnitřních tvarových ploch (kapes). Dvoubřítá fréza má zuby broušené přes střed, zatímco čtyřbřítá fréza má zuby broušené do středu.

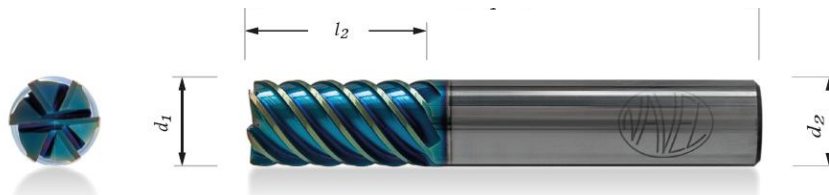


Obr. 6 TK 4břítá fréza s rovným čelem antivibrační

Ve výrobním sortimentu se nachází i speciální vysoce produktivní frézy s antivibrační geometrií, která umožňuje zvýšení řezné rychlosti a prodloužení životnosti nástroje. Nástroj je výjimečný tím, že má odlišné úhly stoupání šroubovice. Tyto frézy jsou vhodné na frézování bokem i tvorbu uzavřených či otevřených drážek. Frézu je vhodné použít, pokud při obrábění hrozí ztráta stability řezného procesu. Nástroj je určený pro obrábění více typů materiálů. Mezi ně patří materiály typu P, M a S.

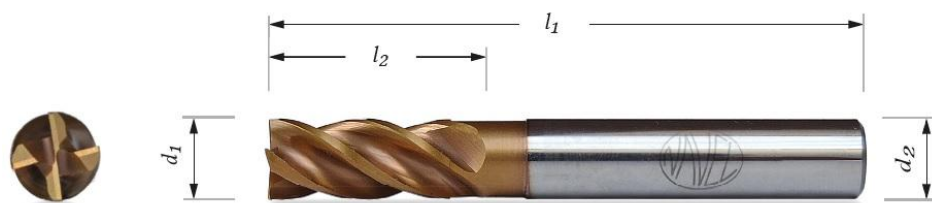


Obr. 7 TK dokončovací fréza - šroubovice 45°

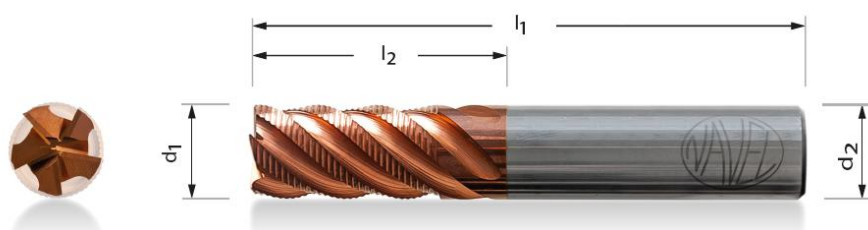


Obr. 8 TK fréza do kaleného materiálu

Na dokončovací operace jsou nabízeny frézy s větším počtem zubů (šest až osm), které jsou vidět na Obr. 7 a Obr. 8. Podle toho jaký materiál obrábíme, volíme frézu s odlišnou geometrií a povlakováním. Fréza na Obr. 7 je vhodná pro obrábění klasických ocelí, zatímco fréza na Obr. 8 je vhodná na kalené materiály. Díky velkému úhlu stoupání šroubovice, 45° nebo u modré frézy dokonce více, je větší šance pro udržení alespoň jednoho zubu v záběru, což zlepšuje stabilitu řezu. Je tak možné nastavit menší úhel opásání.

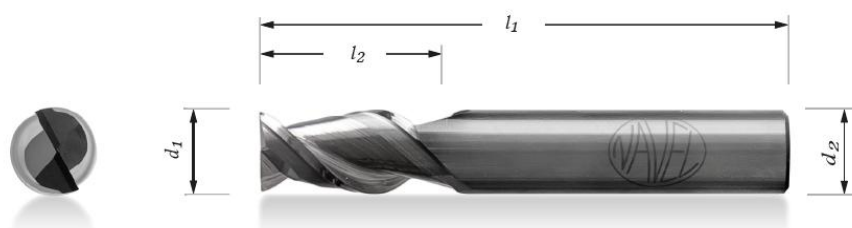


Obr. 9 TK 4břítá fréza BEAST

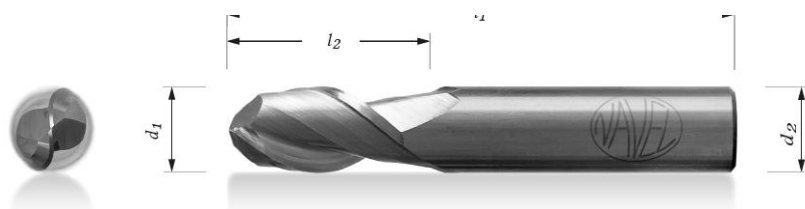


Obr. 10 TK hrubovací NR fréza - šroubovice 45°

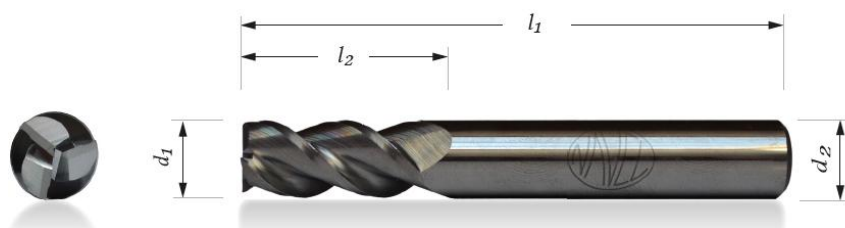
Frézy vhodné na hrubování s upravenou geometrií na dobrý odvod třísek z řezu. Fréza na Obr. 10 disponuje děliči třísek, které lámou třísky na menší a ty pak lépe odcházejí z řezu. Fréza na Obr. 9 nemá děliče třísek, ale její speciálně upravená drážka zlepšuje odvod třísek. Obě frézy mají velký úhel stoupání šroubovice pro co nejplynulejší průběh řezu a jsou deponovány tenkou vrstvou pro intenzivní podmínky obrábění.



Obr. 11 TK 2břítá fréza s rovným čelem a upravenou geometrií



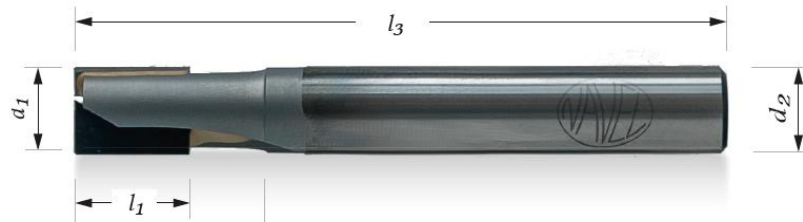
Obr. 12 TK 2břítá fréza s kulovým čelem a upravenou geometrií



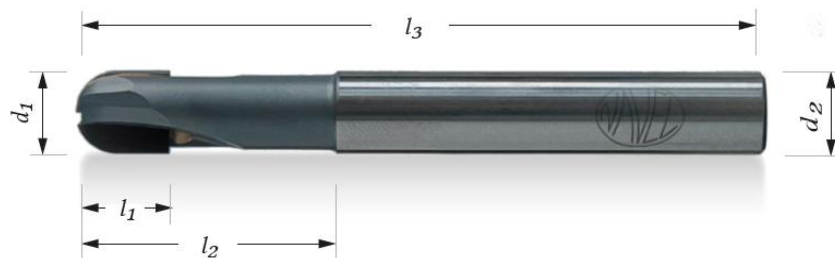
Obr. 13 TK 4břítá fréza "AEROMILL" vysoce produktivní

Firma Navel nabízí i speciální frézy na obrábění hliníku s upravenou geometrií právě pro tento materiál. Geometrie těchto fréz je velmi otevřená a pozitivní. Díky této geometrii by

nemělo docházet k ulpívání třísek na břitu, ale třísky by měly snadno odcházet z řezu. Umožňují větší úběr materiálu a tedy rychlejší obrobení a výrobu součástí. Frézy určené na obrábění hliníku jsou nabízeny ve více provedeních, fréza na Obr. 13 je vhodná pro vysoce produktivní obrábění. Zatímco fréza na Obr. 12 zvládá tvarové obrábění i tvorbu kapes a fréza na Obr. 11 je vhodná na klasické drážky uzavřené i otevřené.

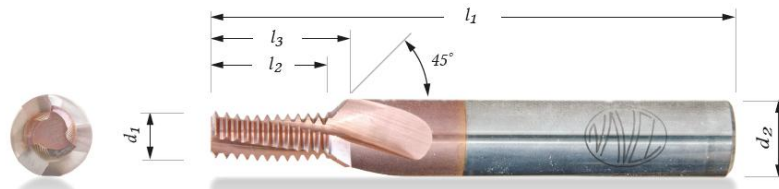


Obr. 14 PKD 2břítá fréza - rovné čelo

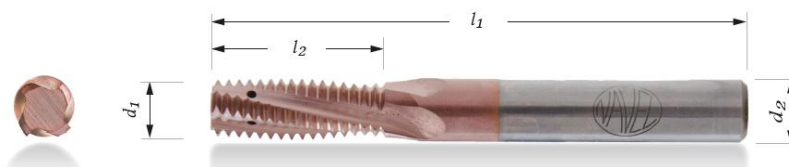


Obr. 15 PKD 2břítá fréza - kulové čelo

Jsou nabízeny speciální nástroje vyrobené z polykrystalického diamantu (PKD), ty jsou velice odolné a mají díky tomu čím dál větší uplatnění při obrábění neželezných materiálů. Společnost Navel nabízí standardní i speciální tvarové nástroje a disponuje stroji pro výrobu, renovaci a ostření těchto nástrojů. Nástroje z PKD lze vidět na Obr. 14 a Obr. 15.



Obr. 16 TK závitová fréza se sražením



Obr. 17 TK závitová fréza s radiálním chlazením

Pro výrobu závitů jsou v nabídce závitorezné frézy určené přesně pro tvorbu závitů. Tyto nástroje jsou nabízeny s vnitřním vedením chladicí kapaliny nebo bez něj. V nabídce jsou i frézy se sražením pro rychlejší výrobu sražení díry u závitů bez výměny nástroje. Frézy jsou vhodné pro výrobu více profilů (UN, G, BSPT, NPT, NPTF) i rozměrů (M2 – M24) závitů.

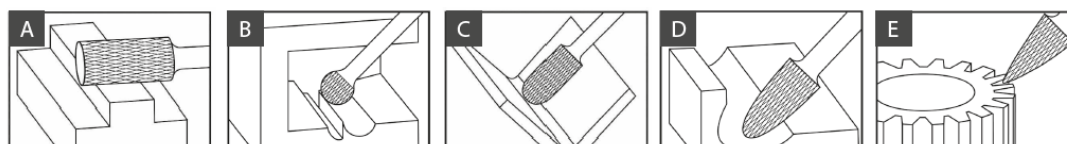


Obr. 18 Speciální tvarové nástroje

Dále jsou nabízeny speciální nástroje, mezi ně patří úhlové i rádiusové srážče hran pro dokončovací úpravy na obrocích. Dalšími tvarovými speciály jsou kuželové frézy a to i se zpětným kuželem, kterými se dají vytvářet rybinové drážky. Příklady některých nástrojů jsou vidět na Obr. 18.



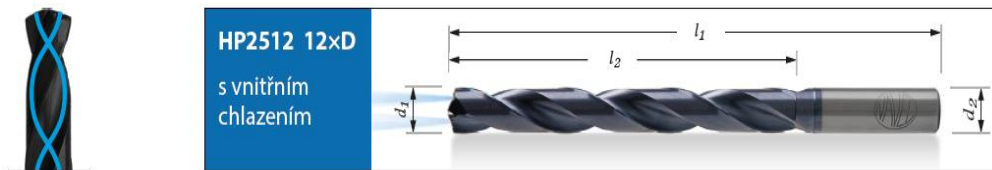
Obr. 19 Tvary břitů technických fréz



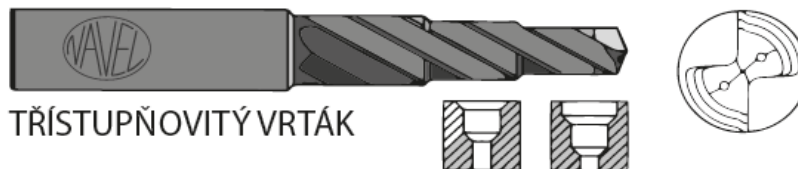
Obr. 20 Tvary technických fréz

Technické frézy mají využití při obrábění slévarenských forem nebo opravách odlitků, také jsou vhodné při opracovávání svarů a tvorbě rádiusů či sražení. Podle dané situace firma nabízí volbu mezi jednotlivými tvary technických fréz, které jsou vidět na Obr. 20, a dokonce možnost volby tvaru břitů frézy, ty jsou zobrazeny na Obr. 19. Jednotlivé tvary břitů se hodí pro jiné druhy použití, první tři druhy břitů shora se vyznačují vyšším úběrem materiálu,

zatímco první tvar zdola menším úběrem materiálu a vhodností na dokončování. Tvar břitů je taktéž důležité volit podle obráběného materiálu.



Obr. 21 Spirálovitý vrták



Obr. 22 Stupňovité vrtáky

Do nabízeného sortimentu patří kromě fréz i spirálovité a stupňovité vrtáky. Spirálovité vrtáky jsou nabízeny od délky $3 \times D$ až do $12 \times D$ s vnitřním chlazením, jak lze vidět na Obr. 21, i bez vnitřního chlazení. V nabídce jsou i speciální stupňovité vrtáky (Obr. 22), které jsou pro zákazníka vyráběny na míru.



Obr. 23 Výstružník

V nabídce jsou také výstružníky různých průměrů se zuby v šroubovici, které jsou vidět na Obr. 23, nebo s přímými zuby. A pro tvorbu děr jsou nabízeny navrtávačky mnoha rozměrů s volitelným vrcholovým úhlem 90° nebo 120° .

3. Základní informace o frézování

Frézování je způsob obrábění, kterým je vytvářen nový, rovinný nebo tvarový, povrch rotačním nástrojem na obráběné součásti. Aby mohl být takový povrch vytvořen, je zapotřebí použít obráběcí stroj, který to umožní svou kinematikou. Kinematika stroje zaručuje vymezení požadovaných stupňů volnosti, tedy pohyb nástroje po určitých drahách. Proto jsou na obráběcích strojích posuvové šrouby, které se pohybují jen tehdy, pokud je to žádoucí. V opačném případě pohyb neumožňují, dochází k fixaci v dané poloze.

Fréza je několikabřitý nástroj, který při obrábění koná rotační pohyb, jenž je zároveň hlavním řezným pohybem. Vzájemný rotační pohyb mezi frézou a obrobkem je vykonáván frézou a vzájemný posuvný pohyb může být vykonáván buď frézou, nebo obrobkem upnutým ke stolu frézky. Právě proto, že fréza je několikabřitý nástroj, je řezný proces frézování přerušovaný. Bylo by velké nedorozumění zaměnit řezný proces s přerušovaným řezem. Je tím myšleno, že jednotlivé břity každou otáčku frézy opakovaně zajíždějí a vyjíždějí z řezu, ale vždy by měl být v řezu alespoň jeden břit.

Frézováním se tedy primárně vytvářejí rovinné plochy, ale tento proces umožňuje vytvoření daleko složitějších tvarů, jako jsou drážky či prizmatické plochy. Existují i speciální druhy frézování, jako například odvalovací frézování ozubených kol.

3.1 Rozdělení frézování dle vzájemné polohy osy frézy vůči obráběné ploše

Způsoby frézování se rozlišují podle vzájemné polohy osy frézy vzhledem k obráběné ploše. V této kapitole budou popsány jen dva základní způsoby frézování při rozdělení podle tohoto hlediska, ve skutečnosti jich ale existuje mnohem více, jimiž jsou například trochoidní frézování, planetové frézování, odvalovací frézování, okružní frézování atd. Proces frézování provádí nástroje, které se nazývají frézy. Frézy se dají dělit podle mnoha dalších rozdělení, jimiž jsou například: počet zubů, způsob upnutí, geometrický tvar, nástrojový materiál atd.



Obr. 24 Poloha frézy vůči obrobku [1]

Na Obr. 24 jsou znázorněny druhy fréz. Válcová fréza se zuby do šroubovice nahoře vlevo se používá pro obvodové frézování, lze vidět na Obr. 25. Vpravo od ní je zobrazena čelní fréza s břity v podobě vyměnitelných břitových destiček, která se používá při čelním frézování, to je zobrazeno na Obr. 26. Pod nimi se nachází válcové čelní frézy, vlevo hrubozubá, vpravo jemnozubá.

3.1.1 Frézování obvodem

O frézování obvodem se lze dočíst ve skriptech Teorie obrábění a montáže profesora Sovy [2] nebo ve skriptech Základní metody obrábění od Antona Humára [1]. Při tomto způsobu frézování je osa frézy rovnoběžná s obráběnou plochou obrobku. Řezný pohyb se skládá z rotačního pohybu vykonávaného frézou a posuvného pohybu vykonávaného nejčastěji obrobkem upnutým na stole. Tloušťka třísky je ovlivněna počtem zubů a velikostí úhlu stoupání šroubovice, v případě použití frézy se zuby do šroubovice.



Obr. 25 Frézování obvodem[3]

Na Obr. 25 vidíme obvodové frézování pomocí válcové frézy se zuby ve šroubovici. Je zde vykreslena rovnoběžnost osy frézy s obráběnou plochou. Šipka více vlevo značí rotační pohyb frézy, zatímco druhá šipka značí posuvný pohyb obrobku proti fréze. Při těchto směrech pohybů, které jsou zobrazeny na obrázku, se jedná o obrábění sousledné.

3.1.2 Čelní frézování

Informace pro tuto kapitolu byly načerpány ze skript Teorie obrábění a montáže profesora Sovy [2] a ze skript Základní metody obrábění od Antona Humára [1]. Při čelním frézování je osa nástroje kolmá k obráběné ploše, jak lze vidět na Obr. 26. Oproti obvodovému frézování se při tomto způsobu využívají obvodové ale i čelní břity frézy. Tloušťka třísky je opět proměnná. U čelního frézování může současně probíhat obrábění sousledné a nesousledné.



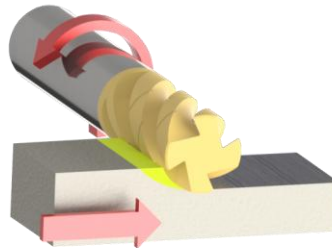
Obr. 26 Čelní frézování [3]

Obr. 26 zobrazuje čelní frézování válcovou čelní frézou se zuby do šroubovice. Obrázek ukazuje využití čelních i obvodových zubů při tomto způsobu frézování. Zároveň vykresluje kolmost osy frézy k obráběné ploše obrobku.

3.2 Sousledné a nesousledné frézování

Volba sousledného, či nesousledného frézování je značně důležitá, protože volba špatného způsobu může ovlivnit produktivitu výroby, trvanlivost nástroje, nebo zapříčinit nedosažení vlastností, které zákazník požaduje, a tedy výrobu zmetku. Oba tyto způsoby, sousledný i nesousledný, mají svá pozitiva i negativa. O sousledném a nesousledném frézování se lze dozvědět řadu informací z článku Poloha frézy vůči obrobku na webových stránkách firmy Sandvik [4] nebo z článku Sousledné a nesousledné frézování od Václava Diviše [5]. Informace z těchto zdrojů jsou použity v celé kapitole 3.2 Sousledné a nesousledné frézování.

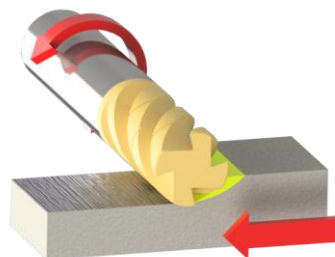
Profesor Sova v knize Technologie obrábění a montáže [2] definoval sousledné obrábění takto: „Při sousledném obrábění se obrobek posouvá ve stejném směru jako zuby frézy. Tloušťka třísky v tomto případě je při záběru maximální a zmenšuje se do nulové hodnoty při výběhu zubu z materiálu. Řezná síla působí v tomto případě do materiálu.“



Obr. 27 Sousedné obrábění

Sousledné frézování, které definoval profesor Sova, lze vidět na Obr. 27. Obrázek představující sousledné frézování ukazuje směry pohybu frézy a obrobku. Šipka směřující doprava znázorňuje směr posuvu obrobku, který se posouvá pod zuby frézy konající rotační pohyb. Tento pohyb je znázorněn červenou šipkou otáčející se kolem frézy proti směru hodinových ručiček. Zuby frézy se zařezávají nejdříve do materiálu s největší tloušťkou a řez opouští v okamžiku, kdy se tloušťka třísky blíží k nule. Právě při výstupu břitů z řezu je vytvářen povrch. Řezná část frézy, která je znázorněna zlatou barvou, se zařezává do obrobku šedivé barvy a odebírá z něj třísku, která je zobrazena zářivě žlutou barvou.

Nesousledné frézování je v knize Technologie obrábění a montáže od Františka Sovy [2] charakterizováno takto: „Při nesousledném frézování se obrobek posouvá do řezu proti směru pohybujících se břitů frézy, které v tomto případě odebírají materiál od minimální tloušťky třísky do maxima. K oddělování třísky nedochází od její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace, které způsobují vlnitý povrch obrobeneé plochy a zvýšené opotřevení nástroje.“



Obr. 28 Nesousledné obrábění

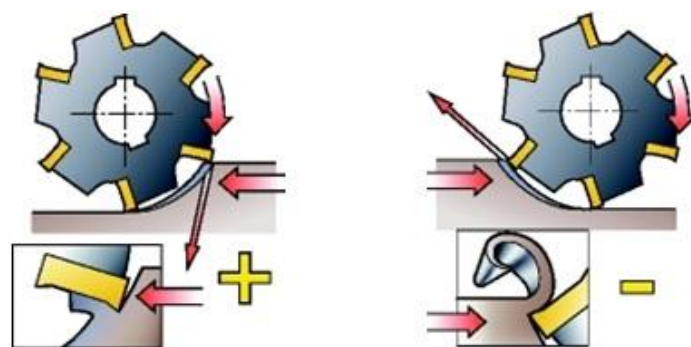
Nesousledné frézování, charakterizované profesorem Sovou výše, lze pozorovat na Obr. 28. Obrázek představující nesousledné frézování ukazuje směry pohybu frézy a obrobku. Šipka směřující vlevo znázorňuje směr posuvu obrobku, který se posouvá k zubům frézy konajícím rotační pohyb. Tento pohyb je znázorněn červenou šipkou otáčející se kolem frézy proti směru hodinových ručiček. Zuby frézy se zařezávají nejdříve do materiálu s nejmenší tloušťkou a řez opouští v okamžiku, kdy je tloušťka třísky největší. Nový povrch je vytvářen při vstupu břitu do materiálu, přitom se třou o původní povrch. Řezná část frézy, která je znázorněna zlatou barvou, se zařezává do obrobku šedivé barvy a odebírá z něj třísku, která je zobrazena zářivě žlutou barvou.

Místo vzniku a proces tvorby nové plochy jsou velice důležité, protože ovlivňují finální vlastnosti obrobeného povrchu. Je důležité, aby byl břit v tomto okamžiku v poměrném klidu a nedocházelo zde k chvění a tření o povrch. Jelikož při najíždění břitu do řezu u nesousledného obrábění dochází právě k těmto skutečnostem, je pro dokončovací operace výhodnější využívat frézování sousledného.

Při sousledném frézování dochází při vstupu do řezu k rázům, které by mohly zapříčinit i zlomení břitu, pokud by na to nebyly upravené. Také může nastat problém při obrábění odlitku, který má na svém povrchu zbytky slévárenského písku, nebo jakéhokoliv jiného obrobku s extrémně tvrdým povrchem. Při frézování takovýchto součástí se doporučuje nesousledné frézování, protože se břity frézy zařezávají do již obrobeného povrchu, který nedosahuje takové tvrdosti jako vnější povrch obrobku. Tření je příčinou pro více skutečností, vzniká kvůli němu nárůstek, který je blíže popsán v kapitole 3.5.1 Tvorba nárůstku.

Při nesousledném frézování dochází v důsledku velké tloušťky třísky při vyjíždění břitu z řezu k velkému namáhání břitu na tah, tyto namáhání jsou natolik velká, že mohou zapříčinit vylomení břitu a tím jeho znehodnocení.

Protože při sousledném a nesousledném frézování dochází k jiným pohybům, tedy působení jiných sil, je logické, že tyto dva způsoby budou mít značně odlišné vlastnosti. U sousledného frézování působí řezná síla proti obrobku (levá část Obr. 29) a snaží se ho zatlačit do stolu, který sám o sobě eliminuje většinu sil působících na obrobek. Ostatní síly, které by obrobek posouvaly, jsou eliminovány pomocí upnutí v podobě upínek, opěrek či svěráku. Zachytit tyto posouvající síly ale není tak komplikované. Zatímco u nesousledného frézování působí řezná síla směrem od stolu frézky a má na obrobek zvedající účinek (pravá část Obr. 29), který musí být eliminován pomocí upnutí, to je značně složitější než u sousledného způsobu frézování. Právě proto je z hlediska upínání výhodnější upřednostňovat sousledné frézování před nesousledným.



Obr. 29 Sousledné a nesousledné obrábění[4]

V levé části Obr. 29 sousledného frézování, je šipkou směřující šikmo dolů, znázorněna řezná síla, která působí proti obrobku a přitlačuje ho ke stolu frézky. Protože síla působí převážně proti stolu, je zachycována stolem. Upnutí v tomto případě zachycuje pouze síly snažící se obrobek posunout. V pravé části Obr. 29 je šipkou směřující šikmo vzhůru naznačen směr řezné síly, která působí na obrobek směrem od stolu frézy a snaží se ho zdvihnout. Upnutí při působení takovéto síly je komplikované.

Právě kvůli uvedeným důvodům je doporučeno upřednostňovat sousledné frézování před nesousledným vždy, kdy to stroj, přípravek i obrobek dovolují. Z důvodu možnosti odebrání většího množství materiálu, je nesousledné frézování vhodné na hrubování. Nesousledné obrábění se může využívat také, pokud obrábíme na starším klasickém stroji, na kterém se často vyskytují vůle v pohybových šroubech. To je doporučeno, protože síly při nesousledném obrábění vymezují tyto vůle.

Zásady a vlastnosti týkající se sousledného a nesousledného frézování:

Sousledné:

- Sousledné frézování je lepší upřednostňovat vždy, kdykoli to stroj, přípravek i obrobek umožňuje.
- Delší trvanlivost břitů i lepší jakost obrobeného povrchu
- Menší sklon k tvorbě nárůstku.
- Lze použít jednodušší upínací přípravky.
- Méně vhodné pro hrubování.

Nesousledné:

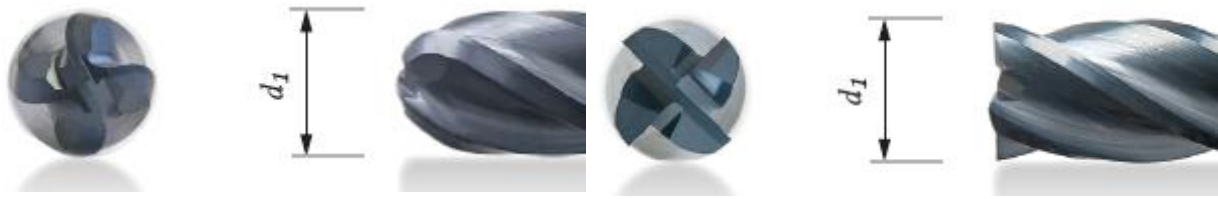
- Menší trvanlivost břitů, ohlazování a odírání břitů.
- Zvýšené riziko tvorby nárůstku.
- Menší jakost obrobeného povrchu.
- Nutné použití složitějších přípravků pro upínání, síly zvedají obrobek ze stolu.
- Vhodné pro hrubování.
- Využití u klasických strojů s vůlí.

3.3 Geometrie nástrojů

Geometrii frézy tvoří především geometrie břitů, ale také samotný tvar celé frézy, který má také svůj význam při aplikaci nástroje. Tvar frézy ovlivňuje způsob použití frézy, jestli se s frézou bude dít obrábět tvarově či nikoliv. Základní tvary stopkových fréz jsou: čelní-válcová, toroidní a kulová. Fréza může být i kuželového tvaru.

3.3.1 Tvar čela frézy

Čelní válcová fréza má rovné čelo, rádius jejího čela je tedy roven nule. Pokud nám vyhovuje, že fréza není určena na vytváření tvarového povrchu, ale pouze rovného, je vhodné použít právě čelní válcovou frézu, protože je na tento druh povrchu nejvhodnější



Obr. 30 Rovné a kulové čelo

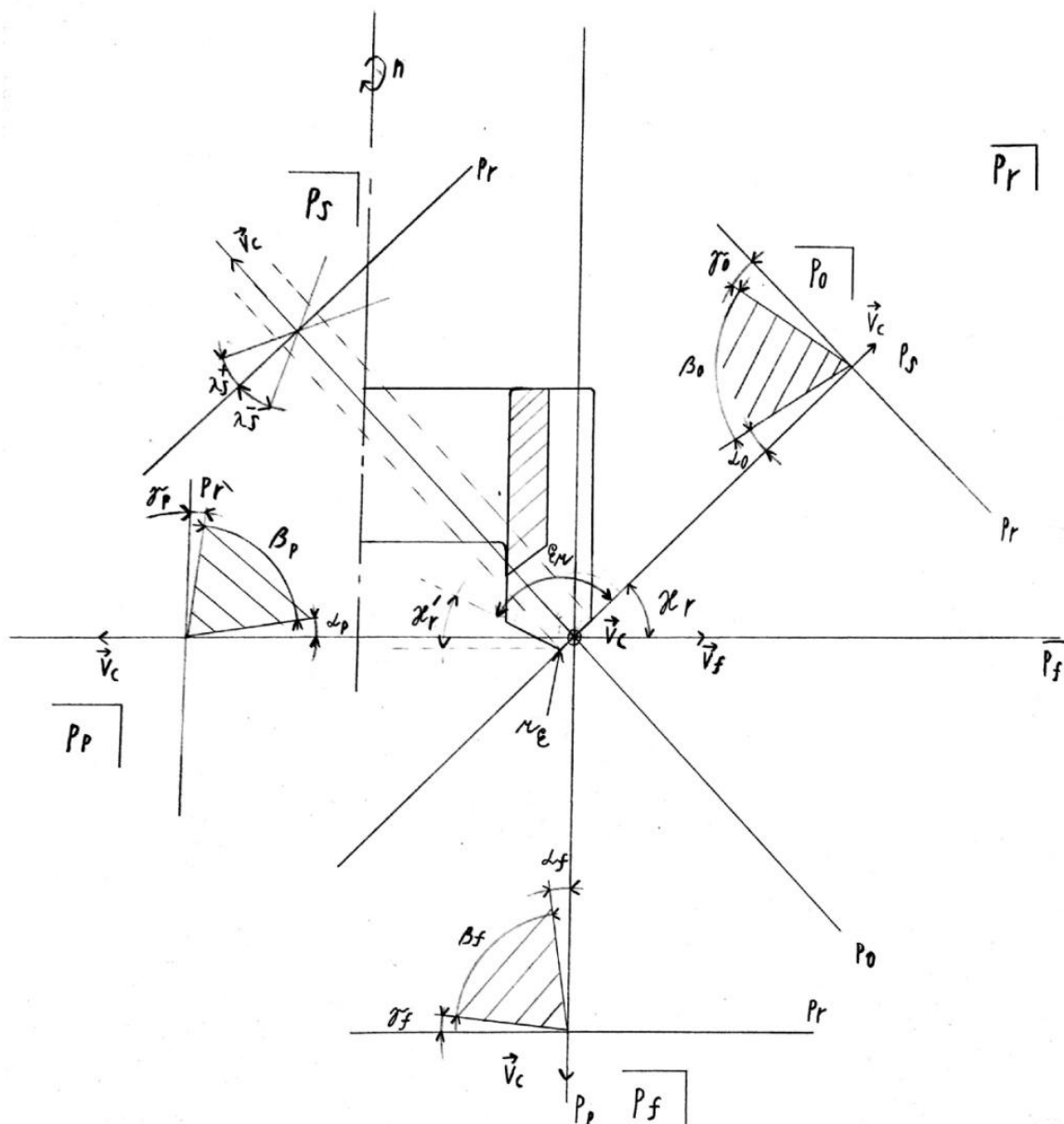
Na Obr. 30 jsou vidět části fréz s kulovým a rovným čelem. Fréza s kulovým čelem je na obrázku vlevo, zatímco fréza s rovným čelem lze vidět vpravo. Tyto frézy se od sebe značně liší a jsou blíže popsány níže.

Kulová fréza má rádius špičky rovný polovině jejího průměru ($\frac{D}{2}$), čelo má tedy tvar polokoule. Kulové frézy je vhodné používat pro tvarové obrábění, jejich produktivita je však menší než u toroidních i čelních válcových fréz, proto je vhodné je používat pouze pro obrábění těch míst, kde nelze s ostatními frézami obrábět, typickým příkladem je frézování dutiny s plynulou, nikoliv skokovou, změnou sklonu. Pro tvarové obrábění přístupnějších míst se doporučuje využívat toroidní frézu kvůli její vyšší produktivitě.

Toroidní fréza je speciální fréza, jejíž rádius špičky se pohybuje v rozmezí od nuly do poloviny průměru frézy ($0 - D/2$) a jedná se tedy o tzv. „přechodovou fázi“ mezi čelní válcovou a kulovou frézou. Zároveň platí, že toroidní fréza má rádius špičky řádově srovnatelný s poloměrem nástroje. Toroidní fréza se používá pro tvarové obrábění dobře přístupných ploch, při nemožnosti použití toroidní frézy z důvodu malého místa v okolí řezu, se použije kulová fréza. Toroidní fréza ubírá materiál produktivněji než kulová fréza.

3.3.2 Geometrie břitu

Vlastnosti nástroje jsou ve velké míře ovlivněny geometrií břitu tohoto nástroje. Geometrie břitu se skládá z několika základních úhlů, které určují vlastnosti břitu. Mezi tyto úhly patří: úhel hřbetu α , úhel břitu β , úhel čela γ , úhel řezu δ , úhel sklonu ostří λ_s a úhel nastavení ostří κ_r (kappa), všechny výše uvedené úhly významně ovlivňují proces řezu. Pro popis úhlů se nejčastěji používá rovina ortogonální, proto budou úhly popsány v této rovině.



Obr. 31 Geometrie břitu čelní frézy

Na Obr. 31 je vykreslena geometrie břitu čelní frézy, na které jsou zobrazeny základní úhly břitu. Právě tyto úhly mají zásadní vliv na vlastnosti frézy. Každý úhel má vliv na jinou schopnost frézy, proto jsou níže popsány všechny základní úhly a jejich vliv na vlastnosti fréz. Na Obr. 31 jsou rovněž vidět roviny, v nichž jsou základní úhly popsány. Mezi tyto roviny patří: rovina základní (P_r), rovina přísmuvu (P_p), rovina posuvu (P_f), rovina ostří (P_s) a rovina ortogonální (P_o). Některé roviny se v katalogích uvádějí jako charakteristické roviny pro popis úhlů α , β a γ častěji. Typicky pro popis úhlu γ se většinou používá rovina ortogonální.

Úhel hřbetu α_o je úhel mezi rovinou ostří a hřbetem břitu. Tento úhel má velký vliv na velikost tření mezi nástrojem a obrobenu plochou. Se snižujícím se úhlem se zvětšuje styčná plocha nástroje a obrobku, tím roste i tření. Naopak s větším úhlem se tření snižuje, protože se zmenšuje i třecí plocha. Větší úhly hřbetu α se volí při velké tloušťce odřezávané vrstvy,

neboli při velké posuvové rychlosti a malé řezné rychlosti. Úhel hřbetu α může nabývat hodnot od 3° do 20° , ale běžně se volí hodnoty mezi 8° a 12° .

Úhel břitu β_0 je základním úhlem nástroje, jedná se o úhel mezi rovinou čela a rovinou hřbetu. Vztahuje se ke klínové části nástroje a určuje „ostrost“ klínu. Čím je úhel hřbetu β menší, tím je klín „ostřejší“ a snadněji vniká do obráběného materiálu, protože se snižuje odpor pro oddělení třísky. Podle tohoto hlediska by úhel hřbetu měl být co nejmenší. Současně se snižujícím se odporem je však zmenšována i pevnost a tuhost břitu. Je tedy důležité nalézt kompromis mezi pevností břitu a odporem při oddělování třísky. Velikost úhlu hřbetu β_0 je určena velikostí úhlů α_0 a γ_0 .

Dalším důležitým úhlem je ortogonální úhel čela γ_0 , který určuje polohu čela nástroje vzhledem ke spojnicí špičky nástroje a středu otáčení frézy. Jedná se o úhel mezi čelem nástroje a nástrojovou základní rovinou P_r . Tento úhel ovlivňuje proces tvorby a odcházení třísky, ale také odpor při vnikání do materiálu.

S úhlem čela γ_0 velmi úzce souvisí úhel řezu δ_0 . Tento úhel (δ_0) je součtem úhlu břitu a úhlu hřbetu ($\delta_0 = \beta_0 + \alpha_0$). S úhlem čela γ_0 souvisí, protože součet úhlů α_0 , β_0 a γ_0 je rovný 90° ($\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0 = 90^\circ$) a úhel čela se tedy rovná úhlu řezu δ_0 odečtenému od devadesáti stupňů ($\gamma_0 = 90^\circ - \delta_0$). Pokud je úhel řezu δ_0 menší než 90° , je úhel čela γ_0 kladný a hovoříme o pozitivní geometrii. Pokud je však úhel řezu δ_0 větší než 90° , úhel čela γ_0 se automaticky stává záporným, a jedná se o negativní geometrii. S rostoucím úhlem řezu δ_0 se břit vůči odcházející tříске více vzpřímí a klade tříске při odcházení větší odpor. Tím se zvětšuje i tření třísky o nástroj. Z tohoto hlediska by měl být úhel řezu δ_0 co nejmenší. Úhel řezu δ_0 však společně s úhlem břitu β_0 ovlivňuje i pevnost břitu, která musí být adekvátní k obráběnému materiálu. S rostoucí pevností obráběného materiálu by měl úhel řezu δ_0 narůstat, a to i přes hodnotu 90° , kdy je úhel čela záporný. Úhel čela se volí co nejmenší, ale tak velký, aby jeho pevnost neklesla pod únosnou hodnotu, kterou určuje obráběný materiál. Běžně se jeho hodnota volí mezi 50° a 105° .

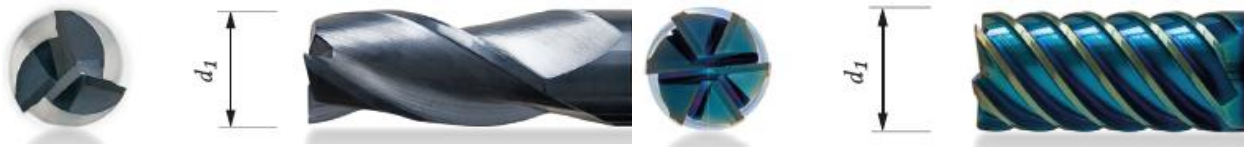
Pokud má fréza zuby do šroubovice, má i nenulový úhel sklonu ostří λ_s , který se dá nazývat i úhlem sklonu šroubovice. Různé úhly λ_s jsou vidět na Obr. 32, kde lze vidět, že hrubozubá fréza vlevo má úhel sklonu ostří 30° , zatímco jemnozubá fréza vpravo má tento úhel daleko větší (45°). Úhel sklonu ostří λ_s významně ovlivňuje směr působení řezných sil. Řezné síly vyvolávají při obrábění vibrace. Tyto síly se dají částečně vyrušit, pokud zvolíme u rozdílných zubů rozdílné úhly stoupání šroubovice. Frézy s takovou geometrií se nazývají antivibrační. Dá se říci, že tento úhel má vliv i na plynulost řezu, protože, čím je větší, tím je snadnější udržení dostatečného počtu zubů v záběru pro plynulost řezu.

Úhel nastavení ostří κ_r je svírán mezi ostřím frézy a rovinou kolmou k ose otáčení frézy. U čelních-válcových fréz je tento úhel 90° . U kulových a toroidních fréz je úhel κ_r dán kontaktním bodem a je v proměnný v závislosti na tloušťce třísky, podél celého ostří se průběžně mění. Tento proces se nazývá vyklonění nebo vlečení, blíže je popsán v kapitole 3.6.6 Vlečení a vyklonění fréz.

3.3.3 Další vlastnosti fréz

Důležitou vlastností fréz je počet zubů. Karbidové monolitní frézy se běžně vyrábějí s počtem zubů od dvou do osmi. Frézy s menším počtem zubů (myšleno hrubozubé) jsou vhodné pro operace s velkým úběrem materiálu na zub, jimiž jsou například hrubování nebo tvorba

drážek (při plném záběru frézy), protože mají větší prostor pro hromadění třísky. Frézy s velkým počtem zubů (myšleno jemnozubé) jsou naopak vhodné pro operace s malou odřezávanou vrstvou na zub. Velký počet zubů napomáhá udržet stabilitu řezu tím, že je vždy alespoň jeden zub v záběru. Mezi tyto operace patří: frézování bokem, iMachining, trochoidní frézování a dokončování.



Obr. 32 Hrubozubá a jemnozubá fréza

Obr. 32 ukazuje frézu s menším počtem zubů, která se nazývá hrubozubá, v levé části obrázku. V pravé části obrázku je vidět fréza jemnozubá, která má oproti fréze vpravo dvojnásobný počet zubů. Vlastnosti těchto fréz byly popsány výše.

Související vlastností fréz je „otevřenost“ geometrie, tím je myšleno, jak veliké jsou mezizubové mezery a jak velký prostor má tříska v dispozici pro hromadění a odchod z řezu. Jedná se o vedlejší produkt nastavení úhlu čela spojený s nutností odvádět třísku z místa řezu.

3.4 Obráběné materiály

Pro obrábění různých skupin materiálů jsou vhodné různé nástroje, a to jejich materiál, povlak i geometrie. O obráběných materiálech se lze dozvědět řadu informací na webových stránkách firmy Sandvik z článků Skupiny obráběných materiálů [6] a Frézování litin [7] nebo z diplomové práce Vlastnosti povlaků řezných nástrojů ze slinutého karbidu od Petry Doležalové [8]. O obráběných materiálech také napsal Jan Gryč ve článku Obrábění titanu, superslitin a nerezavějících ocelí [9].

Jedním ze základních pravidel, které by se mělo vždy dodržovat, je, že by materiál nástroje měl být minimálně o šest HRC tvrdší než obráběný materiál. Dále budou vypsány skupiny materiálů a k nim přiřazeny vhodné vlastnosti nástrojů z materiálového hlediska. Obráběné materiály je možné dělit dle normy ISO. Jednotlivé skupiny materiálů se označují písmenem a barvou k nim přiřazenou.

P	<ul style="list-style-type: none">• uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12• legované oceli tříd 13, 14, 15, 16• nástrojové oceli uhlíkové (191 ..., 192 ..., 193 ...)• nástrojové legované oceli (193 ... až 198 ...)• uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226)
M	<ul style="list-style-type: none">• austenitické a feritické oceli• korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné• oceli nemagnetické a otěruvzdorné• feritické a martenzitické korozivzdorné oceli třídy 17 (lité 4229 ...)
K	<ul style="list-style-type: none">• šedá litina nelegovaná i legovaná (4226 ...)• tvárná litina (4223 ...)• temperovaná litina (4225 ...)• nízko a středně legované ocelolitinové skupiny 27 (4227 ...)
N	<ul style="list-style-type: none">• neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	<ul style="list-style-type: none">• speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	<ul style="list-style-type: none">• zušlechtené oceli s pevností nad 1500 MPa• kalené oceli HRC 48 : 60

Obr. 33 Skupiny materiálů

Na Obr. 33 jsou zobrazeny jednotlivé skupiny materiálů, jsou rozlišeny písmeny a označeny příslušnou barvou. Dále lze na obrázku vidět příklady materiálů, které do daných skupin patří.

Do materiálové skupiny P patří oceli uhlíkové, legované i nástrojové. Jejich vlastnosti jsou ovlivněny obsahem uhlíku a legujících prvků. Oceli jsou ve většině případů dobře obrobitelné, nejsou příliš tvrdé a nemají příliš velký sklon k tvorbě nárůstku. Ideální volbou pro jejich obrábění jsou tvrdokovové nástroje ze slinutého karbidu, který výborně zvládá obrábění těchto materiálů. Vlastnostem nástroje napomáhá navíc ještě povlak, který snižuje tření a je odolný vůči abrazi. Takovým povlakem může být povlak TiAlN.

Materiály náležící do skupiny materiálů M jsou například austenitické a feritické oceli, korozivzdorné, žáruvzdorné a otěruvzdorné oceli. Vzhledem k nízké tepelné vodivosti nerezových materiálů jsou břity více zatíženy teplem, které vzniká při obrábění, a kvůli tomu také tvorbě nárůstku a tepelným trhlinám. Rovněž pro materiály skupiny M jsou vhodné nástroje ze slinutého karbidu, je však nanejvýš vhodné, aby byly opatřeny vhodným povlakem, který zajistí odolnost proti velkému množství tepla, jenž vzniká při obrábění. A také zmenší tření mezi třískou a břitem, tím se zmenší i adhezní schopnost třísky, což zamezí vzniku nárůstku. Takové vlastnosti mohou být zajištěny povlakem s chemickým složením AlCrN.

Další materiálová skupina se označuje písmenem K, náleží do ní litiny šedá, tvárná i temperovaná a ocelolitiny. Takové materiály obsahují tvrdé částice, které působí abrazivně na břit. Některé litiny jsou velmi křehké, ale některé jsou kompaktní a obtížně se obrábí.

Současně vzniká velké množství tepla a na nástroji mohou vznikat tepelné trhliny. Nástroj musí být odolný proti těmto jevům. U nástrojů ze slinutého karbidu je doporučeno využívat povlaky o velké tloušťce, které chrání nástroj před abrazí. Takovým povlakem může být gradientní povlak TiAlN-ALTiN nebo povlak Al_2O_3 . Kvůli riziku tepelných trhlin je vhodné obrábět bez řezné kapaliny.

Měkčí neželezné materiály, mezi které patří hliníkové slitiny, měď nebo mosaz, patří do skupiny označované písmenem N. Tyto materiály mají tendenci se nalepovat na břit, proto je žádoucí, co nejvíce snížit tření mezi nástrojem a třískou, to se řeší pomocí velmi pozitivní geometrie nástroje. Pro obrábění materiálů N se většinou používají nástroje bez povlaku, ale je možno použít diamantový povlak, nebo leštěný nástroj. Dostačujícím materiálem pro obrábění skupiny N je slinutý karbid, ale protože se s ním neobrábí tak vysokými rychlostmi (700 [m/min]) a ulpívají na něm třísky, je vhodnější použít nástroje z polykrystalického diamantu. Nástroje z PKD dovolují řeznou rychlost až 2500[m/min] a mají mnohem lepší kluzné vlastnosti, díky kterým se na ně méně nalepují třísky.

Velmi těžce obrobitelné jsou materiály skupiny S, mezi ně patří speciální vysokolegované žárovevné slitiny na bázi Ni, Co a Ti. Jejich vlastnosti jsou podobné jako u skupiny M, ale jejich obrábění je mnohem obtížnější. Tyto slitiny snadno tvoří nárůstek na břitu, při obrábění se zpevňují a při jejich obrábění vzniká velké množství tepla, protože žárovevné slitiny mají nízkou tepelnou vodivost. Nástroj musí vykazovat vysokou houževnatost a být odolný vůči vznikajícímu velkému množství tepla. Současně musí být deponován tenkou vrstvou, která bude zamezovat vzniku nárůstku a bude otěruvzdorná.

Poslední materiálová skupina se nazývá H, do níž patří zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa a kalené oceli s tvrdostí 45-65 HRC. Materiály jsou kvůli své tvrdosti velmi těžce obrobitelné, protože působí abrazivně na břit nástroje. Nástroj by měl být z tvrdého a houževnatého materiálu, jako je například slinutý karbid, ze kterého se nástroje vyrábějí. A je velmi vhodné, aby měl speciální povlak určený pro obrábění kalených materiálů, takový povlak by měl kombinovat houževnatost základní vrstvy a extrémní tvrdost povrchu. Deponované tenké vrstvy takových vlastností se obvykle skládají z více vrstev. První vrstva tvořená TiN se stará o přilnutí k nástroji a na ni je deponována středová vrstva ALTiN zaručující houževnatost. Extrémně vysokou tvrdost deponované tenké vrstvy tvoří vrchní vrstva CrAlSiN.

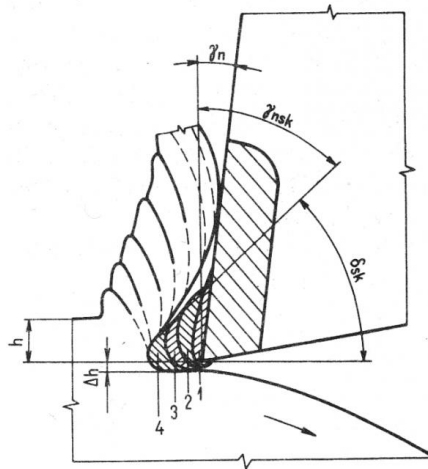
3.5 Jevy nastávající při frézování

Při frézování nastávají různé jevy, které více či méně ovlivňují řezný proces. Z celé řady jevů vznikajících při frézování budou popsány jen ty, které jsou u stopkových fréz nejčastější. Těchto jevů existuje velké množství, v práci však budou popsány jen ty, kterými se firma Navel zabývá. Jevy by měly být náležitě definovány a měl by být popsán způsob jejich vzniku. Dále budou v jednotlivých kapitolách rady, jak jevům předejít, nebo jak je co nejvíce eliminovat.

3.5.1 Tvorba nárůstku

Vlivem obrábění vzniká v místě řezu vysoká teplota (tření třísky o čelo nástroje) a tlak mezi třískou a nástrojem, to vyvolá adhezní síly. V místě dotyku třísky a nástroje dochází k navaření třísky na čelo nástroje, tím vzniká nárůstek. Právě tento nárůstek má jednoznačně negativní vliv na jakost obrobené plochy. Nárůstek se opakovaně přivařuje a odtrhává, při

jeho odtržení může dojít k odtržení části břitu. Proto je dobré předcházet vzniku nárůstku, toho se dá dosáhnout několika způsoby.



Obr. 34 Nárůstek [10]

Na Obr. 34 lze vidět břit, na kterém se tvoří nárůstek, odřezávající třísku z obrobku. Nárůstek nalepený na břitu mění geometrii břitu na pozitivnější. Dále poškozuje drsnost obrobeného povrchu tím, že se zbytky odlamujícího se nárůstku zapichují do obrobeného povrchu. Dále mění rozměry obrobku, protože nalepováním na břit mění i jeho velikost a geometrii. Vyšrafovaná oblast na Obr. 34 značí břit nástroje. Tříska, kterou břit odřezává je vlevo od břitu a je znázorněna nepravidelnou oblastí, tím je naznačena členitost třísek a rozdělení materiálu. Delta h má za následek změnu rozměru nárůstku. Ten postupně narůstá, až se nakonec odlomí.

Vznik nárůstku se dá částečně eliminovat pomocí dostatečného chlazení místa řezu. Díky mazací schopnosti chladicí kapaliny zde nevzniká tak velká teplota a nárůstek se při menších teplotách nepřivařuje. Podobný způsob je využití povlakovaného nástroje, povlak sníží tření mezi nástrojem a třískou, díky tomu nevzniká taková teplota na čele a nárůstek se taktéž nepřivařuje. Dalším způsobem, který zamezí vzniku nárůstku, je úprava řezných podmínek. Se snížením řezné rychlosti se sníží teplota a tlak v místě řezu, díky čemuž se nárůstek přestane navařovat. Naopak při zvýšení řezné rychlosti dochází k rychlejšímu pohybu třísky po čele nástroje a tříska se nestačí navařovat na břit.

Typickým materiálem, který má sklon k tvorbě nárůstku, je hliník, ten se na břit přivařuje daleko intenzivněji než ostatní materiály. Vhodným řešením je použití nástrojů z PKD, ty mají lepší kluzné vlastnosti a tříska se pohybuje po čele nástroje tak rychle, že nedochází ke vzniku mikrosvarů. Teplota v řezu a třisce nesmí přesáhnout 600°C , protože teplota tavení hliníkových slitin se pohybuje kolem 660°C a vlivem vyšší teploty by se degradoval diamant, ze kterého by se stal grafit.

3.5.2 Ztráta stability řezného procesu

Ztráta stability řezného procesu se projevuje vibracemi. Naprosto zásadní příčinou vibrací při obrábění je omezená tuhost soustavy SNOP. Vibrace jsou dvojího druhu, samobuzené a nucené. Na Obr. 35 lze vidět vznik nucených vibrací. Proměnlivá tloušťka odebírané vrstvy působí proměnlivou silou na nástroj a nutí systému takovou frekvenci, která odpovídá zvlnění

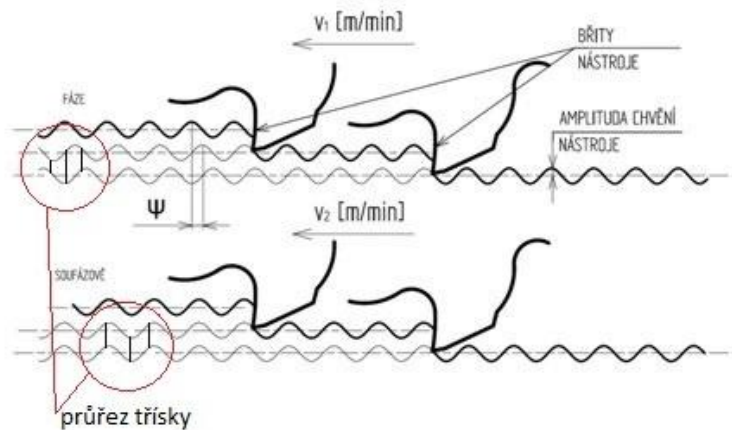
povrchu a řezné rychlosti. Změnou řezné rychlosti lze frekvenci přeladit a dostat mimo vlastní frekvenci SNOP, takže se mohou kmity eliminovat. Samobuzené kmitání je dáno rozdílným koeficientem tření za klidu a za pohybu v kombinaci s třecím pohybem (tření břítu o obrobek). Takové vibrace jsou způsobené činností stroje a jsou vnímány jako přirozené, dají se však omezit. O vibracích při frézování napsal Pavel Bach a Ondřej Svoboda ve článku Frézování bez vibrací? [11].

Samobuzené vibrace se nedají zcela odstranit, jejich maximálnímu snížení však přispívá co největší tuhost soustavy SNOP, nebo použití jemnozubé frézy. Při použití této frézy, při shodných řezných podmínkách, se v záběru současně vyskytuje více zubů, než při použití hrubozubé frézy. To stabilizuje řez z následujícího důvodu. Při zasetí nástroje do řezu se do soustavy SNOP akumuluje potenciální energie, která odpovídá převrácené hodnotě tuhosti soustavy. Při vyjetí se tato energie uvolní a soustava se rozkmitá frekvencí a amplitudou odpovídající tuhosti soustavy a jejím hmotám. Pokud však dříve než břit vyjede ze záběru, vyjede do záběru další břit, neuvolňuje se naakumulovaná energie a břit postupně převezme zátěž předchozího břítu. Mohou zde nicméně být drobné nevyrovnanosti v přebírání této zátěže, které způsobí jisté kolísání. Toto kolísání nemá plnou intenzitu, ale je jen zbytkové. Pokud by se v záběru, v jakýkoliv moment obrábění, nenacházel ani jeden zub, docházelo by k nepřipustným vibracím. Stejný účinek má uspořádání zubů do šroubovice, přičemž platí: čím větší úhel stoupání šroubovice λ_s , tím více zubů v záběru a stabilnější řez.

Pomocí šroubovice lze snížit i vliv řezných sil vyvolávajících vibrace. Pokud zvolíme na jedné fréze dvě skupiny stoupání šroubovic s odlišným úhlem stoupání šroubovic λ_s , řezné síly nebudou mít tendenci se harmonicky sčítat a při obrábění nebudou vznikat takové vibrace.

Příčina vzniku nucených vibrací je složitější. Při obrábění prvním břitem se na nově vzniklém povrchu vytvoří velice mírná vlna v důsledku drobného kmitání frézy. Toto kmitání je příčinou samobuzených vibrací. Vlna vyvolá reakci následujícího zubu, který vytváří na povrchu větší vlnu s odlišnou frekvencí, protože odebírá tloušťku proměnné vrstvy a celá soustava SNOP stále mírně kmitá. Protože jsou povrchové vlny posunuty vůči kmitům nástroje, celý proces kmitání mezi nástrojem a obrobkem se záběrem každého zubu navyšuje. Protože se fréza během obrábění otočí mnohokrát, zvýší se i kmitání, které bylo na začátku mírné, mnohokrát. Výchylka je při kmitání omezená v důsledku omezenosti energie, která se do soustavy dodává. Dále v důsledku tlumení a neúplné lineárnosti charakteristik pružnosti. V důsledku posunutí jednotlivých vln nástroj odebírá vrstvu proměnlivé tloušťky a cyklicky na něj působí proměnlivé síly. Při hrubování, kdy je velká hloubka řezu a s ní i velká řezná síla, může dokonce dojít i k rychlému nárůstu kmitání a poškození stroje.

Odstranění této příčiny má více řešení. Možné, však složité řešení popsal Pavel Bach a Ondřej Svoboda v článku Frézování bez vibrací [11] takto: „*Grafický návod, jak to udělat, je jednoduchý: stačí synchronizovat vlny s kmity nástroje a tím docílit stálého průřezu třísky.*“ Mohlo by se zdát, že tato úvaha má nedostatek spočívající v předpokladu, že výsledkem bude opět zvlněný povrch. Myšlenka předpokládá, že mezi obrobeným povrchem a obráběným povrchem bude stále stejná vzdálenost, aby zde nepůsobila cyklicky kolísavá řezná síla. To lze ovšem jenom tehdy, když obrobený povrch bude stejně zvlněný, jako je povrch obráběný. Pro představu si lze prohlédnout Obr. 35.



Obr. 35 Vznik nucených vibrací [11]

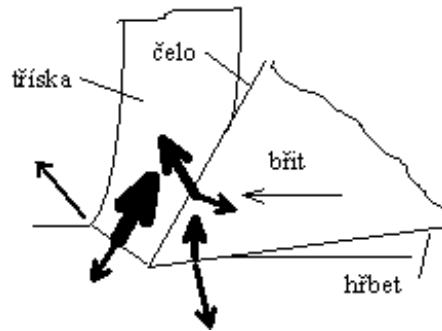
V horní části Obr. 35 lze pozorovat obrábění zvlněného povrchu, kdy má tříška proměnnou tloušťku, protože jsou povrchové vlny posunuty o ψ vůči kmitům nástroje. Dolní část Obr. 35 zobrazuje ideální vyřešený případ, kdy jsou povrchové vlny synchronizovány s kmity nástroje. Cílem je udržení konstantní mírné amplitudy vln, nikoliv jejich úplná eliminace. V horním červeném kruhu lze pozorovat proměnný průřez třísky, zatímco v dolním červeném kruhu jsou již průřezy třísek stejné. Vlny zobrazené na Obr. 35 jsou pouze ilustrativní, ve skutečnosti jsou daleko menší. V tomto případě by se hřbet břitu třel o vrcholky vln.

Příčinu lze také odstranit zvýšením tuhosti stroje či nástroje, použitím frézy s nepravidelnou roztečí zubů a držáku s tlumením, snížením řezné rychlosti nebo upravením posuvu na zub. Tuhost stroje by měla být vždy co nejvyšší, a pokud by nebyla, bylo by velmi nákladné pořizovat nový stroj. Tuhost stroje má navíc i svůj maximální limit a nemusí být řešením. Nástroj rovněž nemůže být v každé situaci dostatečně tuhý, například při nutnosti použití dlouhého vyložení nástroje. Nástroje s nepravidelnou roztečí zubů jsou velmi účinné a je doporučováno jejich použití pro utlumení vibrací. Snížení průřezu třísky prodlouží čas obrábění, což by bylo kontraproduktivní.

3.5.3 Teplo vznikající při frézování

Jan Hamerník popsal na svých stránkách [12] vznik tepla při obrábění takto: „Při obrábění stlačuje břit nástroje obráběný materiál a deformuje ho, a to zčásti pružně, zčásti trvale¹. Práce spojená se vznikem trvalé složky deformace se mění v teplo. V rovině stříhu se po sobě pod velkým tlakem posouvají elementy stříhané třísky, což je provázáno značným třením. Vzniklá tříška se pak tře po ploše čela nástroje. Za ostřím se v důsledku pružné složky deformace tiskne materiál k ploše hřbetu a dochází zde opět ke tření.“ Z tohoto zdroje [12] byly čerpány informace pro celou tuto kapitolu. Důsledkem tření je, že se mechanická energie, potřebná pro oddělení třísky, přemění v teplo.

¹ Trvalé deformace zmíněné panem Hamerníkem se odborně nazývají jako deformace plastické



Obr. 36 Teplo vznikající při obrábění [12]

Na Obr. 36 je zobrazen břit odřezávající třísku s šipkami znázorňujícími toky tepla. S rostoucí tloušťkou šipky roste množství tepla vznikajícího v daném místě. Směr šíření tepla se mění podle obráběného materiálu, řezných podmínek a geometrie břitu. Pokud bychom obráběli nerezové materiály, které špatně vedou teplo, byl by břit zatěžován větším množstvím tepla, zatímco s třískou by odcházelo jen malé množství tepla.

Změna řezných podmínek také změní poměry odvedeného tepla do jednotlivých prostředí. Například zvýšení řezné rychlosti zvýší množství tepla odvedeného do třísky a naopak sníží množství tepla vstupujícího do obrobku.

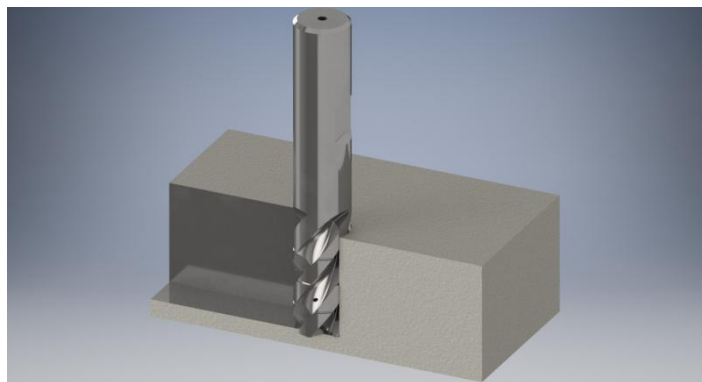
Z pohledu nástroje je velmi důležité teplo vstupující do břitu nástroje, protože ohřeje břit na určitou teplotu. Nástroje z nástrojové oceli se vlivem tepla odpevní (popustí), což zhorší jejich schopnost obrábět. Proto je nutné tomu předcházet použitím řezné kapaliny, ta má kromě chladícího účinku i mazací účinek, který snižuje tření. U nástrojů ze slinutých karbidů a keramických nástrojů není pokles schopnosti obrábět tak velký.

Řezné kapaliny by měly mít takovéto vlastnosti: dobrá tepelná vodivost, velká tepelná kapacita, velký součinitel přestupu tepla a dobrá mazivost. Neexistuje však kapalina, která by měla všechny tyto vlastnosti ideální, převažuje buď chladící, nebo mazací schopnost. Mezi nejčastější řezné kapaliny patří: oleje, roztoky mýdel, vodní roztoky a emulze.

3.6 Způsoby a strategie frézování

3.6.1 Frézování bokem frézy a stranové frézování

Frézování bokem frézy je jeden ze základních způsobů frézování vedle čelního frézování. Čelní frézování však nebude dále popsáno, protože se čelní frézy standardně nevyskytují ve výrobním sortimentu firmy. Při frézování bokem frézy zabírají pouze obvodové zuby. Při stranovém frézování jsou využívány zuby po obvodu frézy, ale také zuby čelní. Pro stranové frézování se používá čelní-válcová fréza, kterou lze vidět na Obr. 37. Další informace o této tématice se lze dozvědět z článku Příručka pro technology: Kompenzační přístup při frézování - poloha frézy, který napsal Patrik de Vos [13] nebo z článku Frézování hran a obrysů - frézování obvodem na webových stránkách firmy Sandvik [14].

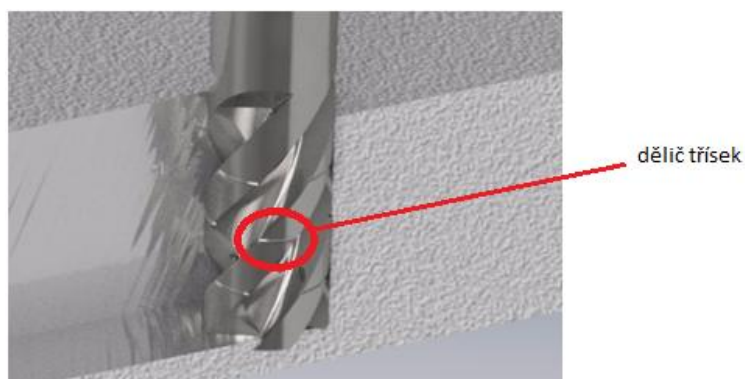


Obr. 37 Stranové obrábění

Na Obr. 37 je vidět frézování polotovaru stopkovou frézou se zuby ve šroubovici. Obrázek ukazuje polohu frézy při stranovém frézování, kdy jsou využívány zuby ležící v blízkosti přímky kolmé na směr posuvu. Při stranovém frézování lze snadno měnit hloubku řezu posunutím frézy z obrobku nebo do obrobku.

Finální obrobený povrch by měl mít co nejlepší kvalitu, proto je vhodné, aby se fréza v řezu příliš nechvěla, chvění je potřeba eliminovat. Při klasickém hrubování fréza zajede do řezu a působí na ni velké řezné síly v důsledku velkého úhlu opásání frézy, který může být až 180° . Při hrubování se používá hrubozubá fréza, protože se při velkém úhlu opásání tvoří objemná tříska, která se musí vejít do zubové mezery. Avšak když při stranovém frézování je úhel opásání několikrát menší, je umožněno použít frézu s větším počtem zubů, která má sice menší prostor na třísku, ale tříska zdaleka nedosáhne takového objemu, jako tomu bylo v předešlém případě. Díky zvětšení počtu zubů lze zvýšit posuv. Větší počet zubů na fríze umožní, aby byl vždy alespoň jeden zub v záběru, to je důležité pro plynulost řezu. Proto by měla být splněna podmínka, že úhlová rozteč mezi dvěma zuby by měla být menší nebo alespoň stejná jako úhel opásání.

Alespoň jednoho zubu v záběru se dá dosáhnout ještě druhým způsobem, použitím frézy se zuby do šroubovice. U této frézy na jeden zub po celé délce nástroje různé fáze, nezajíždí do řezu najednou celý, ale zajíždí do řezu postupně. Zatímco se tedy první část zubu zanořuje do řezu, jeho druhá část se teprve přibližuje materiálu. Po pootočení frézy se druhá část začíná zařezávat do řezu, ale druhá část už z řezu vyjíždí. Právě toto uspořádání zubů do šroubovice společně s jemnozubou frézou zlepšuje stabilitu řezu, tedy že v záběru bude vždy alespoň jeden zub.



Obr. 38 Frézování bokem frézy se zuby ve šroubovici

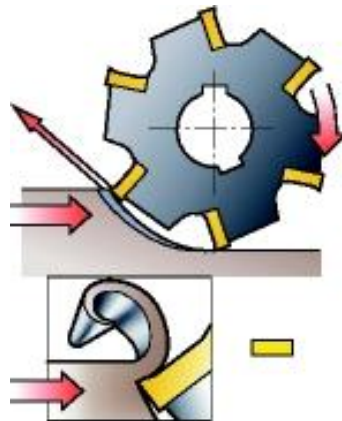
Obr. 38 ukazuje použití frézy se zuby ve šroubovici při stranovém frézování. Díky použití této frézy nebude docházet k tak velkým vibracím, řez bude probíhat klidněji, a povrch bude kvalitnější. Pro lepší odvod třísek z řezu je nástroj vybaven děliči třísek, které lámou třísky na kratší části, které poté lépe odcházejí z řezu.



Obr. 39 Frézování bokem frézy [15]

Fotografie na Obr. 39 zachycuje frézování bokem stopkové frézy, která má zuby uspořádané do šroubovice. Zároveň je zachyceno co nejmenší vyložení nástroje, které zajišťuje maximální tuhost soustavy.

Na břity jsou kladeny velké nároky právě při vstupu do řezu, ale také při výstupu z řezu, a ačkoliv se to zdá překvapivé, můžou být při výjezdu z řezu zatěžovány dokonce více než při vstupu do řezu. Při použití vhodných rezných podmínek nehrozí vylomení břitu.

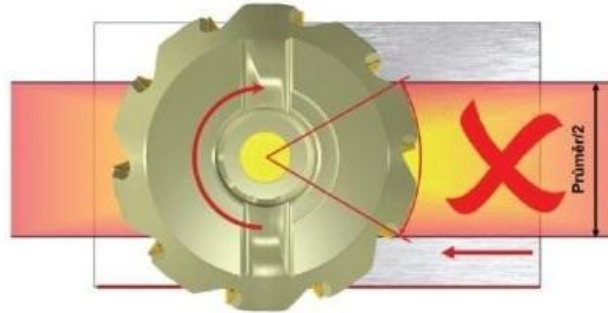


Obr. 40 Zatížení břitů při frézování [4]

Na Obr. 40 si lze snadno představit postupně rostoucí zatížení břitů, kdy při výstupu břitů z řezu bude toto zatížení největší. Je důležité dbát na správnou volbu rezných podmínek, aby nedocházelo k vylamování břitů. Tlusté červené šipky značí vzájemné otáčivé a posuvné pohyby frézy a obrobku, zatímco tenká červená šipka znázorňuje sílu působící na obrobek, stejná síla s opačnou orientací působí na břity frézy.

Proces výstupu nastává, když břit opouští obrobek. V této fázi se definuje výstupní úhel, jenž je úhel mezi osou poloměru frézy a bodem výstupu z obrobku. Tento úhel může být pozitivní (břity vystupují pod osou poloměru) i negativní (břity vystupují nad osou poloměru). Avšak

pokud dochází při výstupu k příliš velkým rázům, břity se začínají vyštipovat nebo dokonce vylamovat, což významně sníží trvanlivost břitů. Právě tento jev se nejvíce objevuje, pokud břity vystupují z řezu v oblasti nebezpečné zóny. Pod pojmem nebezpečná zóna, která je znázorněna na Obr. 41, je označován výstupní úhel v rozmezí přibližně $+30^\circ$ až -30° . Tento jev byl dokázán experimentálně [13] a nebezpečná zóna se může u různých druhů fréz mírně lišit, doporučuje se však držet výstupní úhel mimo rozmezí $+30^\circ$ až -30° aby nedošlo ke zničení nástroje.



Obr. 41 Nebezpečná zóna [13]

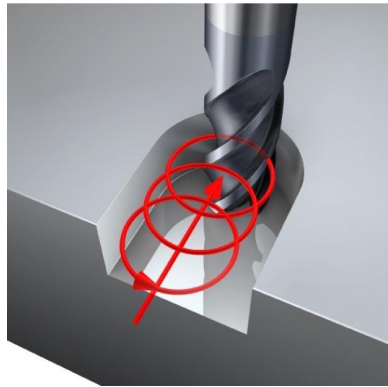
Na Obr. 41 je vidět oblast nebezpečné zóny, na obrázku je zobrazena červenou barvou, v které by břity neměly opouštět řez. K výstupu břitů z řezu, v případě stranového nesousledného frézování, by mělo docházet ještě před oblastí nebezpečné zóny.

Rady a tipy k frézování bokem:

- Hlavním cílem při bočním frézování je nastavení optimálního posuvu na zub.
- Při nesousledném frézování nutné volit výstupní úhel mimo nebezpečnou zónu ($+30^\circ$ až -30° je nebezpečná zóna).
- Co největší počet zubů v záběru.
- Při bočním frézování mají břity delší životnost než při středovém frézování.
- Zvolit vhodné rezné podmínky – trochoidní frézování.

3.6.2 Trochoidní frézování

Trochoidní frézování je speciálním případem bočního frézování pro tvorbu drážek a kapes a má mnoho společného s iMachiningem, který je popsán v kapitole 3.6.2 iMachining. Tento způsob frézování je možné používat díky současné úrovni CNC strojů, které jsou schopny řídit dráhy nástroje tak, že se nástroj pohybuje vpřed a zároveň koná kruhový pohyb. Sloučení těchto pohybů vytvoří cyklickou dráhu, po které se nástroj pohybuje a odebírá materiál postupně po velmi tenkých vrstvách. Díky tomu, že nástroj je opásán jen velmi malým úhlem opásání, nedochází k jeho přetěžování. Tím je dosažena delší životnost nástroje i stroje a současně produktivnější obrábění. Informace pro celou tuto kapitolu byly načerpány ze zdrojů [16] a [17].



Obr. 42 Dráha nástroje při trochoidním frézování [16]

Na Obr. 42 jsou červenými šipkami znázorněny pohyby, které koná fréza při trochoidním frézování. Pohyb po spirále si lze představit, jak naznačuje obrázek, jako současný pohyb rotační po kružnici a pohyb vpřed. Díky těmto pohybům odřezává fréza materiál po velmi malých vrstvičkách, ale při rychlém posuvu. Odřezávání malých vrstev materiálu zatěžuje frézu jen velmi málo.

Právě tyto změny podmínek při frézování způsobují, že zde působí malé radiální řezné síly, čímž se zvýší stabilita řezu, je tedy omezeno chvění i odtlačení nástroje od obrobku. Zvýšení řezné rychlosti a snížení tloušťky třísky způsobuje redukci množství tepla v místě řezu. Minimální tloušťka odřezávané vrstvy umožňuje navýšení hloubky řezu právě proto, že je zvýšena stabilita řezu zmenšením tloušťky třísky.

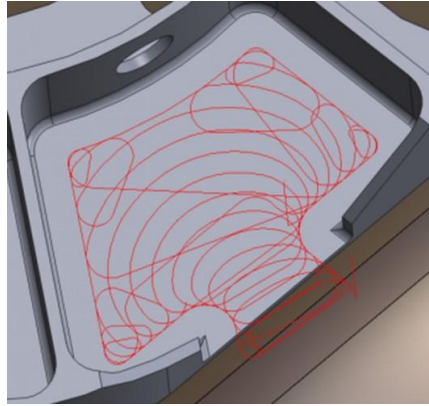
3.6.3 iMachining

Zvláštním případem bočního frézování, které je popsáno v kapitole 3.6.1 Frézování bokem frézy, je technologie iMachining. Tato technologie silně využívá trochoidního obrábění. Technologie iMachining bere v potaz použitý CNC stroj, obráběný materiál, kompletní geometrii i použitý nástroj. Tím je zajištěn řez v nastavených limitních parametrech, což vede ke zvýšení životnosti nástroje i stroje při současně produktivnějším frézování. O iMachiningu se píše v článku iMachining na webových stránkách firmy DTS Praha [18] a v článku Metody odřezávání tenkých vrstev na webových stránkách firmy Sandvik [16]. Informace z těchto zdrojů byly použity i při tvorbě této kapitoly.



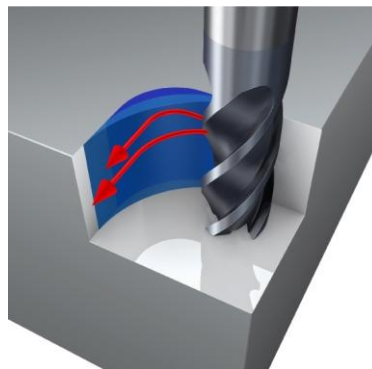
Obr. 43 iMachining [15]

Na fotografii zachycené na Obr. 43 lze pozorovat, že boční přísuv nástroje k obrobku je velmi malý, až nezatelný. Na nástroji jsou děliče třísek, které rozdělují jednotlivé třísky na menší kusy, které poté lépe odcházejí z řezu.



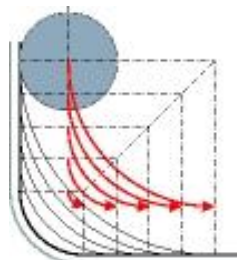
Obr. 44 Dráhy nástroje při technologii iMachining [19]

iMachining vytváří plynulé a bezpečné dráhy nástroje bez náhlých změn směru, díky kterým nedochází k přetěžování nástroje ani stroje a dovoluje odebrání materiálu hned na plnou hloubku. Příklad vykreslení těchto drah je na Obr. 44, dráhy jsou zde zobrazeny červenou barvou. Pomocí řízení dráhy nástroje je možné optimalizovat úhel opásání nástroje a řeznou rychlost. Program počítá i s tvarem obráběného materiálu, kvůli tomu je možné eliminovat „obrábění vzduchu“ a nástroj tak udržet po maximální dobu v řezu. To celé vede ke zvýšení životnosti nástroje i stroje a současně efektivnějšímu obrábění. Fréza je při použití technologie iMachining opásána velmi malým úhlem opásání, a je pro ni důležité, aby byl v záběru vždy alespoň jeden zub. Toho se dá dosáhnout, jak již bylo vysvětleno výše, použitím jemnozubé frézy a uspořádáním zubů frézy do šroubovice.



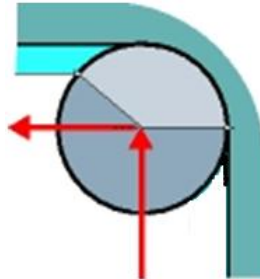
Obr. 45 Frézování rohů technologií iMachining [16]

Obr. 45 názorně ukazuje postup frézování rohů při použití iMachingu. Fréza nezajede do rohu najednou a nedochází k přetěžování nástroje, namísto toho fréza obrábí roh postupně po tenkých vrstvách.



Obr. 46 Frézování rohů s užitím iMachingu [16]

Na Obr. 46 je zobrazen požadovaný tvar rohu výrobku tenkou černou čarou. Fréza je zobrazena šedou barvou a její trajektorie červenými šipkami. Při výrobě tohoto rohu pomocí technologie iMachining, která je zobecněním trochoidního frézování, bude fréza odebrat postupně velmi tenké vrstvy materiálu, až vznikne požadovaný tvar. Dráha frézy bude mít zpočátku velký rádius, který se bude s každou odebranou vrstvou zmenšovat. Vyrobený kus bude mít vysokou jakost i přesnost povrchu.



Obr. 47 Klasické frézování rohů [16]

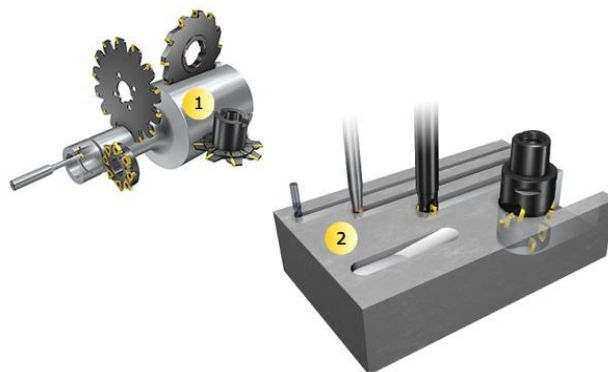
Na Obr. 47 je vykreslen požadovaný obrys obrobku černou čarou a materiál, který je potřeba odebrat tyrkysově modrou barvou. Při klasickém způsobu frézování fréza zajede do rohu přímo, přičemž dojde k jejímu přetížení v důsledku velkého úhlu opásání frézy, jenž je naznačen v obrázku světle šedou barvou. Červené šipky popisují pohyb frézy vůči obrobku. Šipka směřující vzhůru značí příjezd frézy do rohu, na jejím konci nastává prudké přetížení. Vodorovná šipka popisuje pohyb frézy ven z rohu a její odlehčení. Fréza musí samozřejmě vykonávat také řezný rotační pohyb, který ale není na obrázku zobrazen.

Výstupy týkající se trochoidního frézování i iMachiningu zároveň:

- Úspora času programování i obrábění u složitějších součástí
- Snížení opotřebení nástrojů i strojů
- Větší hloubka řezu a efektivita obrábění
- Řezné podmínky minimálně zatěžující stroj i nástroj
- Efektivní využití vlastností nástroje
- Větší stabilita v řezu
- Stroj musí umět dopočítávat dráhy nástroje
- Hladké a bezpečné dráhy nástroje bez „obrábění vzduchu“
- Trochoidní – pro tvorbu drážek

3.6.4 Výroba drážek

Výroba drážek stopkovou frézou je v zásadě rozšířené frézování bokem, které bylo popsáno v předchozí kapitole 3.6.1 Frézování bokem frézy. Výrobu drážek lze provést dvěma způsoby, pomocí kotoučové frézy a pomocí stopkové frézy. Protože ve výrobním sortimentu primárně nejsou kotoučové frézy, nebude se práce této metodě již dále věnovat. O výrobě drážek se lze dozvědět mnoho informací z článku Frézování II od Petra Borovana [20] nebo ze zdrojů [21], [22], [23], [24], [25] a [26]. Informace z těchto zdrojů jsou použity v této a v následující kapitole.



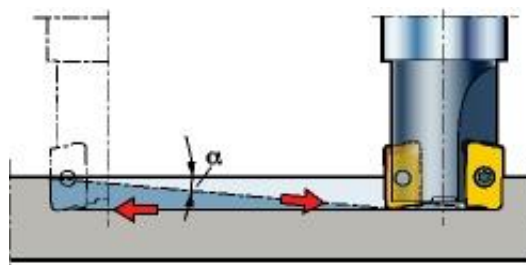
Obr. 48 Způsoby výroby drážek frézováním [22]

Část Obr. 48, která je označena číslem 1, zobrazuje několik způsobů kotoučového frézování. Část označena číslem 2 znázorňuje výrobu drážek pomocí stopkových fréz. Břitové destičky jsou na obou obrázcích vyobrazeny žlutou barvou, nástroje tmavě šedou, zatímco obrobky světle šedou. Vyrobené drážky mohou mít libovolné šířky, délky i výšky. Je možné vyrábět drážky otevřené i uzavřené.

3.6.5 Výroba drážek stopkovou frézou

Při výrobě drážek pomocí stopkové frézy je materiál odebrán pomocí čela i obvodu stopkové frézy. Díky tomu lze touto metodou vytvářet složitější tvary drážek než kotoučovou frézou. Frézování stopkovou frézou umožňuje vytváření drážek zakřivených, například drážky ve tvaru kruhu. Musí to však být umožněno i kinematikou samotného stroje. Aby se fréza mohla pohybovat po zakřivených drahách a vytvářet tak nelineární drážky, je potřeba, aby to umožňoval i stroj. Frézka musí být vybavena otočným stolem, nebo musí být řízena počítačově.

Stopková fréza se zuby přes střed je schopna zajet do řezu i shora, nejen z boku, je reálné i vytváření drážek uzavřených, tedy drážek neústících na okraji součásti. Do řezu je možné zajet třemi způsoby, z nich nejpoužívanější je metoda postupného zanořování frézy, kdy se fréza při posuvném pohybu po délce drážky postupně dostává hlouběji do drážky. Tento způsob se v praxi nejčastěji nazývá rampování. Postupné zanořování eliminuje potřebu vrtáků pro předvrtání startovního otvoru, jedná se však o náročný proces, při kterém působí velké řezné síly a vznikají třísky, které se z řezu špatně odvádějí. Právě proto je vhodné zvolit alternativní metodu, zanořování pomocí šroubovicové interpolace, pokud to umožňuje šířka drážky.

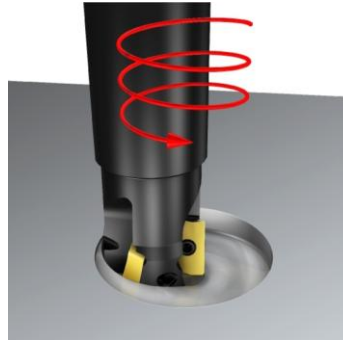


Obr. 49 Metoda postupného zanořování [25]

Obr. 49 ukazuje výrobu drážky rampováním. Lze vidět dvě červené šipky, první, ukazující směr vpravo dolů značí zajetí stopkové frézy do řezu. Fréza nejprve odebere vrstvu materiálu,

keré je na obrázku zobrazena světlejší modrou barvou. Její další pohyb značí šipka ukazující doleva. Při této druhé fázi dochází k dokončení drážky a je odebrán materiál označený modře.

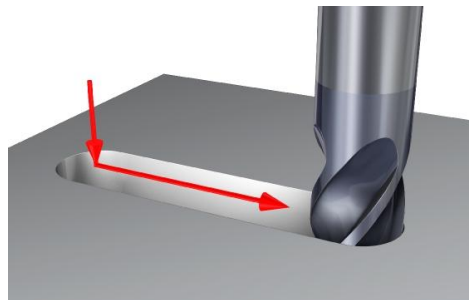
Při zahlubování pomocí šroubovitě interpolace dochází současně ke kruhovému pohybu a axiálnímu postupnému zanořování frézy. V porovnání s předchozí metodou umožňuje lepší odvod třísek z řezu a mnohem klidnější průběh díky menšímu axiálnímu záběru.



Obr. 50 Zanořování šroubovitou interpolací[23]

Na Obr. 50 je červená šipka, která ukazuje šroubovitý pohyb frézy při zanořování do drážky. Šířka vyráběné drážky by měla být maximálně dvakrát tak velká, jako průměr frézy. Její minimální šířka musí být větší, než je průměr frézy, a to tak, aby byla fréza schopna konat pohyb po šroubovitě interpolaci. Při tomto způsobu zanořování je zlepšen odvod třísek z řezu.

Zahloubení frézy může proběhnout i zavrtáním frézy, tato metoda ale není příliš vhodná. Při zavrtávání vznikají dlouhé třísky, které se špatně odvádějí z řezu. Navíc na nástroj působí nežádoucí síly. Proto se tato metoda používá v jen případech, kdy situace neumožňuje využití ostatních metod. Tyto situace nastávají, když je drážka příliš úzká, nebo stroj nedovoluje metodu postupného zanořování.



Obr. 51 Zanoření do drážky zavrtáním[26]

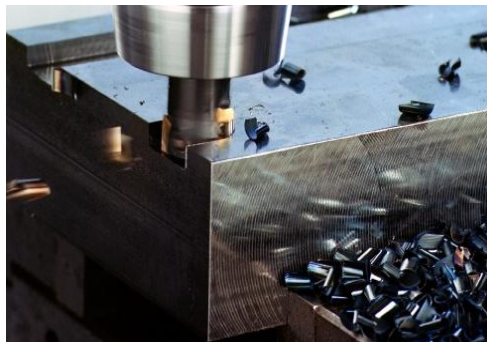
Na Obr. 51 jsou dvě šipky znázorňující pohyby frézy při tvorbě drážky pomocí metody zavrtání. Šipka jdoucí přímo dolů značí zavrtání frézy do plné hloubky drážky v obrobku. Šipka vodorovná ukazující vpravo značí samotný proces tvorby drážky, kdy fréza vytváří délku drážky, již však nedochází k jejímu dalšímu zanořování.

Po samotném zanoření do řezu je důležitý také vlastní princip tvorby drážky. Pokud máme frézu, jejíž průměr je menší než požadovaná tloušťka drážky, je vhodné projet drážku nejprve uprostřed v celé délce. Poté objet boky drážky bokem stopkové drážky. Tento postup volíme, pokud požadujeme velmi přesné rozměry a vysokou jakost boků drážky. Právě při objíždění boků drážky nedochází k velkému namáhání a řez je stabilní. Pro tento postup je potřeba NC stroj, který dokáže řídit frézu po daných drahách. Pokud vytváříme drážku frézou o stejném

průměru, jako je šířka drážky, není tento přesný postup možný. Fréza jen zajede do řezu a poté projede drážku v celé požadované délce, následně vyjíždí z řezu a drážka je hotová.

Stopková fréza spolu dovoluje i výrobu drážky zakřivené. Zakřivené drážky lze vyrábět na CNC strojích nebo na klasických frézách s otočným stolem. Stopková fréza je obecně velmi všestranná a lze s ní vyrobit velké množství typů prvků, třeba i nějaký nápis v podobě drážky nebo vystoupenutí na součásti.

Kvůli poloze frézy vůči obrobku a jejich vzájemné kinematické jsou stopkové frézy velmi náchylné na ohyb. Proto je nutné co nejvíce snížit vyložení nástroje. Tím se zmenší ohybový moment působící na nástroj.



Obr. 52 Výroba drážky stopkovou frézou [21]

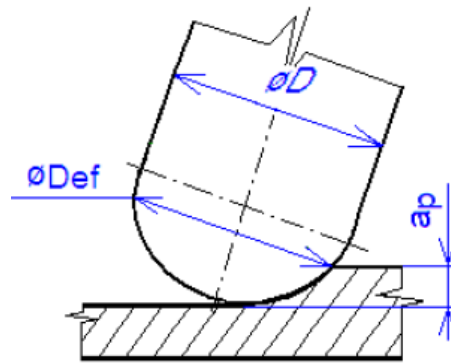
Vyložení nástroje na Obr. 52 je sníženo na možné minimum, tím se maximalizuje tuhost soustavy a je poté možné plně využít vlastností frézy a frézovat drážku co nejpřesněji.

Výstupy vztahující se k výrobě drážek:

- Maximálně snížit vyložení nástroje, náchylné na ohyb
- Limitující může být tuhost stroje a odvádění třísek z řezu, aby nedocházelo k poškození povrchu
- Úzké uzavřené drážky-> použít rampování (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Širší uzavřené drážky-> ideálně použít zavrtání po šroubovici (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Otevřené drážky-> zajet do řezu z boku součásti
- Požadován kvalitní povrch – nejprve projet střed drážky a poté objet jemnozubou frézou okraje

3.6.6 Vlečení a vyklonění fréz

Vlečení a vyklonění fréz jsou frézovací strategie pro obrábění tvarově složitých ploch. Podstatou těchto strategií je odstranění místa na fríze s nulovou řeznou rychlostí, které se nachází v ose nástroje, z řezu. Toho se dá docílit naklopením frézy o určitý úhel. Existují dva způsoby vyklonění: podélné a příčné. Podélné vyklonění je vyklonění nástroje od normály obráběné plochy o určitý úhel ve směru pohybu nástroje, tento proces se také nazývá vlečení. Příčné vyklonění je pak vyklonění nástroje ve směru kolmém na směr posuvu. [27]



Obr. 53 Vlečení kulové frézy [27]

Na Obr. 53 je lze snadno pozorovat použití kulové frézy a strategií vlečení frézy. Bod s nulovou rychlostí se nenachází v řezu.

O této tématice píše ve své diplomové práci s názvem *Tvorba metodiky série experimentů pro stanovení vlivu příčného vyklonění vlečeného nástroje na řezný proces* Martin Zobl [27].

4. Rady a typy pro obrábění

Součástí práce je také výstupní list, pojmenovaný „Rady a typy pro obrábění“, který je přiložen k práci v příloze. Výstupní list obsahuje shrnutí základních poznatků o frézování, které jsou odůvodněny v kapitole 3. Základní informace o frézování, a stane se součástí katalogu fréz firmy Navel. Informace by měly pomáhat zákazníkům firmy při volbě nástrojů, způsobu frézování a volbě řezných podmínek. Pomocí jednoduchých poznámek a obrázků vyvodí představu o daném typu frézování a bude informovat o jeho vhodnosti pro danou operaci.

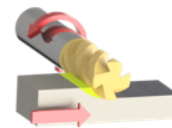


FRÉZOVÁNÍ – rady ; typy ; návody

Sousledné a nesousledné

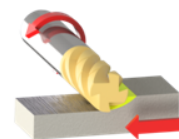
Sousledné

- Sousledné frézování je lepší upřednostňovat vždy, kdykoli to stroj, přípravek i obrobek umožňuje
- Delší trvanlivost břítu i lepší jakost obrobceho povrchu
- Menší sklon k tvorbě nárůstku
- Lze použít jednodušší upínací přípravky
- Méně vhodné pro hrubování



Nesousledné

- Menší trvanlivost břitů, ohlazování a odírání břítu
- Zvýšené riziko tvorby nárůstku
- Menší jakost obrobceho povrchu
- Nutné použití složitějších přípravků pro upínání, síly zvedají obrobek ze stolu
- Vhodné pro hrubování
- Využití u klasických strojů s vůlí



Obr. 54 Výřez z výstupního listu 1

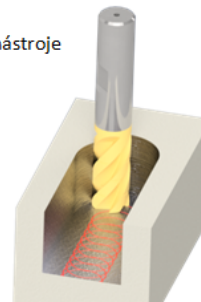
Na Obr. 54 je vidět výřez z výstupního listu. Pomocí heslovitých poznámek jsou technologům předány informace napomáhající zvolit správný způsob frézování a řezné podmínky. Obrázky ve výřezu pomáhají zákazníkům představit si daný způsob frézování. Všechny poznámky, které lze vidět na Obr. 54, jsou vysvětleny a opodstatněny v kapitole 3.2 Sousedné a nesousedné frézování.

Frézování bokem

- Nastavení optimálního posuvu na zub
- Nutné volit výstupní úhel mimo nebezpečnou zónu ($+30^\circ$ až -30° = nebezpečná zóna)
- Co největší počet zubů v záběru, vždy alespoň jeden
- Když fréza vibruje -> víc zubů do záběru
- Při bočním frézování mají břity delší životnost než při středovém frézování
- Zvolit vhodné řezné podmínky – iMachining, Trochoidní frézování

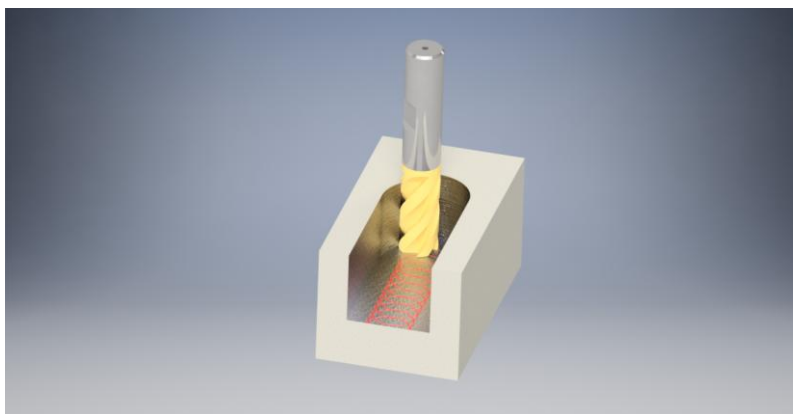
iMachining a trochoidní frézování

- Úspora času programování i obrábění
- Snížení opotřebení nástrojů i strojů kvůli nižšímu silovému zatížení nástroje
- Větší hloubka řezu a efektivita obrábění
- Optimální řezné podmínky
- Větší stabilita v řezu
- Stroj musí umět dopočítávat dráhy nástroje
- Hladké a bezpečné dráhy nástroje bez „obrábění vzduchu“
- Trochoidní – pro tvorbu drážek



Obr. 55 Výřez z výstupního listu 2

Na Obr. 55 je také vidět výřez z výstupního listu. Způsob podání informací je stejný jako v předchozím případě. Poznámky na obrázku dávají zákazníkovi užitečné rady o daném způsobu frézování a radí mu, co dělat když nastane nějaký problém. Fakta napsaná na Obr. 55 jsou zdůvodněna v kapitole 3.6.1 Frézování bokem frézy.



Obr. 56 Trochoidní frézování

Ve výstupním listu budou také obrázky, na kterých si lze danou problematiku lehce představit a snáze ji díky nim pochopit. Jeden z obrázků, který představuje trochoidní frézování, lze vidět na Obr. 56. Obrázky použité ve výstupním listu jsou bez pozadí, aby lépe zapadaly do katalogu.



Výroba drážek stopkovou frézou

- Maximálně snížit vyložení nástroje, náchylné na ohyb
- Limitující může být tuhost stroje a odvádění třísek z řezu, aby nedocházelo k poškození povrchu
- Úzké uzavřené drážky-> použít rampování (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Širší drážky-> ideálně použít zavrtání po šroubovici (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Požadován kvalitní povrch – nejprve projet střed drážky a poté objet jemnozubou frézou okraje

Tvarové obrábění

- Pokud je to možné, volit toroidní frézu (větší produktivita)
- Kde se toroidní fréza nevejde (dutina s plynulou změnou sklonu), použít kulovou frézu
- Místo s nulovou řeznou rychlostí dostat ze záběru-> vyklonění/ vlečení

Obr. 57 Výřez z výstupního listu 3

Výstupní list pomáhá zákazníkům i při výrobě drážek a tvarovém obrábění. Výřez z výstupního listu obsahující rady technologům k této tématice lze vidět na Obr. 57. Všechny rady napsané na obrázku jsou vysvětlené v kapitolách 3.6.4 Výroba drážek, 3.3 Geometrie nástrojů a 3.6.6 Vlečení a vyklonění fréz.

Obráběné materiály

- Měkčí materiály skupiny N-> volit pozitivní geometrii a vysokou řeznou rychlost, ideálně použít nástroj z PKD
- Tvrdé kalené materiály skupiny H-> negativní geometrie, velký počet zubů (6-8), vhodný povlak (TripleCoating Cr, TripleCoating Si)
- Tvorba nárůstku-> snížit nebo zvýšit řeznou rychlost / dostatečné chlazení / skupina N-> PKD nástroj nebo nástroj s leštěnou drážkou
- Skupina K - možnost tepelných trhlin na nástroji -> obrábět za sucha
- Skupina S - riziko nárůstku, velké množství tepla, riziko vrubového opotřebení nástroje -> velké množství chladicí kapaliny vedené vnitřkem nástroje, tuhý nástroj, pozitivní geometrie, povlak pro dlouhou životnost (ALWIN, MARWIN Si)
- Skupina M – pozitivní geometrie, riziko vrubového opotřebení nástroje -> velké množství chladicí kapaliny, eliminace nárůstku-> snížení řezné rychlosti

Obr. 58 Výřez z výstupního listu 4

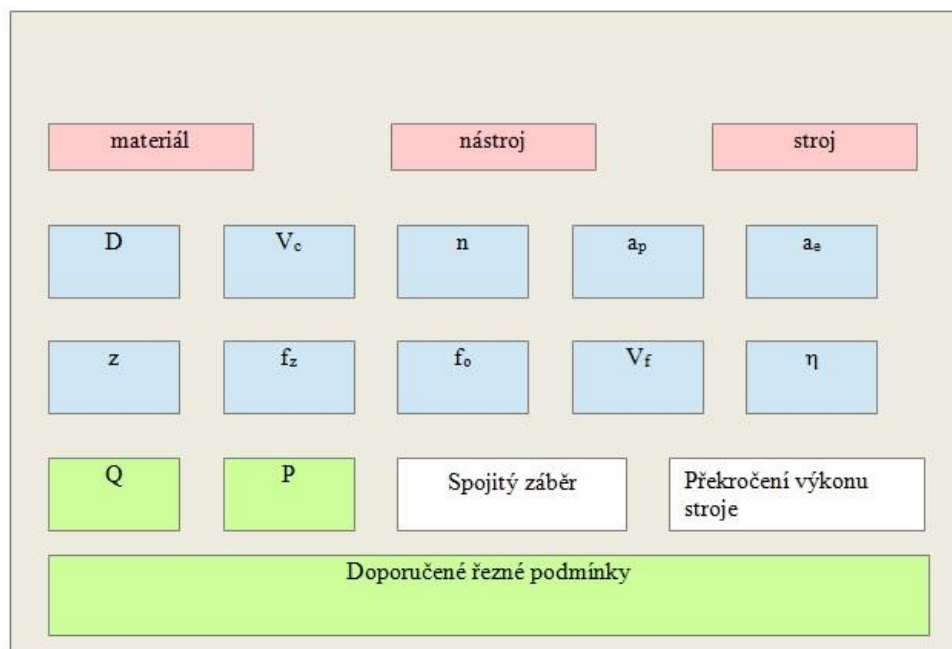
Výstupní list obsahuje i rady a typy pro obrábění různých skupin materiálů, výřez z výstupního listu obsahující tyto rady lze vidět na Obr. 58. Poznámky informují zákazníka o možném nebezpečí a doporučení při obrábění materiálů. Všechna fakta zde zachycená jsou odůvodněna v kapitolách 3.4 Obráběné materiály, 3.3 Geometrie nástrojů a 3.5 Jevy nastávající při frézování. K tomuto tématu je ve výstupním listu připojena tabulka obsahující skupiny materiálů a příklady materiálů patřící do skupin.

5. Podklady pro vývoj webové aplikace na výpočet řezných podmínek

Jedním z cílů práce je vytvoření podkladů pro tvorbu webové aplikace, která by měla sloužit uživatelům nástrojů, konkrétně technologům. Webovou aplikaci by měl na základě těchto podkladů vytvořit externí vývojář. Poté by aplikace měla být k dispozici na webových stránkách firmy a pomáhat jejím zákazníkům. Jednou z hlavních funkcí aplikace je výpočet řezných podmínek při frézování. Aplikace by měla nabízet dvě možnosti výpočtu řezných podmínek. První možnost je standardní a běžná. Jedná se o tzv. „kalkulačku řezných podmínek“, která na základě zadaných hodnot spočte všechny zbylé hodnoty, které lze ze zadaných hodnot spočítat. Pro tento účel slouží modrá pole, která lze vidět na Obr. 59. Takovou kalkulačku často nabízejí firmy v podobě pravítek. Přidanou hodnotou této aplikace by mělo být doporučení vhodných řezných podmínek podle zvoleného materiálu a nástroje. Materiál by měl charakterizován skupinou ISO a pevností v Mpa. Doplnkovou funkcí by měla být kontrola potřebného výkonu, aby nedošlo k přetížení stroje, a kontrola počtu zubů v záběru, aby byl řez kontinuální. Přesnější popis funkce je popsán níže v kapitole 0 5.1 Funkce webové aplikace.

5.1 Funkce webové aplikace

Webová aplikace by měla být tvořena několika okny, která by mezi sebou měla být vzájemně propojena svou funkcí. Tato okna jsou následující: úvodní obrazovka, výběr materiálu, výběr nástroje a nastavení vlastností použitého stroje. Úvodní obrazovka aplikace bude zobrazovat všechna tlačítka a okna. Některá tlačítka by měla sloužit pro výběr ze seznamu, některá jako vstupně-výstupní a zbylá pouze jako výstupní. Právě úvodní obrazovka je vidět na Obr. 59.



Obr. 59 Úvodní obrazovka aplikace

Úvodní obrazovka disponuje hned několika druhy tlačítek, která již byla vypsána výše. Nejvýše se nachází trojice tlačítek zobrazených růžovou barvou. Tato tlačítka slouží pro výběr

ze seznamu a jejich funkce bude vysvětlena níže. Skupina modrých polí by měla mít funkci vstupně-výstupní a mohou se do nich hodnoty zapisovat, ale měly by v nich být zobrazeny i výsledné hodnoty. Významy jednotlivých parametrů jsou vysvětleny na Obr. 63. Zelená políčka jsou pouze výstupní, měly by v nich být zobrazovány doporučené řezné podmínky, úběr materiálu a potřebný výkon pro obrábění. Tyto hodnoty by měly být vypočtené aplikací. Doporučené řezné podmínky budou po potvrzení přeneseny do příslušných modrých polí. Na jejich základě by měly být vypočteny zbývající hodnoty. Bílá políčka jsou taktéž výstupní, ale od zelených se liší. Neměly by se v nich zobrazovat hodnoty, měly by mít varovnou funkci. V případě překročení výkonu stroje, nebo hrozbě nespojitého záběru frézy, se políčka rozsvítí červenou barvou a zároveň se zobrazí varovná blikající ikona. Uživatel by měl poznat, že je něco špatně a zamyslet se nad vypočtenými hodnotami.

Výkon potřebný pro obrábění nebude vypočten zcela přesně, protože se při jeho výpočtu nebude uvažovat zaoblení špičky nástroje, geometrie nástroje, tloušťka odřezávané vrstvy atd. Protože se hodnota měrného řezného odporu pohybuje mezi třetí až pěti násobkem mezi pevností materiálu, bude použit vzorec $k_c = 4 \times \text{MATREAL}$. Přičemž MATREAL je proměnná, kterou technolog zadává jako pevnost materiálu.

Technolog používající aplikaci si po jejím zapnutí na webových stránkách nejprve zvolí, jaký by se měl obrábět materiál. K výběru slouží tlačítko „materiál“, kde technolog nejdříve zvolí skupinu materiálu a poté doplní pevnost obráběného materiálu v MPa. Přesná hodnota pevnosti materiálu se dále použije pro zobrazení doporučených řezných podmínek. Doporučené řezné podmínky pro nástroje firma dělí do tří skupin dle pevnosti, pevnost se vnitřně zařadí do jedné ze tří skupin pevností. Podle dané skupiny poté se vypíše doporučené řezné podmínky. Tyto skupiny mohou mít hodnoty: $R_e < 800 \text{ Mpa}$, $R_e 800-1000 \text{ Mpa}$, $R_e > 1000 \text{ Mpa}$. Okno, ve kterém se vybírá obráběný materiál, je zobrazeno na Obr. 60.

P	
M	
K	
N	
S	
H	

Zadejte pevnost: MPa

Obr. 60 Tabulka obráběných materiálů

Dalším krokem je určení potřebného nástroje, po rozkliknutí tlačítka „nástroj“ se zobrazí seznam nástrojů, ve kterém by měly být zobrazeny nástroje vhodné na obrábění vybraného typu materiálu. Při zadání průměru použitého nástroje program vypíše i doporučené řezné podmínky pro tento nástroj a materiál. Po vybrání nového materiálu se smaže dosud vybraný nástroj a je třeba ho vybrat znovu. To by mělo zabránit nesmyslnému nástroji při vybrání nového materiálu.

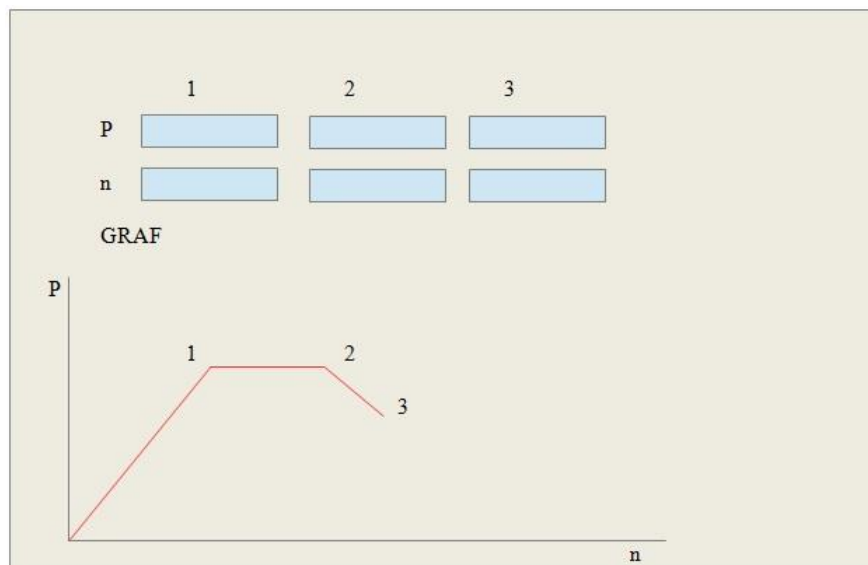
Tvar a velikost frézy:

<input checked="" type="checkbox"/>	Rovné	D_{max} :	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Kulové	D_{min} :	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/>	Toroidní		

Obr. 61 Tabulka výběru nástroje

Při výběru nástroje ze seznamu má technolog možnost zkrátit seznam o nástroje nežádoucích tvarů a velikostí. Pokud zaškrtně pole „Rovné“ a pole „Kulové“, zobrazí se mu v seznamu pouze frézy s rovným a frézy s kulovým tvarem čela. Toroidní frézy se vyřadí a nebudou při výběru technologa zatěžovat. Zároveň lze zadat rozsah požadovaných velikostí fréz pomocí zadání horní a dolní hranice průměru frézy do polí D_{max} a D_{min} . Tato situace je zobrazena na Obr. 61. Seznam nástrojů se také zmenší v důsledku výběru materiálu, protože jednotlivé nástroje se hodí jen pro určité druhy materiálů.

Po vybrání a potvrzení výběru se zobrazí opět hlavní obrazovka. Technolog klikne na tlačítko „stroj“ a zobrazí se mu okno, které je zachyceno na Obr. 62.



Obr. 62 Vlastnosti použitého stroje

V okně na Obr. 62 vyplní technolog šest políček, ze kterých aplikace definuje 3 body a mezi nimi vykreslí výkonovou křivku stroje. Výkonová křivka použitého stroje se tedy bude v zobrazeném grafu měnit podle zadaných hodnot. Výkonová křivka stroje se zadává proto, aby mohlo být zjištěno překročení limitu výkonu stroje při obrábění.

V aplikaci se používají zkratky označující řezné podmínky a jiné hodnoty je ovlivňující. Hodnoty jsou potřeba pro vzájemné přepočty ale i pro další výpočty. Tam se uplatní i boční a osový přísuv a spolu s měrným řezným odporem z materiálu se stanoví přibližná řezná síla a řezný výkon. Ten se porovná s výkonem stroje případně sníženým o jeho účinnost. Tyto

zkratky jsou vysvětleny na Obr. 63. V hranatých závorkách jsou za vysvětlením významu zkratk napsány jednotky, ve kterých se daná veličina uvádí.

Vysvětlivka použitých zkratk:	
D	– průměr frézy [mm]
z	– počet zubů frézy [-]
v_c	– rezná rychlost [m/min]
f_z	– posuv při pootočení nástroje o jeden zub [mm/z]
n	– počet otáček nástroje vykonaných za jednu minutu [ot/min]
f_o	– posuv při otočení nástroje o jednu otáčku [mm/ot]
a_p	– výška odřezávané vrstvy [mm]
v_f	– posuvová rychlost [mm/min]
a_s	– tloušťka odřezávané vrstvy [mm]
η	– účinnost stroje [%]

Obr. 63 Vysvětlivka použitých zkratk

5.2 Vývojové diagramy pro tvorbu webové aplikace

Jedním z cílů práce bylo navrhnout vývojové diagramy, podle kterých by měl programátor webovou aplikaci naprogramovat. Funkce některých diagramů zde bude rozebrána, aby bylo snadné pochopit, jak aplikace funguje. Zbylé diagramy by byly velmi podobné a lišily by se pouze vzorečky uvnitř oken, proto není nutné vytvářet a vysvětlovat všechny diagramy.

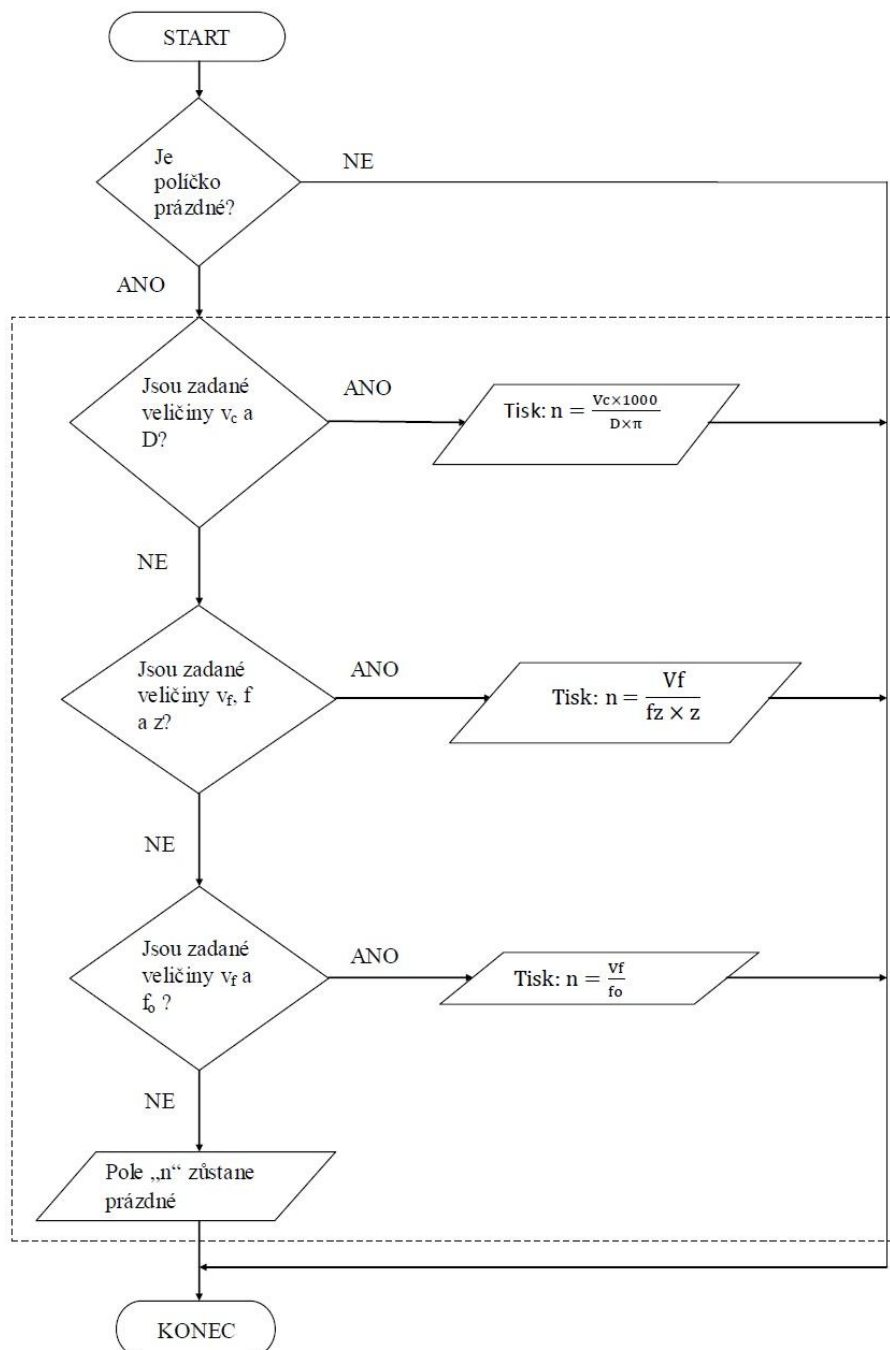
První vývojový diagram na Obr. 65 se vztahuje k modrým, vstupně – výstupním, polím a slouží pro výpočet rezných podmínek. Funkce aplikace, která by měla být vytvořena dle tohoto diagramu, vypočte, pokud je to možné, ze zadaných hodnot otáčky nástroje vykonané za jednu minutu. Vývojové digramy pro výpočet jiných hodnot by byly velmi podobné, výpočet by probíhal pomocí jiných vzorečků.

Seznam potřebných veličin pro výpočet	
1. D – a) v_c, n	$D = (v_c \times 1000) / (\pi \times n)$
2. n – a) D, v_c	$n = (v_c \times 1000) / (\pi \times D)$
b) z, v_f, f_z	$n = v_f / z \times f_z$
c) v_f, f_o	$n = v_f / f_o$
3. z – a) n, f_z, v_f	$z = v_f / f_z \times n$
4. v_c – a) D, n	$v_c = (D \times \pi \times n) / 1000$
5. f_z – a) n, z, v_f	$f_z = v_f / z \times n$
6. f_o – a) n, v_f	$f_o = v_f / n$
7. v_f – a) n, z, f_z	$v_f = z \times f_z \times n$
b) n, f_o	$v_f = n \times f_o$
8. $k_c = 4 \times \text{MATREAL}$	

Obr. 64 Seznam potřebných veličin

Tento typ diagramu se spustí po zadání hodnoty do každého vstupně – výstupního pole, a potvrzení hodnoty klávesou ENTER. Aplikace nejprve zkontroluje, zda je pole prázdné, nebo vyplněné. Pokud je již vyplněné, hodnota v něm zůstane a aplikace pokračuje kontrolou dalšího políčka. V případě, že je prázdné, zjišťuje aplikace, jestli jsou známé všechny potřebné veličiny pro výpočet dané neznámé, v tomto případě otáček nástroje za minutu. Seznam veličin potřebných pro výpočet lze vidět na Obr. 64. Některé veličiny lze vypočítat

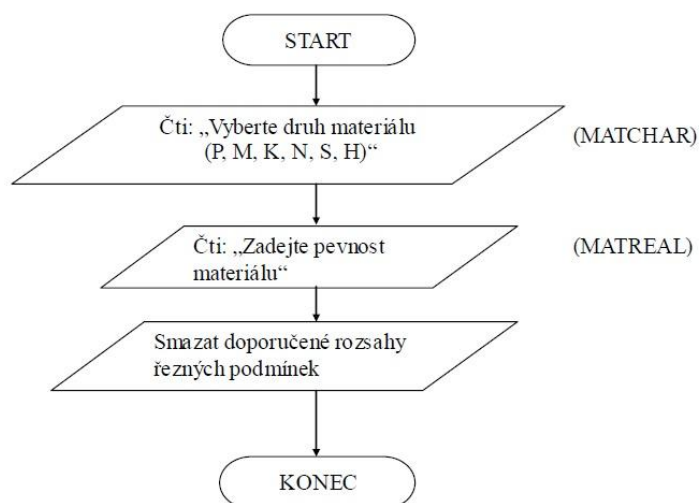
více způsoby, jako právě otáčky. Proto, pokud nejsou známe první potřebné hodnoty, zjišťuje aplikace, jestli nejsou dostupné hodnoty pro jiný způsob výpočtu. Pokud jsou veličiny známe, spočte aplikace otáčky za minutu podle uvedeného vzorce a vyplní pole „n“, značící otáčky nástroje za minutu. V opačném případě nechá políčko nevyplněné a pokračuje kontrolou dalšího pole. Přerušovanou čarou ohraničená oblast značí, že se v ní vyskytující veličiny a vzorce mění podle vypočítávané veličiny.



Obr. 65 Vývojový diagram pro výpočet otáček

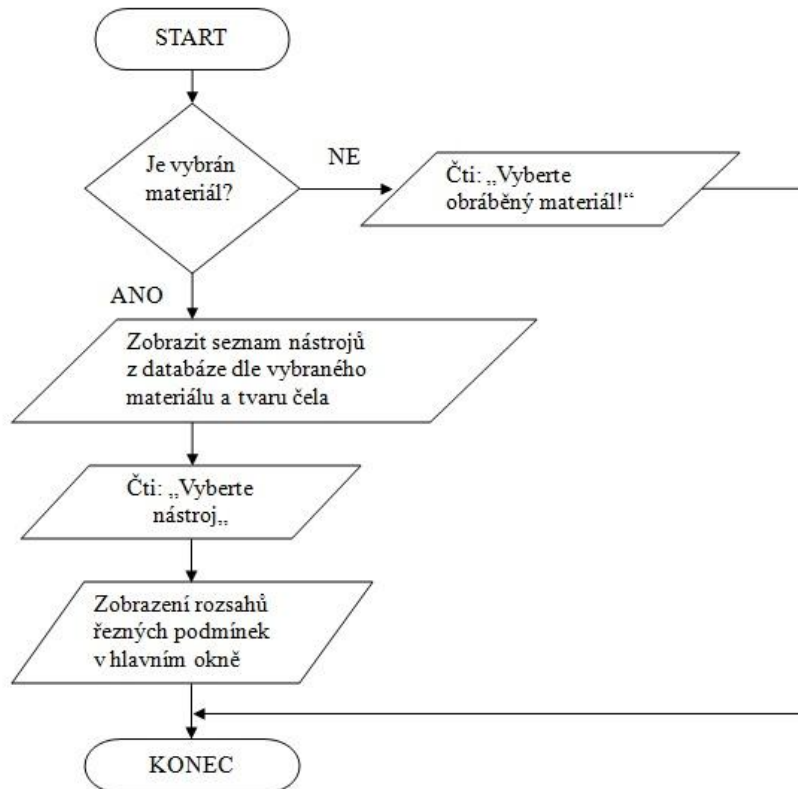
Jestliže se uživatel aplikace rozhodne využít pokročilých funkcí aplikace, musí nejprve vybrat materiál, který se chystá obrábět. Pro jeho výběr klikne na tlačítko „materiál“, které spustí

vývojový diagram na Obr. 66. Nejprve se zobrazí seznam materiálů, dělený do skupin dle ISO. Tyto skupiny nesou následující názvy: P, M, K, N, S, H. Technolog vybere skupinu a zobrazí se mu okno, kde doplní pevnost obráběného materiálu v MPa. Tento seznam lze vidět na Obr. 60. Po určení materiálu načte aplikace daný materiál do výběru nástroje a smaže předchozí doporučené rozsahy řezných podmínek, protože už neodpovídají nově vybranému materiálu a navíc nemusí odpovídat ani nástroj. Poté se okno zavře a technolog může přejít k výběru nástroje.



Obr. 66 Vývojový diagram pro výběr materiálu

Po kliknutí na tlačítko „nástroj“ se spustí funkce aplikace, kterou popisuje diagram zobrazený na Obr. 67. Zpočátku je zjištěno, zda je vybrán materiál. Pokud není, je uživatel vyzván ke zvolení materiálu a okno zavřeno. V opačném případě se zobrazí seznam nástrojů vhodných pro obrábění daného materiálu. Navíc jsou zobrazeny pouze nástroje s tvarem čela, jaký uživatel zvolí předem. Okno pro tvar nástroje lze vidět na Obr. 61. Nakonec jsou načteny rozsahy doporučených řezných podmínek, přiřazených k tomuto nástroji a materiálu, do hlavního okna aplikace. Rozsahy se zobrazí v zeleném poli „Doporučené řezné podmínky“.



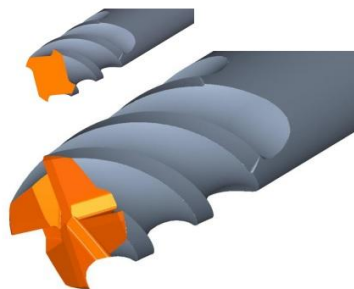
Obr. 67 Vývojový diagram pro výběr nástroje

Poté se okno s výběrem nástroje zavře a technolog si sám může zvolit, jakou hodnotu z doporučených rozsahů použije pro vyplnění modrých polí. Po vyplnění polí se spustí výpočet a zobrazí chybějící hodnoty.

6. Porovnání nového nástroje s přestřeným

Stopkové frézy se dají ostřit více metodami, přičemž každý způsob nějak změní geometrii frézy a více či méně ovlivní její vlastnosti. Metody se od sebe liší místem na fréze, které se ostří. Tato místa jsou následující: čelo; čelo a drážka; čelo, drážka a obvod. Informace pro tuto kapitolu byly čerpány z prezentace Ostření fréz, která je dostupná na internetových stránkách Unicut [28].

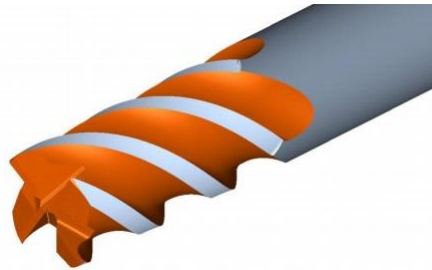
Při broušení čela se nebrousí drážka ani obvod frézy, její průměr se tedy nezmění. Ale fréza se zkrátí, přitom záleží, jak moc je opotřebená. Pokud je opotřebená více, její zkrácení bude také větší.



Obr. 68 Ostření čela [28]

Na Obr. 68 lze vidět frézu s oranžově zvýrazněným čelem. Právě zvýrazněná část se brousí při použití tohoto způsobu.

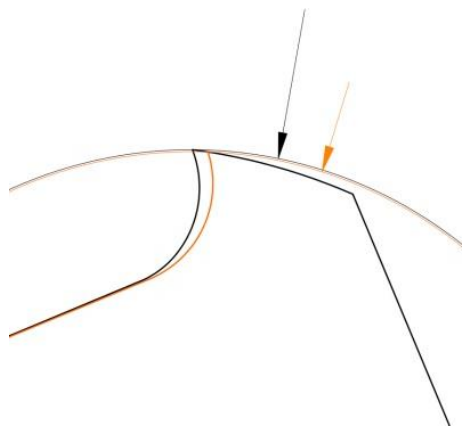
Při broušení čela a drážky se nebrousí obvod frézy. Úběr materiálu se provede v drážce ze strany čela. Přesto se však průměr frézy zmenší o několik setin mm. Tento způsob lze použít jen při malém opotřebení frézy. Jedná se o jediný způsob, kterým lze ostřit hrubovací frézy s NR profilem. Výhoda této metody spočívá v naostření obvodových břitů a současně minimálním zmenšením průměru frézy. Naopak nevýhodou je zmenšení síly zubu o hodnotu úběru.



Obr. 69 Ostření čela i drážky [28]

Obr. 69 ukazuje frézu s oranžovými částmi, které ukazují, jaké části frézy se při použití této metody brousí.

Při ostření pouze drážky dochází ke zmenšení průměru frézy. Tento jev je způsoben zaoblením na hřbetě frézy a úhlem hřbetu frézy. Jedná o zmenšení v řádu setin mm. Toto zmenšení je způsobeno podbroušením zubu na čele. Zmenšení průměru je ukázáno na Obr. 70.



Obr. 70 Zmenšení průměru [28]

Černý obrys značí původní geometrii frézy s větším průměrem. Oranžový obrys ukazuje přeastřenou frézu s menším obrysem, ze které se odebrán materiál odpovídající mezeře mezi oběma obrysy.

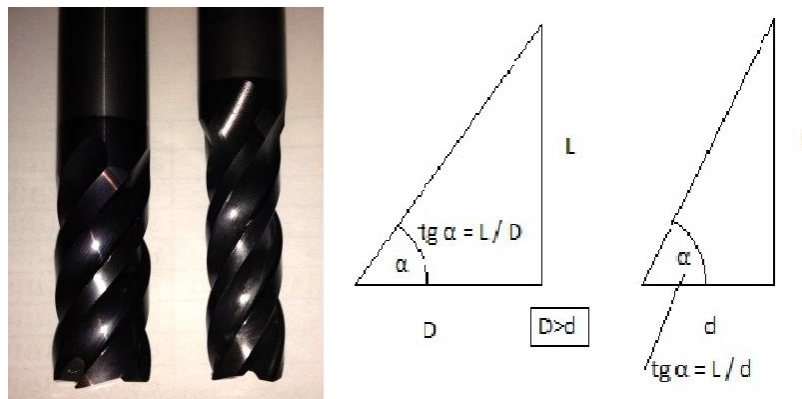
Kompletní přeastření čela, drážky i obvodu frézy zajistí naostření všech řezných hran frézy. Je snaha zachovat na fréze co nejvíce materiálu, ale i přesto se fréza celkově zmenší. Výhodou této metody je, že geometrie břítu zůstává nanejvýš podobná té původní.



Obr. 71 Ostření čela, drážky i obvodu [28]

Na Obr. 71 je zvýrazněná celá řezná část frézy, protože se tímto způsobem brousí právě celá tato část frézy.

Jak již bylo řečeno, ostření frézy změní její geometrii. Zmenšením průměru frézy se nezmění stoupání šroubovice v jednotkách mm. Zatímco úhel stoupání šroubovice se sníží, protože šroubovice „nastoupá“ stejnou hodnotu na menším průměru. Tuto skutečnost popisují trojúhelníky na Obr. 72 a skutečný případ lze vidět v levé části stejného obrázku.



Obr. 72 Natažení šroubovice [28]

Fréza vlevo na Obr. 72 představuje původní nenaostřenou frézu s větším průměrem a větším úhlem stoupání šroubovice. Zatímco fréza vpravo demonstruje přeastřenou frézu s menším průměrem a menším úhlem stoupání šroubovice.

6.1 Trvanlivost přeastřeného nástroje

Přeastřený nástroj nikdy nemá stejnou životnost jako nový nástroj. Během obrábění mohou totiž v nástroji vznikat vlivem opotřebení trhliny, které nejsou pouhým okem viditelné. Při přeastření nedojde k odstranění všech těchto trhlin a tyto trhliny mohou snižovat životnost nástroje. Nový nástroj by neměl obsahovat tyto skryté mikrotrhliny. Při broušení nástroje mimo to dochází ke snížení jeho tuhosti z důvodu odebrání materiálu z nástroje. Při přeastřování nástroje je obtížné zaměřit původní nástroj a vytvořit novou geometrii totožnou s tou původní. Právě proto je většinou vytvořena mírně se lišící geometrie, která nemusí mít tak vhodné vlastnosti jako předchozí geometrie nástroje. Broušení je zvláště obtížné pokud má nástroj speciální geometrii, například proměnné stoupání šroubovic.

V rámci této práce byla provedena rešerše na problematiku porovnání trvanlivosti přeastřeného nástroje s nástrojem novým. Bohužel nebyly nalezeny žádné vyhovující relevantní články, proto by bylo vhodné zaměřit se na toto téma v nějaké další výzkumné práci.

7. Závěr

Značně teoreticky zaměřená práce zejména na oblast používání stopkových fréz ústí do dvou hlavních výstupů. Jedním je výstupní list, nazvaný „Rady a tipy pro obrábění“, určený především pro zákazníky firmy, jež je zadavatelem této práce a jmenovitě pro technology. Ti se mohou rozhodnout, jaký typ frézování je pro danou výrobu vhodný a jaké vhodné řezné podmínky zvolit s ohledem na náklady nebo časovou tíseň. Zároveň se mohou dozvědět, jaké jevy se objevují při obrábění, co přináší a jak omezit nebo podpořit jejich výskyt. Dalším výstupem práce jsou podklady pro tvorbu webové aplikace. Podle podkladů bude vývojářem vytvořena aplikace, která bude umístěna na internetových stránkách dané společnosti. Aplikace bude na základě zadaných požadavků doporučovat vhodné frézy pro obrábění. Dále pro vybranou frézu určí i doporučené rozsahy řezných podmínek a případně zkontroluje překročení potřebného výkonu, nebo upozorní na nebezpečí ztráty stability řezného procesu. Aplikace nemá za cíl nahradit technology, ale v blízké době bude mnoho technologů s aplikacemi tohoto typu stále více pracovat.

V rámci této práce byla rovněž provedena rešerše na problematiku porovnání trvanlivosti přestřené nástroje s nástrojem novým. Bohužel nebyly nalezeny žádné vyhovující relevantní články, proto by bylo vhodné zaměřit se na toto téma v nějaké další výzkumné práci. Dále by bylo vhodné se zaměřit na zbylý výrobní sortiment společnosti, především vrtáky a popsat operace vrtání.

Seznam použitých knižních zdrojů:

1. **Humár, Anton.** Základní metody obrábění. *Vysoké učení Technické v Brně.* [Online] [Citace: 2. 1 2017.] http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf.
2. **Sova, František.** *Technologie obrábění a montáže. 3. vydání.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-823-4.
3. **Sochová, Hana.** Frézování rovinných ploch. *ELUC.* [Online] [Citace: 15. 4 2017.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1230>.
4. **Sandvik.** *Poloha frézy vůči obrobku.* [Online] [Citace: 9. 2 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx.
5. **Diviš, Václav.** Sousledné a nesousledné frézování. *Unicut.* [Online] [Citace: 5. 4 2017.] <http://www.unicut.cz/cms/registered/sousledne-nesousledne>.
6. **Sandvik.** *Skupiny obráběných materiálů.* [Online] [Citace: 8. 8 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups/pages/default.aspx.
7. —. *Frézování litin.* [Online] [Citace: 8. 8 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/milling_different_materials/cast_iron_milling/pages/default.aspx#4.
8. **Doležalová, Petra.** Vlastnosti povlaků řezných nástrojů ze slinutého karbidu. *Diplomová práce.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2013.
9. **Gryč, Jan.** Obrábění titanu, superslitin a nerezavějících ocelí. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 9. 8 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-titanu-superslitin-a-nerezavejicich-oceli.html>.
10. **Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Neklanova 1806, 413 26 Roudnice n.L., příspěvková organizace.** Prohloubení profesní kvalifikace. *Vznik nárůstku.* [Online] [Citace: 4. 8 2017.] <http://kvalifikace.sosasource.cz/2-1-5-vznik-narustku/>.
11. **Bach, Pavel a Svoboda, Ondřej.** Frézování bez vibrací? *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 25. 8 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovani-bez-vibraci.html>.
12. **Hamerník, Jan.** *Základy obrábění.* [Online] [Citace: 26. 8 2017.] <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>.
13. **Vos, Patrick de.** Příručka pro technology: Kompenzační přístup při frézování - poloha frézy. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 9. 3 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-kompenzacni-pristup-pri-frezovani-poloha-frezy.html>.
14. **Sandvik.** *Frézování hran a obrysů - frézování obvodem.* [Online] [Citace: 18. 12 2016.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/edging#4.

15. **Gryč, Jan.** Evoluce v trochoidním frézování. *Technický týdeník*. [Online] [Citace: 11. 12 2016.] http://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/evoluce-v-trochoidnim-frezovani_37342.html.
16. **Sandvik.** *Metody odřezávání tenkých vrstev*. [Online] [Citace: 12. 12 2016.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/slicing_methods/pages/default.aspx.
17. **Vos, Patrick De.** Příručka pro technology: Dynamické frézování - využití kompenzačního přístupu. *MM Spektrum*. [Online] [Citace: 6. 5 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-dynamicke-frezovani-vyuziti-kompenzacniho-pristupu.html>.
18. **Praha, DTS.** *iMachining*. [Online] [Citace: 26. 7 2017.] <http://dtspraha.cz/strojirenstvi/imachining/56>.
19. **Newton, Randall.** SolidCAM claims new Technology Wizard reduces cutting time up to 70%. *Graphic speak*. [Online] [Citace: 2017. 9 19.] <http://gfxspeak.com/2011/07/12/solidcam-claims-new-technology-wizard-reduces-cutting-time-up-to-70/>.
20. **Borovan, Petr.** Frézování II. *T-support*. [Online] [Citace: 2. 11 2016.] <https://www.t-support.cz/kat/frezovani-ii-8>.
21. **Sandvik.** *Frézování drážek stopkovými frézami*. [Online] [Citace: 18. 2 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/end_milling_of_slots.
22. —. *Frézování drážek*. [Online] [Citace: 10. 2 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/pages/default.aspx.
23. —. *Zahlubování pomocí šroubovicové interpolace*. [Online] [Citace: 18. 3 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/circular_ramping/pages/default.aspx.
24. —. *Zahájení řezu*. [Online] [Citace: 26. 3 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/creating_openings/pages/default.aspx.
25. —. *Dvousé postupné zahlubování - lineární*. [Online] [Citace: 6. 3 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/two_axes_ramping_linear/pages/default.aspx.
26. —. *Zavrtávací frézování*. [Online] [Citace: 15. 3 2017.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/peck_milling/pages/default.aspx.

27. **Zobl, Martin.** Tvorba metodiky série experimentů pro stanovení vlivu příčného vyklonění vlečeného nástroje na řezný proces. *Diplomová práce*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012.
28. **Unicut.** *Ostření fréz.* [Online] [Citace: 11. 9 2017.] <http://www.unicut.cz/cms/uploads/images/PDF/volby%20ostreni%20-%20tgs.pdf>.
29. **Řasa, Jaroslav a Gabriel, Vladimír.** *Strojírenská technologie 3. 2. vydání.* Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
30. **Sandvik.** *Přehled*. [Online] [Citace: 20. 11 2016.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/overview/pages/default.aspx.
31. **WNT Česká republika s.r.o.** *Evoluce v trochoidním frézování.* [Online] [Citace: 25. 3 2017.] <https://www.wnt.com/cz/zpravy/evoluce-v-trochoidnim-frezovani-925.html>.
32. **Brno, SOS-SOU.** Frézování rovinných ploch. *ZOZEI.* [Online] [Citace: 1. 11 2016.] <http://zozei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/druhy-frezovani.jpg>.
33. **Driml, Bohuslav.** Teorie obrábění. *elitalycea.* [Online] [Citace: 4. 8 2017.] <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep19.pdf>.
34. **Hudec, Roman a Ondříšek, Zdeněk.** Jak naprogramovat N-céčko. *Publi.* [Online] [Citace: 6. 11 2016.] <https://publi.cz/books/182/04.html>.
35. **Nagyová, Lívia.** Geometrie kulových fréz dokonale pod kontrolou. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 7. 8 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/geometrie-kulovych-frez-dokonale-pod-kontrolou.html>.
36. **Šponar, Josef.** Kotoučové frézy pro každou aplikaci. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 3. 2 2017.] <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/kotoucove-frezy-pro-kazdou-aplikaci.html>.
37. **Vaňák, Antonín.** Technologie frézování. *Střední odborná škola a Střední odborné učiliště Šumperk.* [Online] [Citace: 6. 10 2016.] http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf.
38. **Vos, Patrick De.** Trendy v povlakování slinutých karbidů. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 25. 7 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>.
39. —. Příručka pro technology: Proces obrábění kovů - vliv geometrie. *MM Spektrum.* [Online] [Citace: 7. 8 2017.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-proces-obrabeni-kovu-vliv-geometrie.html>.
40. **Grumant.** Hrubovací a dokončovací fréza na T-drážky. *Grumant.* [Online] [Citace: 25. 11 2016.] <http://eshop.grumant.cz/hss-2/hrubovaci-a-dokonc--freza-na-t-drazky-32x14-mm-garant/>.
41. **Wikipedia.** Pero (strojní součástka). *Wikipedia.* [Online] [Citace: 5. 3 2017.] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pero_\(strojn%C3%AD_sou%C4%8D%C3%A1stka\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pero_(strojn%C3%AD_sou%C4%8D%C3%A1stka)).

Seznam obrázků:

Obr. 1 TK 4břítá fréza s rovným čelem.....	9
Obr. 2 TK 3břítá fréza s rovným čelem.....	9
Obr. 3 TK 2břítá fréza s rovným čelem.....	9
Obr. 4 TK 4břítá fréza s kulovým čelem	9
Obr. 5 TK 2břítá fréza s kulovým čelem	10
Obr. 6 TK 4břítá fréza s rovným čelem antivibrační	10
Obr. 7 TK dokončovací fréza - šroubovice 45°	10
Obr. 8 TK fréza do kaleného materiálu	10
Obr. 9 TK 4břítá fréza BEAST	11
Obr. 10 TK hrubovací NR fréza - šroubovice 45°	11
Obr. 11 TK 2břítá fréza s rovným čelem a upravenou geometrií	11
Obr. 12 TK 2břítá fréza s kulovým čelem a upravenou geometrií.....	11
Obr. 13 TK 4břítá fréza "AEROMILL" vysoce produktivní	11
Obr. 14 PKD 2břítá fréza - rovné čelo.....	12
Obr. 15 PKD 2břítá fréza - kulové čelo	12
Obr. 16 TK závitová fréza se sražením	12
Obr. 17 TK závitová fréza s radiálním chlazením	12
Obr. 18 Speciální tvarové nástroje	13
Obr. 19 Tvary břitů technických fréz	13
Obr. 20 Tvary technických fréz	13
Obr. 21 Spirálovitý vrták	14
Obr. 22 Stupňovité vrtáky.....	14
Obr. 23 Výstružník	14
Obr. 24 Poloha frézy vůči obrobku [1].....	15
Obr. 25 Frézování obvodem[3]	16
Obr. 26 Čelní frézování [3]	16
Obr. 27 Sousedné obrábění.....	17
Obr. 28 Nesousedné obrábění	17
Obr. 29 Sousedné a nesousedné obrábění[4]	18
Obr. 30 Rovné a kulové čelo.....	20
Obr. 31 Geometrie břitu čelní frézy	21
Obr. 32 Hrubozubá a jemnozubá fréza	23
Obr. 33 Skupiny materiálů	24
Obr. 34 Nárůstek [10].....	26
Obr. 35 Vznik nucených vibrací [11]	28
Obr. 36 Teplo vznikající při obrábění [12]	29
Obr. 37 Stranové obrábění	30
Obr. 38 Frézování bokem frézy se zuby ve šroubovici	30
Obr. 39 Frézování bokem frézy [15]	31
Obr. 40 Zatížení břitů při frézování [4]	31
Obr. 41 Nebezpečná zóna[13].....	32
Obr. 42 Dráha nástroje při trochoidním frézování [16].....	33
Obr. 43 iMachining [15]	33
Obr. 44 Dráhy nástroje při technologii iMachining [19].....	34

Obr. 45 Frézování rohů technologií iMachining [16]	34
Obr. 46 Frézování rohů s užitím iMachingu [16].....	34
Obr. 47 Klasické frézování rohů [16].....	35
Obr. 48 Způsoby výroby drážek frézování [22].....	36
Obr. 49 Metoda postupného zanořování[25]	36
Obr. 50 Zanořování šroubovitou interpolací[23]	37
Obr. 51 Zanoření do drážky zavrtáním[26]	37
Obr. 52 Výroba drážky stopkovou frézou [21].....	38
Obr. 53 Vlečení kulové frézy [27].....	39
Obr. 54 Výřez z výstupního listu 1.....	39
Obr. 55 Výřez z výstupního listu 2.....	40
Obr. 56 Trochoidní frézování.....	40
Obr. 57 Výřez z výstupního listu 3.....	41
Obr. 58 Výřez z výstupního listu 4.....	41
Obr. 59 Úvodní obrazovka aplikace	42
Obr. 61 Tabulka výběru nástroje	44
Obr. 60 Tabulka obráběných materiálů	43
Obr. 63 Vysvětlivka použitých zkratk	45
Obr. 62 Vlastnosti použitého stroje	44
Obr. 64 Seznam potřebných veličin	45
Obr. 65 Vývojový diagram pro výpočet otáček	46
Obr. 66 Vývojový diagram pro výběr materiálu	47
Obr. 67 Vývojový diagram pro výběr nástroje	48
Obr. 68 Ostření čela [28]	48
Obr. 69 Ostření čela i drážky [28].....	49
Obr. 70 Zmenšení průměru [28].....	49
Obr. 71 Ostření čela, drážky i obvodu [28]	50
Obr. 72 Natažení šroubovice [28]	50

Seznam použitých zkratk:

D – průměr

PKD – polykrystalický diamant

α – úhel hřbetu

β – úhel břitu

γ – úhel čela

λ_s – úhel ostří

κ_r – úhel nastavení ostří

δ – úhel řezu

P_r – rovina základní

P_o – rovina ortogonální

P_s – rovina ostří

P_f – rovina posuvu

P_p – rovina přísmvu

r_ε – rádius špičky

ε_r – úhel rozevření hrotu

z – počet zubů frézy

v_c – řezná rychlost

f_z – posuv při otočení nástroje o jeden zub

n – počet otáček nástroje vykonaných za jednu minutu

f_o – posuv při otočení nástroje o jednu otáčku

a_p – výška odřezávané vrstvy

v_f – posuvová rychlost

a_e – tloušťka odřezávané vrstvy

η – účinnost stroje

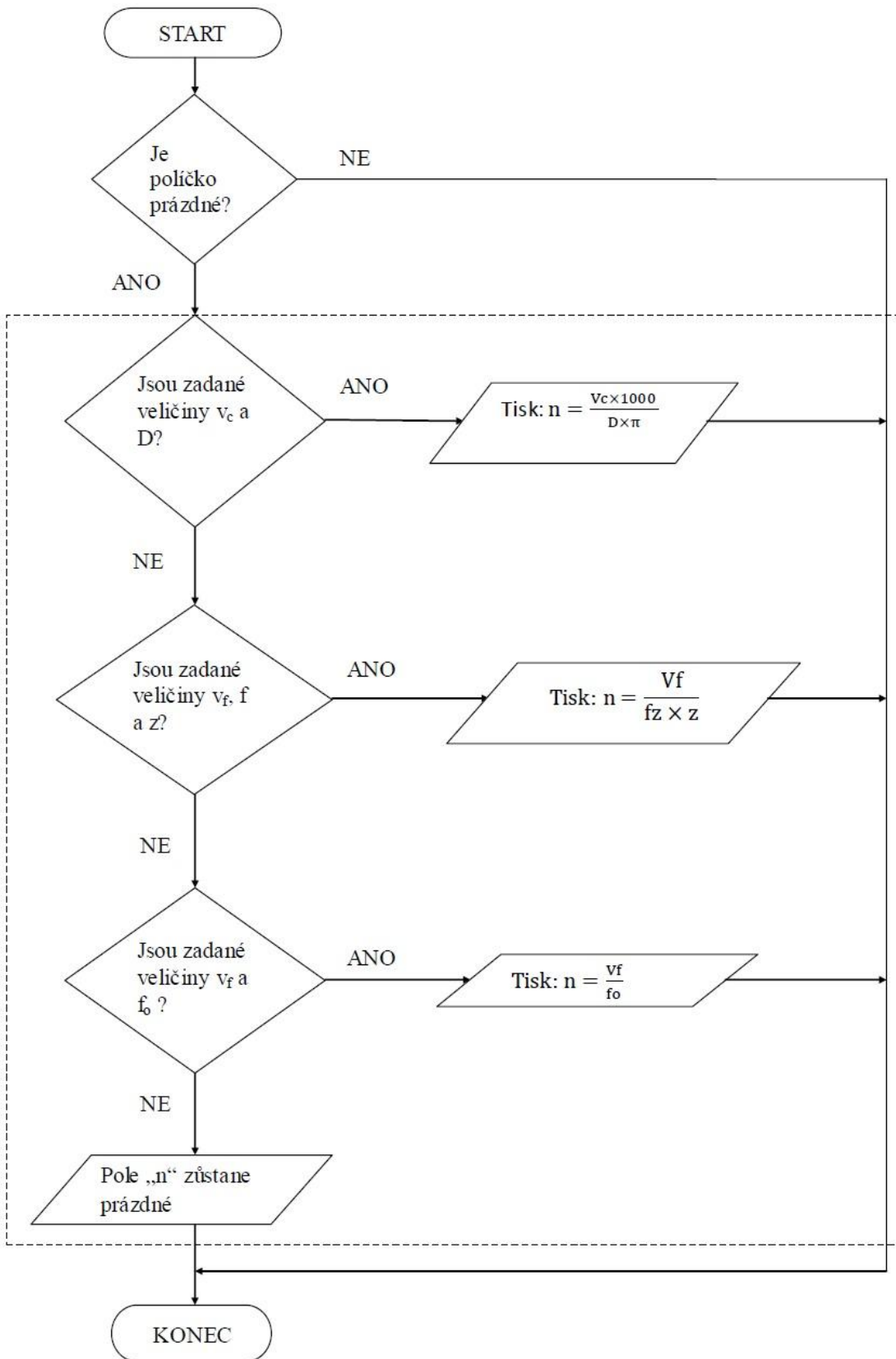
Q – úběr materiálu

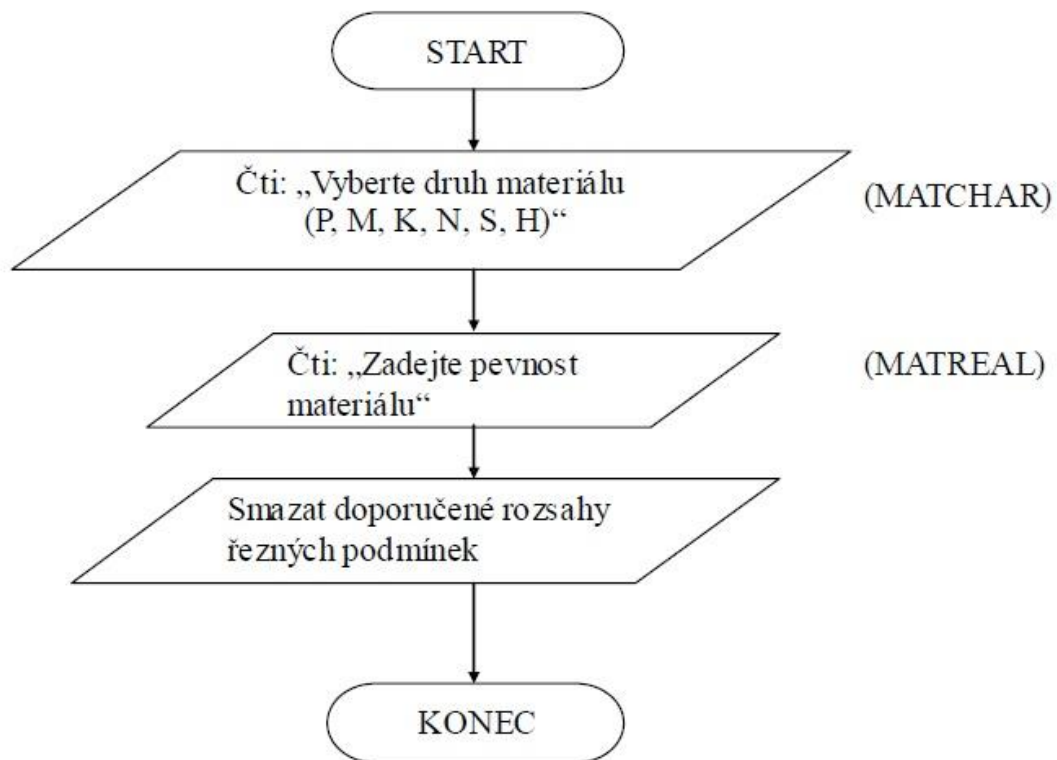
P – potřebný výkon

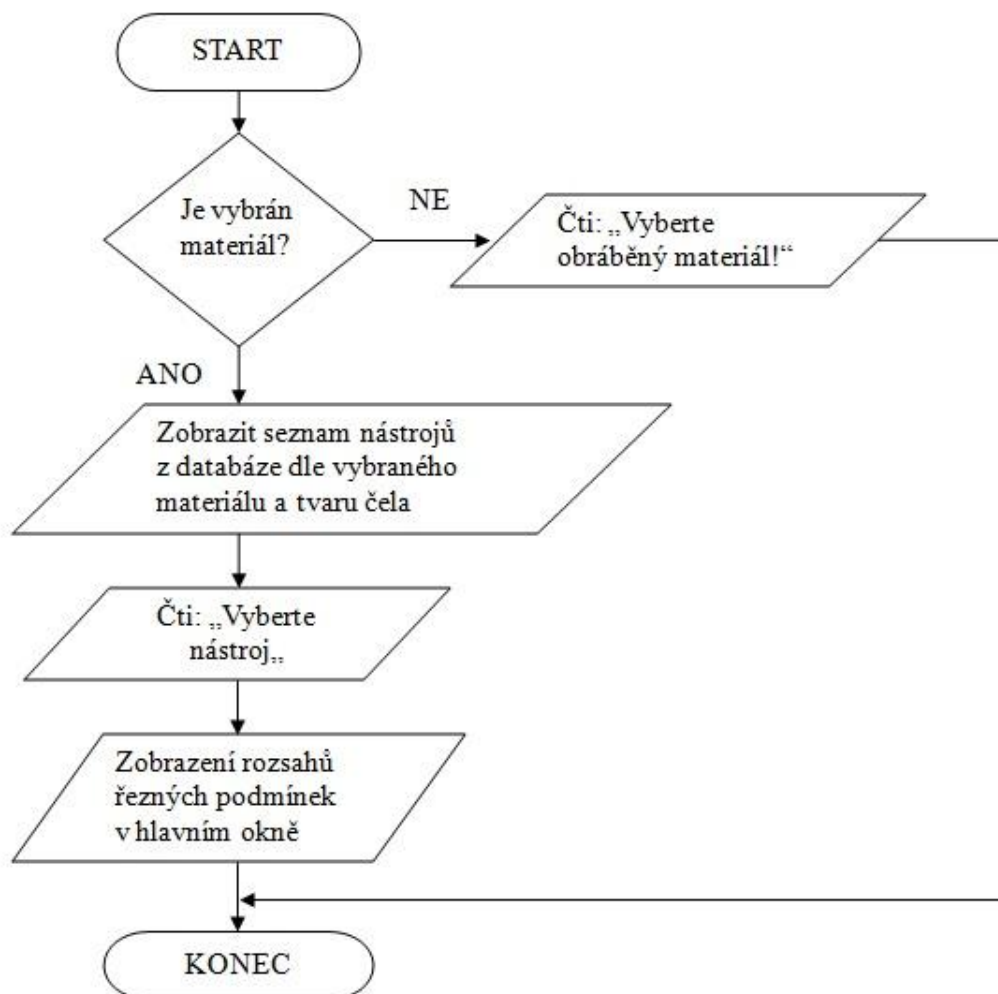
SNOP – stroj, nástroj, obrobek, přípravek

NR profil – hrubovací profil vlnkovitě složený z tečně napojených rádiusů

Příloha 1: Podklady pro vývoj webové aplikace





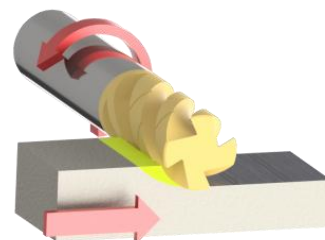


Příloha 2: Rady a tipy pro frézování

Sousledné a nesousledné

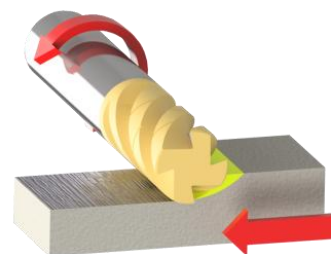
Sousledné

- Sousledné frézování je lepší upřednostňovat vždy, kdykoli to stroj, přípravek i obrobek umožňuje
- Delší trvanlivost břitu i lepší jakost obrobce
- Menší sklon k tvorbě nárůstku
- Lze použít jednodušší upínací přípravky
- Méně vhodné pro hrubování



Nesousledné

- Menší trvanlivost břitů, ohlazování a odírání břitu
- Zvýšené riziko tvorby nárůstku
- Menší jakost obrobce
- Nutné použití složitějších přípravků pro upínání, síly zvedají obrobek ze stolu
- Vhodné pro hrubování
- Využití u klasických strojů s vůlí

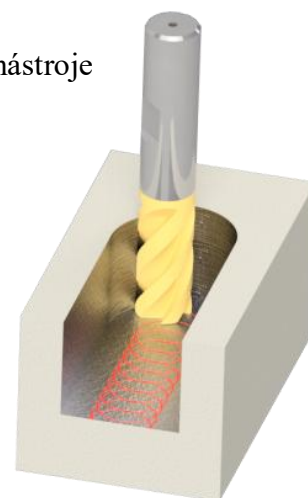


Frézování bokem

- Nastavení optimálního posuvu na zub
- Nutné volit výstupní úhel mimo nebezpečnou zónu ($+30^\circ$ až -30° = nebezpečná zóna)
- Co největší počet zubů v záběru, vždy alespoň jeden
- Když fréza vibruje -> víc zubů do záběru
- Při bočním frézování mají břity delší životnost než při středovém frézování
- Zvolit vhodné rezní podmínky – iMachining, Trochoidní frézování

iMachining a trochoidní frézování

- Úspora času programování i obrábění
- Snížení opotřebení nástrojů i strojů kvůli nižšímu silovému zatížení nástroje
- Větší hloubka řezu a efektivita obrábění
- Optimální rezní podmínky
- Větší stabilita v řezu
- Stroj musí umět dopočítávat dráhy nástroje
- Hladké a bezpečné dráhy nástroje bez „obrábění vzduchu“
- Trochoidní – pro tvorbu drážek



Výroba drážek stopkovou frézou

- Maximálně snížit vyložení nástroje, náchylné na ohyb
- Limitující může být tuhost stroje a odvádění třísek z řezu, aby nedocházelo k poškození povrchu
- Úzké uzavřené drážky-> použít rampování (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Širší drážky-> ideálně použít zavrtání po šroubovici (zavrtávání jen v krajní nouzi)
- Požadován kvalitní povrch – nejprve projet střed drážky a poté objet jemnozubou frézou okraje

Tvarové obrábění

- Pokud je to možné, volit toroidní frézu (větší produktivita)
- Kde se toroidní fréza nevejde (dutina s plynulou změnou sklonu), použít kulovou frézu
- Místo s nulovou řeznou rychlostí dostat ze záběru-> vyklonění/ vlečení

Obráběné materiály

- Měkčí materiály skupiny N-> volit pozitivní geometrii a vysokou řeznou rychlost, ideálně použít nástroj z PKD
- Tvrdé kalené materiály skupiny H-> negativní geometrie, velký počet zubů (6-8), vhodný povlak (TripleCoating Cr, TripleCoating Si)
- Tvorba nárůstku-> snížit nebo zvýšit řeznou rychlost / dostatečné chlazení / skupina N-> PKD nástroj nebo nástroj s leštěnou drážkou
- Skupina K - možnost tepelných trhlin na nástroji -> obrábět za sucha
- Skupina S - riziko nárůstku, velké množství tepla, riziko vrubového opotřebení nástroje -> velké množství chladicí kapaliny vedené vnitřkem nástroje, tuhý nástroj, pozitivní geometrie, povlak pro dlouhou životnost (ALWIN, MARWIN Si)
- Skupina M – pozitivní geometrie, riziko vrubového opotřebení nástroje -> velké množství chladicí kapaliny, eliminace nárůstku-> snížení řezné rychlosti