

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 rady a poznatky při vypracovávání práce. Děkuji také svým rodičům a bratrovi za jejich podporu a pomoc při psaní práce.

Obsah

1. Úvod	6
2. Základní informace o frézování	7
2.1. Rozdělení dle vzájemné polohy osy frézy vůči ploše obrobku	8
2.1.1. Frézování obvodem	8
2.1.2. Čelní frézování	9
2.2. Sousledné a nesousledné frézování	10
2.3. Porovnání sousledného a nesousledného frézování	11
3. Výroba drážek	15
3.1. Výroba drážek pomocí kotoučových fréz	16
3.2. Drážkování stopkovou frézou	20
3.2.1. Frézování drážek pro pero	25
4. Frézování bokem frézy	26
4.1. Trochoidní frézování	31
5. Závěr	35
Seznam použitých zdrojů:	36
Seznam obrázků:	38
Příloha: Vývojový diagram na výpočet řezných podmínek při frézování	39

1. Úvod

Být konkurenceschopný a maximalizovat zisk je hlavním cílem výrobců. Proto je potřeba výrobky vyrábět s nejnižšími možnými náklady. Právě nízké náklady vedou k tomu, že výrobek bude levný pro zákazníka a zároveň výrobce dosáhne co nejvyššího zisku.

K tomu aby byl výrobek vyroben s nízkými náklady, při zachování funkčnosti a zákazníkem požadované přesnosti, dopomáhá správná volba nástrojů. Pro dosažení požadovaných vlastností je potřeba zvolit adekvátní technologii, kterou lze proces výroby uskutečnit.

Technologie obrábění jsou značně složité. Je důležité náležitě ovládat znalosti z oboru obrábění, které se navíc ještě stále obohacují o nově přicházející technologie. Pro snadnější orientaci a dosažení co nejlepších výsledků, jsou firmami dodávajícími nástroje zároveň nabízeny příručky popisující zákazníkům možnosti využití jednotlivých nástrojů a technologií, pro dosažení co nejlepších výsledků. To celé vede k výrobě součásti s jakostí požadovanou od zákazníka. Kromě toho všeho může vhodná technologie eliminovat některé z možných projevů zmetkovitosti.

Existuje společnost, vyrábějící a prodávající nástroje, která chce vytvořit pro své zákazníky právě takovou příručku. Účelem této práce je vytvořit teoretický základ dané příručky, tedy popsat zásady technologie frézování včetně vhodné volby frézovacích nástrojů. Příručka má být zaměřena konkrétně na tyto způsoby frézování: frézování sousledné a nesousledné, drážkování frézou a boční frézování. Kromě toho je požadováno ze strany zadavatele vytvořit vývojový diagram na výpočet řezných podmínek. Vývojový diagram se stane hlavním podkladem pro tvorbu počítačové aplikace na výpočet řezných podmínek pro frézování. Na základě těchto materiálů se mohou technologové v podnicích, s nimiž má obchodní kontakty zadavatel, rozhodovat jaký nástroj a způsob frézování či jiné operace by mohl být 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.

2. Základní informace o frézování

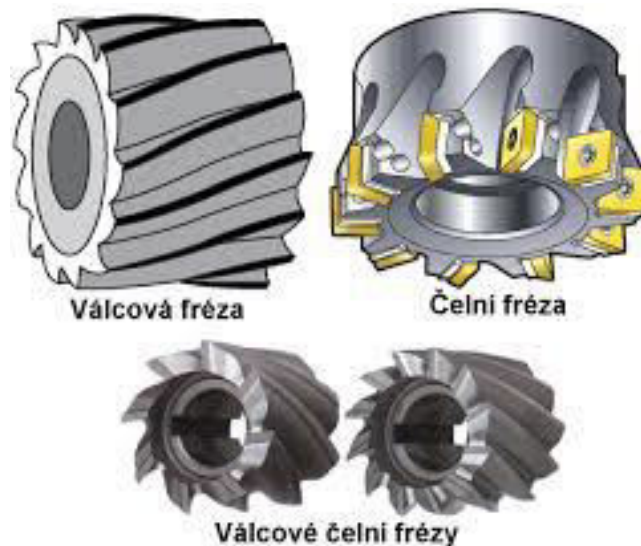
Frézování je způsob obrábění, kterým je vytvářen nový, rovinný nebo tvarový, povrch rotačním nástrojem na vytvářené součásti. Aby mohl být takový povrch vytvořen, je zapotřebí použít obráběcí stroj, který to umožní svou kinematikou. Právě kinematika stroje zaručuje vymezení požadovaných stupňů volnosti, 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. [2]

Fréza je několikabřítý 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 několikabřítý nástroj, je řezný proces frézování přerušovaný, kdy každý zub odebírá samostatnou třísku proměnlivé tloušťky. 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. [2]

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. [1]

2.1. Rozdělení dle vzájemné polohy osy frézy vůči ploše obrobku

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. Frézy se dají dělit podle mnoha dalších rozdělení, jimiž jsou například: počet zubů, způsob upnutí, geometrický tvar, nástrojový materiál atd. [1]



Obr. 1 Poloha frézy vůči obrobku

Obrázek je převzatý ze zdroje [28]

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

2.1.1. Frézování obvodem

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. [2], [28]



Obr. 2 Frézování obvodem

Obrázek je převzatý ze zdroje [29]

Na obrázku 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.

2.1.2. Čelní frézování

Při čelním frézování je osa nástroje kolmá k obráběné ploše, jak lze vidět na Obr 3. 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. [2], [28]



Obr. 3 Čelní frézování

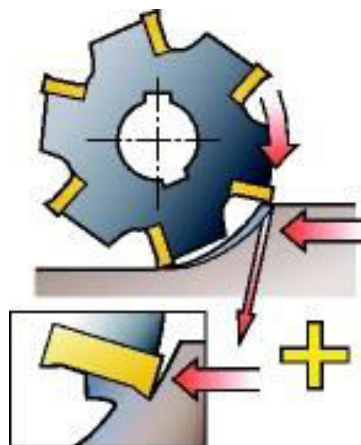
Obrázek je převzatý ze zdroje [29]

Na obrázku je zobrazeno 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.

2.2. Sousedné a nesousedné frézování

Sousedné frézování je v knize Technologie obrábění a montáže od Františka Sovy [2] definováno 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.“

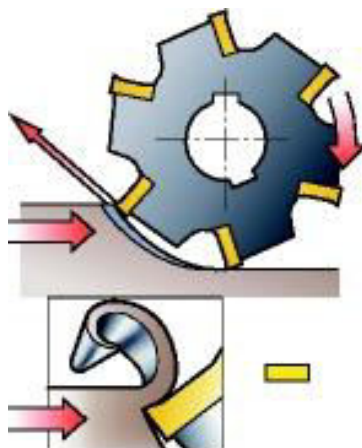
Nesousedné frézování je v knize Technologie obrábění a montáže od Františka Sovy [2] definováno takto: „Při nesousledném frézování se obrobek posouvá do řezu proti směru pohybujících se břitů frézy, které v tomto případě odebírají materiál od minimální tloušťky třísky do maxima. K oddělování třísky nedochází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



Obr. 4 Sousedné frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [9]

Obrázek představující sousledné frézování ukazuje směr řezné síly působící na obrobek, znázorněn šipkou jdoucí šikmo dolů, a směry pohybu frézy a obrobku. Šipka směřující doleva znázorňuje směr posuvu obrobku, který se posouvá pod zuby frézy, které konají rotační pohyb, jenž je znázorněn červenou zahnutou šipkou nahoře, zařezávají se nejdříve do materiálu s největší tloušťkou a řez opouští v okamžiku, kdy se tloušťka třísky blíží k nule. Břity frézy jsou znázorněny žlutou barvou, zařezávají se obrobku, který má šedivou barvu a odebírají z něj třísku, která je znázorněna světle modrou barvou.



Obr. 5 Nesousledné frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [9]

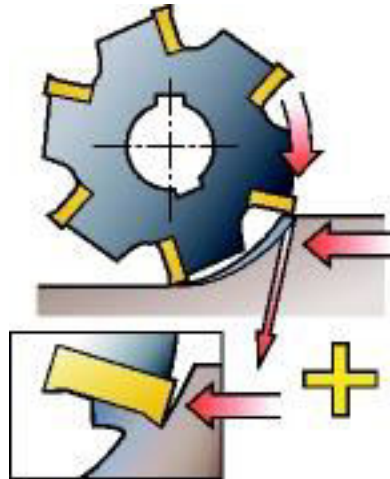
Obrázek představující nesousledné frézování ukazuje směr řezné síly působící na obrobek, znázorněn šipkou jdoucí šikmo vzhůru, a směry pohybu frézy a obrobku. Šipka směřující vpravo znázorňuje směr posuvu obrobku, který se posouvá k zubům frézy, jenž konají rotační pohyb, který je znázorněn šipkou vpravo, a postupně se zařezávají nejdříve do materiálu s nejmenší tloušťkou, řez opouští v okamžiku, kdy je tloušťka třísky největší. Břity frézy jsou znázorněny žlutou barvou, zařezávají se obrobku, který má šedivou barvu a odebírají z něj třísku, která je znázorněna světle modrou barvou.

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. Výroba zmetků, neproduktivita nebo netrvanlivost nástroje podstatně prodražuje výrobu, proto je nutné ji co nejvíce eliminovat. Volba špatného způsobu může taktéž způsobit poškození stroje, tudíž další náklady, které zajisté nejsou v zájmech podniku. Oba tyto způsoby, sousledný i nesousledný, mají svá pozitiva i negativa, která jsou popsána v následující kapitole.

2.3. Porovnání sousledného a nesousledného frézování

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, které jsou popsány právě v této kapitole.

U sousledného frézování působí řezná síla proti obrobku (Obr. 6) 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.



Obr. 6 Sousedné frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [9]

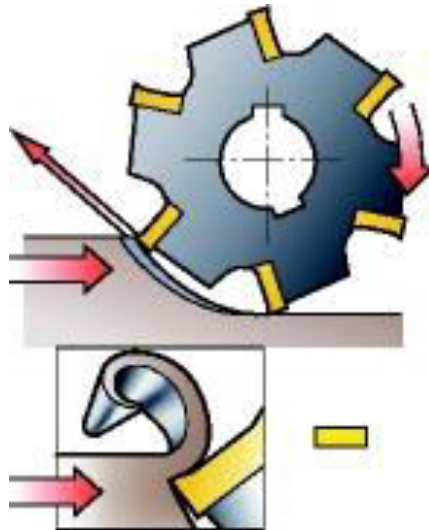
Na obrázku sousledného frézování je šipkou směřující šikmo dolů znázorněna řezná síla, která působí proti obrobku a přitlačuje ho ke stolu frézky, to je velmi důležitý fakt pro upínání obrobku. Protože síla působí převážně proti stolu, je eliminována stolem, a není potřeba ji dále zachycovat upnutím, které by v opačném případě bylo komplikovanější. Upnutí v tomto případě zachycuje pouze síly snažící se obrobek posunout. Na obrázku je rovněž dobře zobrazen proces tvorby třísky, kdy se břit zařezává do největší tloušťky materiálu, jenž je zobrazen šedou barvou. Tato tloušťka třísky postupně klesá, až je při výjezdu z řezu nulová, přičemž tříska je zobrazena světle modrou barvou, a břit, který ji odřezává žlutou barvou.

Zatímco u nesousledného frézování působí řezná síla směrem od stolu frézky a má na obrobek zvedající účinek (Obr. 7), nemůže být tedy eliminována stolem frézky, jako je tomu u sousledného frézování, musí být eliminována pomocí upnutí, které je z toho důvodu, že musí řešit zdvihající silové účinky, značně složitější než u sousledného způsobu frézování. Právě proto je z hlediska upínání výhodnější upřednostňovat sousledné frézování před nesousledným. [9], [8]

Při sousledném frézování, jak lze vidět na Obrázku 6, se břity frézy zařezávají nejprve do materiálu s největší tloušťkou a až poté se začíná tloušťka třísky postupně snižovat, až se blíží k nule, právě v tuto chvíli je vytvářen nový, obrobený povrch obrobku, ten je tedy tvořen při vlastním výstupu břitů frézy z řezu. U nesousledného frézování je tomu přesně naopak. Břity frézy vstupují do materiálu od nulové tloušťky a ještě před samotným vstupem do řezu se třou o dosavadní povrch, čímž ho patřičně poškozují. Tloušťka třísky při nesousledném frézování postupně narůstá a je největší právě v tu chvíli, kdy břit opouští řez.

Každý způsob má v tomto ohledu svá pozitiva i negativa, při sousledném frézování dochází při vstupu do řezu k rázům, které by mohly zapříčinit i zlomení břitu, pokud by byl břit nedostatečně houževnatý a nedokázal by rázy přenést. [8] Při sousledném frézování může nastat problém při obrábění odlitku, který má na svém povrchu zbytky slévárenského písku, nebo jakéhokoliv jiného obrobku s extrémně tvrdým povrchem.[1] Břity frézy musí nejprve

projít právě tímto tvrdým vnějším povrchem obrobku. 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. Vnější povrch poté jen odpadne a neovlivňuje tak frézu. [9]



Obr. 7 Nesousledné frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [9]

Na obrázku 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 proto, že je nutné eliminovat nejen posuvné účinky síly, ale je také potřeba zachytit její složku, která působí vzhůru. Při výjezdu z řezu břit odebírá největší tloušťku materiálu, právě v ten moment na něj působí velké tahové síly, které mohou zapříčinit jeho vylomení.

U sousledného frézování, jak již bylo zmíněno výše, se břity nejprve zařezávají do materiálu s největší tloušťkou a řez opouští v místě nejmenší tloušťky, právě v tomto místě vzniká nový obrobený povrch. U nesousledného frézování je tomu přesně naopak, obrobený povrch vzniká taktéž v místě s nejmenší tloušťkou třísky, ale břit v tomto místě teprve najíždí do řezu, naopak z řezu vyjíždí v místě s největší tloušťkou třísky. Právě místo a proces tvorby nové plochy je velice důležitý, protože ovlivňuje 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, tedy že se břit před samotným zařazením tře o povrch a tím dochází ke zhoršení jakosti povrchu a také snížení trvanlivosti břitů, je výhodnější pro dokončovací operace využívat frézování sousledného.

Tření je příčinou pro více skutečností, vzniká kvůli němu nárůstek, který se neustále vytváří na špičce břitu a následně je z ní okamžitě strháván třískou materiálu, tím je poškozován břit, který se postupně po velmi malých částech odtrhává s nárůstkem. Tvorbu nárůstku lze však snížit zvýšením řezných podmínek, např. zvýšením otáček, poté se již nárůstek nestačí vytvářet. Právě nárůstek může zapříčinit dokonce rychlé vylomení břitu frézy a tím nejen

vyřazení nástroje z provozu, ale může i poškodit povrch obrobené součásti a vytvořit tím zmetek. [9], [8]

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

Právě kvůli uvedeným důvodům je doporučeno upřednostňovat sousledné frézování před nesousledným vždy, kdy to stroj, přípravek i obrobek dovolují. [9] Sousledné frézování je vhodné použít, pokud bude docházet k přerušovanému řezu, jelikož fréza i frézka jsou uzpůsobené na rázy, které budou vznikat při tomto řezu. [9], [8]

Kvůli zmíněným důvodům není doporučeno používat nesousledné frézování pro frézování na čisto. Z důvodu možnosti odebrání většího množství materiálu, je nesousledné frézování vhodné na hrubování. Nesousledné frézování je oproti souslednému frézování využíváno daleko méně, je však využíváno při obrábění odlitků, kdy povrch obsahuje zbytky slévárenského písku a jiné tvrdé nečistoty po lití. Může se taktéž využívat pro obrábění extrémně tvrdých povrchů. [9]

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. [9]

Sousledné:

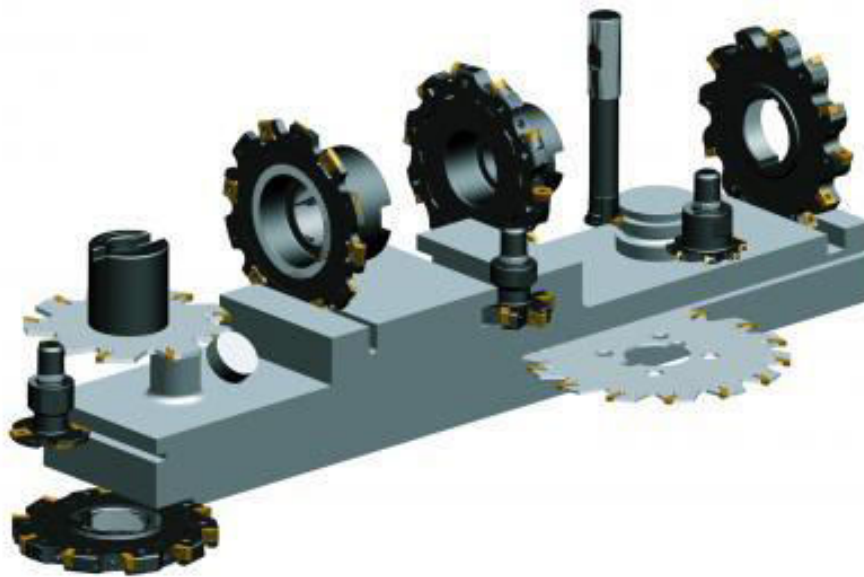
- Sousledné frézování je lepší upřednostňovat vždy, kdykoli to stroj, přípravek i obrobek umožňuje.
- Delší trvanlivost břitu i lepší jakost obrobeného povrchu
- Menší sklon k tvorbě nárůstku.
- Lze použít jednodušší upínací přípravky.
- Méně vhodné pro hrubování.

Nesousledné:

- Menší trvanlivost břitů, ohlazování a odírání břitu.
- 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. Výroba drážek

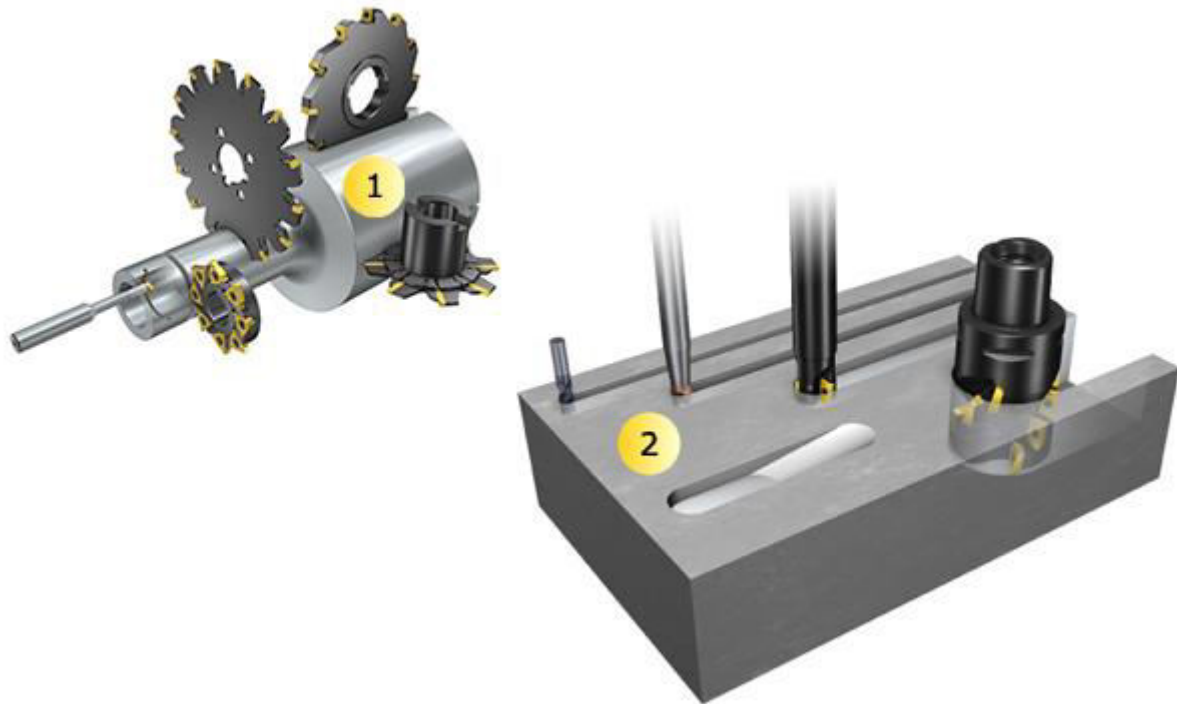
V této kapitole je popsána výroba drážek pomocí frézy. Výroba se dělí na dva způsoby, tvorba drážek pomocí kotoučové frézy a tvorba drážek pomocí stopkové frézy. Volba správného způsobu je velmi důležitá, protože volba špatného způsobu může zapříčinit, že požadovaný útvar je daným způsobem nevyrobitelný. To by znamenalo zdržení výroby součásti, ale také její prodražení, protože by bylo nutné koupit jiné nástroje, ne-li celý stroj. [5] Každým způsobem se tedy dají vytvořit jiné tvary, oba tyto způsoby mají svá pozitiva i negativa, která jsou popsána v následující kapitole.



Obr. 8 Způsoby výroby drážek frézováním

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [7]

Na obrázku lze vidět výrobu drážek na obrobku, znázorněném šedou barvou, pomocí kotoučových fréz, zde znázorněných tmavě šedou barvou, s břity vykreslenými žlutě. Obrázek dokazuje, že kotoučovými frézami lze vyrobit mnoho druhů drážek, které mohou být i tvarové.



Obr. 9 Způsoby výroby drážek frézováním

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [18]

Na obrázku, který je označen číslem 1, je rovněž jako na předešlém Obr. 8, zobrazeno několik způsobů kotoučového frézování. Obrázek pod číslem 2 znázorňuje výrobu drážek pomocí stopkových fréz. Břítové destičky jsou na obou obrázcích vyobrazeny žlutou barvou, nástroje tmavě šedou, zatímco obrobky světle šedou. Vyrobené drážky mohou mít libovolně různé průměry, délky i výšky. Je možné vyrábět drážky vnitřní i vnější.

3.1. Výroba drážek pomocí kotoučových fréz

Kotoučové drážkování je název pro způsob výroby, kdy se drážky vytváří pomocí rotace frézy ve tvaru kotouče. Materiál je ze součásti odebírán obvodem kotouče, na kterém jsou většinou nasazeny vyměnitelné břítové destičky. Právě protože se drážka vytváří obvodem kotouče, je nemožné touto metodou vyrobit určité typy drážek. Mezi tyto typy patří drážky uzavřené, tedy drážky, které nezačínají ani nekončí na okraji součásti. Kotoučovou frézou jsou nevyrobitelné, jelikož tento druh frézy musí zajet do řezu z boku součásti, nikoliv shora, jak je umožněno u stopkových fréz. Touto metodou lze vyrobit i drážku, která je u dna širší než u povrchu, je však potřeba frézu potřebně natočit vůči obrobku. Kotouč má určitou tloušťku, která určuje, jak tlustá bude vyrobená drážka. Boky kotouče se při tvorbě drážky cyklicky dotýkají postupně celé výšky boku drážky, tedy od dna až po horní část drážky, kdy vyjždějí z řezu. Nevýhodou kotoučového drážkování je, že metoda nedovoluje výrobu drážek nelineárních, tedy zakřivených. To je zapříčiněno tím, že se kotouč dotýká v celé své šířce boků drážky, které mu nedovolují změnit směr. Kvůli samotné podstatě metody lze tudíž kotoučovým drážkováním vyrábět pouze drážky přímé. [5], [3]



Obr. 10 Výroba drážky kotoučovou frézou

Fotografie je převzatá z internetových stránek společnosti Sandvik ze zdroje [10]

Fotografie ukazuje výrobu drážky pomocí kotoučové frézy, která je nasazena na trn a zespod důsledně zajištěna proti povolení. Vyložení trnu, který pohání frézu a udává jí rotační pohyb, je zvoleno co nejmenší, to přispívá k co nejvyšší možné tuhosti soustavy. Na fotografii je vytvářena drážka přímá, pravděpodobně s proměnlivou hloubkou. Vnější povrch obrobku je zde zobrazen rezavou barvou, kotoučová fréza stříbrnou barvou a její vyměnitelné břitové destičky barvou žlutou. Nově vytvořené plochy mají barvu leskle stříbrnou.

Mezi výhody kotoučového drážkování patří možnost vytvoření složených nástrojů a tím navýšení produktivity už tak produktivní metody na několikanásobek. Kotouč je obvykle uchycen na trnu, který rotuje a současně tak otáčí i kotoučem, je tedy snadné na tento trn uchytit více kotoučů vedle sebe a vytvářet tak několik drážek vedle sebe najednou. Aby nedocházelo k nadbytečnému chvění kotoučů, jsou kotouče na hřídeli uspořádány střídavě, to umožní rozložení síly v průběhu delšího času a nedochází tak k velkým rázům, jaké by nastaly při současném záběru (vstupu do řezu) všech kotoučů. [3], [5]

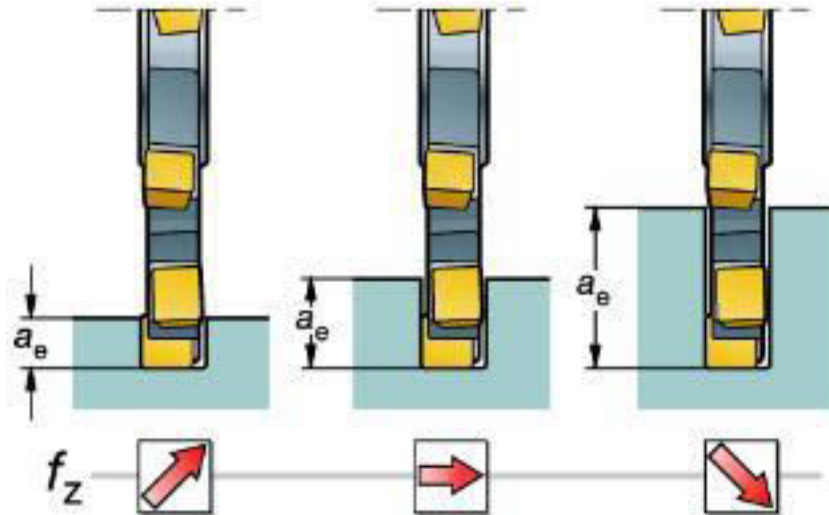


Obr. 11 Složený nástroj

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [3]

Obrázek zachycuje složený nástroj, který se skládá ze čtyř samostatných kotoučových fréz, které jsou nasazeny na trnu a na něm upevněny nejen proti pootočení, ale také proti posuvu do strany. Hnací trn je stříbrný, kotouče na něm nasazené jsou zobrazeny tmavě šedou a jejich řezné části, břitové destičky jsou žluté. Tímto složeným nástrojem lze vyrábět čtyři drážky najednou. V daném případě budou všechny drážky stejně široké i hluboké, ale v případě nasazení rozdílných kotoučových fréz na trn by každá drážka mohla mít jiný rozměr. Jak si lze všimnout, kotouče jsou na trnu uloženy střídavě, to podporuje stabilitu řezu a omezuje chvění nástroje.

Metoda kotoučového drážkování se vyznačuje svou patrnou stabilitou. Právě proto, aby byla tato vlastnost dodržena, je důležité, aby byl při vytváření drážky vždy alespoň jeden zub v záběru. Pro splnění této podmínky je nutné, aby byly nastaveny potřebné podmínky. Takovou podmínkou je dostatečná hloubka řezu, která nesmí být příliš malá vzhledem k počtu zubů. Zároveň musí být dostatečně malá úhlová rozteč mezi zuby, aby zuby zabíraly co nejdříve po sobě. Tyto podmínky společně s optimálním posuvem na zub a dostatečným úhlem opásání zaručují, že je v záběru vždy alespoň jeden zub a řez je stabilní. [5]

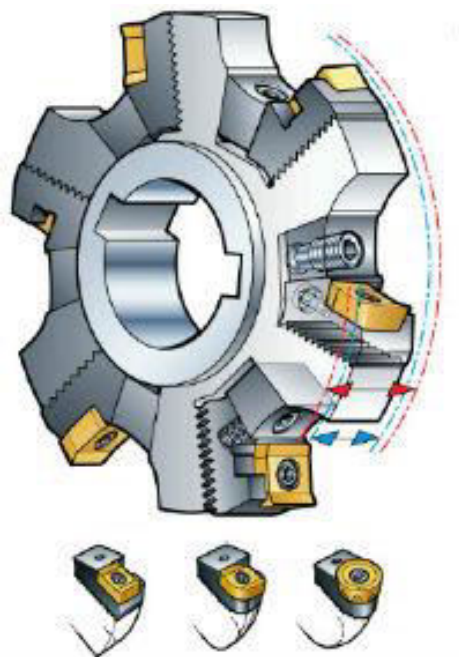


Obr. 12 Různé hloubky řezu při výrobě drážky kotoučovou frézou

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [3]

Obrázek ukazuje výrobu drážek s různou hloubkou. Břity, z nichž vždy alespoň jeden musí být v řezu, jsou zobrazeny žlutě. Červené šipky znázorňují, jak je potřeba upravit posuv na zub při dané změně hloubky řezu. Pokud se hloubka řezu sníží, je třeba pro udržení stability zvýšit posuv na zub. Naopak pokud se hloubka řezu zvýší, je třeba posuv na zub snížit. Dodržování těchto zásad, společně se splněním výše uvedených by mělo zaručit dostatečnou stabilitu řezu.

Právě, protože kotouč zajišťuje relativně pomalé zasetí do řezu a rychlý postup v řezu drážky, je metoda kotoučového drážkování nejproduktivnější pro tvorbu dlouhých, přímých a otevřených drážek. Tato vlastnost je navíc ještě umocněna možností vytvoření složeného nástroje a současné výroby více drážek na jedné ploše. [3]



Obr. 13 Kotoučová fréza s možností přesného nastavení VBD

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [12]

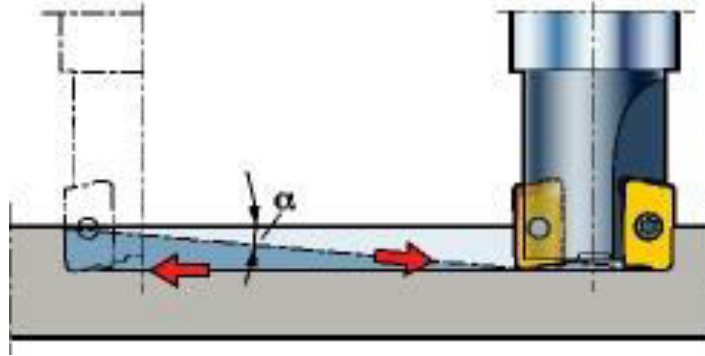
Tato kotoučová fréza umožňuje posuv svých břitů, v podobě vyměnitelných břitových destiček, ve směru osy frézy a tím měnit šířku drážky. Břítové destičky jsou uchycené na nástroji pomocí přípravku, který může po povolení upínacích šroubů jezdit ve směru osy nástroje. Umožňují mu to hřebenové drážky na nástroji. Čerchované zahnuté čáry znázorňují různé tloušťky dané drážky, modrou barvou je zobrazena užší, zatímco červená znázorňuje širší.

- Nejproduktivnější metoda pro tvorbu dlouhých, přímých a hlubokých otevřených drážek
- Kotoučovým frézováním nelze vytvářet drážky nelineární, uzavřené a drážky takové, které jsou u dna širší než u povrchu
- Kotoučové frézování je značně stabilní
- Kotoučové frézování umožňuje vytvoření složených nástrojů, které zvládají vytváření více drážek na téže ploše ve stejnou dobu (používají se frézy se střídavým uspořádáním)
- Při frézování kotoučovou frézou by měl být v záběru vždy alespoň jeden zub > zvolit optimální posuv na zub (u hluboké drážky se volí menší posuv na zub a naopak)
- V závislosti na hloubce drážky se volí průměr a počet zubů kotoučové frézy
- Pro vyšší kvalitu boků drážky se využívají frézy s možností přesného axiálního nastavení VBD upnutých v kazetách

3.2. Drážkování stopkovou frézou

Drážkování stopkovou frézou je metoda výroby drážek do součásti pomocí stopkové frézy, dochází zde k odebrání materiálu pomocí čela i obvodu stopkové frézy. Osa frézy je kolmá k obráběné ploše, právě proto se jedná o čelní frézování. Díky tomu, že dochází k vytváření povrchu čelem i bokem frézy lze touto metodou vytvářet složitější tvary drážek než již popsanou metodou kotoučového drážkování. 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 stroj umožňoval. Frézka musí být vybavena otočným stolem, nebo musí být řízena číslicově, lépe počítačově. [5], [15], [4]

Protože je stopková fréza 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 nichž 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 zahlubování eliminuje potřebu vrtáků pro zahlubování, 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 je to možné. [11], [16], [14]

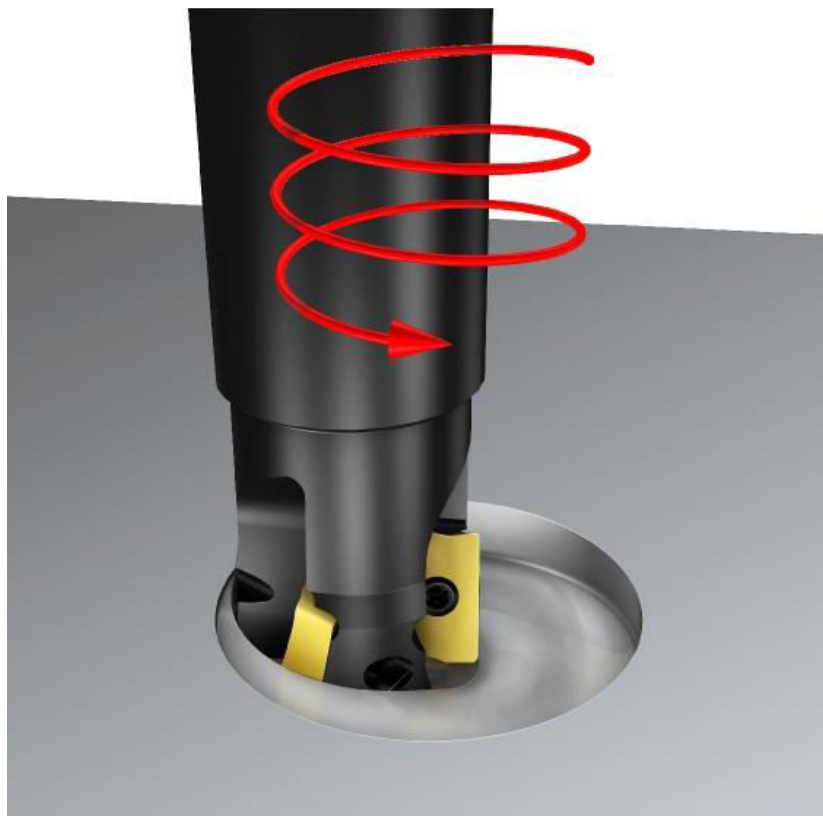


Obr. 14 Metoda postupného zanořování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [14]

Výroba uzavřené drážky nebo dutiny metodou postupného zanořování je náročný proces, při kterém dochází k řezání obvodem nástroje a čelem nástroje. Destičky rezného nástroje při tomto procesu nevyjíždějí z řezu a jsou tím hodně zatěžovány. Na obrázku jsou dvě červené šipky, první, ukazující směr vpravo dolů značí zajištění stopkové frézy do řezu. Fréza nejprve odebere vrstvu materiálu, které je na obrázku zobrazena světlou modrou barvou. Její další pohyb značí šipka ukazující doleva. Při této druhé fázi dochází k dokončení drážky a je odebrán materiál trochu tmavší modré barvy.

Při zahlubování pomocí šroubovicové interpolace dochází současně ke kruhovému pohybu a axiálnímu postupnému zanořování frézy. V porovnání s předchozí metodou umožňuje mnohem klidnější průběh díky menšímu axiálnímu záběru a lepší odvod třísek z řezu. [16]

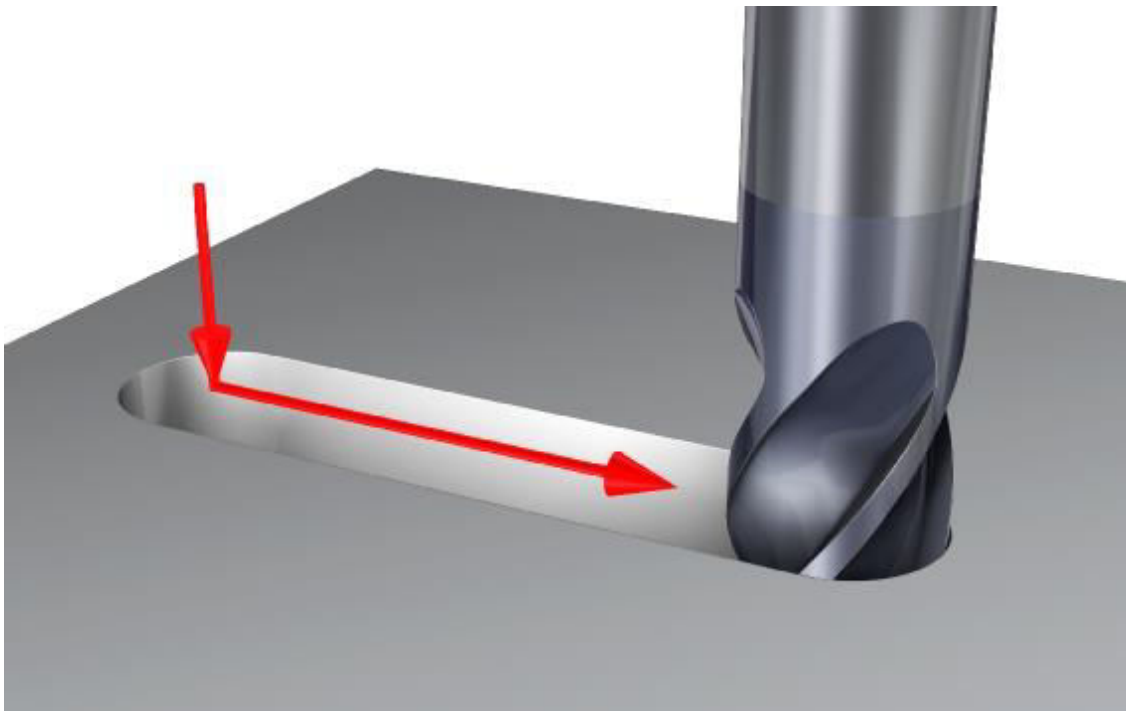


Obr. 15 Zanořování šroubovicovou interpolací

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [16]

Na obrázku je červená šipka, která ukazuje šroubovicový pohyb frézy při zahlubování do drážky, průměr frézy musí být menší než šířka drážky, kterou chceme vyrobit, aby bylo možné šroubovicový pohyb konat. Díky tomu, že je průměr frézy menší než průměr díry, kterou vytváří, je umožněn lepší odvod třísek z řezu.

Zahloubení frézy může proběhnout i zavrtáním frézy, tato metoda ale není příliš vhodná, protože při jejím průběhu vznikají dlouhé třísky, které se z řezu špatně odvádějí, a na nástroj působí nežádoucí síly. Proto se používá v jen případech, kdy situace neumožňuje využití ostatních metod, tyto situace nastávají když: je uzavřená drážka příliš úzká nebo stroj nedovoluje metodu postupného zahlubování. [17]



Obr. 16 Zanoření do drážky zavrtáním

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [17]

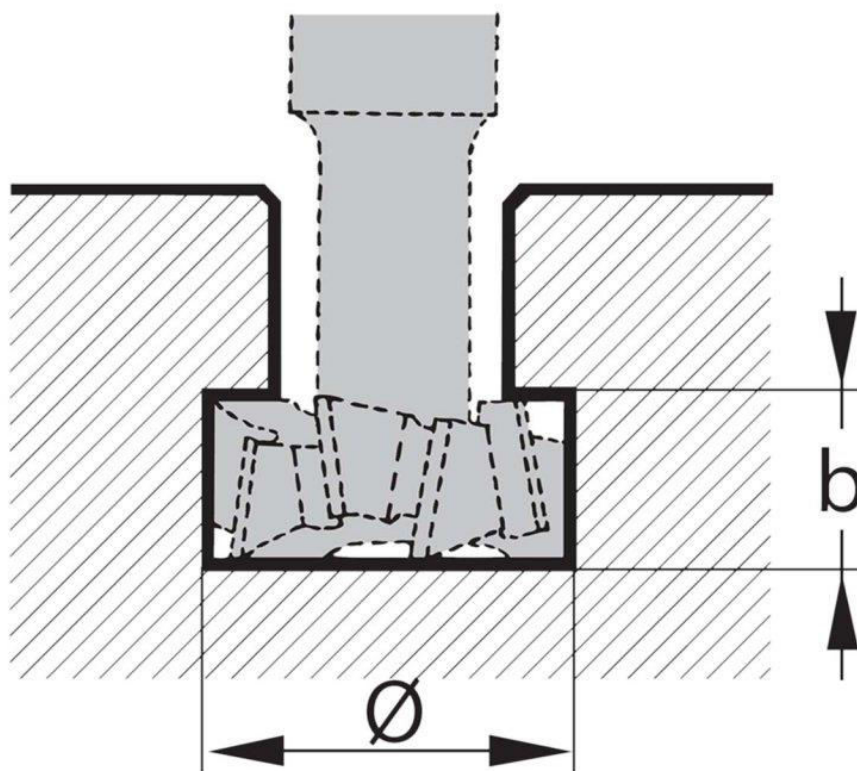
Na obrázku jsou dvě šipky znázorňující pohyb frézy při tvorbě drážky stopkovou frézou při použití zanoření do řezu zavrtáním. Šipka jdoucí přímo dolů značí zavrtání frézy do plné hloubky drážky v obrobku. Šipka vodorovná ukazující vpravo značí samotný proces tvorby drážky, kdy fréza vytváří délku drážky, již však nedochází k jejímu dalšímu zanořování.

Po samotném zanoření do řezu je samozřejmě důležitý také vlastní princip tvorby drážky. Pokud máme frézu, jejíž průměr je menší než požadovaná tloušťka drážky, je nutné projet drážku nejprve uprostřed v celé délce a až poté objet boky drážky bokem stopkové drážky tak, aby vznikla drážka o požadované tloušťce. Tento postup volíme, pokud požadujeme velmi přesné rozměry a vysokou jakost boků drážky. Právě při objíždění boků drážky a jejím dokončování nedochází k velkému namáhání a řez je stabilní. Pro tento postup při použití frézy menšího průměru než je šířka drážky je potřeba NC stroj, který dokáže vést frézu po

daných drahách. Pokud vytváříme drážku frézou o stejném průměru, jako je šířka drážky, je postup daleko jednodušší, ale není tolik přesný. Fréza jen zajede do řezu a poté projede drážku v celé požadované délce, následně vyjíždí z řezu a drážka je hotová.

Kinematika stroje při vytváření drážky stopkovou frézou dovoluje i vyrobení drážky zakřivené. Stopková fréza je obecně velmi všestranná a lze s ní vyrobit velké množství prvků, například nějaký nápis v podobě drážky nebo vystoupenutí na součásti. [5], [4]

Na rozdíl od kotoučové frézy umožňuje stopková fréza relativně rychlé zasetí do řezu ale poté pomalejší postup v řezu oproti frézě kotoučové. Výroba drážek pomocí stopkových fréz je vhodnější spíše pro krátké drážky, než pro dlouhé drážky.

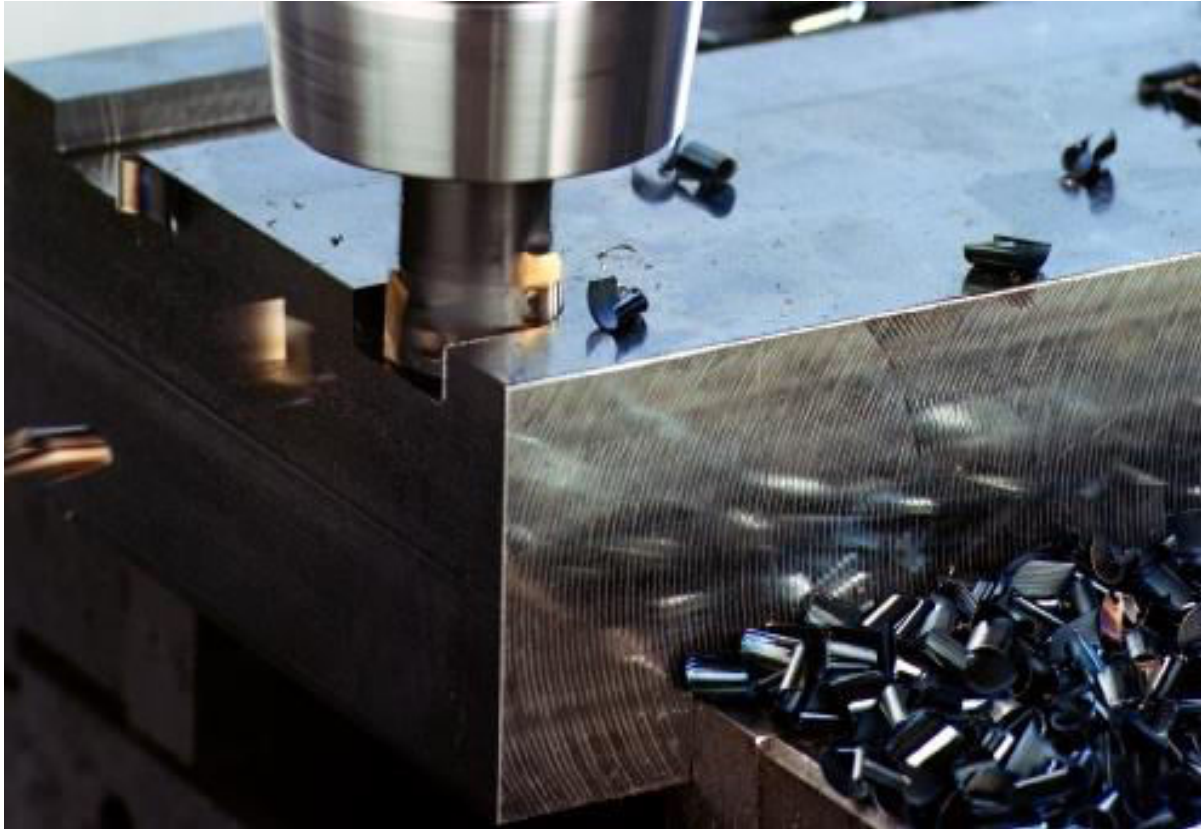


Obr. 17 Tvorba drážky širší u dna než u povrchu

Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [13]

Na obrázku lze vidět vytváření drážky, která je u dna širší než u povrchu. Je podmínkou, aby drážka byla otevřená a fréza mohla zajet do řezu. V tomto případě se jedná o T-drážku.

Kvůli poloze frézy vůči obrobku a jejich vzájemné kinematice jsou stopkové frény velmi náchylné na ohyb, je nutné, co nejvíce je to možné, snížit vyložení nástroje, čímž se sníží ohybový moment působící na nástroj. [4]



Obr. 18 Výroba drážky stopkovou frézou

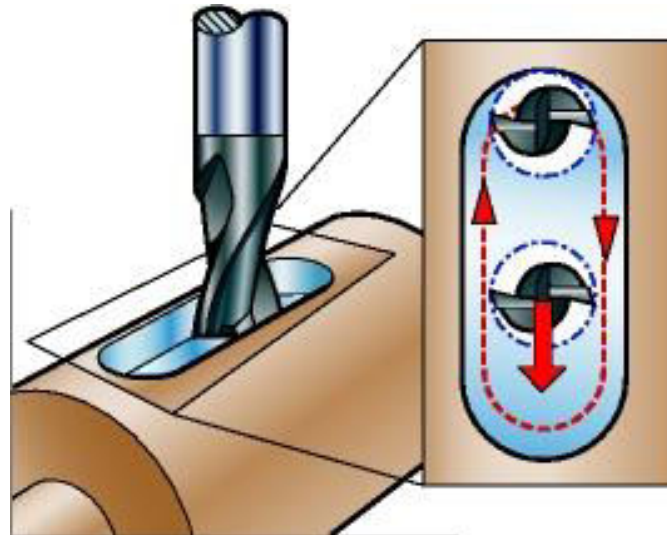
Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [15]

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

- Frézování použitím stopkové drážky využíváme, pokud chceme vytvořit uzavřené drážky, drážky pro pero a drážky, které jsou u dna širší než u povrchu
- Jsou vhodnější zejména pro kratší a mělké drážky
- Tento typ výroby drážkování umožňuje i výrobu uzavřených drážek, které jsou zakřivené nebo úhlové, je také možné vytvořit dutiny (uzavřené drážky širší než průměr nástroje)
- Uzavřené drážky nebo dutiny se mohou vyrábět třemi způsoby (zahlabování po šroubovici, postupné zahlabování a zavrtávání) nejpoužívanější je postupné zahlabování
- Zavrtávání se používá spíše pro mělké a úzké drážky
- Stopkové frézy jsou náchylné na ohyb a vibrace při frézování, proto je třeba maximálně snížit vyložení nástroje, aby na něj působil co nejmenší ohybový moment, to především při velkých rychlostech obrábění
- Limitující může být tuhost stroje a odvádění třísek z řezu, aby nedocházelo k poškození povrchu

3.2.1. Frézování drážek pro pero

Drážky pro pero přenášejí spolu s vloženým perem krouticí moment mezi nábojem a hřídelí, v místě styku pera s drážkou, tedy na jejím boku, nesmí být vůle, aby mohlo docházet k plynulému přenosu momentu. Výroba drážek pro pera je velmi přesný proces, při němž je nutné dodržet správný postup. [15], [19]



Obr. 19 Frézování drážky pro pero

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [15]

Při výrobě drážky pro pero se nejprve hrubuje prostředek drážky, čímž se vytvoří hrubý tvar drážky bez potřebné přesnosti a rozměrů. Následuje dokončování boků drážky, které se provádí bokem stopkové frézy podél celého obvodu drážky. Tímto procesem se zaručí jakost boků drážky, ale i co nejvíce pravoúhlé rohy mezi dnem a boky drážky. [15]

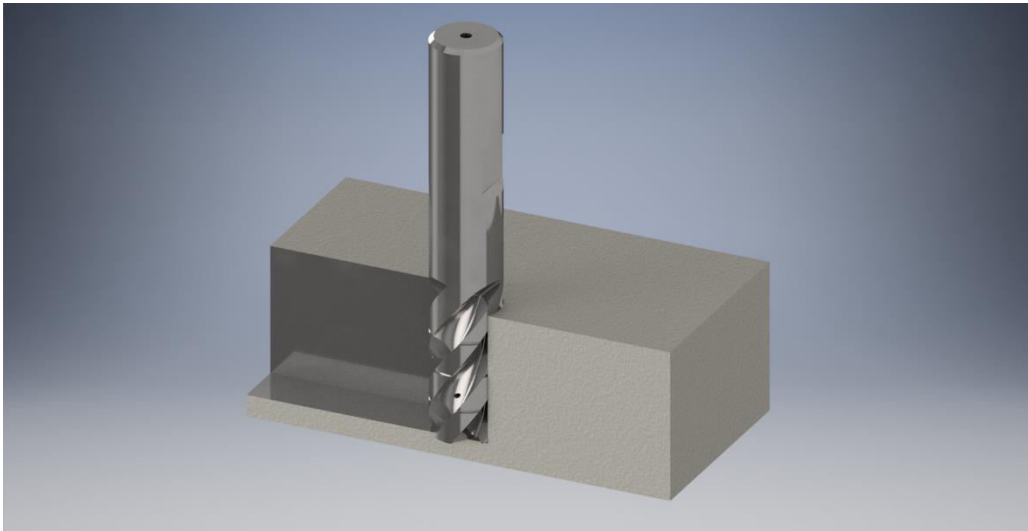
- na drážky pro pera jsou kladeny velké požadavky a je třeba je frézovat správným způsobem aby dosáhly požadovaných vlastností
- drážky pro pero by měly mít co nejvíce pravoúhlé rohy, proto se tato operace provádí ve dvou krocích

První krok: hrubování prostředku drážky v plném materiálu

Druhý krok: dokončování povrchu drážky bokem stopkové frézy [15]

4. Frézování bokem frézy

Frézování bokem frézy, také stranové frézování, je druh frézování, při kterém fréza odebírá materiál zuby na svém obvodu a to právě tak, že jsou využívány zuby, které leží na přímce a v její blízkosti, která je kolmá na směr posuvu frézy či obrobku. Používání právě tohoto způsobu má své podstatné výhody. [21]



Obr. 20 Obrábění bokem frézy

Na obrázku 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, pro zvětšení hloubky řezu je potřeba posunout frézu více do obrobku. Naopak pro zmenšení hloubky řezu ji stačí posunout více z obrobku, aby ubírala menší vrstvu materiálu.

Obrobený povrch by měl mít co nejlepší kvalitu, proto je vhodné, aby se fréza v řezu příliš nechvěla a nevíbrovala, právě tyto jevy 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 tříška, která se musí vejít do mezery mezi zuby. Avšak když při stranovém frézování je úhel opásání několikrát menší, je umožněno ale zároveň i doporučeno použít frézu s větším počtem zubů, která má sice menší prostor na třísku, ale šířka zdaleka nedosáhne takového objemu, jako tomu bylo v předešlém případě. Díky zvětšení počtu zubů můžeme zvýšit posuv. Větší počet zubů na fréze nám umožní, aby vždy byl alespoň jeden zub v záběru. Měla by být splněna podmínka, že 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. 21 Frézování bokem frézy se zuby ve šroubovici

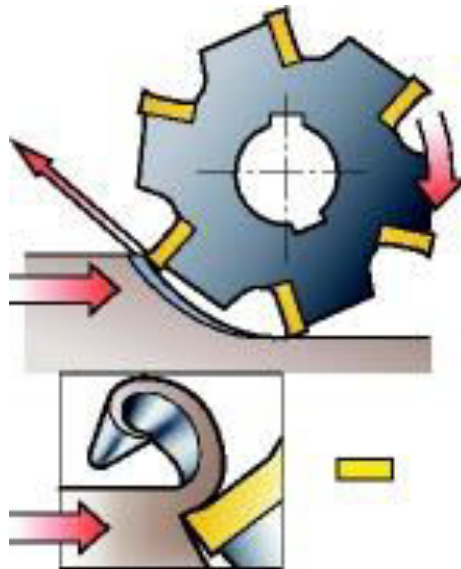
Na obrázku lze vidět použití frézy se zuby ve šroubovici při stranovém frézování. Díky použití této frézy nebude docházet k tak velkým vibracím, řez bude probíhat klidněji, a povrch bude kvalitnější.

Aby bylo obrábění co nejehospodárnější, je zapotřebí používat daný nástroj při optimálních podmínkách. Optimalizace se dají rozdělit na dva způsoby, optimalizace pro minimalizaci nákladů, a optimalizace pro minimální čas. Optimalizace pro minimalizaci nákladů se zaměřuje na hledání rozumného kompromisu mezi snižováním řezného výkonu, tedy vykonané práce, a trvanlivostí nástroje, do této závislosti navíc vstupují hodinové náklady na provoz stroje. Z toho vyplývá: pokud se sníží řezné podmínky na minimum, aby nástroj vydržel co nejdéle, bude se vyrábět za hodinu málo kusů a náklady na kus rapidně zvednou náklady na stroj. V opačném případě se bude nástroj rychle znehodnocovat a bude se muset přeastřovat a následně kupovat nový. Nejlepší proto najít tzv. zlatou střední cestu a zvolit optimální řezné podmínky. Záleží i na ceně stroje a nástrojů, pokud se používají drahé speciální nástroje ale levný stroj, je výhodnější snížit řezné podmínky, aby nedocházelo k znehodnocování nástrojů tak rychle, stroj je levný a náklady na kus nám příliš nezvedne. Při použití drahého stroje ale levných nástrojů je tomu přesně naopak.

Druhým způsob optimalizace pro minimální čas se používá při časové tísni, kdy při nedodržení termínu hrozí penále. V tomto případě je výhodnější si připlatit za výrobu součástí, ale stihnout termín a neplatit penále, které bývá nemalé a pro malé firmy může být nesnesitelné. Tato optimalizace se zaměřuje na určení takových řezných podmínek, by výroba součástí byla co nejrychlejší, není však rozumné poslat frézu do řezu a znehodnotit ji během krátké chvíle, protože by se poté fréza musela přeastřovat a zdržovala by se tím

výroba. Důležité je najít optimální variantu, aby výroba probíhala rychle, ale zároveň, aby fréza vydržela při těchto řezných podmínkách rozumně dlouho.

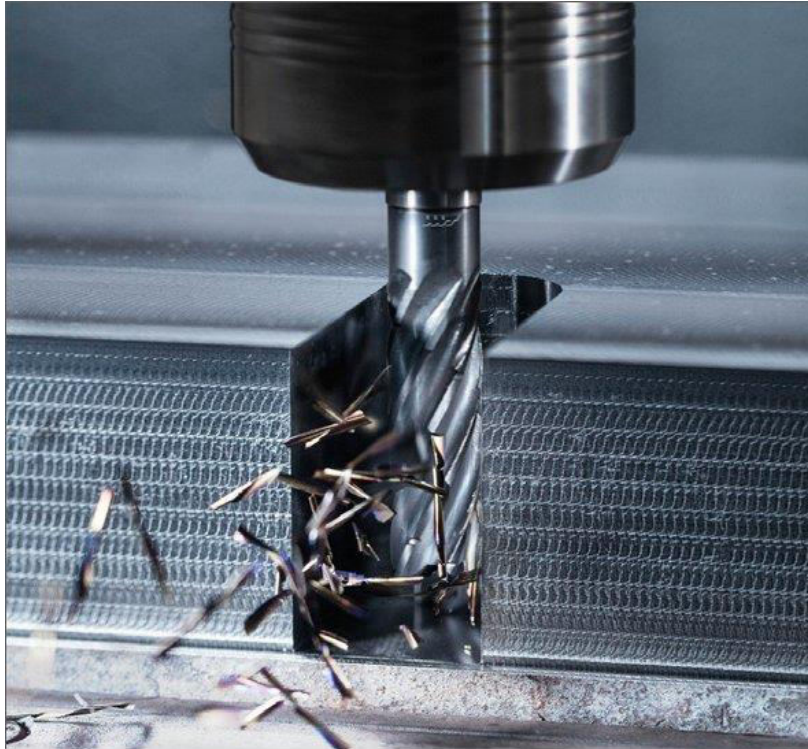
Na břity jsou kladeny velké nároky právě při vstupu do řezu, ale také při výstupu z řezu, a ačkoliv se to zdá nelogické, můžou být při výjezdu z řezu zatěžovány dokonce více než při vstupu do řezu. Při použití vhodných řezných podmínek nehrozí vylomení břitu. [24]



Obr. 22 Zatížení břitů při frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek firmy Sandvik ze zdroje [9]

Na tomto obrázku si lze snadno představit postupně rostoucí zatížení břitů, kdy při výstupu břitů z řezu bude toto zatížení největší a je důležité dbát na správnou volbu řezných podmínek, aby nedocházelo k vylamování břitů. Tlusté červené šipky značí vzájemné otáčivé a posuvné pohyby frézy a obrobku, zatímco hubená červená šipka znázorňuje sílu působící na obrobek, stejná síla s opačnou orientací působí na břity frézy.[9]

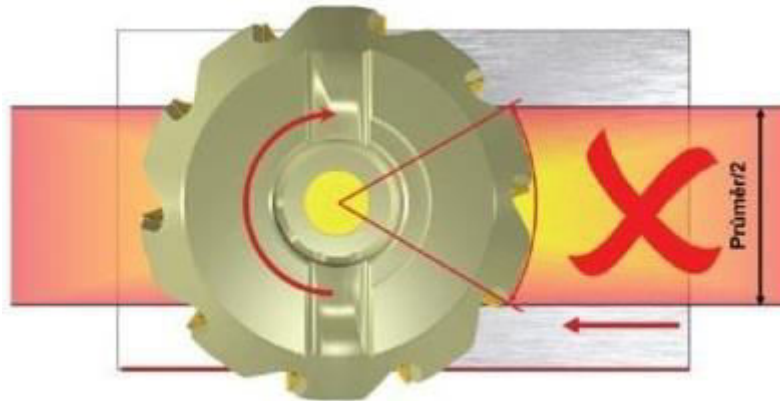


Obr. 23 Frézování bokem frézy

Fotografie je převzatá z internetových stránek ze zdroje [22]

Na fotografii je zobrazeno frézování bokem stopkové frézy, která má zuby uspořádané do šroubovice. Zároveň je zachyceno co nejmenší vyložení nástroje, které zajišťuje maximální tuhost soustavy. Pro lepší odvod třísek z řezu je nástroj vybaven děliči třísek, které lámou třísky na kratší části, které poté lépe odcházejí z řezu.

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 k 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 je označován výstupní úhel v rozmezí přibližně $+30^\circ$ až -30° . Tento jev byl dokázán experimentálně [24] 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. [24]



Obr. 24 Nebezpečná zóna

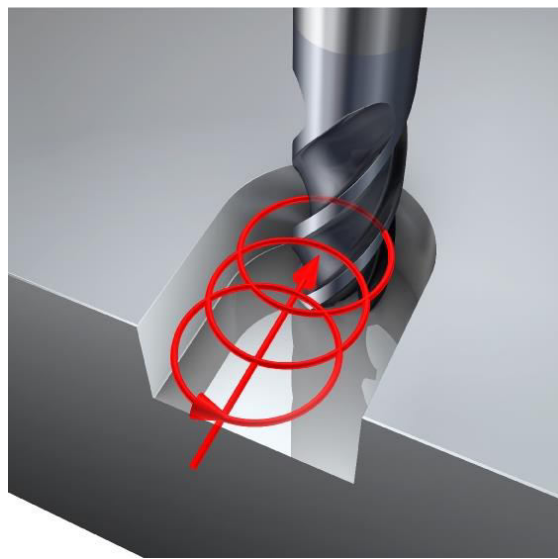
Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [24]

Na obrázku 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 frézování, by mělo docházet ještě před oblastí nebezpečné zóny.

- Hlavním cílem při bočním frézování je nastavení optimálního posuvu na zub.
- 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 rezní podmínky – trochoidní frézování.

4.1. Trochoidní frézování

Zvláštním případem bočního frézování je Trochoidní frézování. Tento způsob frézování mohl vzniknout díky pokroku a úrovni současných CNC strojů, které jsou schopny vypočítávat 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 a je taktéž možné značně zvýšit jeho posuvovou rychlost, při dosažení delší životnosti nástroje. [26], [27] Protože je fréza opásána velmi malým úhlem opásání, je pro její v řezu důležité, ale byl v záběru vždy alespoň jeden zub, čehož se dá dosáhnout, jak již bylo vysvětleno výše, použitím jemnozubé frézy a uspořádáním zubů frézy do šroubovice.

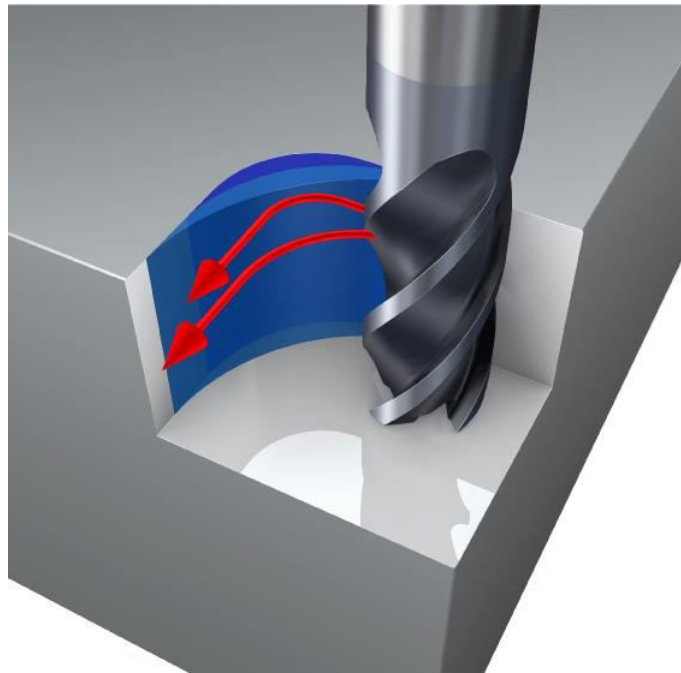


Obr. 25 Dráha nástroje při trochoidním frézování

Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [27]

Na obrázku jsou červenými šipkami znázorněny pohyby, které koná fréza při trochoidním frézování. Pohyb po kruhových interpolacích se skládá, jak naznačuje obrázek, z pohybu po kružnicích a současného pohybu vpřed. Díky těmto pohybům odřezává fréza materiál po velmi malých vrstvičkách, ale při rychlém posuvu. Odřezávání malých vrstev materiálu zatěžuje frézu jen velmi málo.

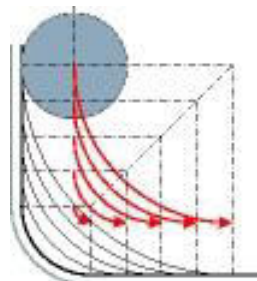
Právě tyto změny podmínek při frézování způsobují, že zde působí malé radiální řezné síly, čímž se zvýší stabilita řezu, je tedy omezeno chvění i odtlačení nástroje od obrobku. Zvýšení řezné rychlosti a snížení tloušťky třísky způsobuje redukcí množství tepla v místě řezu. Minimální tloušťka odřezávané vrstvy umožňuje prodloužení hloubky řezu právě proto, že je zvýšena stabilita řezu zmenšením tloušťky třísky. [22]



Obr. 26 Frézování rohů trochoidním frézováním

Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [27]

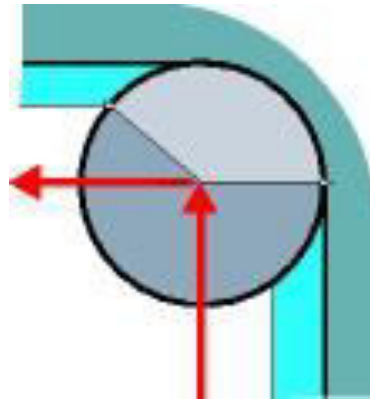
Obrázek názorně ukazuje postup frézování rohů při použití Trochoidního frézování. Fréza nezajede do rohu najednou a nedochází k přetěžování nástroje, namísto toho fréza obrábí roh postupně po tenkých vrstvách. [27]



Obr. 27 Trochoidní frézování rohů

Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [27]

Na obrázku 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 odebírat 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.

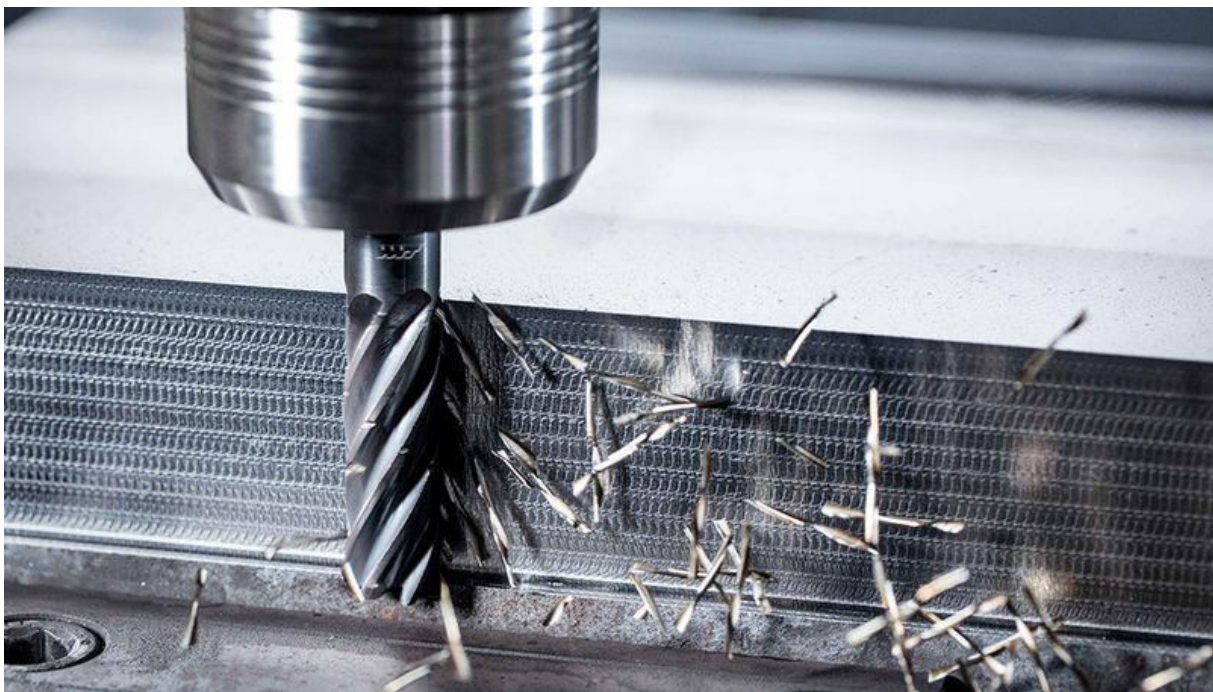


Obr. 28 Klasické frézování rohů

Obrázek je převzatý z internetových stránek ze zdroje [27]

Na obrázku 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.

Trochoidní frézování se využívá u bočního frézování právě proto, že je možné snadno měnit polohu frézy vůči obrobku, tedy ovlivňovat tloušťku třísek. [21]



Obr. 29 Trochoidní frézování

Fotografie je převzatá z internetových stránek ze zdroje [25]

Na fotografii lze pozorovat, boční přísuv nástroje k obrobku je velmi malý, až neznatelný. Na nástroji jsou lamače třísek, které rozdělují jednotlivé třísky na menší kusy, které poté lépe odcházejí z řezu. [25]

- Stroj musí umět dopočítávat dráhy nástroje
- Delší životnost nástroje
- Rychlejší proces obrábění
- Možnost větší hloubky řezu
- Větší stabilita v řezu

5. Závěr

Práce se věnovala popisu různých druhů frézování a jejich výhodám či nevýhodám. Zároveň bylo popsáno, jaké druhy nástrojů by se měly používat pro dané operace a jaké zásady by se měly při různých způsobech frézování dodržovat, aby nedocházelo k nepřesnému obrábění.

První kapitola se soustředila na základní informace o frézování a je v ní rozdělena frézování podle různých hledisek. Dále rozlišuje základní druhy fréz a popisuje jejich hlavní výhody, nevýhody a možnosti použití. Druhá kapitola je zaměřena porovnání sousledného a nesousledného frézování, v závěru se nedá určit, jaký způsob je lepší, ale pouze doporučit daný způsob pro určité typy frézovacích operací. Následující kapitola se soustředí na výrobu drážek pomocí kotoučových fréz a pomocí stopkových fréz. Obě metody jsou vhodné na tvorbu jiných druhů drážek, některé speciální typy drážek vyžadují pro svou výrobu jen jeden určitý způsob výroby. Předposlední kapitola je zaměřena na frézování bokem frézy a popisuje přednosti této metody vůči klasickému frézování. Součástí práce je i vývojový diagram na výpočet řezných podmínek při frézování, jenž se stane hlavním podkladem pro tvorbu aplikace na výpočet řezných podmínek. Aplikace bude sloužit zákazníkům firmy jako nástroj pro ulehčení určení řezných podmínek.

Práci mohou využívat technologové jako pomůcku při výběru nástrojů či způsobu výroby. Pomocí ní se mohou rozhodnout, jaký typ je pro danou výrobu nejoptimálnější a jaké vhodné řezné podmínky zvolit s ohledem na náklady nebo časovou tíseň.

Seznam použitých zdrojů:

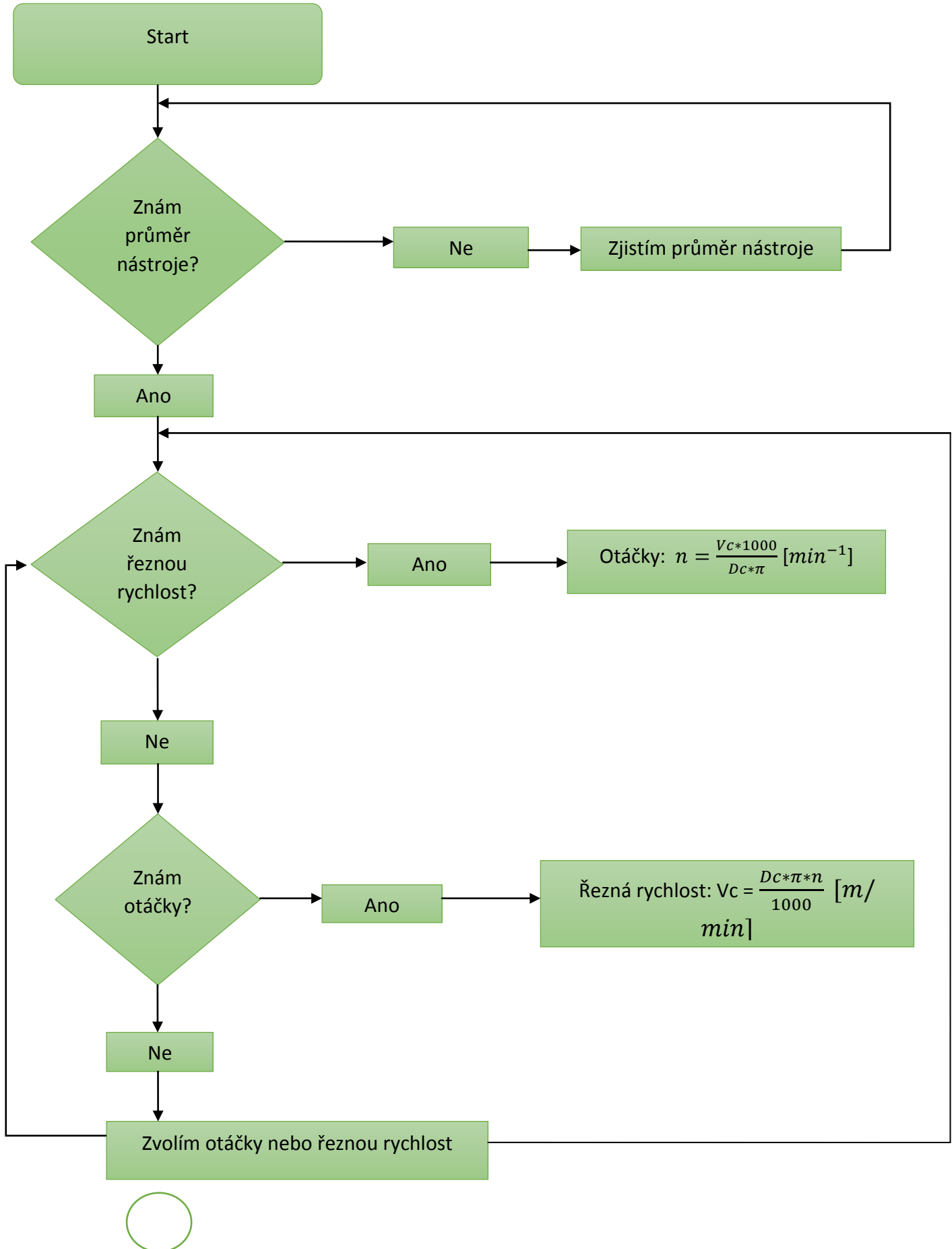
- [1] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [2] SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-823-4.
- [3] Sandvik, 1. 12. 2016, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/side_and_face_milling/pages/default.aspx
- [4] Sandvik, 5. 3. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/end_milling_of_slots
- [5] T-support, 2. 11. 2016, <https://www.t-support.cz/kat/frezovani-ii-8>
- [6] Publi, 6. 11. 2016, <https://publi.cz/books/182/04.html>
- [7] MM Spektrum, 3. 2. 2017, <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/kotoucove-frezy-pro-kazdou-aplikaci.html>
- [8] Unicut, 5. 4. 2017, <http://www.unicut.cz/cms/registered/sousledne-nesousledne>
- [9] Sandvik, 9. 2. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx
- [10] CNC konstrukce, 25. 4. 2017, <http://www.cnckonstrukce.cz/novinka-121/kotoucova-freza-s-nastavitelnou-sirkou-rezu.html>
- [11] Sandvik, 26. 3. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/creating_openings/pages/default.aspx
- [12] Sandvik, 15. 1. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_331/Pages/default.aspx
- [13] Grumant, 25. 11. 2016, <http://eshop.grumant.cz/hss-2/hrubovaci-a-dokonc--freza-na-t-drazky-32x14-mm-garant/>
- [14] Sandvik, 6. 3. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/two_axes_ramping_linear/pages/default.aspx
- [15] Sandvik, 18. 2. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/end_milling_of_slots
- [16] Sandvik, 18. 3. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/circular_ramping/pages/default.aspx

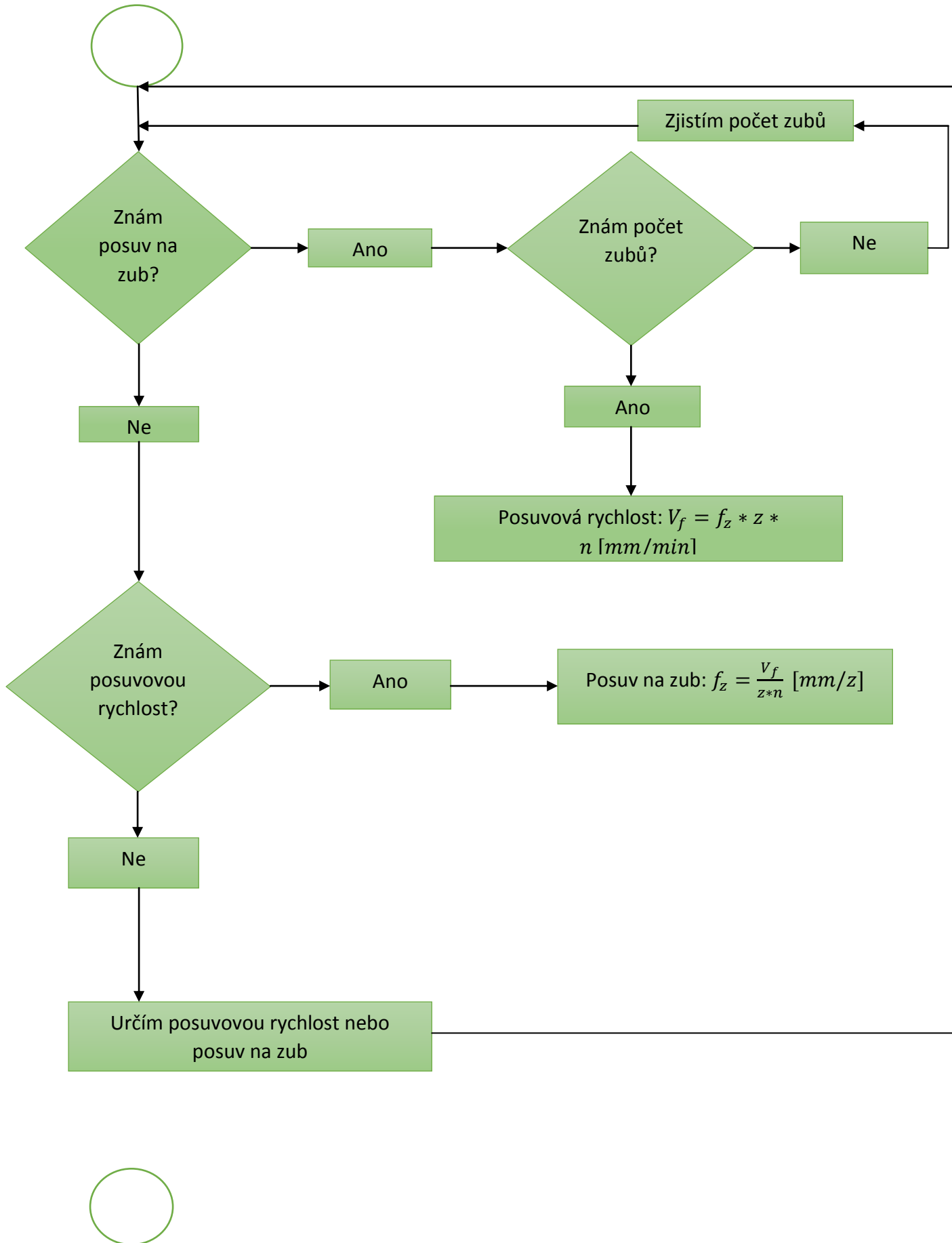
- [17] Sandvik, 15. 3. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/peck_milling/pages/default.aspx
- [18] Sandvik, 10. 2. 2017, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/pages/default.aspx
- [19] Wikipedia, 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))
- [20] Sandvik, 20. 11. 2016, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/overview/pages/default.aspx
- [21] Sandvik, 18. 12. 2016, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/edging#4
- [22] Technickytydenik, 11. 12.2016, http://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/evoluce-v-trochoidnim-frezovani_37342.html
- [23] WNT, 25. 3. 2017, <https://www.wnt.com/cz/zpravy/evoluce-v-trochoidnim-frezovani-925.html>
- [24] MM Spektrum 9. 10. 2017, <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-kompenzacni-pristup-pri-frezovani-poloha-frezy.html>
- [25] Technický týdeník 19. 12. 2016, http://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/evoluce-v-trochoidnim-frezovani_37342.html
- [26] MM Spektrum, 6. 11. 2017, <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-dynamicke-frezovani-vyuziti-kompenzacniho-pristupu.html>
- [27] Sandvik 12. 12. 2016, http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/slicing_methods/pages/default.aspx
- [28] Základní metody obrábění, 2. 1. 2017, http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf
- [29] Eluc, 15. 4. 2017, <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1230>
- [30] Technologie frézování, 6. 10. 2016, http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf
- [31] ZOZEI, 1. 11. 2017, <http://zoei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/druhy-frezovani.jpg>

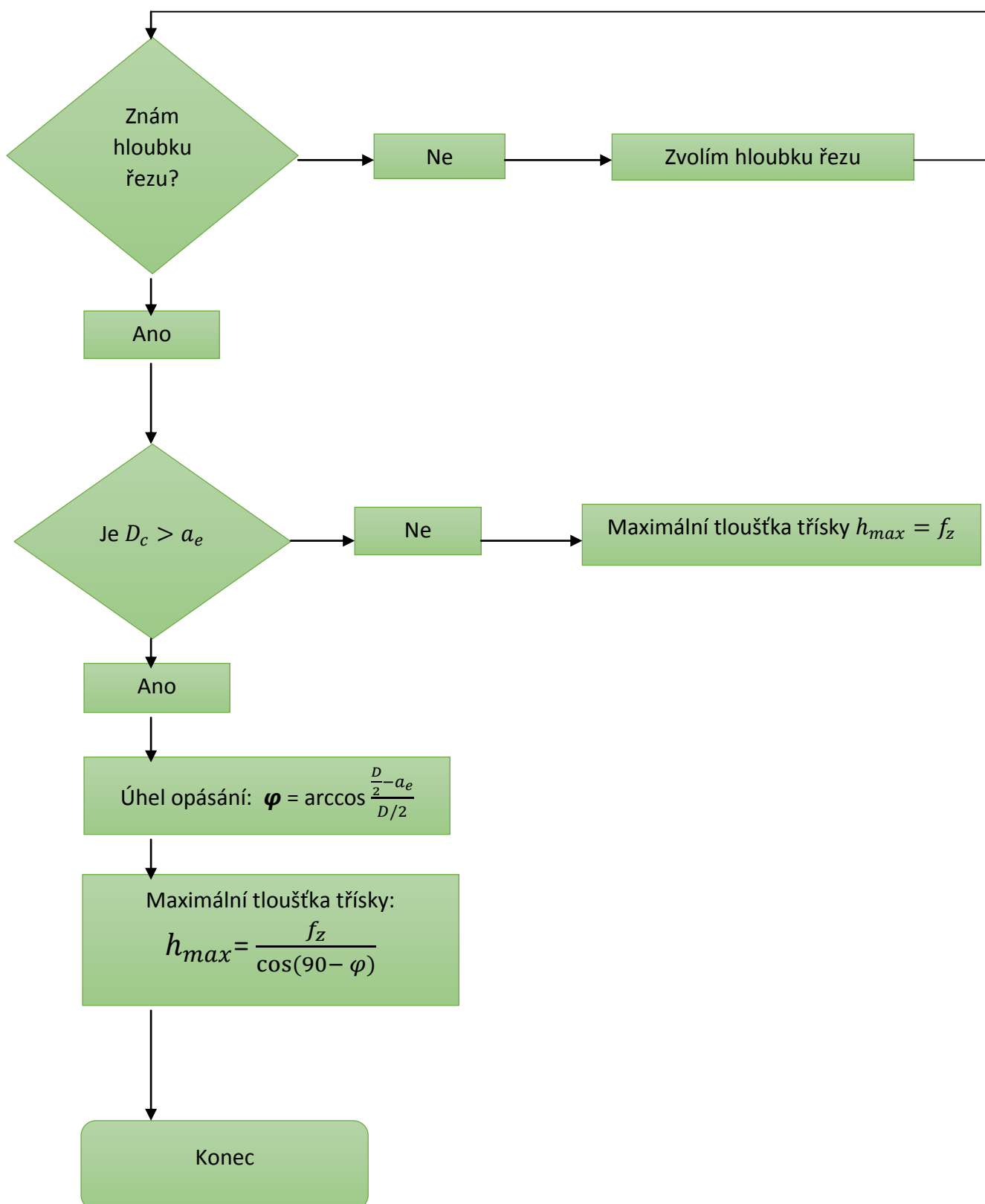
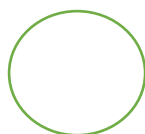
Seznam obrázků:

Obr. 1 Poloha frézy vůči obrobku	8
Obr. 2 Frézování obvodem	9
Obr. 3 Čelní frézování	9
Obr. 4 Sousedné frézování	10
Obr. 5 Nesousedné frézování	11
Obr. 6 Sousedné frézování	12
Obr. 7 Nesousedné frézování	13
Obr. 8 Způsoby výroby drážek frézováním	15
Obr. 9 Způsoby výroby drážek frézováním	16
Obr. 10 Výroba drážky kotoučovou frézou	17
Obr. 11 Složený nástroj	18
Obr. 12 Různé hloubky řezu při výrobě drážky kotoučovou frézou	19
Obr. 13 Kotoučová fréza s možností přesného nastavení VBD	20
Obr. 14 Metoda postupného zanořování	21
Obr. 15 Zanořování šroubovicovou interpolací	22
Obr. 16 Zanoření do drážky zavrtáním	23
Obr. 17 Tvorba drážky širší u dna než u povrchu	24
Obr. 18 Výroba drážky stopkovou frézou	24
Obr. 19 Frézování drážky pro pero	25
Obr. 20 Obrábění bokem frézy	26
Obr. 21 Frézování bokem frézy se zuby ve šroubovici	27
Obr. 22 Zatížení břitů při frézování	28
Obr. 23 Frézování bokem frézy	29
Obr. 24 Nebezpečná zóna	30
Obr. 25 Dráha nástroje při trochoidním frézování	31
Obr. 26 Frézování rohů trochoidním frézováním	31
Obr. 27 Trochoidní frézování rohů	32
Obr. 28 Klasické frézování rohů	32
Obr. 29 Trochoidní frézování	33

Příloha: Vývojový diagram na výpočet řezných podmínek při frézování







ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít LAUDÁT**

Osobní číslo: **S14B0173P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**

Název tématu: **Tvorba technické části katalogu fréz**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Rešerše zásad použití frézovacích nástrojů
2. Tvorba textu podle výsledků rešerše
3. Tvorba vývojového diagramu na výpočet řezných podmínek
4. Porovnání trvanlivosti přestřehovaných nástrojů s novými nástroji
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- SOVA, František. **Technologie obrábění a montáže. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-7082-449-2.**
- ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. **Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.**
- <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>

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

Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Němec**

Navel s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2016**

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



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. října 2016