



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE CAM SOFTWARE HYPERMILL 2021.2 SP3 PŘI OBRÁBĚNÍ

APPLICATION OF THE HYPERMILL 2021.2 SP3 CAM SOFTWARE FOR MACHINING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Rais

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Tomáš Rais
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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

Aplikace CAM softwaru hyperMILL 2021.2 SP3 při obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dnešních strojírenských podnicích se velmi úspěšně prosazuje příprava programů pro CNC stroje prostřednictvím CAM softwarů. Tato závěrečná práce je proto zaměřena na návrh tvarově podobné součástky, jako se vyrábí ve firmě Shaeffler Production CZ s.r.o., zpracování nezbytné výrobní dokumentace a naprogramování její výroby v CAM softwaru hyperMILL. Kontrola vyrobitelnosti součásti je především formou grafické simulace v prostředí CAM softwaru.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současných možností programování v softwaru hyperMILL 2021.2.

Systémový rozbor řešené problematiky.

Vytvoření základní technické dokumentace k navrženému obrobku.

Technicko-ekonomická analýza navrženého postupu obrábění.

Ověření technologičnosti konstrukce grafickou simulací.

Zdůvodnění zvoleného způsobu řešení a posouzení dosažených výsledků.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

PETR, Karel. Geometrické tolerance dle ISO GPS. Praha: Verlag Dashöfer, 2019. ISBN 978-80-7635-019-9.

MAREK, Tomáš a Jiří MAREK. RENISHAW, S. R. O. Mít sondu nestačí. Brno: Renishaw, 2017, 121 s. ISBN 978-80-87017-20-3.

GUPTA, Kapil, ed. Advanced manufacturing technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56098-4.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, [2017]. ISBN 978-0-444-63711-6.

DAVIM, J. Paulo, ed. Surface integrity in machining. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978-1-84882-873-5.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

DAVIM, J. Paulo, ed. Machining: fundamentals and recent advances. London: Springer, c2008, xiii, 361 s. ISBN 978-1-84800-212-8.

SREE HARSHA, K. Principles of physical vapor deposition of thin films. Amsterdam: Elsevier, 2006, 1160 s. ISBN 00-804-4699-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na tvorbu NC programu v softwaru hyperMILL. Vyráběná součást je upravena podle součásti vyráběné ve firmě Schaeffler Production CZ s.r.o. Pro tuto součást již byl vytvořen program pro obrábění, na základě kterého je vytvořen nový optimalizovaný program. Součástí práce je vytvoření základní technické dokumentace a podkladů nutných pro tvorbu NC programu. Konkrétně se jedná o model součásti, zjednodušený výkres součásti a seřizovací listy generované na základě nově vytvořeného NC programu. Pro ověření výsledků obráběcích operací a kontrolu pohybů stroje z důvodů zabránění kolizí slouží grafická simulace. V navrženém programu jsou pro výrobu uvažovány přebroušené nástroje, které se ve firmě začaly používat z důvodu jejich ceny. Mimo provedené optimalizace v programu určeného pro obrábění zvolené součásti, jsou v práci uvedeny vlastní závěry a doporučení pro praxi. Technické zhodnocení je zaměřeno na možné problémy vzniklé v důsledku používání přebroušených nástrojů. Ekonomické zhodnocení se následně zabývá stanovením úspor dosažených při používání přebroušených nástrojů.

Klíčová slova

hyperMILL, frézování, přebroušený nástroj, NC program, optimalizace

ABSTRACT

This Master's thesis is dealing with the design of the NC program in hyperMILL software. A machining program has been already created for this component based on which a new optimized program is created. The work includes technical documentation and documents necessary for the creation of the NC program. Specifically, a model of the part, a simplified drawing and setup sheets generated based on mentioned newly created NC program. In the designed optimized program, refined tools are considered for production, which started to be used in companies due to their price. The thesis contains author's own conclusions and recommendations for practice in addition to performed optimization in the program designed for machining the selected part. The technical evaluation focuses on possible problems related to the use of re-sharpened tools. The economic evaluation is then dealing with the estimation of savings achieved by the use of re-sharpened tools.

Key words

hyperMILL, milling, re-sharpened tools, NC program, optimization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAIS, Tomáš. *Aplikace CAM softwaru hyperMILL 2021.2 SP3 při obrábění* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139358>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Polzer.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Aplikace CAM softwaru hyperMILL 2021.2 SP3 při obrábění vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20.5.2022

Bc. Tomáš Rais

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Aleš Polzer, Ph. D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské/diplomové práce.

Také děkuji zaměstnancům z firmy Schaeffler Production CZ s.r.o, jmenovitě programátorům Petru Kovárovi a Zdenkovi Kobylkovi, za jejich postřehy a rady při tvorbě programu v softwaru hyperMILL a vedoucímu technického oddělení Tomáši Markovi za jeho pomoc při tvorbě mé diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 SYSTEMATICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	10
1.1 Optimalizace programu pro třískové obrábění	10
1.2 Ekonomické aspekty výroby	10
2 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ.....	11
2.1 Třískové obrábění,	11
2.2 Mechanismus tvorby třísky	11
2.3 Jednotková řezná síla.....	13
2.3.1 Jednotková měrná řezná síla.....	14
2.3.2 Koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky	14
2.3.3 Opravné koeficienty K_i	16
2.4 Teplo při třískovém obrábění	16
Vliv tepla	18
2.5 Využití řezných médií při třískovém obrábění	19
2.5.1 Důvody použití řezných médií	19
2.5.2 Vybrané druhy používaných řezných médií	20
2.6 Opatření řezných nástrojů	21
2.7 Frézování	23
Způsoby frézování	24
3 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY	28
3.1 Popis součásti	28
3.2 Posouzení technologičnosti součásti	28
3.3 Materiál součásti.....	30
3.4 Volba výrobní technologie	31
3.4.1 Zhodnocení využití technologie tváření	32
3.4.2 Zhodnocení využití aditivních technologií	32
3.4.3 Zhodnocení využití hybridních technologií.....	32
3.4.4 Zhodnocení využití třískového obrábění	33
3.4.5 Zvolená výrobní technologie	33
3.5 Volba polotovaru.....	33
3.6 Upnutí součásti	33
3.6.1 Přípravky pro upnutí	34
3.6.2 První ustavení	35
3.6.3 Druhé ustavení	35
3.6.4 Operace mimo obrábění.....	36
3.6.5 Třetí a čtvrté ustavení	36
3.7 Nástroje pro obrábění	36
3.7.1 Problematika při používání přebroušených nástrojů	36
3.7.2 Seznam použitých nástrojů.....	38
4 TVORBA NC PROGRAMU	39
4.1 Software hyperMILL.....	39

4.1.1	Možnosti využití technologických CAD aplikací v softwaru hyperMILL.....	39
4.1.2	Možnosti využití CAM aplikací v softwaru hyperMILL	39
4.1.3	Možnosti optimalizace drah v softwaru hyperMILL.....	42
4.1.4	Seznam operací.....	43
4.2	Tvorba obráběcích strategií pro první upnutí	44
4.2.1	Obrábění rohů součásti	44
4.2.2	Obrábění odvzdušňovacích drážek	44
4.2.3	Vyhodnocení obrobku pro první upnutí	45
4.3	Tvorba obráběcích strategií pro druhé upnutí	46
4.3.1	Hrubování horního tvaru	46
	Obrábění bočních stěn	46
	Obrábění kruhového vybrání	46
	Hrubování horního tvaru	48
4.3.2	Úprava drah pro čelní vybrání	49
4.3.3	Obrábění odvzdušňovacích drážek	49
4.3.4	Zhodnocení navrženého postupu obrábění	51
4.4	Tvorba obráběcích strategií pro třetí upnutí	51
4.4.1	Dokončení rovinných ploch.....	51
4.4.2	Dokončení tvarových ploch.....	52
4.5	Ověření technologičnosti konstrukce grafickou simulací	53
4.6	Vlastní závěry a doporučení pro praxi.....	54
4.6.1	Obrábění s velkým vyložení nástroje	54
4.6.2	Optimalizace kroku a posuvu na zub pro dokončení tvarových ploch při použití kulových fréz.....	56
4.6.3	Optimalizace postupu hrubovacích operací pro monolitní frézy.....	57
4.6.4	Broušení funkčních ploch.....	58
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	60
5.1	Technické zhodnocení	60
5.2	Ekonomické zhodnocení	60
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH	72

ÚVOD

Díky rozvoji CAD softwarů je dnes možné konstruovat tvarově výrazně složitě díly pro dosažení optimální konstrukce součástí. V důsledku toho se však také značně zvyšují nároky na provoz jednotlivých strojů určených pro výrobu těchto součástí. Pro technologii třískového obrábění jsou již dnes běžně používány číslíkově řízené stroje (dále jen NC stroje), jež mají dostatečně velkou pohybovou variabilitu, aby vyhovely dnešním požadavkům. Pro tvarově složitě dílce je však výroba natolik náročná, že není možné provést výrobu pouze za pomoci řídicího systému umístěného přímo na stroji. Pro řešení tohoto problému jsou dnes využívány CAM softwary, jež umožňují tvorbu programů pro velmi efektivní ovládání NC strojů. Díky těmto softwarům je možné využít plný potenciál obráběcího stroje a také předcházet nežádoucím jevům jako jsou vadné součásti či kolize jednotlivých částí stroje.

1 SYSTEMATICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tato práce je vyhotovena s podporou s firmy Schaeffler Production CZ s.r.o. s pobočkou v Lanškrouně s oddělením specializovaného na výrobu součástí technologií obrábění se zaměřením na kusovou a prototypovou výrobu. Pro technologie třískového obrábění firma disponuje moderním strojovým vybavením. Pro soustružení jsou používány NC soustruhy a pro technologie frézování spolu s vrtáním jsou využívána pětiosá frézovací centra. V kombinaci s využitím CAM programování je firma schopna plnit dnešní vysoké nároky na kvalitu vyráběných součástí. Mimo technologie určené pro třískové obrábění firma také disponuje vybavením pro elektroerozivní obrábění, a to jak pro obrábění vyjiskřováním za použití elektrod, tak pro elektroerozivní drátové řezáním.

Tato pobočka firmy se specializuje na kusovou a prototypovou výrobu. Z tohoto důvodu není vhodné, často to ani není možné, provádět rozsáhlou optimalizaci výrobního procesu. To se může projevit nárůstem nákladů na výrobu jednotlivých součástí. Pro dosažení konkurenceschopných cen je tak nutné provádět snižování nákladů spojených s výrobou součástí. Tyto náklady je tak možné snížit například vytvořením optimálního programu určeného pro výrobu součástí, u kterého je minimalizována nutnost zásahu obsluhy stroje do výrobního procesu a tím zajištěna nepřerušovaná výroba, nebo snižování nákladů na pomůcky při výrobě.

1.1 Optimalizace programu pro třískové obrábění

Pro tuto práci tak byla zvolena součást vyráběná firmou Schaeffler Production CZ s.r.o., pro kterou již byl vytvořen program pro výrobu za použití technologie třískového obrábění. Na základě výchozího programu bude vytvořen nový program se zaměřením na optimalizaci výrobního procesu. Pro zhotovení programu bude použit software hyperMILL, který je ve firmě používán. Pro porovnání dosažených výsledků bude sloužit grafická simulace.

1.2 Ekonomické aspekty výroby

Pro snižování nákladů se ve firmě začaly používat přebroušené nástroje. Tyto nástroje jsou pro firmu lukrativní z hlediska jejich ceny. Díky poklesu nákladů na nástroj při použití přebroušeného nástroje jsou také sníženy náklady na výrobu. Pro posouzení velikosti úspor bude na součásti zvolené pro tuto práci provedeno porovnání nákladů na výrobu při uvažování používání nových nástrojů a při použití přebroušených nástrojů. Dále budou také uvedeny vybrané problematiky související s používáním přebroušených nástrojů, které by bylo nutné zahrnout do dlouhodobého vyhodnocení pro získání objektivního posouzení celkových úspor.

2 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

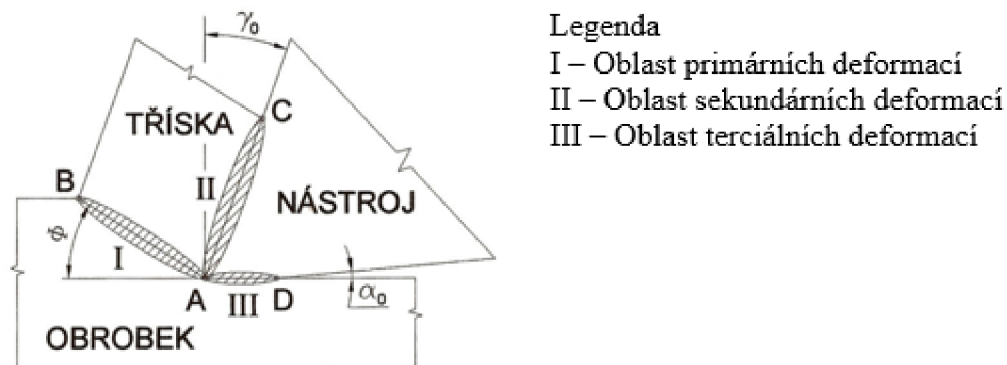
Dnes existuje mnoho CAM softwarů, které slouží pro tvorbu NC programů. Tyto programy slouží pro vytvoření jak optimální dráhy nástroje pro výrobu součásti, tak vhodný sled pohybů jednotlivých pohyblivých částí stroje pro předcházení kolizím. Cílem je tedy vytvoření programu, který v ideálním případě zajistí optimální chod stroje tak, aby nebyl nutný zásah obsluhy a samotný program se stává nositelem jak kinematických pohybů stroje, tak i nositelem technologických údajů. Pro vytvoření optimálního programu je vhodné uvažovat teorie a principy ze kterých použítá technologie vychází. Jen tak je možné dosáhnout optimálního výrobního procesu. Jednou z nejrozšířenějších technologií je právě technologie třískového obrábění.

2.1 Třískové obrábění,

„Tato technologie je založena na specifickém silovém působení nástroje ve tvaru klínu na obráběný materiál [1]“. Charakteristickým rysem třískového obrábění je to, že přebytečný materiál odchází z místa řezu ve formě třísek zpravidla po soustavě ploch nástroje k tomu určených. Samotný řezný proces je výsledkem kombinací mechanických, fyzikálních a chemických vlivů. Jednotlivé parametry těchto vlivů jsou primární aspekty, které jsou modifikovány pro dosažení progresivních výsledků.

2.2 Mechanismus tvorby třísky

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1, hlavním cílem obrábění je úběr materiálu z výchozího polotovaru. Vlivem působení sil vyvozených nástrojem a vysokých řezných rychlostí dochází k velmi rychlé deformaci obráběného materiálu před břitem nástroje a ten velmi rychle prochází mezními stavy deformace, které vedou až k oddělení materiálu formou lomového porušení [1]. Vlivem podmínek řezného procesu vznikají tři oblasti deformace. Ty slouží pro výpočet parametrů při procesu tvorby třísky. Jednotlivé oblasti deformací jsou zobrazeny na obrázku 1.



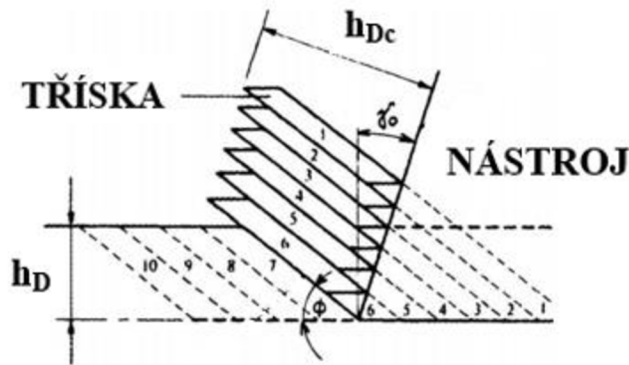
Obrázek 1 Oblast plastických deformací v kořenu třísky [1].

Oblast primárních plastických deformací

Jedná se o oblast v rovině maximálních smykových napětí. Tato oblast vzniká vlivem působením nástroje na obráběný materiál, který je deformován nejprve elastickou a následně plastickou deformací. Tyto deformace mají za následek skluz jednotlivých vrstev materiálu. Při dalším působení nástroje dojde k překročení mezi pevnosti a iniciuje se trhlinka. Trhlinka se šíří materiálem až do momentu oddělení jednoho segmentu třísky.

Samotná deformace materiálu před břitem nástroje a její velikost je ovlivněna velkým množstvím činitelů. Jedním z hlavních materiálových parametrů je tvárnost materiálu, jenž

závisí na složení materiálu a jeho krystalografické stavbě. Z řezných parametrů je to primárně řezná rychlost, která udává rychlost deformace materiálu. Řeznou rychlostí je také výrazně ovlivněna velikost této oblasti, a to tak že nárůstem řezné rychlosti dojde k jejímu zúžení. U dnes používaných nástrojů ze slinutých karbidů, kde je dosaženo vysokých řezných rychlostí, se pro rozbor oblasti primárních plastických deformací používá idealizovaný model řezání podle Piispanena, který je zobrazen na obrázku číslo 2 [2].



Obrázek 2 idealizovaný model řezání podle Piispanena [2].

Oblast sekundárních plastických deformací

V této oblasti je dominantním jevem tření. Vlivem působení velkých sil dochází k intenzivnímu tření mezi třískou a čelem nástroje, které při technologii třískového obrábění není možné zanedbat. Vlivem tření dochází ke zpomalení odchodu třísky, což vede k pěchování třísky. Na základě velikosti třísky, jenž je odvedena z řezu, je možné stanovit součinitel pěchování třísky jako podíl velikosti třísky odcházející z místa řezu ku teoretické velikosti třísky. Teoretická velikost třísky je závislá na nastavených parametrech procesu. Ze znalosti geometrie nástroje je možné využít součinitel pěchování třísky pro výpočet úhlu střížné roviny dle [1] podle rovnice (2.1):

$$\operatorname{tg} \varnothing = \frac{\sin(90 - \gamma_o)}{\Lambda - \cos(90 - \gamma_o)} \quad (2.1)$$

- kde: \varnothing - úhel střížné roviny [°],
 γ_o - úhel čela měřený v ortogonální rovině [°],
 Λ - součinitel pěchování třísky [-].

Oblast terciálních deformací

Tato oblast vzniká v důsledku existence pružné deformace při procesu pěchování třísky. Na obrázku 2 je zobrazen nástroj se špičkou. V praxi však tato varianta není možná a jsou používány nástroje, které mají určitý poloměr zaoblení špičky nástroje. V důsledku toho nedochází k dokonalému oddělení materiálu ve směru odvodu třísky, ale část materiálu je vlivem zaoblení špičky vtlačena pod nástroj [1]. Díky úhlu na hřbetu nástroje dochází k zániku zatížení vyvolaného nástrojem a také k odpružení materiálu. Tím je zapříčiněno obtékání špičky nástroje. To má za následek vznik tření mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou.

Při nižších rychlostech nedochází k výrazné teplotní změně a tlak vyvolaný nástrojem způsobuje v povrchové vrstvě tlakové napětí. Tento druh napětí je vhodný, protože má za následek uzavírání případných trhlin vzniklých na povrchu součásti. To se může projevit zvýšením životnosti obrobeného povrchu. Tento stav napjatosti v povrchové vrstvě je však typický pro hrubovací operace.

Při dokončovacích operacích jsou použity vyšší řezné rychlosti a ty vedou k prudkému ohřevu obrobeného povrchu. Při následném prudkém ochlazení v obrobené ploše dojde k zániku dilatace vyvolané teplotou což se může projevit vznikem zbytkového tahového napětí v obrobené vrstvě. Tento stav se může projevit až vznikem trhlin na povrchu součásti v důsledku koncentrace napětí v mikronerovnostech, které jsou přítomny na obrobeném povrchu.

2.3 Jednotková řezná síla

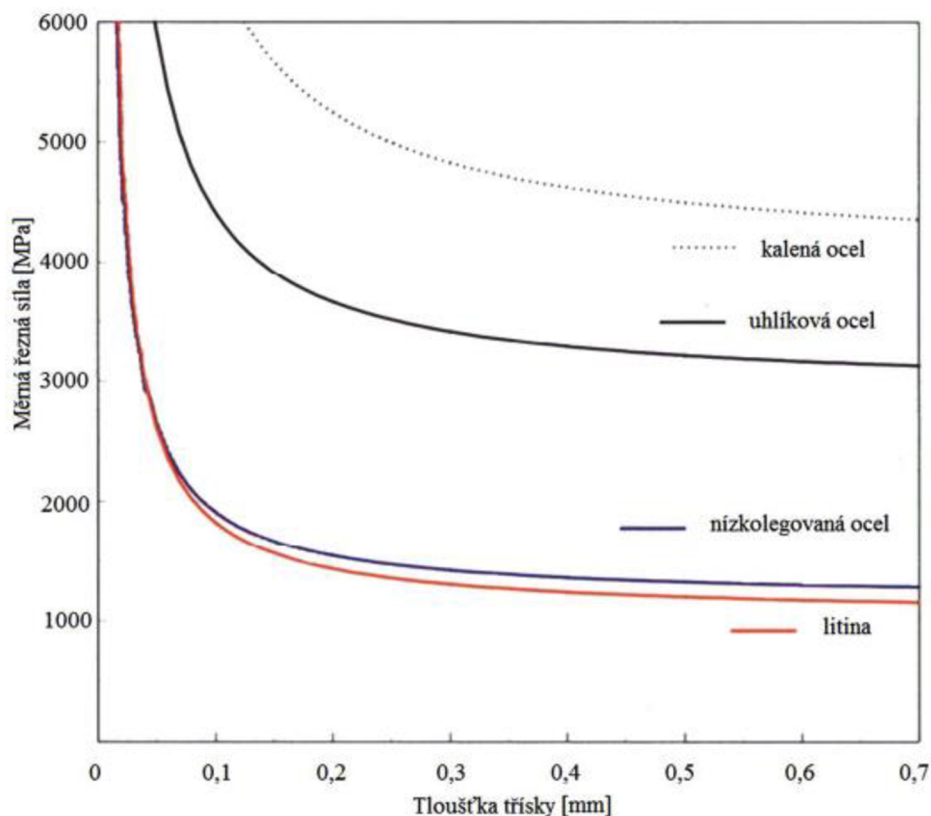
Jednotková řezná síla slouží pro výpočet řezné síly. Vyjadřuje velikost napětí nutné k překonání soudržnosti materiálu účinkem řezného procesu [1]. V základním tvaru ji lze popsat jako řeznou sílu vztaženou na plochu třísky. Podle tohoto tvrzení je ji možné podle [4] vyjádřit rovnicí (2.2):

$$k_c = \frac{F_c}{A_d} \quad (2.2)$$

kde: k_c - jednotková řezná síla [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 F_c - řezná síla [N],
 A_d - průřez třísky [mm^2].

Jak je z rovnice 1.2 patrné má na velikost měrné řezné síly vliv průřez třísky. Ten je závislý jak na parametrech řezné procesu, tak na geometrii nástroje. Mezi další parametry ovlivňující velikost měrné řezné síly patří například řezné prostředí a vlastnosti materiálu.

Významný vliv na velikost měrné řezné síly má i tloušťka třísky. Vlivem snižující se hodnoty nedeformované tloušťky třísky totiž dochází ke zvýšení podílu tření a také k nárůstu stupeň zpevnění materiálu [3; 4]. Průběh velikosti měrné řezné síly v závislosti na šířce třísky je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3 Závislost měrné řezné síly na tloušťce třísky [5].

Jak je z obrázku 3 patrné je hodnota měrné řezné síly na tloušťce třísky závislá exponenciálně. Průběh měrné řezné síly je vyjádřen podle [6] rovnicí (2.3):

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_d^{m_c}} \cdot \prod_n^{i=1} K_i \quad (2.3)$$

- kde: k_c - měrná řezná síla [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 k_{c1} - jednotková měrná řezná síla pro 1 mm^2 průřezu třísky [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 h_d - tloušťka třísky [mm],
 m_c - Koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky [-],
 K_i - opravný koeficient zohledňující vedlejší vlivy [-].

Samotné stanovení řezné síly může být pro jednotlivé procesy značně problematické. Při technologii frézování dochází vlivem kombinace pohybů při obrábění ke vzniku značně proměnlivých podmínek. Mimo statické podmínky, které se opakují, jako je měnící se velikost průřezu třísky, proces ovlivňují další aspekty jako například opotřebení nástroje. To má za následek změnu řezné geometrie, díky níž dochází ke změně silových poměrů na břitu nástroje. Z těchto důvodů je pro stanovení řezné síly vhodné využít naměřené hodnoty získané při experimentu [2].

2.3.1 Jednotková měrná řezná síla

Hodnota k_{c1} představuje jednotkovou řeznou sílu. Ta je vyjádřena jako síla na 1 mm^2 plochy třísky. Jedná se o číselnou hodnotu stanovenou podle typu obráběného materiálu. V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty specifické řezné síly podle [6] pro vybrané materiály:

Tabulka 1 Hodnoty Jednotkové řezné síly pro vybrané materiály [6].

Materiál	k_{c1} [N/mm ²]
Nelegovaná a nízkolegovaná ocel, C > 0,55% nezušlechtěná	1700
Nízko a vysokolegované oceli, vysoký stupeň zušlechtění	3000
Nerezové, austenitické oceli	1800
Kalené oceli 58–62 HRC	4300

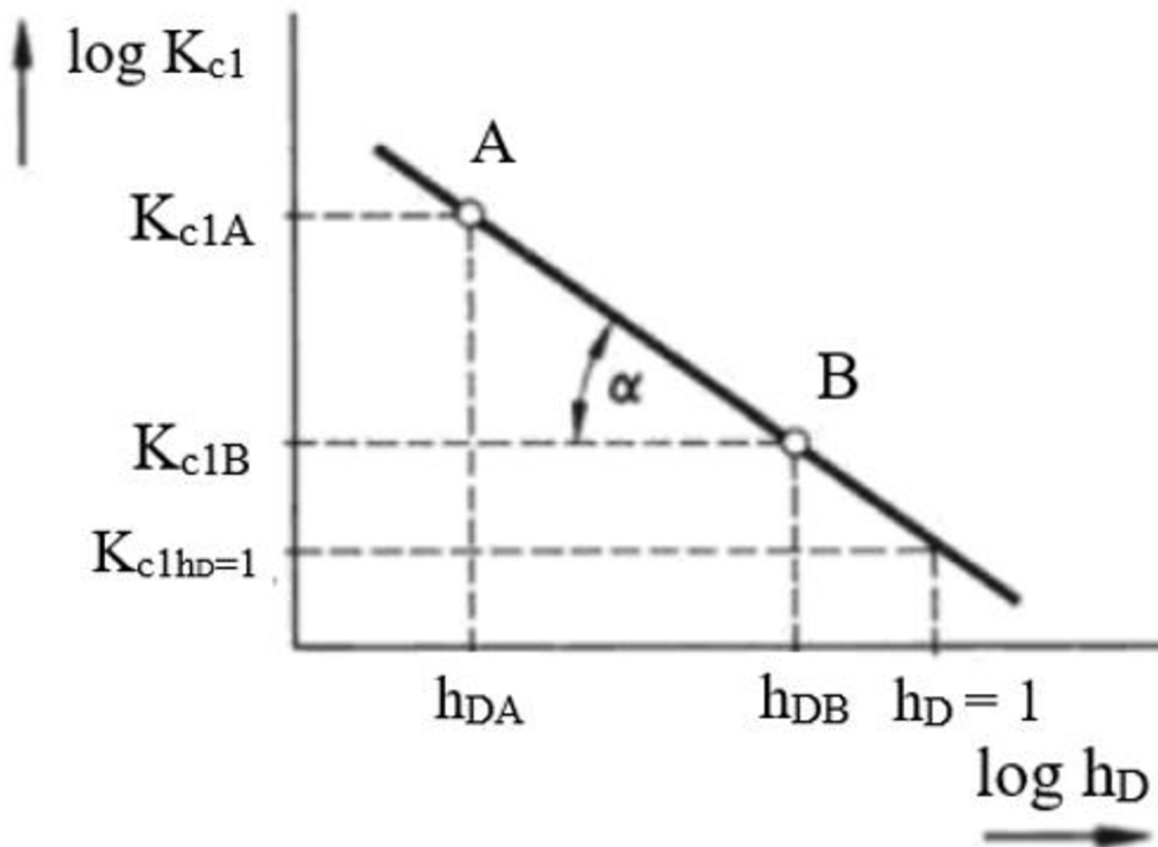
2.3.2 Koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky

Koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky je materiálovou konstantou a slouží pro vyjádření nárůstu měrné řezné síly vlivem snížení hodnoty tloušťky třísky [5]. Jeho hodnota je proto zpravidla menší než 1. Jeho hodnotu lze učít tak, že rovnicí (2.3) převedeme pomocí logaritmování do lineárního tvaru, čímž získáme rovnici (2.4). Součin konstant K_i je pro odvození zanedbán:

$$\log k_c = \log k_{c1} - m_c \cdot \log h_d \quad (2.4)$$

- kde: k_c - měrná řezná síla [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 k_{c1} - specifická měrná řezná síla pro 1 mm^2 průřezu třísky [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 h_d - tloušťka třísky [mm],
 m_c - koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky [-].

Hodnota koeficientu vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky je dána jako tangenta úhlu, který svírá přímka vyjádřena v logaritmických souřadnicích s horizontální osou grafu. Logaritmická závislost měrné řezné síly je zobrazena na obrázku 4.



Obrázek 4 Průběh jednotkové řezné síly v závislosti na tloušťce třísky v logaritmických souřadnicích [1].

Hodnotu koeficientu vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky je možné stanovit díky lineární závislosti pouze ze znalosti dvou bodů. Tato hodnota se stanoví podle rovnice (2.5):

$$m_c = \tan \alpha = \frac{\log \frac{k_{c1A}}{k_{c1B}}}{\log \frac{h_{dA}}{h_{dB}}} \quad (2.5)$$

- kde: m_c - koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky [-],
 k_{c1i} - specifická měrná řezná síla pro 1 mm^2 průřezu třísky pro bod i [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 h_{di} - tloušťka třísky pro bod i [mm].

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty exponentu nárůstu na křivce podle [6] pro vybrané materiály:

Tabulka 2 Hodnoty exponentu nárůstu na křivce pro vybrané řezné materiály

Materiál	m_c
Nelegovaná a nízkolegovaná ocel, C > 0,55% nezušlechtěná	0,25
Nízko a vysokolegované oceli, vysoký stupeň zušlechtění	0,25
Korozivzdorné, austenitické oceli	0,21
Kalené oceli 58–62 HRC	0,25

2.3.3 Opravné koeficienty K_i

V tomto součinu mohou být zahrnuty libovolné koeficienty upravující hodnotu měrné řezné síly. Může se jednat například o opravné koeficienty pro [4]:

- obráběcí proces,
- úhel čela,
- opotřebení nástroje,
- obráběný materiál.

2.4 Teplo při třískovém obrábění

Vznik tepla při třískovém obrábění je faktor, který není možné zanedbat a má značný vliv jak na řezný proces, tak trvanlivost nástroje [7]. Při třískovém obrábění se skoro veškerá práce mění na teplo. Zbývající energie je uložena v materiálu v podobě elastických deformací [1]. Vzniklé teplo je tedy možné stanovit podle rovnice (2.6):

$$A \cong Q = F_c \cdot v_c \cdot t \quad (2.6)$$

- kde: A - práce [J],
 Q - teplo [J],
 F_c - řezná síla [N],
 v_c - řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 t - doba řezu [s].

Jak bylo popsáno v kapitole 2.1.3, existuje více sil, které mají za následek vznik tepla. Celkové teplo vzniklé při procesu lze rozdělit na jednotlivé složky, a to na složky vzniklé [1]:

- plastickou deformací obráběného materiálu ve smykové rovině,
- třením mezi třískou a čelem nástrojem,
- třením mezi hřbetem nástroje a obrobkem,
- utvářením a dělením třísky.

Z hlediska platnosti zákona zachování energie, musí být zachována tepelná bilance, kterou lze popsat rovnicí (2.7):

$$Q_v = Q_o \quad (2.7)$$

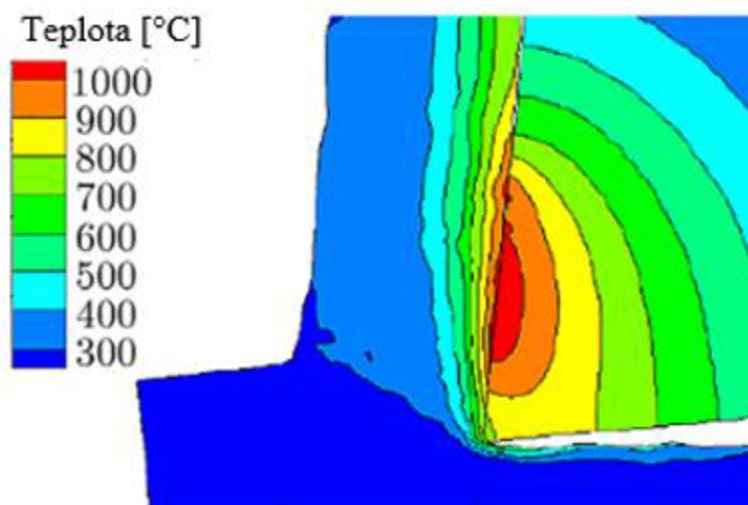
kde: Q_v - teplo vzniklé v důsledku řezného procesu [J],
 Q_o - teplo odvedené [J].

Odvedené teplo představuje teplo, které odchází z místa řezu do:

- třísky,
- obrobku,
- nástroje,
- řezného prostředí.

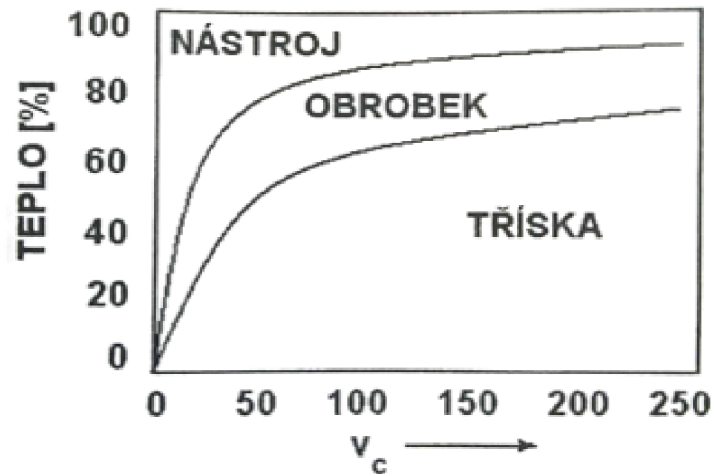
Odvod tepla do řezného prostředí představuje při obrábění bez chladicího média prostředí okolo místa řezu, nebo při použití chladicího média právě teplo odvedené do použitého média. Velikost odvedeného tepla závisí na fyzikálních, chemických a termomechanických vlastnostech [8]. V závislosti na typu použitého média může být jeho účel, mimo odvod tepla, také například mazací, pro snížení třecích sil, nebo ochranný, pro ochranu jak nástroje, tak obráběného materiálu před vlivy koroze.

Vlivem přestupu tepla dochází k ohřevu jednotlivých komponentů obráběcího procesu, do nichž teplo přechází. Rozložení teplot v místě řezu je zobrazeno na obrázku 5.



Obrázek 5 Rozložení povrchových teplot při tvorbě třísky upraveno dle [7].

Protože teplo působí negativně na řezné parametry je nutné jej odvádět. Při třískovém obrábění je z místa řezu odváděna tříska, a proto je cílem převést co největší množství tepla do odcházející třísky, aby se minimalizoval vliv tepla na nástroj a obrobek [9]. Pokud je tento způsob nedostačující, je pro zvýšení efektu chlazení možné využít chladicí médium. Z obrázku 5 je patrné, že právě tříska a nástroj jsou vystaveny největšímu tepelnému zatížení. Pro zamezení přestupu tepla do nástroje je možné nástroj opatřit povlaky, které slouží jako teplotní bariéra a snižují množství tepla přeneseného do nástroje. Podíl přestupů tepla do třísky, nástroje a obrobku je znázorněn na obrázku 6.



Obrázek 6 Množství přeneseného tepla do třísky, obrobku a nástroje [1].

Jak je z obrázku 6 patrné, je při vhodných parametrech převedeno nejvíce tepla do třísky. Teplo do třísky přestupuje ve velkém podílu, protože tříska má velkou plochu kontaktu a na rozdíl od nástroje není opatřena žádným ochranným prvkem pro zamezení přestupu tepla.

Vliv tepla

Jak již bylo uvedeno, teplo při třískovém obrábění není možné zanedbat a může mít výrazný vliv jak na obrobek, tak na řezný nástroj.

Vliv tepla na obrobek

Vzniklé teplo má výrazný vliv na povrch obrobku. Jedním z těchto vlivů je jeho účinek na rozměrovou přesnost. Při obrábění kovů dochází vlivem ohřevu k teplotní dilataci obrobku a nástroje, což následně vede ke změně rozměrů [10]. Tento efekt je výrazný při dokončovacím obrábění, kde jsou zpravidla využívány vyšší řezné rychlosti, než při hrubovacích operacích.

Dalším účinkem je vliv na napětový stav v povrchové vrstvě. Vlivem ohřevu a následného ochlazení obráběné plochy může v obrobené vrstvě vzniknout tahové napětí, které v kombinaci s mikrone rovností povrchu, může vést až k trhlinám na povrchu součástí.

Samotné teplo také usnadňuje vznik chemické reakce na obrobeném povrchu čímž může dojít k reakci s řezným prostředím a na povrchu součástí mohou vznikat nežádoucí sloučeniny [10]. Tomuto defektu se dá zamezit použitím vhodných chladicích kapalin s ochranným účinkem.

Vliv tepla na nástroj

Účinek tepla na nástroj se liší v závislosti na materiálu použitého nástroje. Vlivem rozdílných vlastností jednotlivých materiálů se používají rozličné řezné rychlosti, a tím je následně ovlivněno i množství vzniklého tepla. V důsledku těchto parametrů může nastat to že některé druhy vlivu, které jsou na určitých materiálech dominantní jsou při použití jiných řezných materiálů zanedbatelné.

Příkladem jednoho z těchto dějů je například tvorba nárůstku při používání rychlořezných ocelí pro obrábění ocelí, kde vlivem vysoké teploty, tlaku a kontaktu chemicky podobných materiálů dochází k uchycení drobných částic obráběného materiálu na čele nástroje. Při dosažení určité velikosti dochází k vytržení nárůstků i s částí materiálu nástroje. U dnes používaných nástrojů, jako jsou například slinuté karbidy, k tomuto jevu nedochází z důvodů vyšší teploty. Ta je dosažena právě v důsledku vyšší řezné rychlosti. Dominantním tepelně aktivovaným jevem se stává difuze.

2.5 Využití řezných médií při třískovém obrábění

Tak jako má teplo negativní vliv na řezný proces při třískovém obrábění má přívod řezné kapaliny oproti tomu účinky převážně pozitivní. V závislosti na druhu obrábění, obráběném materiálu, materiálu řezného nástroje, řezných podmínkách, řezné geometrii a požadované jakosti řezného povrchu jsou voleny jednotlivé druhy řezných kapalin, s přihlédnutím na primární požadovanou funkci [1].

2.5.1 Důvody použití řezných médií

Primární funkce řezných kapalin jsou chlazení nástroje a obrobku, ovlivnění tribologických podmínek, usnadnění odvodu třísek a ochrana povrchu [3]. Při třískovém obrábění se používají chladicí média ve velkém množství, což se projevuje zvýšením nákladů na výrobu součástí. V některých případech je nutnost použití chladicího média možné eliminovat použitím vhodných technologických podmínek obrábění. Eliminací nutnosti užití řezného média je dosaženo právě snížení nákladů, ale také zvýšení ekologičnosti procesu. Podle statistik se náklady spojené s používáním chladicích médií, pohybují mezi 6 až 17 % z celkové ceny součásti. Oproti tomu cena za nástroje nutné pro výrobu se pohybuje mezi 2,5 až 7 % z celkové ceny součásti [11].

Chladicí účinek řezných médií

Při použití řezné kapaliny je možné výkonně odvádět teplotu z místa řezu a snižovat tak tepelné zatížení obrobku a nástroje. Díky tomu je možné zabránit překročení kritických teplot, které jsou pro nástroj únosné. U obrobku je další přínos ve snížení rozměrové dilatace vlivem tepelného zatížení, jenž představuje značný problém při dokončovacím obrábění přesných ploch. Účinnost chlazení je dána [1]:

- měrným a výparným teplem řezné kapaliny,
- součinitelem tepelné a teplotní vodivosti,
- součinitelem přestupu tepla,
- průtokem,
- smáčivostí.

Mazací účinek řezných médií

Vhodné mazání má za následek snížení součinitele tření, což vede i ke snížení třecích sil na kontaktních plochách. Tím jsou dosaženy určité výhody jako například [1]:

- snížení energetické náročnosti řezného procesu,
- snížení množství vzniklého tepla,
- snížení abrazivních účinků,
- zvýšení kvality obráběného povrchu.

Funkce mazání je závislá na schopnosti maziva vytvořit jednotnou souvislou vrstvu na povrchu nástroje a obrobku. Tato schopnost se pro jednotlivé druhy maziv liší v závislosti na teplotě a materiálech, s nimiž reaguje. Pro ovlivnění účinnosti maziv nebo získání specifického účinku je možné použít aditiva, která tyto vlastnosti ovlivňují. [1]

Čistící účinek řezných médií

U operací, kde může dojít k zahlcení drážky nástroje určené pro odchod třísky, jako je frézování drážek nebo vrtání, může řezná kapalina sloužit i pro usnadnění odvodu a utváření třísek. Při těchto technologiích je problematické odvádět třísky. To může vést k nahromadění třísek v odvodové drážce a následnému přetížení nástroje, které může vést až k jeho destrukci [16]. K poškození nástroje také napomáhá teplo akumulované v oblasti zahlcení. Díky přívodu řezné kapaliny dochází k prudkému ochlazení třísky, což má za následek pokles tvárnosti, a ta je více náchylná k lomu. Takto dělenou třísku je snazší odstranit z místa řezu.

Pro usnadnění odvodu třísky je důležitý způsob přívodu řezné kapaliny. Často bývá výhodnější použití vnitřního chlazení, kde je chladící médium hnáno určenými kanály vyrobených v těle nástroje a jeho výtok probíhá ve směru odvodu třísky. Pro některé aplikace, jako je například vrtání hlubokých otvorů, je nutné využít specializované nástroje se specificky řízeným průtokem řezné kapaliny a odvodu třísek.

Ochranný účinek řezných médií

Důsledkem teploty a kontaktu mezi nástrojem a obrobkem může dojít k difuzi jednotlivých prvků. Vlivem přenosu může dojít ke změně jak vlastností povrchu obrobku, tak ke změně vlastností nástroje. Protože ale difuze je tepelně aktivovaný jev, může být potlačena právě využitím řezných médií, které snižují teplotu.

Při zvýšené teplotě jsou obecně urychleny chemické reakce a vlivem zvýšení teploty také může dojít k reakci obráběného materiálu s řezným prostředím. To může vést ke vzniku oxidů na povrchu. Díky použití vhodné řezné kapaliny je však možné zabránit kontaktu s okolím a tím tomuto jevu zabránit. V závislosti na požadavcích je možné použité chladící médium obohatit prvky pro zvýšení ochranného efektu.

2.5.2 Vybrané druhy používaných řezných médií

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4, mají rozdílné druhy řezných kapalin svou dominantní funkci. Na jejich efektu také závisí způsob, v jaké podobě jsou do místa řezu přiváděny.

Okolní atmosféra

V tomto případě se provádí obrábění bez přívodu chladícího media a jako řezné prostředí chápeme pouze okolní atmosféru. Tento způsob se dnes používá například při suchém obrábění, kdy jsou pro obrábění používány vysoké řezné rychlosti. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.4, při zvyšování řezné rychlosti se zvyšuje podíl tepla, které přestoupí do třísky. Z toho důvodu je při suchém obrábění nutné zajistit dobrý odvod třísky a tím dochází také k odstranění výrazného množství tepla z oblasti řezu [11]. Obrábění za sucha je dnes využíváno primárně díky zvýšení ekologičnosti obráběcích procesů [12].

Stlačený vzduch

Toto médium má pouze malý chladící účinek a jeho vliv na snížení tření je minimální. Výhodou malého chladícího účinku je zamezení vzniku teplotních trhlin, ke kterým dochází v důsledku prudkého ochlazení nástroje. Z tohoto důvodu je chlazení vzduchem vhodné používat pro hrubovací operace, kde dochází ke značnému tepelnému zatížení nástroje.

Pro zvýšení efektu odvodu tepla je možné použít chlazení studeným vzduchem s teplotou menší než 0 °C. Pro tento způsob chlazení jsou navrženy speciální přívody vzduchu, kde dochází k jeho ochlazení v důsledku proudění a změny tlaků [13]. Díky přívodu studeného vzduchu dochází k vyššímu odvodu tepla a tím i k prodloužení trvanlivosti nástroje.

Voda

Toto medium patří mezi nejlevnější a má vysoký chladicí a čistící účinek. Nevýhodou je to, že voda způsobuje korozi a má minimální mazací účinek. Pro snížení korozního vlivu je při používání čisté vody nutné provést její úpravu.

Řezné oleje

Tato řezná média jsou na bázi minerálních, živočišných rostlinných nebo syntetických olejů [14]. Oproti vodě mají tyto média vysoký mazací a ochranný účinek, ale velmi malý chladicí účinek. Dalším omezením je oblast teplot při jejich použití. Při některých aplikacích hrozí riziko jejich vzplanutí vlivem tepla vzniklého při daném procesu. Z hlediska své ceny je vhodné tyto media používat jen pro aplikace, kde je to nezbytné, jako je obrábění titanu a nerezových ocelí [14]. V případě minerálních olejů je další nevýhodou jejich dopad na životní prostředí a jejich vliv na zdraví člověka [15]. Tento nedostatek nahrazují živočišné a rostlinné oleje, které však mají výrazně menší dobu trvanlivosti.

Řezné emulze

Jedná se o kombinaci vody a řezných olejů ve stanoveném poměru. Díky této kombinaci je dosažen vysoký chladicí účinek, ale také je zde zajištěno mazání a ochrana povrchu [14]. Tento druh řezného media patří mezi nejrozšířenější z důvodů jeho ceny a použití. Podíl jednotlivých složek je dán v závislosti na typu obráběcího procesu.

Kryogenní chlazení

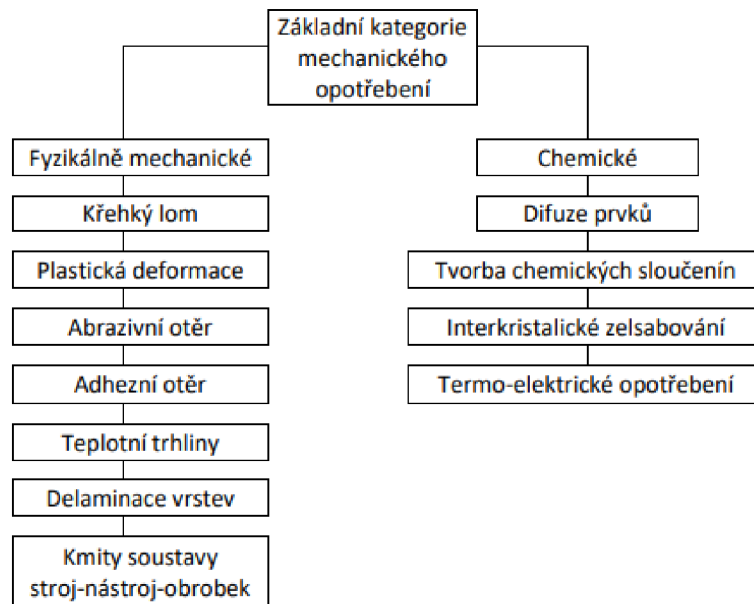
V tomto případě se do místa řezu přivádí látka v kapalném stavu o velmi nízké teplotě [17]. Díky nízkým teplotám dochází k velmi rychlému přestupu tepla a je maximalizován chladicí účinek [18]. Dominantní látkou pro tyto aplikace je dusík, u kterého je možné po zkapalnění dosáhnout teploty až -196 °C [19]. Výhodou dusíku, mimo jeho nízké teploty, je také to, že je obsažen v atmosféře a při odpaření není ekologicky závadný. Levnější náhradou za dusík je oxid uhličitý, který dosahuje teplot až -78 °C . Nevýhodou je však to, že oxid uhličitý má větší hmotnost než vzduch a při odpaření se může nahromadit u země a způsobit tak dýchací problémy obsluze stroje [17]. Látky používané pro kryogenní chlazení mají výborné vlastnosti pro odvod tepla, ale při obrábění neovlivňují tribologické podmínky v místě řezu. Z těchto důvodů je tento způsob chlazení využíván primárně pro obrábění těžko obrobitelných materiálů, jako je titan nebo niklové slitiny, u kterých je největší problém právě se vzniklým teplem, které se generuje při obrábění vysokopevnostních materiálů [17]. Další nevýhodou používání kryogenního chlazení jsou vysoké finanční náklady spojené s pořízením specializovaných zařízení pro skladování a dopravu daných směsí [17].

2.6 Opotřebení řezných nástrojů

K opotřebení dochází u všech součástí, které jsou spolu v silovém kontaktu. Při obrábění je v kontaktu nástroj s obrobkem a tříška s nástrojem. Jedním ze základních aspektů třískového obrábění je to, že nástroj musí svou tvrdostí převyšovat obráběný materiál. Obecně při kontaktu dvou ploch dochází k opotřebení plochy, která je méně odolná vůči mechanismům opotřebení. Při malé době zatížení by tak mělo docházet k poškození pouze ploch obrobku vlivem kontaktu s nástrojem. Vlivem dalších parametrů řezného procesu jako je teplota, doba a velikost zatížení, však dochází také k opotřebení nástroje. Samotný proces opotřebení nástroje je značně komplikovaný a celkové opotřebení nástroje je dáno fyzikálními, mechanickými, chemickými a termomechanickými vlastnostmi jak nástroje, tak obrobku [20]. Značný vliv mají také samotné podmínky řezného procesu.

Obecně existuje hned několik druhů opotřebení, které se na nástrojích mohou vyskytovat. Zpravidla však není možné, aby se na nástroji vyskytl pouze jeden druh

opotřebení, a k celkovému opotřebení nástroje dochází kombinací jednotlivých dějů. Základní rozdělení jednotlivých druhů opotřebení je uvedeno na obrázku 7.



Obrázek 7 Přehled základních forem opotřebení upraveno dle [1].

V závislosti na použitém typu obrábění, materiálu obrobku a nástroje jsou jednotlivé druhy opotřebení více či méně dominantní v celkovém poškození řezného nástroje.

Křehký lom

Tento druh poškození je typický pro dokončovací obrábění. Samotné poškození vzniká přetížením zpravidla špičky nástroje ve velmi krátké době. Tento jev může nastat například vlivem prudkého nárůstu sil působících na nástroj. K tomuto nárůstu může dojít při dokončovacím obrábění nevhodně předhrubovaného povrchu, nebo vlivem nehomogenity obráběného materiálu, kdy se v materiálu vyskytují fáze o výrazně vyšší pevnosti a tvrdosti. Vzniklý ráz zapříčiní křehký lom špičky nástroje. Tento jev je typický při dokončovacích operacích, kde jsou používány nástroje vyšší tvrdosti a menší houževnatosti, a to z důvodů požadavků na jejich tvarovou a tepelnou stálost, aby byla zajištěna požadovaná jakost povrchu.

Plastická deformace

Opakem křehkého lomu je plastická deformace bříty. Oproti křehkému lomu k tomuto jevu dochází při dlouhodobém působení sil, jenž zapříčiní plastickou deformaci bříty nástroje, a teplot, které mají za následek pokles pevnosti materiálu nástroje. Tento jev je typický pro hrubovací operace, protože zde dochází ke vzniku velkých řezných sil a vysokých teplot vlivem velkých úběrů. Hrubovací nástroje jsou oproti dokončovacím nástrojům zpravidla houževnatější, aby dokázaly odolávat rázům, vzniklým změnou velikosti řezných sil a nehomogenitou materiálu. Díky tomu se na těchto nástrojích častěji projevují plastické deformace bříty než poškození ve formě křehkého lomu.

Výmol na čele

K tomuto opotřebení dochází primárně vlivem tření třísky o čelo nástroje. Při vhodných parametrech obrábění kovů dochází k největšímu přestupu tepla do třísky. Vlivem rychlého ochlazení, způsobeného například využitím řezných médií, může dojít k zakalení třísky a ta získá velmi vysokou tvrdost. V kombinaci s vysokými tlaky a teplotami dochází k postupnému

abrazivnímu otěru čela nástroje, což má za následek vznik miskovité prohlubně na čele nástroje. Jak již bylo zobrazeno na obrázku 5 v kapitole 2.4, je největšímu tepelnému zatížení vystaveno čelo nástroje. V důsledku toho dochází k výmolu na čele nejčastěji v oblasti utváření třísky.

Dalším důvodem vzniku této formy opotřebení na nástroji může být v důsledku vzniku mikrosvarů. Ty vznikají při kontaktu mezi čelem nástroje a třískou za působení velkých tlaků a teplot. V důsledku nuceného pohybu třísky dochází k jejich odtržení, a to i s částí materiálu nástroje, čímž dochází k poškození nástroje.

Opotřebení na hřbetě

Tato forma opotřebení vzniká v důsledku tření hřebu nástroje a obrobku v oblasti terciálních plastických deformací. Důsledkem tření vzniká abrazivní otěr na hřebu, jež má za následek vznik opotřebení nástroje. Kritickým momentem poškození může být, pokud dojde ke spojení rýhy na hřbetě s výmolem na čele. To může vést k výraznému snížení integrity břitu což může zapříčinit okamžitou destrukci nástroje.

Teplotní trhliny

Tyto trhliny jsou charakteristické svým umístěním kolmo k břitu. Při obrábění je břit nástroje vystaven vysoké teplotě, která způsobuje teplotní dilataci. Při prudkém ochlazení, například po výstupu břitu z řezu při frézování a následném dopadu chladicí kapaliny na břit nástroje, mohou vzniknout teplotní šoky na povrchu nástroje, jež zapříčiní prudkou eliminaci rozměrové dilatace vzniklou v důsledku tepelného působení. Pokud nejsou vrstvy na povrchu nástroje dostatečně houževnaté, aby těmto šokům odolaly, mohou vzniknout právě teplotní trhliny. Tyto trhliny značně narušují integritu břitu a slouží jako inicializace dalšího poškození v podobě vydrolování materiálu na povrchu nástroje.

Opatření proti vzniku těchto trhlín, u vysoce tepelně zatížených nástrojů, je snížení chladicího účinku řezného prostředí. Proto u moderních nástrojů, u kterých je dosaženo vysokých řezných rychlostí a posuvů je doporučeno chlazení pomocí vzduchu, jež má menší chladicí účinek než používané řezná emulze a předchází tak vzniku teplotních trhlín.

Difuze prvků

Difuze je tepelně aktivovaný děj, kdy dochází k migraci atomů z jednoho materiálu do druhého. Při řezném procesu dochází k difuzi atomů mezi obráběným materiálem a materiálem na povrchu řezného nástroje. Vlivem převodu jednotlivých prvků může docházet k interakci prvku difundovaného z nástroje s prvky obsaženými v obráběném materiálu, a naopak, kde vlivem vyšší afinity k difundovanému prvku mohou vznikat nežádoucí sloučeniny. V povrchových vrstvách nástroje tak mohou vzniknout sloučeniny, jež mají za následek nežádoucí změny požadovaných vlastností a mohou způsobovat urychlení poškození nástroje.

2.7 Frézování

V dnešní době se jedná o jednu z nejrozšířenějších technologií třískového obrábění, a to primárně z důvodů své univerzality. Frézování je možné používat pro výrobu jak rovinných, tak tvarových, popřípadě rotačních ploch. Při frézování dochází k úběru materiálu obrobku pomocí vícebřitého nástroje, který koná hlavní rotační pohyb, s definovanou řeznou geometrií, pro dosažení požadovaných rozměrů a jakosti povrchu [21]. Vedlejší pohyby koná obrobek upnutý na pracovním stole. Tato kinematika patří mezi charakteristické rysy, podle kterých lze definovat technologii třískového obrábění jako frézování. Dalšími znaky jsou průřez třísky, jež je při frézování proměnlivý, a přerušovaný řez, který je pro frézování typický.

Způsoby frézování

Podle ustavení a relativního pohybu frézy vůči nástroji můžeme rozlišovat jednotlivé způsoby frézování, jako je frézování čelem nástroje, obvodem nástroje, sousledné frézování a nesousledné frézování.

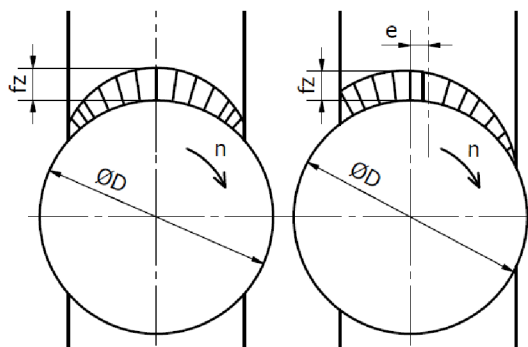
Frézování čelem nástroje

U tohoto typu frézování je charakteristickým znakem to, že osa rotace nástroje je kolmo k obráběnému povrchu a velikost šířky záběru je výrazně větší než hloubka záběru [22]. K úběru materiálu dochází pomocí zubů umístěných na obvodu nástroje, případně pro dosažení lepší kvality povrchu je možné použít zuby umístěné na čele. Obecně lze pod čelní frézování zařadit operace [23]:

- rovinné frézování,
- frézování s vysokými rychlostmi posuvu,
- čelní frézování v náročných podmínkách,
- dokončování s použitím hladících břitových destiček.

Jako nástroje jsou používány čelní frézy nebo čelní frézovací hlavice. Ty mají zpravidla malý úhel nastavení hlavního ostří. Tím je dosaženo toho, že velká část celkové síly působící na nástroje směřuje do vřetena stroje a nezpůsobuje ohybové namáhání nástroje. Volba nástroje a jeho geometrie je klíčová pro dosažení požadovaných výkonnostních a jakostních parametrů. Obecně je doporučeno používání nástroje, jehož průměr je o 20–50 % větší, než je šířka frézované plochy [23]. Tento rozměr je také nutné volit v závislosti na zubové rozteči, aby při obrábění byl zajištěn vždy alespoň jeden zub v záběru, díky čemuž je snížena náchylnost ke vzniku vibrací.

Dalším důležitým parametrem je samotná poloha nástroje vzhledem k obrobku. Při frézování rozpoznáváme dva kritické momenty při řezu. Prvním je vstup nástroje do řezu, kdy dochází k nárůstu řezné síly a druhým je výstup z řezu, kdy dochází k jejímu zániku [24]. Při symetrickém frézování dochází ke vzniku rázu v podobě tlakového zatížení na břit nástroje a při výstupu břitu dochází k prudkému zániku řezných sil. Kvůli prudkému zániku sil na výstupu může dojít ke změně stavu namáhání z tlakového zatížení břitu na tahové. Tento způsob namáhání má výrazně nepříznivý účinek na trvanlivost břitu. Dále tento jev může způsobit vznik vibrací, které nepříznivě ovlivňují řezný proces, kvalitu obrobené plochy a mohou mít za následek pokles trvanlivosti nástroje. Z tohoto důvodu je vhodné používat excentrické ustavení frézovacího nástroje. Tím je dosaženo lepšího rozložení zatížení. Při takto umístěném nástroji vzniká ráz na vstupu břitu do řezu, ale zánik řezných sil zde probíhá plynule od maximální do minimálních hodnot. Průběh zatížení při soustředném a excentrickém frézování je zobrazen na obrázku 8.



Obrázek 8 Zatížení při symetrickém (vlevo) a excentrickém (vpravo) čelním frézování.

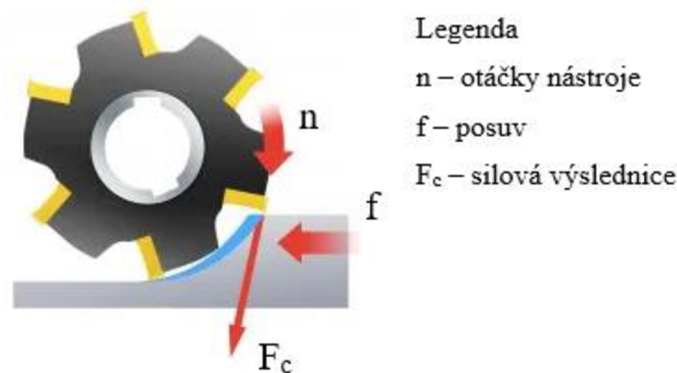
Díky používání moderních řezných materiálů, které dosahují vysoké odolnosti proti tlakovému zatížení tento ráz nemá za následek tak výrazné riziko poškození břitu, k jakému by mohlo dojít vlivem vzniku tahového napětí při výstupu břitu z řezu. Samotné tlakové zatížení má za následek uzavírání trhlin vzniklých na povrchu řezného nástroje, kdežto tahové napětí tyto trhliny rozevívá a usnadňuje jejich následné šíření. Omezení vzniku vibrací je také možné dosáhnout zvýšením počtu zubů v záběru, čímž je zajištěna větší stabilita řezu. Příznivý vliv na vibrace má také opotřebení nástroje, kde při zvyšujícím se opotřebení dochází ke zvýšení stability řezu. Samotné opotřebení má ale negativní vliv jak na silové namáhání stroje a nástroje tak na kvalitu obráběné plochy.

Frézování obvodem nástroje

Při frézování obvodem nástroje dochází k úběru materiálu břity umístěnými na obvodu frézovacího nástroje a obráběná plocha je rovnoběžná s osou rotace [25]. V závislosti na kinematice nástroje a obrobku rozeznáváme dva způsoby frézování obvodem nástroje, a to frézování sousledné a nesousledné.

Sousledné frézování

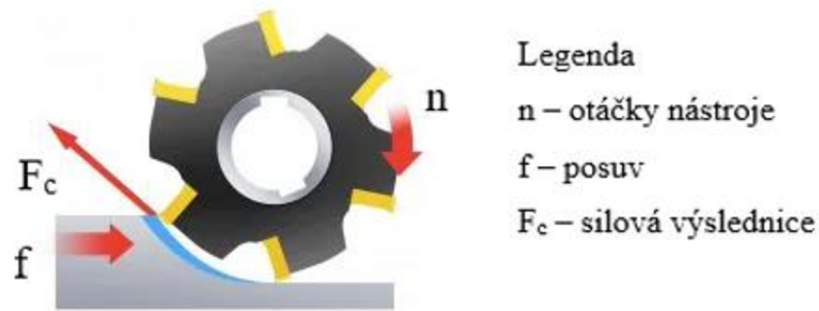
Při tomto způsobu obrábění je směr rotace nástroje totožný se směrem posuvu obrobku a tloušťka třísky se zde mění od maximální hodnoty po minimální [25]. Díky tomu dochází k postupnému zániku sil a snižuje se tak sklon k vibracím. Vlivem velkého průřezu třísky na vstupu nástroje do řezu vznikají rázy. Moderní materiály a nástroje jsou však vytvářeny tak, aby měly vysokou tlakovou odolnost a tyto rázy dokázaly snášet bez rizika poškození. Velikost těchto rázů je také snižována uspořádáním jednotlivých břitů do šroubovice. Vlivem změny šířky třísky také dochází k plynulému oddělení materiálu od obráběného povrchu a díky tomu obráběný povrch dosahuje vyšší jakosti. Kinematika při sousledném frézování je vyobrazena na obrázku 9.



Obrázek 9 Kinematika při sousledném frézování upraveno dle [26].

Nesousledné frézování

Opakem sousledného frézování je frézování nesousledné, kde směr rotace nástroje směřuje v protisměru posuvu obrobku [25]. Při změně kinematiky průřez třísky narůstá z minimální hodnoty po hodnotu maximální. Díky tomuto uspořádání jsou eliminovány rázy, jenž vznikají při vstupu břitu do řezu při sousledném obrábění. Vlivem malého průřezu třísky nejprve dochází k postupnému pýchování třísky před břitem nástroje. V důsledku pýchování materiálu tak dochází k výraznému opotřebení nástroje a snížení kvality obráběné plochy. Vlivem nárůstu průřezu také dochází k nárůstu řezných sil, které při výstupu nástroje velmi rychle zanikají, a tím se zvyšuje náchylnost k vibracím. Zánik sil může mít za následek změnu stavu napjatosti, jak již bylo popsáno u čelního frézování. Kinematika při nesousledném frézování je vyobrazena na obrázku 10.

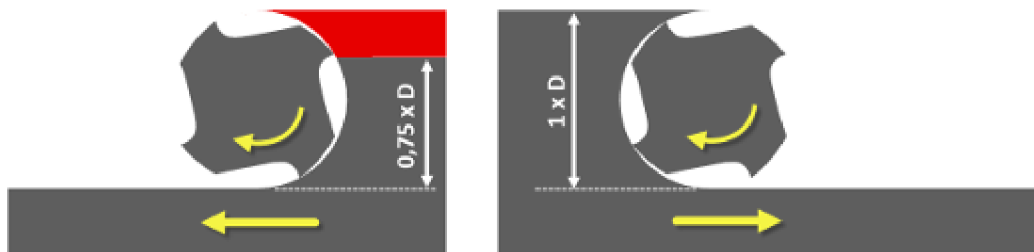


Legenda
 n – otáčky nástroje
 f – posuv
 F_c – silová výslednice

Obrázek 10 Kinematika při nesousledném frézování upraveno dle [26].

Díky eliminaci rázů je tento způsob vhodné využít pro obrábění tenkostěnných výrobků, u nichž by vlivem rázů mohlo dojít k nežádoucí deformaci. Další možností použití je například obrábění obrobků, na kterém se vyskytují nerovnoměrné přídavky nebo při používání nástrojů z řezné keramiky, jenž mají nízkou odolnost proti rázům [26].

Další výhodou je možnost využití celého průměru nástroje, oproti souslednému způsobu frézování. Při sousledném frézování může dojít k vtažení materiálu do zubové mezery a vzniklé přetížení nástroje může mít za následek vylomení části břitu [27]. Při nesousledném frézování tento jev nemůže nastat. Je však nutné řezné parametry volit podle použitého nástroje a možnosti odvodu třísek, aby vlivem velikosti úběru nedošlo k zahlcení zubové mezery. To by opět mohlo mít za následek poškození nástroje. Riziko vtažení materiálu je zobrazeno na obrázku 11.



Obrázek 11 Riziko vtažení materiálu pod břit nástroje při sousledném (vlevo) a nesousledném (vpravo) frézování [27].

Frézování tvarových ploch

Rozvoj CAD softwarů a jejich použití přineslo možnost tvorby tvarově velmi variabilních ploch. Na tyto plochy jsou zpravidla kladeny vysoké požadavky vzhledem k jejich přesnosti a jakosti povrchu. Z těchto důvodů je nutné volit vhodný způsob a postup obrábění pro dosažení požadované kvality. V závislosti na tvaru, velikosti a přesnosti je vhodné využít minimálně tři strategie pro obrábění.

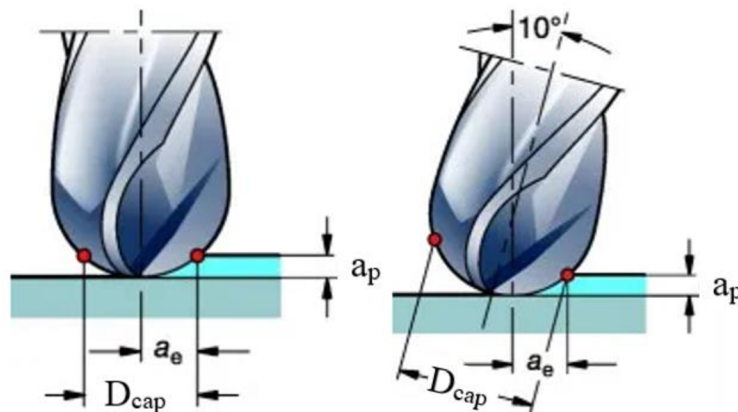
První strategie je určena pro hrubování. Tato strategie má za úkol odstranit maximální množství materiálu v co nejkratším čase. Z tohoto důvodu je volen nástroj s velkým průměrem a tuhostí, u nichž lze dosáhnout vysokých posuvových rychlostí, pro zajištění požadované produktivity. U této strategie je vhodné obrábět s vhodným přídávkem, aby došlo k minimálnímu ovlivnění materiálu obrobku na požadovaném rozměru.

Po hrubování následuje strategie určená pro zbytkové hrubování. Účelem této strategie je odstranění zbytkového materiálu s cílem dosažení rovnoměrného přídávku pro následující

dokončení. Pro zbytkové hrubování tvarových ploch je vhodné volit frézovací nástroje se zaoblenou špičkou, u nichž je možné vhodně obrábět i tvarové plochy. Aby bylo dosaženo rovnoměrného přířívku, je zpravidla nutné použít více nástrojů s různým poloměrem zaoblení špičky. Díky rovnoměrnému přířívku je dosaženo konstantního průřezu třísky. Tím je snížena možnost vzniku vibrací při následném dokončení. Díky tomu je možné prodloužit životnost nástroje a je zde také možnost provádět dokončovací strategie bezobslužně [28].

Poslední strategie je určena pro dokončování. V případě frézování jsou pro dokončování velice často využívány kulové frézy. U kulových fréz je nutné nástroj vhodně orientovat vůči obráběné ploše pro dosažení požadovaných podmínek obrábění. Při dokončovacím obrábění je při vhodných podmínkách odebráno malé množství materiálu. Při orientaci osy nástroje ve směru normály plochy tak dochází primárně ke kontaktu mezi špičkou nástroje a obrobkem. V ose nástroje je nulová řezná rychlost. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.2 je řezná rychlost jedním z hlavních činitelů, která má výrazný vliv na řezný proces. V důsledku nízké řezné rychlosti nedochází k úběru materiálu vlivem řezání ale spíše k jeho pěchování [28]. Následkem těchto jevů dochází k nárůstu teploty řezu, opotřebením nástroje a zvýšení pevnosti v obrobené ploše. Pokud je obrábění provedeno na více řezů může dojít k rychlejšímu opotřebením nástroje vlivem překonávání zpevněné vrstvy z předchozího řezu.

Pro odstranění těchto problémů je vhodné nástroj naklonit o úhel 10° až 15° od normály plochy. Tímto způsobem je snížen důsledek poklesu řezné rychlosti a vznikají výhodnější podmínky pro řez a utváření třísky. Změna parametrů pro obrábění je zobrazena na obrázku 12.



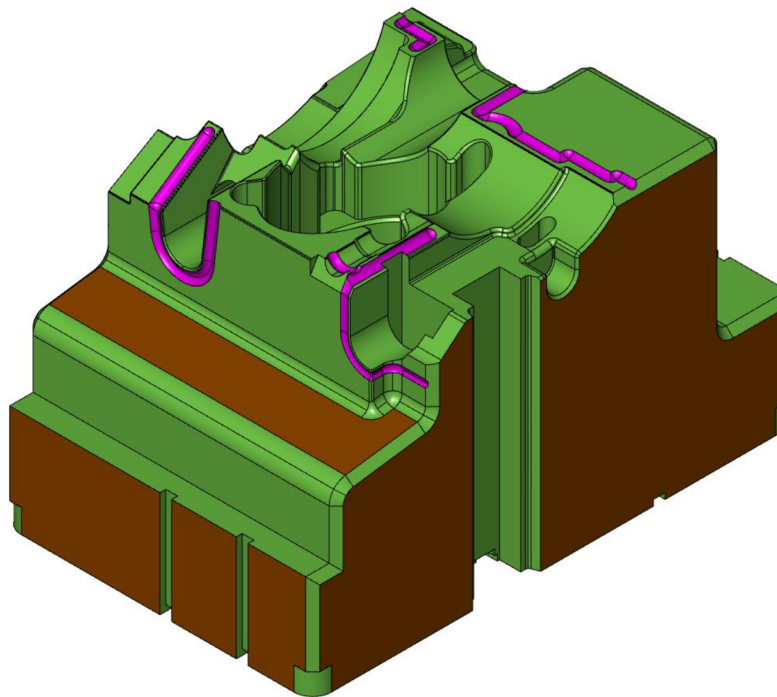
Obrázek 12 Parametry při normálové orientaci nástroje (vlevo) a při využití náklonu (vpravo) nástroje [28].

3 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Tato kapitola je zaměřena na popis součástí, posouzení technologičnosti součástí, návrh technologie výroby, rozbor materiálu součásti a jeho následné zpracování. Protože cílem této studie je výroba součásti pomocí třískového obrábění, jsou jednotlivá posouzení stanovena s cílem vyrobitelnosti pomocí technologie třískového obrábění.

3.1 Popis součásti

Jedná se o pohyblivý dílec formy pro vstřikování plastových komponentů. Na tyto formy jsou kladeny nároky z hlediska rozměrové stálosti vlivem tepelného zatížení, pevnosti z důvodů tlaků vzniklých při vstřikování a dotlačování materiálu do dutiny výstřiku a ořevzdornosti kontaktních ploch. Na plochy kontaktu s materiálem je také kladen vysoký důraz z hlediska korozní odolnosti kvůli vysokému tepelnému zatížení a chemické reaktivitě mezi materiálem formy a vstřikovaným materiálem. CAD model vyráběné součásti je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13 CAD model vyráběné součásti.

3.2 Posouzení technologičnosti součásti

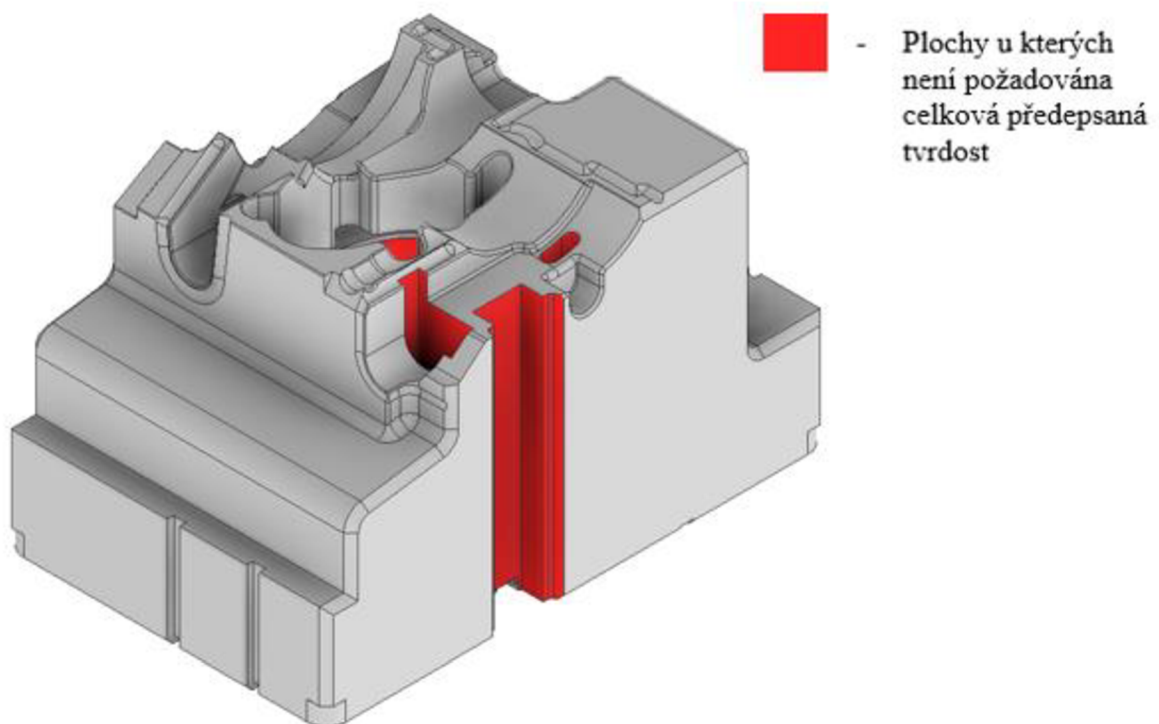
Jedná se o součást kvádrového typu o maximálních rozměrech 205 x 132 x 123 mm. Ve středu součásti je průchozí elipsový otvor. Na spodní ploše se nachází celkově sedm otevřených drážek o šířce 5 mm. Pět z těchto drážek navazují na průchozí elipsový otvor ve středu součásti. Další dvě jednostranně otevřené drážky navazují na středový otvor a mají šířku 6,6 mm a 7 mm. Na elipsový otvor také navazují čtyři otevřené kapsy o hloubce 3 mm a 8 mm. Dalším prvkem jsou překřížené drážky. První drážka má šířku 4 mm a je vysoká 7 mm. Drážka, která tuto drážku kříží, je široká 6 mm a prochází skrze celou součást. Dalším prvkem na součásti je obdélníková kapsa procházející skrze celou výšku součásti. Tato část součásti není zobrazena na obrázku 13, ale je zobrazena na výkresu, který je součástí příloh.

Horní plocha je oboustranně osazena. Jedno z těchto osazení je pravoúhlé o výšce 73 mm s rádiusovým napojením na boční stěně. Druhé osazení se skládá z jedné šikmé plochy a druhé

rovinné plochy s maximální výškou od povrchu součásti 75,3 mm. Šikmá plocha je na boční stěnu opět napojena přes zaoblení a spodní rovinná plocha přes ostrou hranu. Horní plocha má z jedné strany vytvořeno kruhové vybrání o třech stupních. Na největší průměr navazuje otevřená kapsa a tvarové vybrání. Na čelní straně součásti se nachází dvě čelní vybrání. Horní plocha je rozdělena na několik tvarových prvků. Na elipsovitém průchozím otvoru je z této strany vytvořeno osazení o maximální hloubce 35 mm, na které navazují celkem čtyři otevřené kapsy. Tyto kapsy mají zaoblené konce a minimální poloměr na těchto kapsách je 5 mm. Na součásti jsou také vytvořeny odvodušňovací kanály s průřezem odpovídajícím části tvaru kružnice o průměru 5 mm a hloubce v materiálu 1,5 mm. Tyto kanály jsou jak na rovinných plochách, tak tvarově orientované v závislosti na tvaru součásti.

Na třech bočních stranách jsou vytvořeny drážky. Celkem se jedná o šest drážek. Tyto drážky se shodují s drážkami na spodní ploše součásti. Na poslední straně je vytvořena osazená drážka o šířce 20 mm a hloubce 13 mm. Na této drážce je vytvořeno symetrické osazení, které navazuje na boční stěnu pod úhlem 20°. Tyto drážky jsou zobrazeny na výkrese, který je součástí příloh.

Nejmenší velikost tolerančního pole rozměru je na součásti stanovena na hodnotě 0,02 mm a jedná se o symetrické tolerance. Drsnost povrchu je určena v závislosti na přesnosti plochy s minimální hodnotou Ra 0,8. Tolerance kruhového házení, sklonu, rovnoběžnosti, souměrnosti, kolmosti, přímosti a kruhovitosti jsou také stanoveny dle rozměrové přesnosti s minimální hodnotou 0,01 mm vůči souřadným osám. Povrchová tvrdost na požadovaných plochách je dosažena kalením a je stanovena na hodnotě 52+2 HRC. Tato tvrdost není vyžadována na všech plochách. Zobrazení ploch, na kterých není požadována celková stanovená tvrdost je zobrazeno na obrázku 14.



Obrázek 14 Plochy, na kterých není požadována stanovená tvrdost.

Mimo osazenou otevřenou drážku na boční stěně se jedná také o prvky, které nejsou dosažitelné pomocí technologie třískového obrábění. Všechny tyto prvky, včetně boční osazené otevřené drážky, budou na součásti zhotoveny pomocí drátového elektroerozivního obrábění.

Výkres přiložený v přílohách slouží primárně pro vizualizace prvků na součásti, které nejsou zobrazeny na jednotlivých obrázcích součásti v textu práce. Rozměry a jednotlivé tolerance součásti jsou dány primárně dle barevného značení CAD modelu.

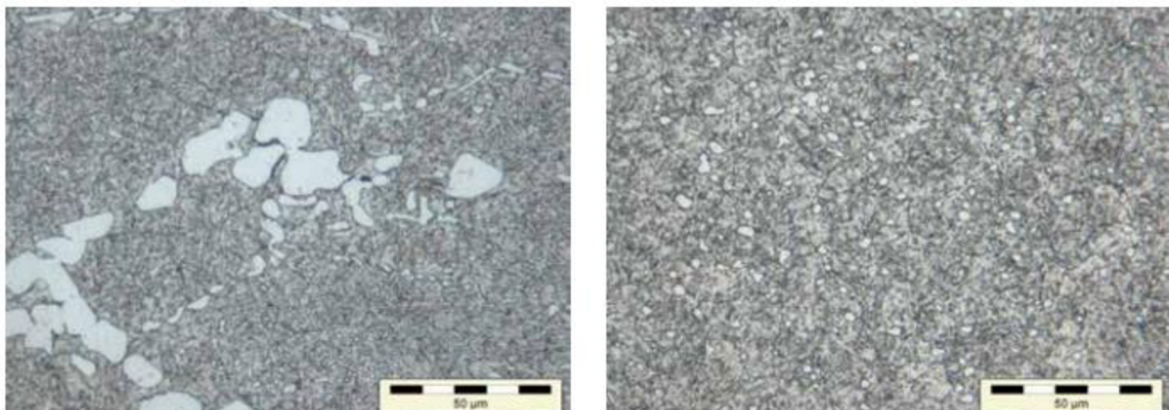
3.3 Materiál součásti

Součást je vyrobena z materiálu od firmy Bohler s označením M368. Jedná se vysokolegovanou korozivzdornou martenzitickou ocel určenou k použití na formy pro vstřikování plastů [29]. Chemické složení je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3 Obsah legujících prvků v materiálu [29].

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
[hm. %]					
0,54	0,45	0,40	17,30	1,10	0,1

Ocel je vyráběna pomocí práškové metalurgie. Tím je dosažena lepší homogenita než u ocelí vyráběných pomocí standartních postupů. Porovnání mikrostruktury materiálu M368 s ocelí 1.4112 je na obrázku 15. Ocel 1.4112 je korozivzdorná martenzitická ocel určená právě pro části formy obsahující dutinu výstřiku. [29]



Obrázek 15 Porovnání struktury oceli 1.4112 (vlevo) a M368 (vpravo) [30].

Vlastnosti a použití

Mezi hlavní vlastnosti, které určují použití oceli patří [29]:

- vysoká odolnost proti otěru,
- vysoká houževnatost,
- vysoká odolnost proti korozi,
- velmi dobrá broušitelnost,
- dobrá leštitelnost,
- vysoká rozměrová stálost.

Podle výše uvedených vlastností se daný materiál používá například pro [29]:

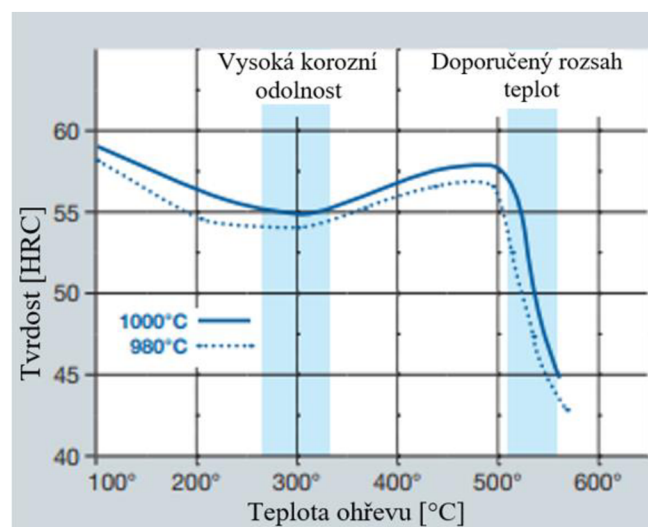
- komponenty pro zpracování potravin a krmiv,
- vstřikování a protlačování plastů,
- medicínskou techniku,
- elektrotechnický průmysl.

Možnosti tepelného zpracování

Protože se jedná o martenzitickou ocel, je možné ji tepelně zpracovat pomocí kalení, popřípadě podle požadavků lze použít žíhání na odstranění pnutí. Maximální přípustná tvrdost při dodání je 280 HB. [29]

Žíhání na odstranění pnutí probíhá při teplotě 650–750 °C. Ohřev probíhá v neutrální pecní atmosféře. Po prohřátí součásti následuje pomalé ochlazení v peci. [29]

Kalení se provádí v závislosti na požadovaných vlastnostech. Pro získání vyšší tvrdosti je doporučeno kalení při vysoké kalící teplotě 980–1000 °C. Pro formy určené pro vstřikování plastů je doporučeno kalení při nízké teplotě 980 °C a následné popouštění na vysoké teplotě 505–520 °C čímž je dosaženo vysoké korozní odolnosti. Po vyrovnání teplot je doba výdrže doporučena 15–30 minut. Pro daný materiál je doporučeno kalení s podchlazením, kde jako kalící medium je doporučen dusík. Kalicí diagram pro materiál M368 je znázorněn na obrázku 16. [29]



Obrázek 16 kalicí diagram pro ocel M368 upraveno dle [30].

Po kalení je nutné provést žíhání. Doporučen je pomalý ohřev ihned po kalení. Doba v peci je dána průměrem součásti v podobě jedné hodiny na každých 20 mm tloušťky materiálu s minimální dobou ohřevu 2 hodiny. Následuje ochlazení na vzduchu. Pro dosažení optimální korozní odolnosti a odolnosti proti otěru je doporučeno provádět popouštění třikrát při teplotách 505-520 °C. Pro vysokou tvrdost jsou doporučeny teploty popouštění při 490–505 °C. Pro vysokou korozní odolnost je doporučeno popouštění při teplotách okolo 300 °C. [29]

3.4 Volba výrobní technologie

Způsob výroby součásti je závislý nejen na tvaru součásti, ale také na materiálu součásti, požadované přesnosti, velikosti aktuálně vyráběné série a možnosti úpravy zvoleného

výrobního postupu s ohledem na snížení doby úprav vzhledem k provedeným modifikacím na součásti.

Jak již bylo uvedeno výše, zvolená součást je část vstříkovací formy. Pro jednotlivé formy se zpravidla nevyrábí vysoká zásoba náhradních dílů, a proto se počet kusů omezuje jen na počty okolo jednotek kusů. Z tohoto důvodu lze velikost aktuálně vyráběné série uvažovat jako kusovou výrobu s omezením do maximálně tří zhotovených kusů ke skladování sloužících jako pohotovostní rezerva pro snížení doby odstávky vstříkovacího stroje při poškození uvedené komponenty.

3.4.1 Zhodnocení využití technologie tváření

Tvářecí technologie jsou vhodné pro součásti, u kterých je vyžadována například vysoká pevnost. Ta je dosažena tím, že při konvenčním tváření nedochází k narušení struktury materiálu vlivem úběru materiálu a je tak zachována jeho integrita. Další výhodou je vysoká produktivita a nižší náklady na výrobu součástí ve velkých sériích.

3.4.2 Zhodnocení využití aditivních technologií

Dnes se tyto technologie velmi značně vyvíjejí, protože umožňují výrobu tvarově velmi složitých dílů bez nutnosti složité přípravy. V závislosti na technologii je možné provést okamžitý výrobní proces po vytvoření CAD modelu. Další výhodou těchto technologií je dnes i možnost vytvářet součásti z širokého spektra jak kovových, tak i nekovových materiálů, jakožto i možnost vyrábět součásti z různých kombinací materiálu o vysoké přesnosti. Díky těmto vlastnostem jsou tyto technologie vhodné pro výrobu tvarově složitých tenkostěnných dílců.

Značnou nevýhodou těchto technologií je však cena některých materiálů určených k tvorbě součástí. V případě kovových součástí jsou nejrozšířenější přídavné materiály ve formě prášku, jehož příprava je značně ekonomicky nákladná. Proto je vhodné aditivní technologie používat primárně právě pro tenkostěnné součásti nebo součásti s vysokou tvarovou složitostí kde by doba výroby jinou technologií značně převyšovala cenu za přídavný materiál.

Z hlediska použití jsou tyto technologie dnes často využívány pro tvorbu prototypových součástí například za účelem ověření pozice součásti v jejím celku nebo pro ověření vizuálních vlastností. Pro tyto účely je výhodou možnost využití levnějších a lehčích materiálů jako jsou plasty.

3.4.3 Zhodnocení využití hybridních technologií

Jako hybridní technologii výroby lze považovat libovolnou sdruženou technologii. Pro výrobu stanovené součásti lze uvažovat kombinaci obráběcích technologií a aditivních technologií. Při použití výchozí hutního polotovaru ve formě kvádra lze následně provést navaření materiálu, který tvarově odpovídá horní části součásti. Protože je nutné provést nanesení kovového materiálu, je nutné používat pro navařování technologie, které jsou schopny vytvářet aditivní návary z kovu o dostatečné přesnosti. V závislosti na velikosti návaru tak lze pro tyto účely využít navařování laserem nebo technologie navařování v ochranné atmosféře jako jsou metody MAG a TIG. Pro vedení hořáku jsou používány strojní řízení, aby byla zajištěna požadovaná přesnost procesu. Díky návaru, který tvarově odpovídá požadovanému tvaru součásti jsou sníženy jak náklady na materiál, tak pro následné obrábění. Díky tomu je tato technologie využívána pro velké součásti, u kterých je běžně obráběním odstraněno velké množství materiálu a pro součásti, které se vyrábí z drahých materiálů.

Nevýhodou tohoto způsobu výroby je tepelné ovlivnění vzniklé v důsledku navařování materiálu. Při dlouhém působení tepla může dojít ke zhrubnutí zrna v prvních vrstvách návaru, a tím může dojít k ovlivnění výsledných mechanických vlastností součásti. Další nevýhodou je

samotná cena přídavného materiálu. Při využití laserových technologií je pro detailní navařování využíván přídavný materiál ve formě prášku. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, jsou tyto prášky výrazně ekonomicky nákladné. Aby bylo vhodné tento způsob výroby použít, je nutné provést přesnou kontrolu nákladů použitých pro jednotlivé způsoby výroby, aby bylo ověřeno, zda jsou tyto technologie ekonomicky přínosné.

3.4.4 Zhodnocení využití třískového obrábění

Tato technologie se v dnešní době řadí mezi nejrozšířenější. Díky možnostem používaných strojů a nástrojů je tato technologie vhodná jak pro malé série čítající několik kusů, tak i pro velké série. Díky vysokému množství typů nástrojů a příslušenství je možné vyrábět výrazně rozlišný sortiment součástí o různé tvarové a rozměrové složitosti. V závislosti na volbě strojního a nástrojového vybavení je možné optimálně volit mezi požadovanou produktivitou či přesností.

3.4.5 Zvolená výrobní technologie

Technologie tváření je pro výrobu zvolené součásti nevhodná z důvodů velikosti série. Aditivní technologie nevyhovuje vzhledem k objemu součásti. Hybridní technologie nejsou pro výrobu uvažovány z důvodů jejich nedostupnosti.

Nejvíce pro výrobu součásti vyhovuje technologie třískového obrábění, která splňuje nároky na tvarovou složitost a požadovanou přesnost. Vzhledem k prvkům na součásti budou použity dva způsoby třískového obrábění, a to frézování a vrtání.

Použití vrtání

Technologie vrtání bude použita pro výrobu otvorů sloužících jako vstupní díra, aby byl eliminován nápor na frézovací nástroje vzniklý při zavrtávání nástroje.

Využití frézování

Technologie frézování bude použita pro výrobu požadovaných ploch na součásti. Pro hrubovací operace budou použity válcové a toroidní stopkové frézy. Tyto nástroje budou použity pro dokončovací operace rovinných ploch a pravoúhlých stěn. Pro dokončovací operace tvarových ploch bude nutné použít stopkové frézy s kulovým zakončením.

Protože na součásti je nutné provádět operace na všech plochách, bude vhodné využít pětiosé indexované obrábění. Indexací bude možné ustavit obrobek do polohy, v níž bude přístupné obrábění těžko dostupných oblastí.

3.5 Volba polotovaru

Jako polotovar bude použit kvádr. Protože se jedná o součást, na které je provedeno tepelné zpracování je nutné použít celkový přídavek o hodnotě 0,4 mm na všech plochách. Tento polotovar bude vyroben na konvenčním stroji z hutního polotovaru. Výchozí rozměry polotovaru pro upnutí do NC stroje odpovídají hodnotám 205,8 x 132,8 x 123,8 mm.

3.6 Upnutí součásti

Protože na součásti je nutné provést obráběcí operace ze všech směrů, bude i při použití kombinace pětiosého indexovaného a kontinuálního frézování nutné součást vyrábět na více upnutí. Vzhledem ke kvádrovému tvaru výchozího polotovaru bude pro upnutí sloužit svěrák.

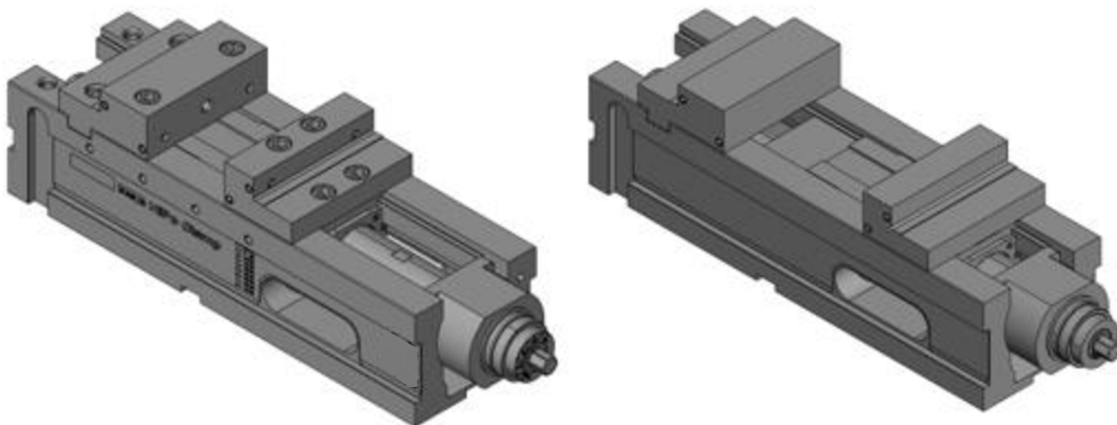
3.6.1 Přípravky pro upnutí

Pro upnutí součásti bude použit NC vysokotlaký svěrák NC8 125L od výrobce Allmatic. Jedná se o vysokotlaký strojní svěrák určený pro NC obráběcí stroje [31]. Základní parametry upínače jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 Základní parametry upínače [31].

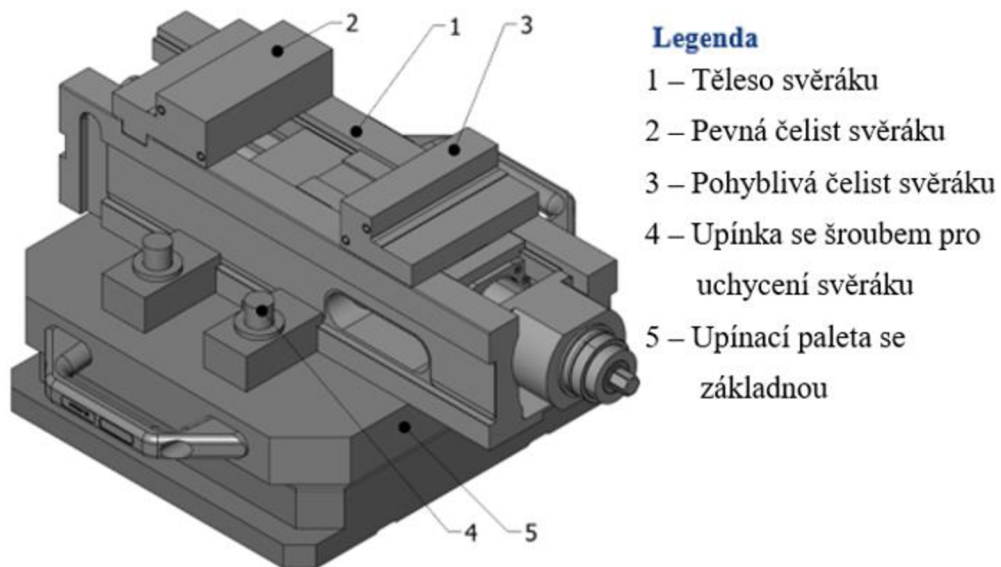
Rozsah upínání	0–314 mm
Maximální upínací síla	40 kN
Výška čelistí	39,5 mm
Šířka čelistí	126 mm
Rozměry základního tělesa	530x126x100 mm
Hmotnost	43 kg
Provedení upínacích ploch čelistí	Hladké nebo vroubkované

Pro simulaci a kontrolu kolizí je použit CAD model svěráku a dalšího příslušenství. Výchozí model byl stažen od výrobce a obsahuje detailní model upínače včetně ploch, které nejsou důležité z hlediska kontroly kolizí. Při výpočtu do kontroly vstupují veškeré plochy a vlivem jejich počtu a složitosti se zvyšuje čas nutný pro výpočet jednotlivých obráběcích strategií. Proto je pro simulaci vytvořen zjednodušený model, který snižuje počet ploch vstupujících do výpočtu a tím snižuje dobu nutnou pro výpočet strategie. Porovnání výchozího modelu a upraveného modelu použitého při simulaci je zobrazen na obrázku číslo 17.



Obrázek 17 Výchozí model svěráku (vlevo) a použitý model svěráku (vpravo).

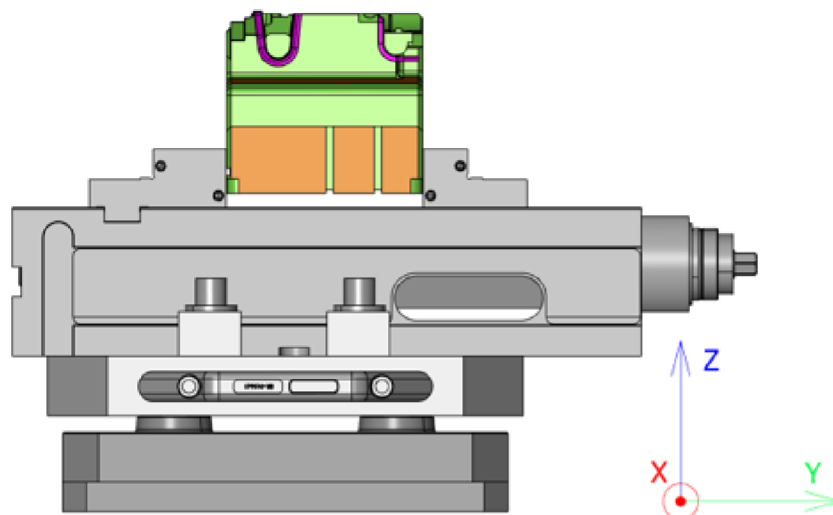
Svěrák je uchycen na paletě. Pro upnutí slouží čtyři upínky přichyceny šrouby zašroubovanými přímo do závitových otvorů na paletě. Paleta je uchycena k pracovnímu stolu stroje pomocí šroubů zašroubovaných do upínek pro t-drážky. Celkové schéma sestavy upínacích prostředků je zobrazeno na obrázku 18.



Obrázek 18 Schéma celkové sestavy upínacích prvků.

3.6.2 První ustavení

Při prvním ustavení bude zhotovena spodní strana součásti. Protože šířka čelistí je 126 mm bude součást vhodné ustavit za delší rozměr, aby byla zajištěna maximální kontaktní plocha mezi čelistí a obrobkem. Díky tomu je sníženo riziko otláčení součásti a její následné uvolnění při obrábění. Protože se jedná o obrábění před tepelným zpracováním, je nutné provést obrábění jednotlivých prvků s přídavkem. Tento přídavek bude následně odstraněn po tepelném zpracování. Velikost přídavku je stanovena na hodnotě 0,34 mm. Ustavení při prvním upnutí je zobrazeno na obrázku 19.



Obrázek 19 Ustavení při prvním upnutí.

3.6.3 Druhé ustavení

Při druhém ustavení bude zhotovena horní tvarová plocha včetně čelních vybrání. Stejně jako u prvního upnutí je i toto upnutí provedeno před tepelným zpracováním a obrábění během

tohoto upnutí bude provedeno s přídavkem. Hodnota tohoto přídavku je stejná jako v předchozím případě. Bez přídavků budou při tomto upnutí zhotoveny pouze od vzdušňovací drážky, zkosení a přechodové rádiusy na bočních plochách.

3.6.4 Operace mimo obrábění

Po provedení obrábění při prvním a druhém upnutí je provedeno tepelné zpracování součásti. Jedná se o kalení pro dosažení požadované tvrdosti součásti. Poté bude provedeno broušení určených ploch. Jedná se o obvodové plochy součásti, rovné plochy na součásti a šikmou plochu na bočním vybrání. Tyto plochy také slouží pro správné zaměření nulového bodu pro navazující obráběcí strategie. Dále bude provedena výroba prvků, které jsou zhotoveny pomocí drátové eroze. Jedná se o průchozí otvory a boční vybrání.

3.6.5 Třetí a čtvrté ustavení

Tyto ustavení nastávají po tepelném zpracování a shodují se s ustaveními před tepelným zpracováním. Při těchto upnutí bude provedeno dokončovací obrábění součásti.

3.7 Nástroje pro obrábění

Protože na součásti se budou provádět obráběcí operace před a po tepelném zpracování kalením, které má za účel zvýšení tvrdosti povrchu, bude nutné použít nástroje určené pro obrábění jak před tepelným zpracováním určených pro obrábění materiálů o nižší tvrdosti a následně nástroje uzpůsobené pro obrábění kalených materiálů. Pro snížení výrobních nákladů budou požitý přebroušené frézovací a vrtací nástroje.

3.7.1 Problematika při používání přebroušených nástrojů

Dnes je více než kdy jindy důležité dbát na snižování nákladů pro výrobu požadovaných součástí. Jedním ze způsobů je právě snížení nákladů na pořízení používaných nástrojů využitím přebroušených nástrojů. Protože cena nového nástroje se pohybuje i v tisících korun je vhodné využít přebroušené nástroje, kde jejich přebroušení se cenově pohybuje okolo stovek korun. Využívání těchto fréz, mimo ekonomických výhod, přináší určitá omezení.

Změna rozměrů nástroje

První z těchto problémů je změna obecné geometrie nástroje. Přebroušením musí dojít nejen k odstranění povrchově opotřebené části břitu, způsobenou abrazí popsanou v kapitole 2.6, ale také k odstranění ovlivněné vrstvy nástrojového materiálu. Vlivem tohoto úběru dochází ke změně délky a průměru funkční části nástroje. Podle způsobu použití frézovacího nástroje je nutné provést broušení pro obnovu funkční části nástroje.

Prvním způsobem je broušení z čela nástroje. Tento způsob je většinou používán pro frézovací nástroje určené pro obrábění kaleného materiálu a kulových fréz. Vlivem velkých sil vznikajících při frézování kalených materiálů zpravidla není možné využít velkou hloubku řezu. Tomuto způsobu jsou přizpůsobeny i frézovací nástroje pro kalené materiály, které mají nižší délku řezné části a následně jsou opatřeny stopkou pro zvýšení tuhosti nástroje, která zvyšuje odolnost vůči elastické deformaci nástroje během obráběcího procesu. Vlivem malé hloubky řezu tak dochází k opotřebení jen malé části břitu nástroje a při jeho renovaci není nutné provést redukci celé délky řezné části, ale jen čela nástroje. V důsledku toho dochází pouze k redukci délky nástroje bez snížení velikosti řezného průměru.

Druhým způsobem je broušení obvodu a čela. Tento způsob je nutné používat pro nástroje, u kterých je mimo čelní plochu nástroje, opotřebenou vždy vlivem kontaktu s materiálem, opotřeben i obvod nástroje vlivem vysoké hloubky řezu. K redukci tak dochází nejen u délkového ale i u průměrového rozměru. Při redukci řezného průměru je ale zachován průměr

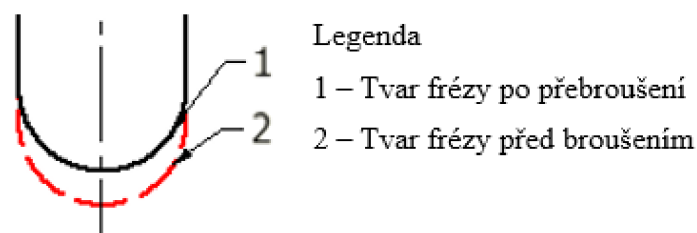
stopky. V důsledku toho vzniká na nástroji přechodová plocha vlivem rozdílného řezného průměru a průměru stopky. Přechodová plocha omezuje použití nástroje z hlediska hloubky řezu. Při broušení obvodu nástroje jsou vytvořeny stanovené rozměry řezného průměru, na které se frézovací nástroje brousí v závislosti na velikosti opotřebení. Příklady hodnot řezného průměru je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5 Příklady požadovaných průměrů po přebroušení.

Průměr frézy před opotřebením [mm]	Průměr po přebroušení [mm]	Minimální průměr po přebroušení [mm]	Minimální délka břitu / Celková délka s odlehčením [mm]
3	2,9; 2,8; 2,7; 2,6; 2,5	2,5	4/10
5	4,9; 4,8; 4,7; 4,6; 4,5	4,5	5/15
14	13,9; 13,8; 13,7; 13,6; 13,5	13,5	10/30
16	15,5; 15; 14,5; 14	14	12/40

Vlivem obou způsobů broušení také dochází k redukci délky řezné části nástroje. Protože se ale u jednotlivých přebroušených nástrojů mění délka řezné části je nutné před použitím nástroje provést kontrolu operátorem stroje. Ten musí ověřit, zda délka ostří přebroušeného nástroje dosahuje minimální požadované délky stanové na seřizovacím listu pro danou obráběcí operaci.

U kulových frézovacích nástrojů dochází k úběru pouze z čelní plochy. Díky kulovému tvaru je tak možné provést obnovu nástroje pouze s redukcí celkové délky nástroje. Princip redukce délky při přebroušení je zobrazen na obrázku 20.



Obrázek 20 Princip redukce délky při broušení kulových fréz.

Změna rozměrů nástroje však nepřináší jen nevýhody. Za výhodu lze považovat rozšíření sortimentu z hlediska použitelných rozměrů frézovacích nástrojů. Příkladem může být obrábění drážky s šířkou 6,9 mm, kde je požadavek přídávku 0,15 mm pro dokončovací řez. Pro dodržení požadovaných podmínek není možné využít standardizované rozměry fréz, které jsou zpravidla odstupňovány po 0,5 mm, ale je možné použít přebroušené frézy.

Změna povlaku nástroje

Původní nástroje mají specifické typy povlaků v závislosti na dodavateli a určeném způsobu použití. U přebroušených nástrojů jsou zhotoveny jednotné povlaky podle typu nástroje. Pro frézovací nástroje jsou použity povlaky s označením super coating blue.

Změna řezné geometrie

Stejně jako povlaku jsou i hodnoty řezných úhlů uzpůsobeny použití nástroje. Na přebroušených nástrojích jsou vytvořeny jednotné hodnoty řezných úhlů. V důsledku toho mohou vznikat problémy při obrábění některých vybraných materiálů.

U vrtáků však může nastat problém z hlediska úhlu hrotu vrtáku. Pro vrtáky z nástrojové oceli je na hrotu vytvořen jednotný úhel 120° a pro vrtáky ze slinutých karbidů je 140°. V některých případech mohou vzniknout problémy při operacích, kdy jsou rozlišné vrcholové úhly na vrtáku uvažované při tvorbě NC programu a skutečně použitým na stroji.

Snížení trvanlivosti nástroje

Další nevýhodou je snížení trvanlivosti nástroje, která je u přebroušených nástrojů zpravidla nižší, než u nových nástrojů. V důsledku řezných úhlů vytvořených na přebroušených nástrojích také může nastat další pokles trvanlivosti v důsledku nevhodnosti těchto úhlů pro určité materiály.




Stanovení řezných podmínek

Samotné stanovení optimálních řezných podmínek pro nové nástroje je problematické, časově náročné a závislé na mnoha faktorech. Výchozí nastavení může být provedeno podle údajů uvedených výrobcem, ale v závislosti na použití, upnutí a obráběném materiálu je často nutné tyto stanovené řezné podmínky přizpůsobit. Pro přebroušené nástroje je více obtížné stanovit optimální řezné podmínky, při kterých jsou řezné nástroje schopny produktivně obrábět, a to právě z důvodu změny povlaku a řezné geometrie.

3.7.2 Seznam použitých nástrojů

Pro hrubovací operace budou použity frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu opatřené CVD povlakem. Ty jsou voleny z důvodu úběru velkého množství materiálu, kde dosahují výrazně produktivnějšího obrábění.

Pro zbytkové hrubování a dokončení tvaru budou použity přebroušené povlakované monolitní frézy rádiusové a kulové. Kompletní seznam použitých nástrojů, včetně stanovených řezných podmínek obrábění, je uveden na seřizovacích listech, které jsou součástí příloh 1-4. Pro přebroušené nástroje je použito odlišné značení než pro nové nástroje. Příklad označení pro přebroušené a nové nástroje tak jak je uvedeno v seřizovacím listě, je na obrázku 21.

Nový nástroj	Legenda
ZR704 100 20 32	 - Označení nového/ výchozího nástroje
Přebroušený nástroj	 - Firemní Označení nástroje
(ZR704 100 20 32) 096472979 -T/M	 - Použití nástroje
	T - Nástroje pro obrábění po tepelném zpracování
	M - Nástroje pro obrábění před tepelným zpracování

Obrázek 21 Označení nástrojů v seřizovacím listu.

U některých nástrojů není způsob značení uvedený na obrázku 21 dodržen. Jedná se o nástroje, kde nedochází k redukci řezného průměru.

4 TVORBA NC PROGRAMU

V této kapitole bude popsán CAD/CAM software hyperMILL. Tento software bude použit pro tvorbu optimalizovaného NC programu pro výrobu zvolené součásti. Pro ověření programu bude použita grafická simulace.

4.1 Software hyperMILL

Jedná se o CAD/CAM software společnosti Open Mind. Tento software je určen jak pro tvorbu obráběcích drah, tak také umožňuje možnost vytvoření drah pro měření dotykovou sondou. Pro obráběcí operace software umožňuje tvorbu drah pro soustružení, frézování a základní operace broušení pomocí brusných tělísek. Pro jednotlivé strategie je zde také možné provádět kontrolu kolizí, a to jak pro nástroje, tak upínač a stroj.

4.1.1 Možnosti využití technologických CAD aplikací v softwaru hyperMILL

Tato část softwaru je specializována pro tvorbu pomocných geometrických prvků, jako jsou body, křivky, plochy a polygonové sítě, pro usnadnění práce uživatele a urychlení tak tvorby jednotlivých obráběcích strategií [32]. Software také disponuje uživatelsky přívětivou ovladatelností těchto prvků pro jejich úpravu a vizualizaci.

Další možností použití CAD aplikací v softwaru hyperMILL je možnost převedení jednotlivých tvarových prvků na tělesa. Oproti prvkům, jako je křivka nebo plocha, mají tělesa vzájemnou vazbu mezi jednotlivými prvky, jimiž jsou tvořeny, a je možné provést vytvoření trvalých vazeb mezi ostatními tělesy. Vazby mohou být s konstantní hodnotou nebo řízené pomocí stanovených proměnných, které lze použít pro snadnou manipulaci pohyblivých částí upínačů. Vytvořená proměnná pro ovládání rozevření čelistí svěráku je zobrazena na obrázku 22.



	Proměnná	Vzorec/hodnota	Výsledek
1	<input type="checkbox"/> Rozevreni	131.44	131.44
2	<input type="checkbox"/>		0.0000

Obrázek 22 Tabulka proměnných pro ovládání rozevření čelistí svěráku.

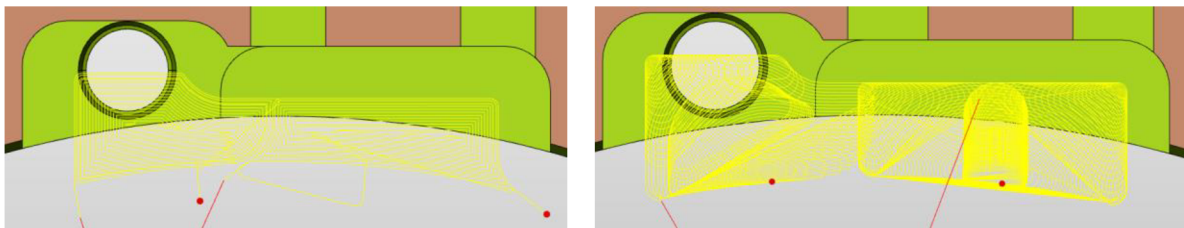
4.1.2 Možnosti využití CAM aplikací v softwaru hyperMILL

Jak již bylo popsáno, software hyperMILL disponuje možností tvorby strategií jak pro frézování, tak také soustružení a broušení. Pro frézovací operace také hyperMILL obsahuje specializované strategie určené například pro obrábění oběžných kol, lopatkových kol, lopatek turbín, tvarových kanálů, které v této práci nebudou využity [32]. Následující popis, proto bude primárně zaměřen na popis strategií použitých při tvorbě programu pro výrobu zvolené součásti.

Hrubovací operace

Pro výpočet hrubovacích operací hyperMILL disponuje strategiemi hrubování libovolného polotovaru nebo optimalizované hrubování. Tyto strategie disponují možností výpočtu drah v závislosti na zvolené oblasti obrábění a zbytkového materiálu definovaného jako výchozí polotovar pro danou strategii. Ve výchozím stavu jsou dráhy generovány tak že umožňují proměnlivé podmínky včetně překročení zadaných parametrů obrábění, jako je šířka záběru. Jako kompenzace je při využití plného průměru nástroje automaticky použit redukovaný posuv stanovený v definici nástroje.

Pro eliminaci možnosti vzniku proměnlivých podmínek při obrábění je možné využít režim vysokého výkonu. Při využití této možnosti je strategie generována tak, aby byly dodrženy stanovené parametry, použitím kombinací spirálových drah a drah pro trochoidní obrábění, čímž vzniká možnost využití například vysokorychlostního nebo vysokoproduktivního obrábění bez rizika přetížení, a tím i poškození, nástroje [32]. Při tomto způsobu výpočtu drah nástroje je také v nastavení strategie nutné přizpůsobit minimální poloměr zaoblení dráhy nástroje, který zajišťuje plynulý přechod při změně pohybu nástroje. Nutnost stanovení minimálního poloměru zaoblení může způsobit omezení pohybu nástroje. To může mít za následek vznik většího množství zbytkového materiálu například v rozích. Porovnání drah bez využití vysokého výkonu a při použití vysokého výkonu je zobrazeno na obrázku 23.



Obrázek 23 Porovnání drah nástroje pro běžný výpočet (vlevo) a při využití výpočtu pro vysoký výkon obrábění (vpravo).

Dokončovací operace

Pro tyto operace software hyperMILL disponuje velkým množstvím strategií od 2,5D obráběcích strategií jako je frézování kontury až po pětiosé kontinuální obrábění, kde je možné ovlivňovat pro jednotlivé strategie sklon nástroje. Díky vysokému množství strategií je možné volit optimální strategii pro výrobu požadovaného tvaru.

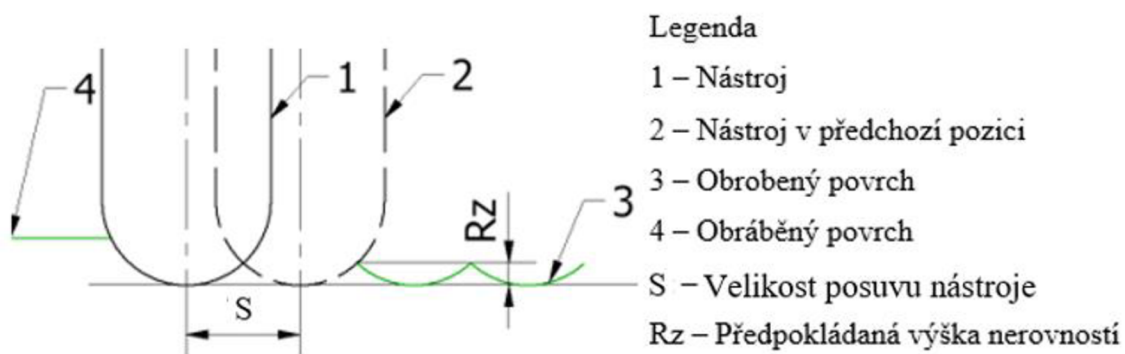
Základní obráběcí strategií použité pro dokončení je frézování kontury na 3D modelu. V tomto případě je dráha nástroje totožná s geometrií zvolené kontury. Protože se jedná o 2,5D strategii je obráběná kontura, bez ohledu na tvar, promítnuta do jedné roviny a údaje o její hloubce jsou zadány uživatelem. Při obrábění rozdílných výšek je možné zvolit více kontur, u kterých je možné nastavit rozdílnou hloubku. Tuto strategii je možné následně vytvořit s korekcí nebo bez korekce. Oproti běžné strategii obrábění kontury tato strategie umožňuje kontrolu kolizí pro zamezení zajištění nástroje do vymezených ploch modelu. Tato skutečnost však přináší omezení při požadavku vytvoření rozměru, jenž má oproti modelu zápornou toleranci a je tak nutné kontrolu kolizí deaktivovat. Pro možnost vytvoření více řezů je možné stanovit tloušťku obráběného materiálu s možností nastavení velikosti materiálu pro dokončovací dráhu. Jednotlivé řezy jsou vytvořeny v závislosti na stanovených parametrech obrábění. Tento postup, s využitím více řezů, je vhodný primárně při obrábění rovných úseků, protože při zadávání oblouků vzniká problém s odsazením dráhy nástroje.

Rozšířením strategie frézování kontury na 3D modelu je strategie 3D obrábění po křivkách. Ta zohledňuje rozložení křivky v prostoru. Hloubka obrábění je zadávána uživatelem a je měřena v závislosti na obráběné křivce.

Pro výrobu sražení a odjehlení je určena strategie frézování zkosení na 3D modelu. Tato strategie funguje podobně jako 3D obrábění po křivkách. Pro nastavení pohybu nástroje slouží stanovení řezného průměru, jenž udává, jaký průměr nástroje se pohybuje po zvolené křivce, a režim přísunu kdy je umožněn přísuv nástroje na křivku ve vertikálním nebo horizontálním směru. V závislosti na použitém modelu pro obrábění je možné také volit mezi strategií obráběním modelovaného zkosení, u něhož dochází ke kontrole bourání nástroje do modelu, nebo odstranění otřepů, kde je umožněn nájezd do modelu.

Pro dokončení zaoblení je vhodné používat strategii obrábění ISO. Tato strategie generuje dráhy nástroje po ISO křivkách. Pro výpočet je možné volit mezi orientací ISO čar, které vychází z vlastní orientace definičních vektorů jednotlivých ploch, nebo použít globální orientaci svázanou se souřadným systémem. Při použití definičních vektorů ploch je však vhodné provést zarovnání orientace jednotlivých ploch podle stanovené plochy. Přímou pro tuto operaci hyperMILL disponuje funkcí označenou jako Vyrovnat orientaci ploch.

Pro dokončení tvarových ploch je jednou ze základních strategií dokončování profilem. Ta je blízká obrábění při použití kontury, ale je převedena do prostoru pro dokončování různých tvarových ploch [32]. Strategie umožňuje velké množství nastavení jak pro optimalizaci jednotlivých řídicích křivek, jako je možnost obrábění ve směru souřadných os nebo využití vodících křivek, tak pro obráběné plochy, které je možné optimalizovat strategii v závislosti na sklonu plochy [32]. Další výhodou je možnost nastavení optimalizovaného posuvu nástroje dle maximální přípustné výšky nerovností povrchu. Ty odpovídají drsnosti povrchu stanovené podle parametru R_z . V případě nutnosti lze použít teoretický převod pro převedení hodnoty drsnosti R_z na hodnotu R_a . Hodnota kroku je nastavena podle výpočtu stanoveného dle idealizovaného modelu. Geometrický model pro výpočet předpokládané výšky nerovností je zobrazen na obrázku 24.



Obrázek 24 Geometrický model pro výpočet předpokládané výšky nerovností.

Protože se jedná o idealizovaný model, který nezohledňuje vlivy procesu, jako jsou vibrace nebo heterogenita materiálu, je nutné v programu stanovit maximální výšku nerovností na nižší hodnotu, než která odpovídá požadované drsnosti stanovené na výkresu.

Pro dokončování rovných ploch je určena strategie 3D obrábění rovin. U této strategie je možné dokončit rovné plochy kolmé na směr obrábění, a to buď s automatickou detekcí, kde je oblast obrábění vymezena zadanou výškou obrábění, nebo vymežit pohyb nástroje pouze na plochy definované uživatelem.

Pro dokončování velmi úzkých oblastí, které nejsou dokončeny při dokončovacím obráběním z důvodů velikosti nástroje, je možné využít strategii 3D automatické obrábění zbytkového materiálu. Tato strategie dokáže automaticky detekovat zbytkový materiál na obráběných plochách v závislosti na předchozím použitém referenčním nástroji. Pro zajištění návaznosti ploch je vhodné jako referenční nástroj definovat nástroj o větším průměru než, který byl skutečně použit.

Pro dokončování strmých oblastí je možné použít strategie obrábění po hladinách Z. Zde dochází k postupnému úběru materiálu s přísuvem v ose Z. Oproti dokončení profilem je tato strategie vhodná i pro obrábění kapes kde umožňuje například vytvoření spirálového tvaru dráhy pro dosažení plynulého pohybu nástroje [32]. Tato strategie, stejně jako strategie Dokončování profilem, disponuje možností optimalizace kroku v závislosti na požadované výšce nerovností povrchu.

Pro obrábění kontury ve více osách je možné použít k tomu specializovanou strategii pětiosé frézování kontury. Tato strategie umožňuje generovat dráhu nástroje s možností pohybu v pěti osách. Pro optimální pohyb nástroje je u této strategie možné provést optimalizaci polohy nástroje podle normál obráběných ploch. Pro doplnění je také možné provést interpolaci polohy nástroje vůči křivkám definovaných uživatelem.

Pro vytvoření startovacích otvorů je použita strategie jednoduché vrtání. Ta slouží pro vrtání jednoduchých děr. Pro definici dráhy nástroje je možné použít body nebo přímky. Základní strategií je vrtání pouze v rovině kolmé k ose Z. V parametrech strategie je možné provést rozšíření pro vrtací operace ve více osách. Díky tomu je možné snížit počet vytvořených strategií.

4.1.3 Možnosti optimalizace drah v softwaru hyperMILL

Ne vždy jsou vytvořené dráhy optimální a je nutné je optimalizovat. Jedná se o úpravu parametru jako zamezení pohybu nástroje do nežádoucích oblastí, nebo úpravy nájezdů. U některých strategií, jak již bylo řečeno, je možné provést toto vymezení například definicí obrábění pouze stanovených povrchů. Některé způsoby, jak jednotlivé parametry optimalizovat lze však použít pro všechny typy strategií.

Zamezení pohybu nástroje

Pro zamezení pohybu nástroje je možné použít více způsobů. Mimo ty základní jako je právě definice obráběných povrchů v dané strategii a vymezení stanovení hloubky obrábění se nabízí i další možnosti.

První z těchto možností je použití zakázaných povrchů. V této možnosti jsou zvoleny plochy na, kterých je možné nastavit jiný přírůstek, než je stanoven v obráběcí strategii. Tím lze odstranit nežádoucí pohyby nástroje na těchto plochách.

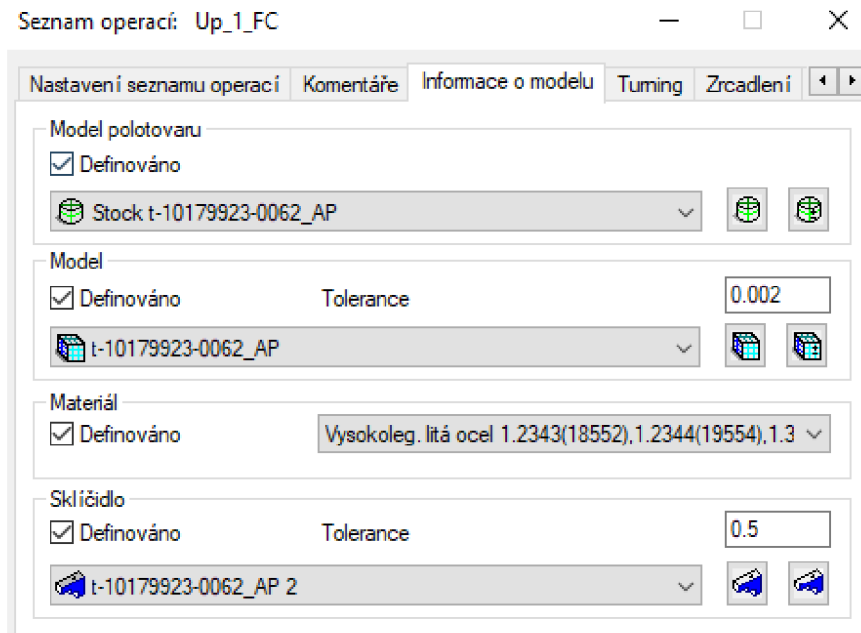
Další možností je využití definice nových povrchů modelu. U tohoto postupu jsou do výpočtu obráběcí strategie zahrnuty nové plochy, zpravidla vytvořené uživatelem. Ty jsou při výpočtu chápány jako plochy modelu a nedochází k možnosti projetí nástroje skrze tyto plochy.

Nastavení nájezdu

Pro zabezpečení vhodného nájezdu slouží pro jednotlivé strategie záložka s označením Makra. V této záložce je možné volit rozlišné, vlastní příslušným strategiím, způsoby najetí a vyjetí nástroje vůči materiálu. Mimo způsobu najetí a vyjetí je také možné optimalizovat délky nájezdu a možnost prodloužení dráhy za nájezdem. V rámci najetí a vyjetí je také možné nastavit hodnoty posuvu jakým, se nástroj bude nořit a vyjíždět z materiálu.

4.1.4 Seznam operací

Seznam operací slouží pro definici obecných parametrů pro jednotlivé strategie. Definuje se zde nulový bod, geometrické a materiálové informace o součásti, polotovaru a upínači pro které je možné přiřadit jim vlastní parametry. Seznam operací také slouží pro rozdělení NC programu pro jednotlivá upnutí. Definice zmíněných modelů v seznamu operací je zobrazena na obrázku 25.



Obrázek 25 Definice geometrických parametrů v seznamu operací.

Nulový bod obrobku

Nulový bod udává bod, který je nutné naměřit jako výchozí bod na součásti po upnutí do stroje. Proto je nutné jej umístit na vhodných plochách o dostatečné přesnosti a možnosti zaměření. Tento bod má výchozí souřadnice v osách [X, Y, Z] o hodnotě [0, 0, 0]. Souřadný systém je nutné orientovat tak aby osa Z směřovala proti ose nástroje.

Materiál obrobku

Materiál obrobku slouží pro vymezení nástrojů v databázi, které jsou definované pro obrábění požadovaného materiálu. Tento údaj je nutné dodržet primárně pro kalené materiály, u kterých je důležité používat nástroje pro obrábění materiálů o vysoké tvrdosti, jako jsou právě kalené oceli. Dále definice materiálu usnadňuje volbu řezných podmínek. Ty jsou automaticky nahrány z databáze do obráběcí strategie v závislosti na zvoleném způsobu obrábění a obráběném materiálu.

Pro obrábění před tepelným zpracováním je použita definice materiálu jako vysokolegovaná ocel. Po tepelném zpracování je volen materiál s rozsahem tvrdosti 55–60 HRC.

Oblast frézování

Oblast frézování představuje hranice oblasti obrábění a definují ji hraniční plochy modelu. Definicí těchto ploch je zamezeno riziku pohybu nástroje do modelu. Také tato oblast slouží pro kontrolu kolizí pro upínače při tvorbě programu.

Výchozí polotovár

Polotovár slouží pro vymezení oblasti, kde je nutné odebírat materiál. Polotovár je důležitý pro vybrané strategie, kde je vymezení pohybu nástroje stanoveno právě podle obráběného materiálu. Dále je možné použít definovaný polotovár pro kontrolu případných kolizí.

4.2 Tvorba obráběcích strategií pro první upnutí

Celkově jsou vytvořeny programy pro dvě součásti. První je určen pro výrobu skutečné součásti a posouzení navržených strategií oproti výchozímu způsobu obrábění. Jednotlivé odkazy a obrázky v textu jsou posuzovány pro tyto programy navržené pro originální součásti. Druhý program je vytvořen na tvarově upravené součásti, u kterého jsou použity stejné postupy jako pro originální součásti. Program pro upravenou součást je součástí přílohy 10 této práce z důvodů zabránění zveřejňování dat firmy. V textu práce nebude popsán kompletní postup pro obrábění součásti, ale jen navržené změny a údaje nutné pro následné ekonomické zhodnocení navržené varianty. Kompletní postup obrábění je součástí programu. Ten je součástí elektronických příloh.

Při prvním upnutí bude zhotovena spodní strana součásti. Na této straně budou vytvořeny obráběcí strategie pro obrobení rohů součásti, sražení obvodové hrany. Kapsy navazující na vnitřní průchozí otvor a odvzdušňovací drážky.

4.2.1 Obrábění rohů součásti

Ve výchozím programu je pro hrubovací operaci použita frézovací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami. Vlivem možnosti využití malé hloubky řezu je tak na hrubování rohů použito vysoké množství řezů.

V navrženém programu je frézovací hlava nahrazena monolitní přebroušenou frézou. Monolitní fréza umožňuje využití celkové délky břitu a tím dosažení vysoké hloubky řezu, oproti frézovací hlavě s vyměnitelnými břitovými destičkami. Tím je dosaženo snížení počtu řezů pro hrubovací operaci. U přebroušené frézy jsou nastaveny menší hodnoty posuvové rychlosti, a přesto dle vyhodnocení obráběcích časů v softwaru hyperMILL, je dosaženo menší doby obrábění. Porovnání doby obrábění pro výchozí a navrženou strategii je uvedeno na obrázku 26.

G0	29178	0:01:28	G0	3251.7	0:00:10
G1	14317	0:04:27	G1	323.4	0:00:59
G2/G3	238.7	0:00:45	G2/G3	1160.8	0:03:34
Prodlevy	0	0:00:00	Prodlevy	0	0:00:00
Výměny nástroje	2	0:00:00	Výměny nástroje	1	0:00:00
Součet	43733.7	0:06:39	Součet	4735.8	0:04:42

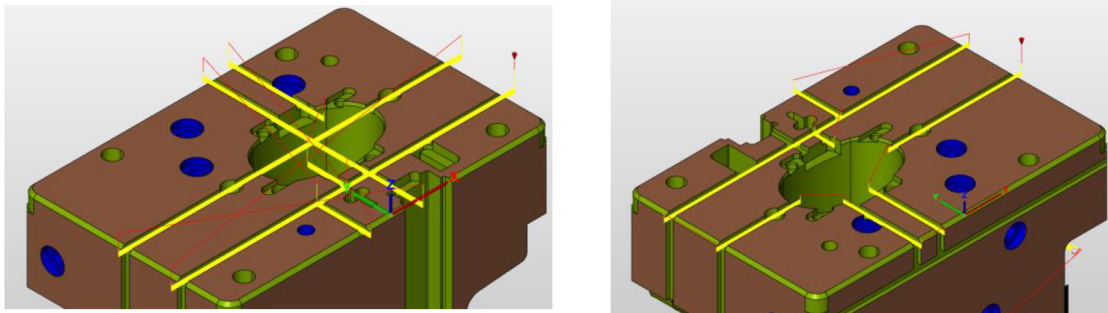
Obrázek 26 Porovnání doby obrábění rohů pro výchozí (vlevo) a navrženou (vpravo) strategii.

4.2.2 Obrábění odvzdušňovacích drážek

Pro obrábění odvzdušňovacích drážek je původně využita kulová fréza o průměru 5 mm. Dráha nástroje je generována jako souvislá pro jednotlivé drážky. Tímto způsobem dochází k obrábění i v oblasti kde bude materiál následně odstraněn, a tím k prodloužení doby obrábění.

Pro vytvořený program je použita rádiusová fréza o průměru 4,5 mm s poloměrem zaoblení špičky 1 mm. Díky zaoblení špičky nástroje nedochází ke vzniku ostrého přechodu mezi dnem a stěnou drážky. Ostrá hrana by mohla způsobit popraskání součásti během následujícího tepelného zpracování. Díky změně průměru nástroje vlivem přebroušení je také dosaženo vhodného přídávku pro následné obrábění o velikosti 0,25 mm na stěně obrobku.

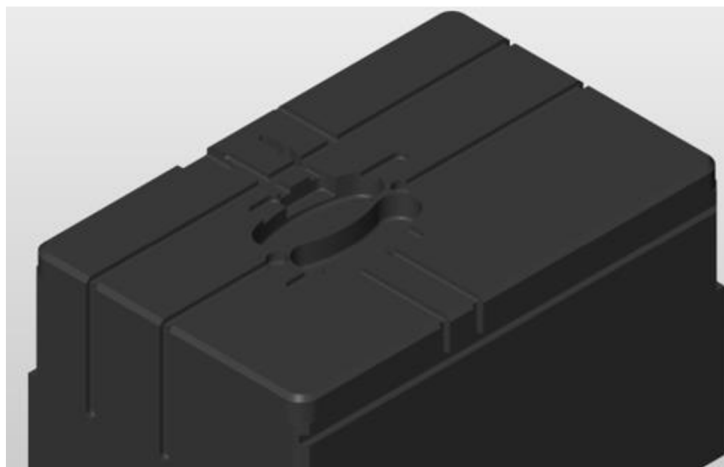
Protože vytvářený program je vytvořen pro kompletní obrábění součásti, je zde také znalost postupu obrábění. Díky tomu je možné zkrátit dráhu nástroje pro frézování drážek, které navazují na otevřené kapsy spojené se středovým vybráním. Pro drážky, které navazují přímo na středové vybrání je pro zkrácení dráhy nástroje vyvrtán otvor v oblasti středového vybrání, tím je možné obrábět v obou směrech. Vyvrtaná díra také zamezuje zavrtávání nástroje do plného materiálu. Při frézování drážek dochází k úběru materiálu plným průměrem nástroje a nesousledným způsobem frézování. Díky zkrácení dráhy řezu, je mimo zkrácení doby obrábění, také dosaženo snížení negativních vlivů vzniklých v důsledku tepelného zatížení vlivem doby řezu a nesousledného frézování, popsaných v kapitole 2.7.1. Nevýhodou navrženého postupu je nutnost tvorby nové strategie pro vrtací operaci a použití dalšího nástroje pro tuto operaci. Porovnání drah nástroje pro výchozí a navržený program je zobrazen na obrázku 27.



Obrázek 27 Porovnání výchozí (vlevo) a navržené (vpravo) dráhy nástroje pro odvodušňovací drážky.

4.2.3 Vyhodnocení obrobku pro první upnutí

Pro první upnutí bylo provedeno obrábění spodní strany součásti. Zde byly vytvořeny strategie pro obrábění rohů součásti, sražení obvodové horní hrany, otevřené kapsy ve středu součásti, uzavřená drážka a odvodušňovací drážky na spodní straně a na bočních stěnách. Výsledný obrobek po prvním ustavení je zobrazen na obrázku 28.



Obrázek 28 Obrobek po prvním upnutí.

4.3 Tvorba obráběcích strategií pro druhé upnutí

Při druhém upnutí budou vytvořeny obráběcí strategie pro kompletní hrubování horního tvaru. Tvarové plochy součásti opět budou zhotoveny s přídavkem z důvodu tepelného zpracování. Bez přídavku budou zhotoveny pouze odzdušňovací drážky, zkosené hrany na součásti a přechodové rádiusové hrany na bočních stěnách.

4.3.1 Hrubování horního tvaru

Ve výchozím programu je provedeno kompletní hrubování horního tvaru součásti za použití strategie optimalizovaného hrubování. Pro první dvě strategie jsou použity frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami o průměru 32 mm a 20 mm a pro zbytkové hrubování je použita monolitní rádiusová fréza s poloměrem zaoblení špičky 2 mm. Pro první a druhou hrubovací strategii je provedeno hrubování součásti z horní strany za použití strategie optimalizované hrubování. Při tomto postupu vznikají proměnlivé podmínky pro obrábění. Zbytkové hrubování jednotlivých prvků je prováděno při naklopení obrobku do požadovaného směru.

V navrženém programu je provedeno několik úprav výchozího postupu pro obrábění jednotlivých tvarů na součásti. Obecným prvkem je změna způsobu chlazení nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. U těchto nástrojů je použita velká šířka řezu a hloubka obrábění. To způsobuje velké teplotní zatížení nástroje. Z tohoto důvodu je pro hrubovací strategie, u kterých jsou použity frézy vyměnitelnými břitovými destičkami, nastaven způsob chlazení pomocí vzduchu, pro snížení rizika vzniku teplotních trhlin popsanych v kapitole 2.6.

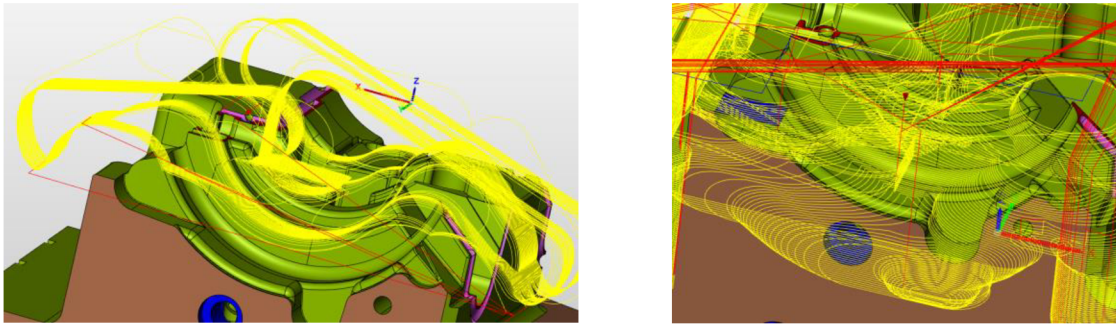
Obrábění bočních stěn

První strategie je určena pro obrábění bočních stěn a horní plochy. Pro obrábění je použita strategie 3D optimalizované hrubování se způsobem výpočtu pro obrábění vysokým výkonem. Využitím této možnosti jsou dodrženy stanovené podmínky během obrábění a tím je dodržen také sousledný způsob obrábění bez rizika přetížení nástroje. Díky tomu je minimalizována nutnost zásahu obsluhy stroje do programu během obrábění. Pro vymezení pohybu nástroje jsou vytvořeny další povrchy. Tím je dosaženo vhodného pohybu nástroje a předhrubování zkosení, která v původním programu předhrubována nejsou.

Ve vytvořeném programu nejsou obráběny boční stěny. Aby byl zamezen pohyb nástroje do těchto stěn, je nutné definovat přídavné povrchy. Tyto povrchy jsou odsazeny od bočních stěn o hodnotu větší, než je velikost materiálu definovaného stanoveným polotovarem. Tím je odstraněn pohyb nástroje do těchto stěn, protože z hlediska výpočtu dráhy nástroje se zde nenachází materiál k obrábění.

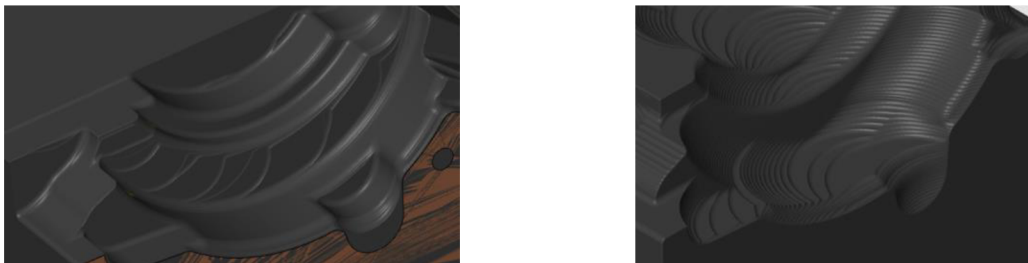
Obrábění kruhového vybrání

Jako další je provedeno obrábění kruhového vybrání na boční stěně. Toto vybrání je obráběno při indexaci obrobku. Celkem jsou použity čtyři strategie optimalizovaného hrubování. Pro první nástroj je z obrábění vyčleněna otevřená drážka na spodní části kruhového vybrání pro zajištění větší plynulosti chodu nástroje. Díky indexaci je dosaženo vhodnějšího využití nástroje než při výchozím postupu obrábění, kde je hrubování kruhového tvaru provedeno spolu s horní plochou. Porovnání drah nástroje pro první hrubování kruhového vybrání je zobrazeno na obrázku 29.



Obrázek 29 Porovnání drah pro první hrubování kruhového vybrání.

Při obrábění v indexaci nástroj vhodněji kopíruje tvar součásti a tím je na kruhovém vybrání dosaženo rovnoměrnějšího přídavku pro následující obráběcí strategii. Porovnání zbytkového materiálu pro obrábění kruhového vybrání je zobrazeno na obrázku 30.



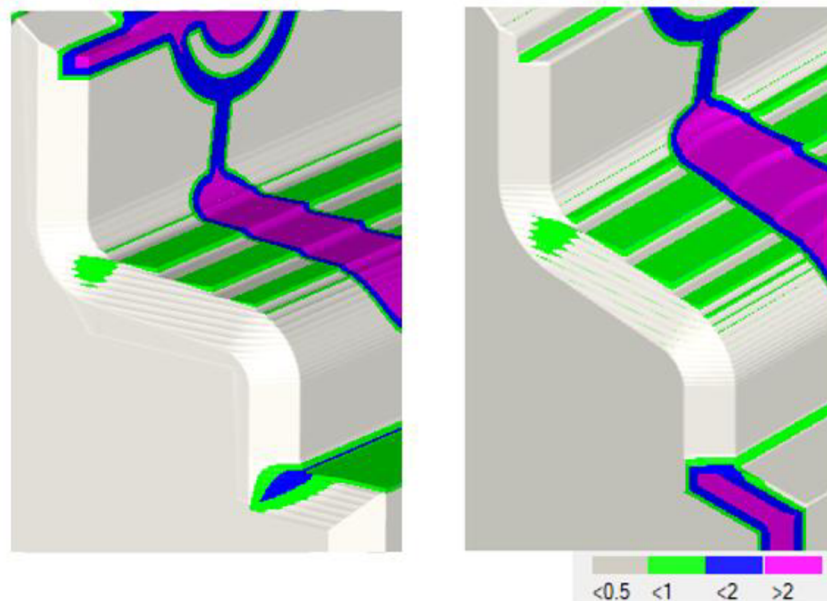
Obrázek 30 Porovnání zbytkového materiálu v kruhovém vybrání po obrábění frézami s vyměnitelnými břitovými destičkami pro navržený (vlevo) a výchozí program (vpravo).

Pro spodní kruhové vybrání je vytvořena navazující strategie optimalizovaného hrubování, kde je využita možnost vysokého výkonu pro předhrubování materiálu. Ve výchozím programu je tento materiál odstraněn při dokončovacím obrábění spolu s dokončením kruhového vybrání. To má za následek změnu řezných podmínek důsledkem najetí plného průměru nástroje do materiálu. V navrženém programu je tento problém řešen právě vytvořením přídavné strategie, kde je využita velká hodnota hloubky řezu s malou šířkou řezu, aby bylo dosaženo rovnoměrného opotřebení nástroje, pro odstranění zbytkového materiálu. Pro minimalizování vady vzniklé na obráběné ploše vlivem využití dvou strategií, je tato oblast obráběna s vyšším přídavkem, než je stanovená hodnota přídavného materiálu pro odstranění po tepelném zpracování. V důsledku toho v navazující strategii pro dokončení kruhového vybrání nedochází k přerušení drah nástroje. Porovnání množství odebíraného materiálu pro dokončovací strategii je zobrazeno na obrázku 31.



Obrázek 31 Porovnání množství odebíraného materiálu pro dokončení hrubování kruhového vybrání.

Spolu s bočním kruhovým vybráním je také obrobena zkosení na boční stěně. Vytvořením přídavných povrchů pro vymezení pohybu nástroje u strategie určené pro hrubování bočních stěn jsou zkosení předhrubována a je tak možné použít nižší počet řezů pro jejich finální obrobení. Zobrazení zbytkového materiálu pro obrábění zkosení je zobrazeno na obrázku 32.

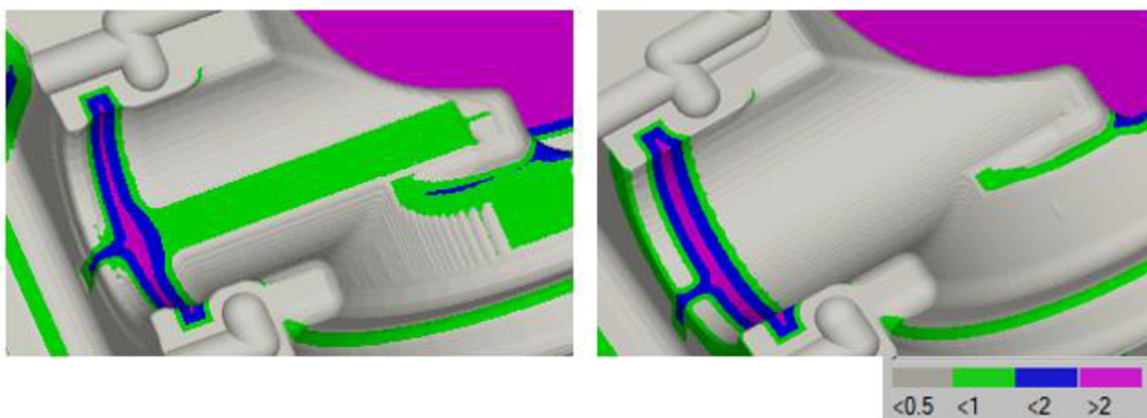


Obrázek 32 Porovnání zbytkového materiálu pro dokončení zkosení na straně kruhového vybrání pro navržených (vlevo) a výchozí (vpravo) program.

Hrubování horního tvaru

Pro toto obrábění jsou použity stejné nástroje, jako pro obrábění kruhového vybrání. Polotovar pro tuto strategii je vygenerován jako výsledek obrábění kruhového vybrání. Tím jsou odstraněny řezy na kruhovém vybrání vzniklé při obrábění z horní plochy.

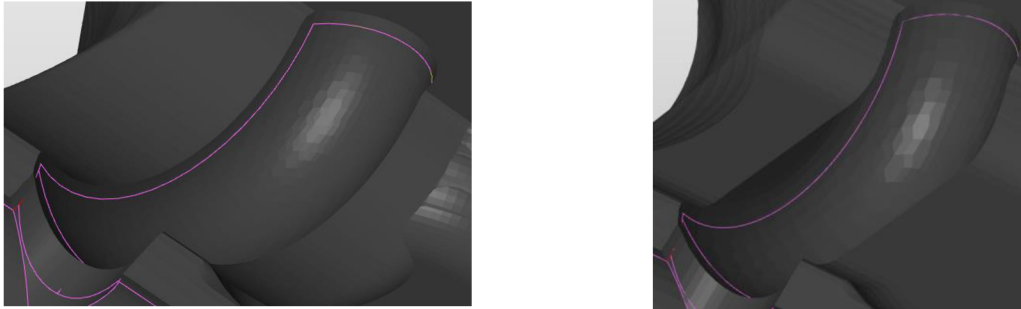
Pro dosažení rovnoměrnějšího zbytkového materiálu je v navrženém programu vytvořena další strategie, kde je použita přebroušená kulová fréza. Protože u součástky je provedeno tepelné zpracování mohlo by větší množství zbytkového materiálu zabránit prokalení dané plochy a po následném obrobení by tato plocha nemusela dosahovat požadované tvrdosti stanovené na výkrese. Porovnání zbytkového materiálu je zobrazeno na obrázku 33.



Obrázek 33 Uvažovaný zbytkový materiál pro výchozí (vlevo) a navržený (vpravo) program.

4.3.2 Úprava drah pro čelní vybrání

Zde se jedná o rozšíření oblasti frézování ve strategii určené pro obrábění čelních vybrání pro odstranění velkého množství zbytkového materiálu nad jednou z odvzdušňovacích drážek. Vlivem použití velkého průměru nástroje pro hrubování horního tvaru nedochází k dostatečnému úběru materiálu. Při následném obrábění odvzdušňovací drážky by bylo nutné odebrat velké množství zbytkového materiálu kulovým nástrojem. Zobrazení množství zbytkového materiálu nad odvzdušňovací drážkou je zobrazeno na obrázku 34.

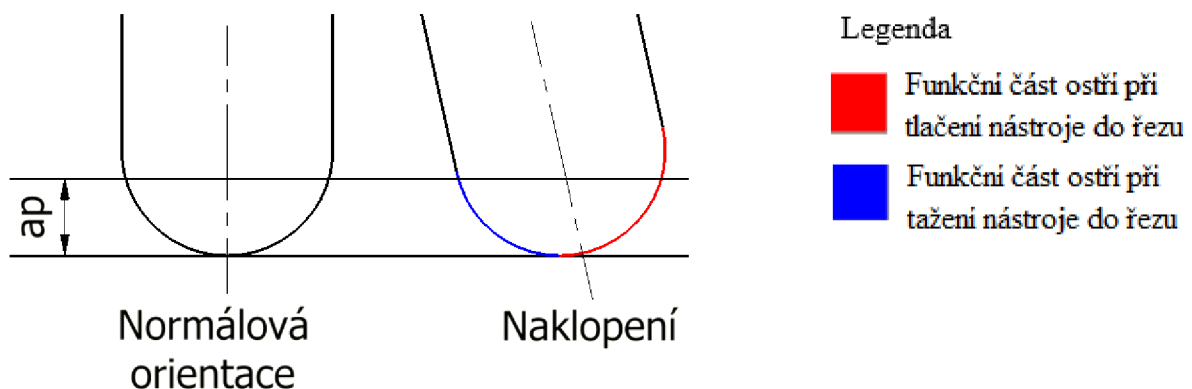


Obrázek 34 Zbytkový materiál nad odvzdušňovací drážkou pro navržený (vlevo) a výchozí (vpravo) program.

4.3.3 Obrábění odvzdušňovacích drážek

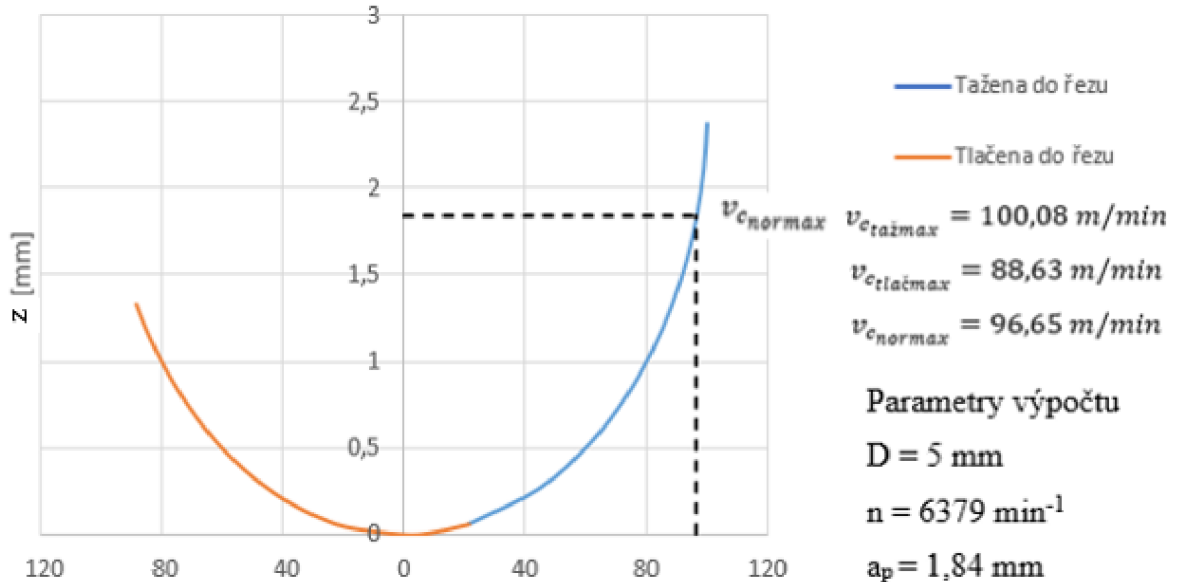
Jedná se o drážky kruhového průřezu o průměru 5 mm. Pro obrábění je použita přebroušená kulová fréza o stejném průměru s normálovou orientací osy nástroje vůči obráběné ploše. Rozložení řezné rychlosti na nástroji klesá směrem k ose rotace. Vlivem normálové orientace nástroje je tak obráběno velmi malou rychlostí. Kombinací nízké řezné rychlosti a malé hloubky řezu může docházet v místě špičky nástroje k pěchování materiálu. To má za následek snížení kvality obrobenej plochy. Tyto drážky jsou vyhotoveny na několik řezů. Pokud by zde docházelo k pěchování materiálu, mohlo by to vést ke zpevnění materiálu, který je nutné obrobít při následujícím řezu. Tím by mohlo dojít k většímu opotřebení nástroje a poklesu jeho životnosti.

V navrženém programu je toto riziko minimalizováno indexací obrobku o $12,5^\circ$. Tím dochází ke změně orientace nástroje vůči normále obrobenej plochy a zvětšení efektivního průměru nástroje, kterým je odebrán materiál. Vyjádření změny částí ostří, kterým je odebrán materiál, je zobrazeno na obrázku 35.



Obrázek 35 Porovnání funkční části ostří.

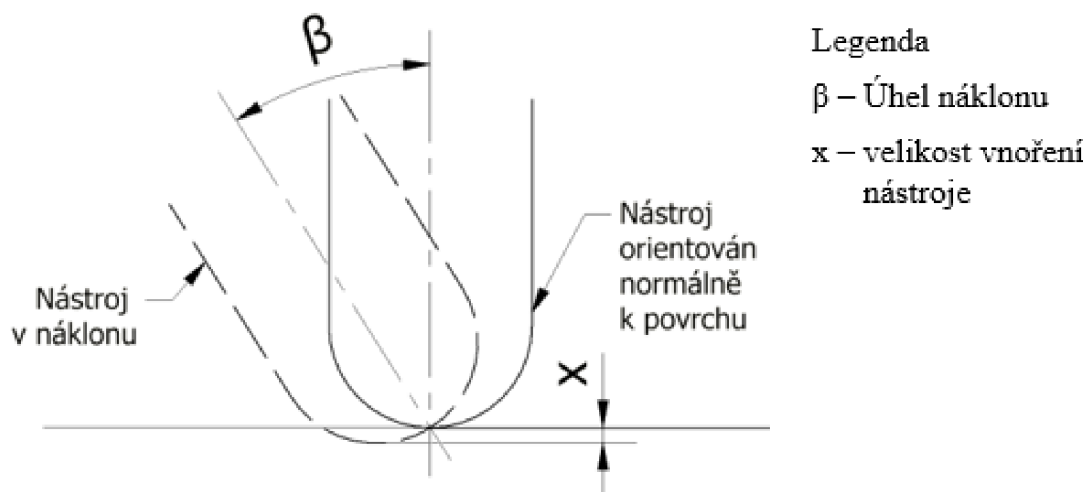
Z obrázku 35 je patrné, že při tlačení nástroje do řezu dochází opět k úběru materiálu přes střed nástroje, kde je nulová řezná rychlost. Z tohoto důvodu je vhodné pro obrábění provádět řez pouze jedním směrem, aby bylo zajištěno tažení nástroje do řezu a tím dosažena maximální řezná rychlost. Vyjádření řezné rychlosti pro jednotlivé způsoby orientace a pohyby nástroje je zobrazeno na obrázku 36.



Obrázek 36 Průběh řezné rychlosti při použití kulové frézy.

Z obrázků 36 je patrné, že při tažení nakloněného nástroje je dosaženo vyšší maximální řezné rychlosti než při obrábění nástrojem s normálovou orientací.

Protože pro obrábění je použita strategie 3D obrábění po křivce, která generuje dráhu nástroje podle špičky nástroje, dochází vlivem naklonění k zaboření nástroje do materiálu. Aby nedošlo k přetížení nástroje, je vhodné tuto skutečnost kompenzovat zvětšením hloubky obrábění ve vytvořené strategii. Zaboření nástroje vlivem náklonu je zobrazeno na obrázku 37.



Obrázek 37 Zaboření nástroje vlivem naklonění nástroje.

Při použití frézy o průměru 5 mm a uvažovaném úhlu náklonu $12,5^\circ$ je velikost vnoření 0,059 mm. Celková hloubka obrábění se skládá právě z hloubky vnoření, přídavku ponechaného na horní ploše a samotné hloubky obráběné drážky.

HyperMILL neobsahuje strategii, která kompenzuje velikost záběru nástroje. Vlivem postupného zaboření nástroje však dochází k postupnému zvětšování průřezu třísky. Pro zvýšení produktivity je ve vytvořeném programu frézování drážek rozděleno na dvě strategie s rozdílnými parametry hloubky záběru. Pro první strategii, kdy dochází k malému kontaktu mezi nástrojem a obrobkem je nastavena dvojnásobná hodnota hloubky řezu s přídavkem 1 mm. Tento přídavek je následně odstraněn další strategií s poloviční hodnotou hloubky řezu. Tímto způsobem dochází ke zkrácení strojního času a ke kompenzaci zvýšení doby obrábění vlivem jednosměrného způsobu pohybu nástroje.

4.3.4 Zhodnocení navrženého postupu obrábění

V navrženém programu jsou provedeny jednotlivé úpravy obráběcích strategií popsané v jednotlivých kapitolách pro obrábění jednotlivých tvarů na součásti. Důvody těchto úprav jsou popsány v uvedených kapitolách. Vlivem změn však také dochází ke změně doby obrábění. Porovnání celkové doby obrábění pro druhé upnutí je zobrazeno na obrázku 38.

G0	240651.9	0:12:02	G0	79713.2	0:03:59
G1	413826.1	2:08:21	G1	377475.5	2:00:21
G2/G3	54.3	0:00:03	G2/G3	54.3	0:00:03
Prodlevy	0	0:00:00	Prodlevy	0	0:00:00
Výměny nástroje	11	0:00:00	Výměny nástroje	5	0:00:00
Součet	654532.3	2:20:26	Součet	457243	2:04:23

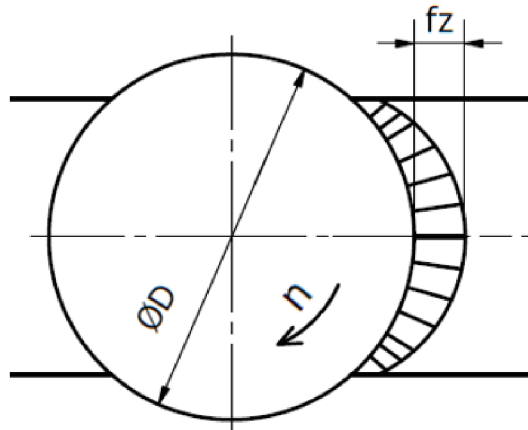
Obrázek 38 Porovnání doby obrábění druhého upnutí pro navržený (vlevo) a výchozí (vpravo) program obrábění.

4.4 Tvorba obráběcích strategií pro třetí upnutí

Třetí upnutí následuje po tepelném zpracování. Při tomto upnutí je provedeno dokončovací obrábění horní tvarové plochy.

4.4.1 Dokončení rovinných ploch

Pro dokončení rovinných ploch je v databázi nástrojů vytvořena sada řezných dat pro čelní dokončení. Ta je používána pro dokončování rovinných ploch čelem nástroje. U těchto řezných dat je nastavena šířka řezu na polovinu hodnoty průměru nástroje. Tato hodnota ovšem není vhodná z hlediska zatížení nástroje. Jak bylo popsáno v kapitole 2.3, je řezná síla působící na nástroj závislá na obráběném materiálu a průřezu třísky. Průběh šířky třísky při čelním frézování je zobrazen na obrázku 39.



Obrázek 39 Průřez třísky při čelním frézování.

Z obrázku 39 je patrné, že při použití šířky řezu právě polovinou nástroje dochází, ke vstupu břitu do řezu při maximálním průřezu třísky. Vlivem toho tak dochází k velkému rázu na vstupu nástroje do řezu. Velikost tohoto rázu je redukována uspořádáním břitů na nástroj do šroubovice. Ta ale redukuje celkovou sílu působící na břit nástroje. Při využití čtyřbřitého nástroje k tomuto rázu dochází při výstupu předchozího břitu z řezu, kde je již kladen minimální odpor materiálu. Vlivem pravidelného opakování tohoto děje může vlivem rázů dojít k rozvibrování nástroje, které může mít vliv na následnou kvalitu obrobeneho povrchu.

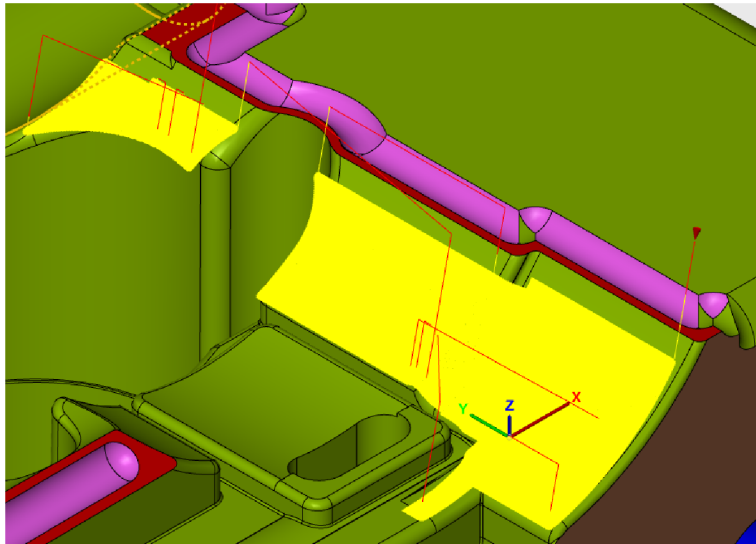
V navrženém programu je tento jev minimalizován změnou šířky záběru nástroje. Hodnota záběru je stanovena jako třetina průměru nástroje. Tím je snížen průřez třísky na vstupu nástroje do řezu, a tak i snížena celková řezná síla působící na břit nástroje.

4.4.2 Dokončení tvarových ploch

Pro dokončení tvarových ploch jsou používány kulové frézy. Stejně jako při obrábění drážek nastává problém s poklesem řezné rychlosti směrem k ose nástroje. Při obrábění kalených celí se pro obrábění zpravidla používá vysoká řezná rychlost s malými hodnotami posuvu a hloubkami řezu. Při normálové orientaci tak vzniká nutnost použití vysokých otáček vřetena stroje pro dosažení požadované řezné rychlosti. Vlivem vysokých otáček může docházet ke vzniku vibrací vlivem nevyváženosti rotujících komponentů stroje. Tyto vibrace mohou mít vliv na výslednou kvalitu povrchu. Díky změně náklonu nástroje je tak možné tyto otáčky snížit, a tím částečně eliminovat vliv vibrací vzniklých v důsledku nevyváženosti jednotlivých komponent.

Jak již bylo popsáno v kapitole 4.3.3, je vhodné při naklopení nástroj obrábět jedním směrem, aby bylo zajištěno tažení nástroje do řezu, a tím odstraněn problém s nulovou řeznou rychlostí. Při obrábění stěn je také jednosměrným pohybem možné dosáhnout dodržení sousledného způsobu obrábění. Vlivem tvaru součásti však není vždy možné dodržet možnost tažení nástroje. Pro zkrácení strojního času je pro dokončovací strategie použit pohyb nástroje v obou směrech. V důsledku toho dochází při obrábění ke vzniku proměnlivých podmínek obrábění. V závislosti na tvaru součásti dochází ke změně efektivního průměru obrábění a tím i ke změně řezné rychlosti. Také zde dochází ke změně smyslu frézování ze sousledného na nesousledné. To může mít vliv na kvalitu řezné plochy. V důsledku těchto proměnlivých podmínek může vzniknout vyšší nutnost zásahu obsluhy stroje do programu během obrábění.

V závislosti na tvaru součásti je možné více uvedené problémy částečně eliminovat. V důsledku toho však dochází k nárůstu doby obrábění. Na obrázku 40 je zobrazena dráha pro porovnání doby obrábění.



Obrázek 40 Dráha pro porovnání doby obrábění.

Při dodržení sousledného obrábění dochází ke značnému zvýšení počtu nutných přejezdů nástroje. To má za následek výrazné prodloužení doby obrábění. Porovnání doby obrábění je zobrazeno na obrázku 41.

G0	216.1	0:00:01	G0	16060.3	0:00:48
G1	13167.4	0:05:23	G1	18908.4	0:10:29
G2/G3	0	0:00:00	G2/G3	0	0:00:00
Prodlevy	0	0:00:00	Prodlevy	0	0:00:00
Výměny nástroje	0	0:00:00	Výměny nástroje	0	0:00:00
Součet	13383.5	0:05:24	Součet	34968.7	0:11:17

Obrázek 41 Doba obrábění při obousměrném (vlevo) a jednosměrném (vpravo) pohybu nástroje.

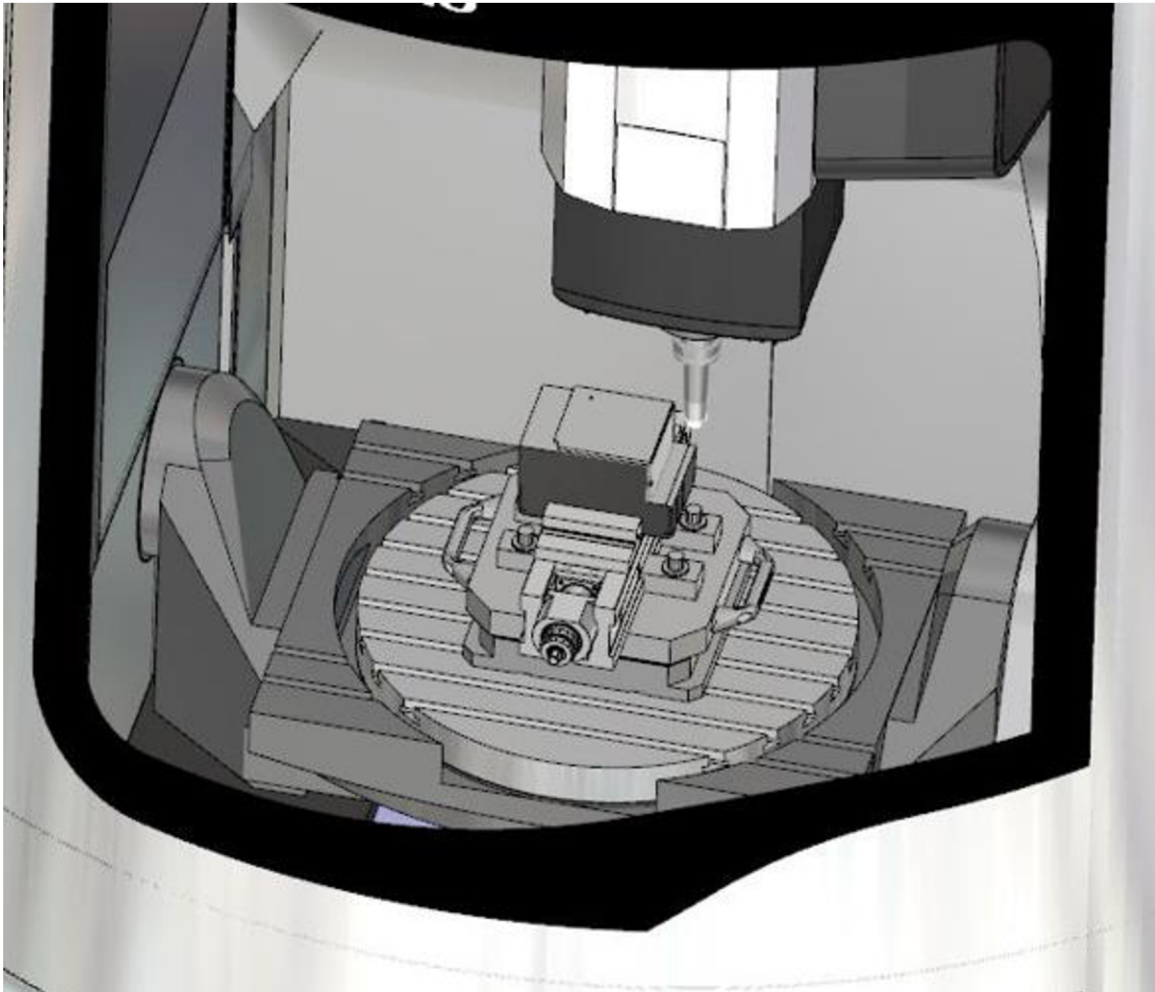
Jak je uvedeno na obrázku 41, dochází při dodržení sousledného způsobu frézování k velkému nárůstu doby obrábění. V důsledku obrábění jedním směrem také vzniká vysoké množství přejezdů, čímž mohou vznikat rázy způsobené přejezdem nástroje. Zdvojnásobení doby řezného pohybu je způsobeno vlivem zvýšení počtu nájezdů, kde je použita nižší hodnota posuvu. V kombinaci s vysokým počtem nájezdů nástroje tak dochází k výraznému prodloužení doby obrábění.

Vlivem značného nárůstu doby obrábění se tak zvyšují náklady na výrobu. Pro objektivní posouzení vhodnosti tohoto způsobu obrábění by bylo nutné provést kompletní ekonomické zhodnocení. Protože se jedná o dílec vstřikovací formy jako objektivní posouzení by bylo zhodnocení celkových nákladů na výrobu vůči zisku, získaného v důsledku použití dané součásti.

4.5 Ověření technologičnosti konstrukce grafickou simulací

Software hyperMILL umožňuje možnost kontrolu vytvořeného programu pomocí simulace. V této simulaci jsou zahrnuty všechny prvky definované ve vytvořeném programu, jako je obrobek, nástroj a definované upínače. Také lze použít model stroje pro simulaci kinematiky

stroje během obrábění. Během této simulace je možné zjistit případné kolize, aby se zabránilo poškození stroje. Simulace programu se strojem je zobrazena na obrázku 42.



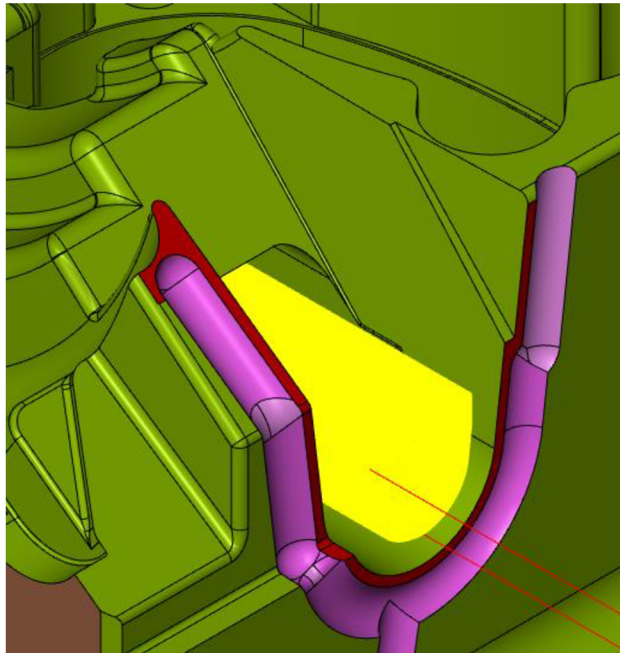
Obrázek 42 Simulace obrábění s kinematikou stroje.

4.6 Vlastní závěry a doporučení pro praxi

Jednotlivé úpravy týkající se drah obrábění již byly zmíněny v kapitolách pojednávacích právě o těchto jednotlivých postupech obrábění. V této kapitole jsou uvedeny pouze aspekty týkající se obecného postupu obrábění pro navrženou součást.

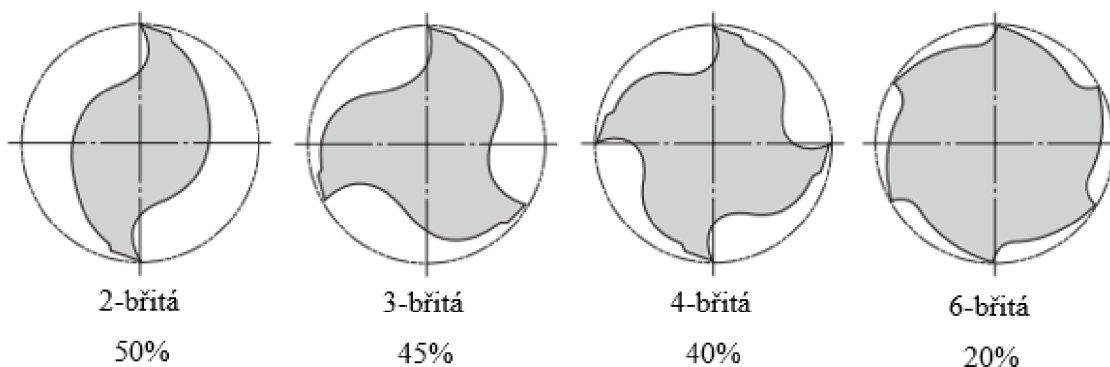
4.6.1 Obrábění s velkým vyložením nástroje

Vibrace při obrábění jsou vždy nežádoucím jevem. Na vznik vibrací má vliv velké množství faktorů. Důvodem ke vzniku vibrací jsou samotné parametry obráběcího procesu, velikost vyložení, tuhost nástroje a jeho vyložení. Nejvhodnějším způsobem, jak snížit riziko vzniku vibrací je právě zmenšení velikosti vyložení nástroje. Při obrábění hlubokých dutin však není možné používat nástroje s malým vyložením, protože by nebylo dosaženo nutné délky nástroje nezbytné pro obrábění požadované entity. Dalším způsobem, jak snížit riziko vzniku vibrací je zvýšení tuhosti nástroje. Toho lze dosáhnout volbou vhodného nástroje. Na obrázku 43 je zobrazena strategie pro dokončení čelního vybrání na boční stěně.



Obrázek 43 Dokončení stěny na čelním vybrání.

U této strategie je použita fréza se čtyřmi břity o průměru 6 mm s vyložení 37 mm. V důsledku toho může být nástroj náchylný na vznik vibrací. Pro snížení tohoto rizika je možné nahradit nástroj se čtyřmi břity nástrojem se šesti břity. Tyto nástroje mají větší tuhost a díky tomu se snižuje riziko vzniku vibrací. Průřez nástroji s rozdílnými počty břitů je zobrazen na obrázku 44.



Obrázek 44 Průřez nástroji s hodnotami podílu drážky pro odvod třísek pro frézovací nástroje s rozdílnými počty břitů [33].

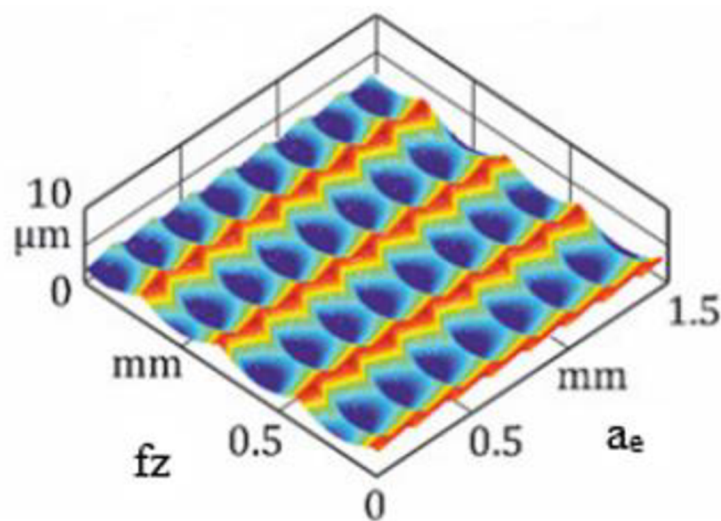
Z obrázku 44 je patrné že se zvyšujícím se počtem břitů nástroje se zmenšuje velikost drážky určené pro odvod třísky. Díky zvýšení podílu materiálu v průřezu nástroje, je dosaženo vyšší tuhosti. Větší velikost drážky pro odvod třísky je důležitá při obrábění s vysokými posuvy, kdy je přes drážku nutné odvést velké množství materiálu. Při dokončovacím obrábění, převážně kalených ocelí, kde již nedochází k velkému úběru materiálu, je vhodné využívat právě nástroje s větším počtem břitů, kde je dosaženo vyšší tuhosti nástroje [33].

Pokud by použití vícebřitého nástroje nebylo dostačující, je možné využít nástroj z pevnějšího materiálu. Tyto nástroje jsou však zpravidla výrazně dražší, a tak je vhodnější provést optimalizaci podmínek obrábění pro eliminaci chvění. Při použití přebroušených nástrojů jsou

však tyto náklady na pořízení při použití nástroje vyrobeného z kvalitnějšího materiálu výrazně sníženy.

4.6.2 Optimalizace kroku a posuvu na zub pro dokončení tvarových ploch při použití kulových fréz

Jak již bylo popsáno v kapitole 4.1.2, umožňuje software hyperMILL stanovit v dokončovacích strategiích krok nástroje podle teoretické hodnoty maximální výšky nerovností povrchu. Nastavení této hodnoty je provedeno v parametrech obráběcí strategie. V závislosti na strategii se provedení tohoto kroku liší. Hodnota kroku nastaveného v parametrech strategie však optimalizuje pouze dráhu nástroje, nikoli jeho parametry obrábění. V důsledku toho nedochází ke změně hodnoty posuvu na zub, která je nastavena v definici nástroje. Tato skutečnost má za následek rozdílné hodnoty posunutí v různých směrech a tím také rozlišné hodnoty drsnosti povrchu. Důsledek rozdílného kroku pro jednotlivé směry je zobrazen na obrázku 45.



Obrázek 45 Rozdílná drsnost povrchu v důsledku rozdílné hodnoty kroku a posuvu [34].

Pro odstranění toho jevu a dosažení konstantní hodnoty teoretické drsnosti povrchu v obou směrech je nutné provést optimalizaci kroku nástroje a jeho posuvu na zub. Pro stanovení technologických dat nástroje je vytvořena databáze nástrojů, kde jsou definovány jednotlivé parametry. Tyto parametry jsou stanoveny podle únosnosti zatížení nástroje, nikoli podle požadavků povrchu. Proto je nutné při dokončovacím obrábění provést optimalizaci parametrů nástroje.

Pro porovnání je proveden výpočet předpokládané maximální výšky nerovností povrchu. Stanovené hodnoty platí pro obrábění rovinné plochy při normálové orientaci nástroje za použití kulové frézy o průměru 6 mm s hodnotou posuvu na zub 0,19 mm. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Teoretická výška nerovností povrchu [35].

Parametry ve směru řezu		
Velikost kroku ve směru posuvu nástroje	fz [mm]	0,19
Předpokládaná největší výška výstupků profilu	Rp[mm]	0,0015
Parametry ve směru přísuvu nástroje		
Velikost kroku ve směru přísuvu nástroje	s [mm]	0,0692
Předpokládaná největší výška výstupků profilu	Rp mm]	0,0002

Vzorový výpočet parametrů ve směru řezu nástroje.

Předpokládaná výška nerovností povrchu se podle [36] stanoví:

$$h = R^2 - \sqrt{R^2 - \left(\frac{fz}{2}\right)^2} \quad (4.1)$$

kde: h - předpokládaná výška nerovností povrchu,
 R - poloměr nástroje [mm],
 fz - posuv na zub [mm].

$$h = 3^2 - \sqrt{3^2 - \left(\frac{0,19}{2}\right)^2} \doteq 0,0015 \text{ mm}$$

Pro výpočet předpokládané maximální výšky nerovností povrchu ve směru posuvu nástroje je hodnota velikosti posuvu na zub nahrazena hodnotou horizontálního posuvu nástroje.

Z výsledků uvedených v tabulce 6 je patrné, že při rozdílné hodnotě posuvu na zub a hodnotě horizontálního posuvu nástroje je dosaženo výrazně rozdílných hodnot. Přesto že výsledná drsnost povrchu je závislá na výrazném množství dalších parametrů, není možné očekávat stejnou hodnotu drsnosti povrchu.

4.6.3 Optimalizace postupu hrubovacích operací pro monolitní frézy

Stejně jako při optimalizaci kroku a posuvu na zub pro dokončení tvarových ploch při použití kulových fréz jsou i pro hrubovací operace převzaty řezná data z vytvořené databáze nástrojů. Pro hrubovací strategie jsou vytvořeny parametry, kde jsou při obrábění monolitními frézami použity velké hodnoty šířky záběru s malými hodnotami hloubky řezu. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.3.1, software HyperMILL umožňuje překročení šířky řezu, a to až do hodnoty průměru nástroje. Při velké šířce záběru je tak vystavena největšímu tepelnému zatížení pouze malá část ostří. To může mít za následek rychlé opotřebení funkční části. V závislosti na tvaru součásti a použitého materiálu, je vhodnější postup vytvořit prvotní strategii pro hrubování s velkou hloubkou řezu a malou šířkou překrytí. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.1.2, v tomto směru hyperMILL umožňuje provést výpočet pro obrábění při vysokých výkonech, kde jsou oproti předchozímu případu stanovené parametry nastaveny jako hraniční a není možné je překročit. Díky tomu jsou zajištěny konstantní podmínky obrábění pro celou strategii. Při malé šířce záběru také dochází ke snížení, jak tepelného zatížení, tak silového namáhání nástroje. Velká hloubka řezu zajišťuje jak dostatečnou produktivitu, tak i rovnoměrnější opotřebení nástroje. Tento postup také zkracuje dobu funkční části nástroje v řezu, čímž může být dosaženo prodloužení životnosti nástroje.

Pro porovnání efektivnosti hrubování je proveden výpočet pro přebroušenou válcovou frézu ZM504 200 pro parametry obrábění určené pro hrubování a boční vysoký řez. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Porovnání efektivnosti hrubování.

		Hrubování	Boční vysoký řez
Šířka záběru	a_e [mm]	9,75	0,975
Hloubka záběru	a_p [mm]	0,39	48,75
Posuvová rychlost	v_f [mm·min ⁻¹]	457	326
Průměr nástroje	D [mm]	19,5	19,5
Množství odebraného mat.	Q [cm ³ ·min ⁻¹]	1,74	15,5
Velikost překrytí	Pr [%]	50	5

Vzorový výpočet pro parametry hrubování.

Množství odebraného materiálu lze stanovit podle [6] dle rovnice (4.2):

$$Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} \quad (4.2)$$

kde: Q - poloměr nástroje [mm],
 a_e - šířka záběru ostří [mm],
 a_p - hloubka záběru ostří [mm]
 v_f - posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

$$Q = \frac{9,75 \cdot 0,39 \cdot 457}{1000} \doteq 1,74 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Velikost překrytí je stanovena v závislosti na šířce řezu a průměru nástroje a lze ji určit podle rovnice (4.3):

$$Pr_h = \frac{a_e}{D} \cdot 100 \quad (4.3)$$

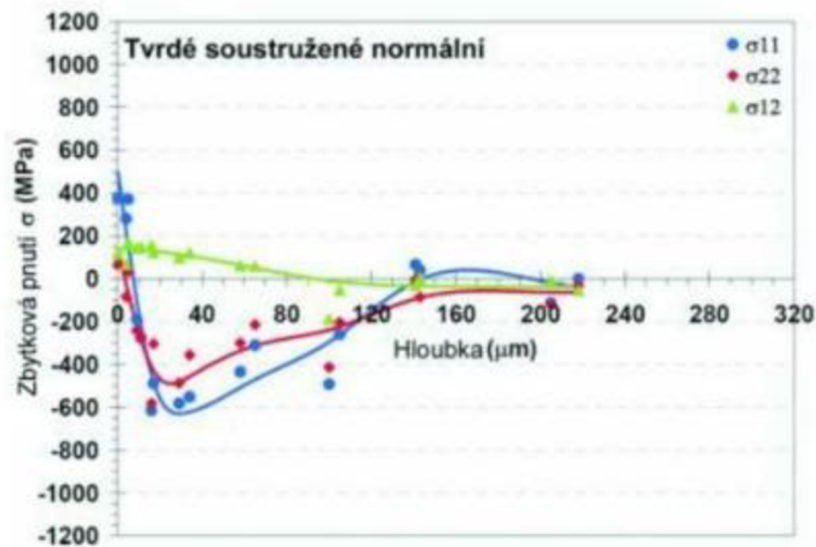
kde: Pr_h - velikost překrytí nástroje pro hrubování [%],
 a_e - Šířka záběru ostří [mm],
 D - průměr nástroje [mm]

$$Pr_h = \frac{9,75}{19,5} \cdot 100 = 50 \%$$

Z tabulky 7 je patrné, že při využití plné délky ostří nástroje je dosaženo výrazně vyššího úběru materiálu při výrazně menším překrytí nástroje. Tento způsob obrábění je však výrazně závislý na tvaru součásti. V závislosti na tvaru součásti není vždy možné využívat celkovou délku ostří ale pouze její část. Nejproduktivnějším způsobem je tak provést optimalizaci obráběcích parametrů v závislosti na tvaru součásti.

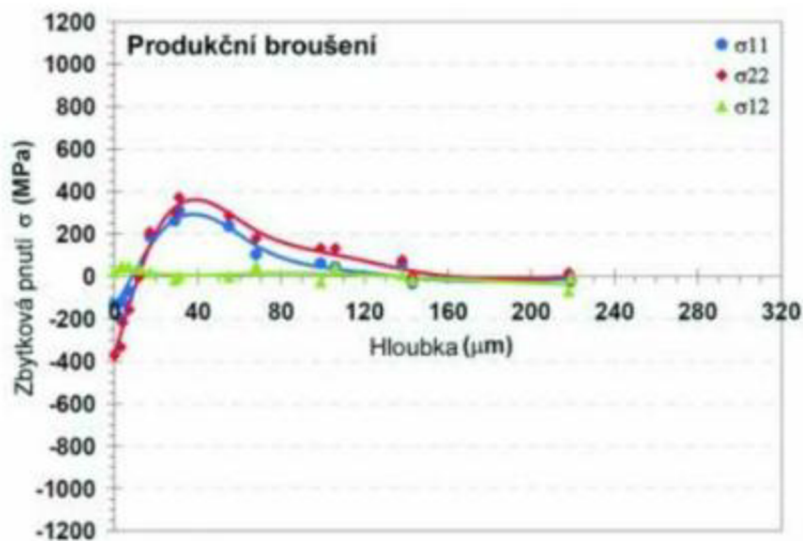
4.6.4 Broušení funkčních ploch

Při vstřikování plastů jsou vyvinuty velké tlaky při plnění a dotlačování forem. V důsledku toho hrozí riziko vzniku trhlin na nástroji. Tyto trhliny jsou zpravidla inicializovány v kritických místech nástroje. Velmi často trhliny vznikají na povrchu nebo ve velmi malé hloubce pod povrchem součásti a jejich vznik je ovlivněn jak strukturou materiálu, tak integritou povrchu. Při dokončovacím obrábění běžnými technologiemi, jako je soustružení nebo frézování vzniká v povrchové vrstvě tahová napjatost. Tento stav napjatosti není vhodný, protože způsobuje rozevírání trhlin a tím usnadňuje jejich následné šíření. V důsledku toho mohou vznikat trhliny narušující integritu povrchu, a tím mohou snižovat trvanlivost součásti. Na obrázku 46 je zobrazeno zbytkové pnutí v povrchové vrstvě pro tvrdé soustružení.



Obrázek 46 Zbytková pnutí po tvrdém soustružení [37].

Pokud je pro dokončení použita technologie broušení vzniká v povrchové vrstvě tlaková napjatost. Tato napjatost brání šíření trhlin. V důsledku toho se tak může prodloužit životnost součásti. Na obrázku 47 je zobrazeno zbytkové pnutí v povrchové vrstvě pro broušení.



Obrázek 47 Zbytková pnutí po broušení [37].

Broušení má také vliv na základní profil povrchu. Základní profil povrchu se skládá z drsnosti a vlnitosti. Pro technologie, kde dochází k úběru materiálu nástrojem s definovanou řeznou geometrií, jako jsou soustružnické nože a frézy, je profil vlnitosti periodický. Při broušení je použit nástroj s nedefinovanou řeznou geometrií a pro dokončení plochy je provedeno vyjiskřování, kde je použito několik přejezdů pro obrábění stejné části plochy. Zde dochází k úběru materiálu vlivem rozdílné polohy brusných zrn na nástroji. V důsledku rozdílné polohy jednotlivých zrn je tak eliminována periodicitu vlnitosti povrchu.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se zaměřuje na technicko-ekonomické zhodnocení. Protože jednotlivé úpravy týkající se změn v postupu obrábění již byly popsány v kapitole 4, je technické zhodnocení zaměřeno na aspekty neuvedené v těchto kapitolách. Ekonomické zhodnocení se věnuje vhodnosti použití přebroušených nástrojů z ekonomického hlediska.

5.1 Technické zhodnocení

Pro jednotlivé navržené postupy jsou uvažovány podmínky pro obrábění jako při používání nových nástrojů. V celkovém důsledku je ale nutné zvážit dopad odlišnosti mezi novými a přebroušenými nástroji popsány v kapitole 3.7.1. Může se jednat například o chování nástroje během řezného procesu v důsledku změny jeho obecné geometrie nebo o dopad změny řezné geometrie přebroušených nástrojů na jakost obrobeného povrchu. Právě tyto dopady mohou výrazně ovlivňovat celkové rozhodnutí o vhodnosti používání přebroušených nástrojů.

5.2 Ekonomické zhodnocení

V této práci je vyhotoven program pro výrobu součástí pomocí třískového obrábění. Pro obrábění jsou použity přebroušené nástroje pro možnost stanovení teoretické hodnoty úspor na výrobu při používání právě přeostrých nástrojů. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.7.1, jsou náklady spojené s pořízením nástroje výrazně menší. Úspory při pořízení přebroušeného nástroje mohou představovat až 90 % z nákladů na pořízení nového nástroje.

Pro výpočet jsou uvažovány ceny nástrojů poskytnuté firmou. Z důvodů zabránění zveřejnění soukromých údajů firmy jsou jednotlivé hodnoty upraveny stanoveným koeficientem. V tabulce 8 jsou uvedeny vybrané náklady a parametry nutné pro výpočet. Z důvodů rozsáhlosti tabulky 8 je zde uvedena pouze část údajů. Kompletní seznam je součástí přílohy 9.

Tabulka 8 Vybrané náklady a parametry nástrojů

Náklady na nástroj		Doba obrábění	Předpokl. trvanl.		Využití nástroje		Náklady	
Nový	Přebrou.		Nový	Přebrou.	Nový	Přebrou.	Nový	Přebrou.
[Kč]			[min]		[%]		[Kč]	
HRRS 4100-10-30								
14 544,43	1 542,28	43,48	30	26	144,9	167,2	21 079,7	2579,2
HMS 3015-0600								
6 916,35	-	7,65	30	-	25,5	29,4	1 763,7	-
LNMU03ZER-MJ								
2 006	-	25,65	30	-	85,5	-	1 715,3	-
1 605	-	13,42	30	-	44,7	-	718,1	-

Nástroje, u kterých není uvedena cena za přebroušení, nejsou přebroušeny. Tyto nástroje nejsou broušeny ze specifických důvodů. Pro břitové destičky LNMU03ZER-MJ jsou uvedeny dvě hodnoty nákladů na nástroj. Dvě hodnoty jsou zde použity z důvodů použití dvou nástrojů o různých průměrech s rozlišnými počty vyměnitelných břitových destiček. Dále je tato hodnota upravena dle počtu řezných hran. Pro nástroje, u kterých je překročena hodnota využití nástroje přes 90 % je do nákladů uvažováno plné využití nástroje a do nákladů je tak zahrnuta celá cena za nástroj. Hodnoty využití jsou upraveny i v tabulce 8.

Doby obrábění jsou převzaty z analýzy statistik obrábění v softwaru hyperMILL. Součástí příloh 1-4 jsou vytvořené seřizovací listy pro obsluhu stroje. Tyto listy obsahují doby provádění jednotlivých operací. Tyto časy se liší od hodnot doby obrábění uvedených v tabulce 8. Časy

uvedené v seřizovacích listech zahrnují kompletní dobu operace, to znamená čas obrábění a čas rychloposuvu nástroje, a také je zde provedena úprava času přes stanovené koeficienty v závislosti na stroji. Při těchto pohybech však nedochází k obrábění a nejsou proto do doby obrábění uvažovány. Pro dobu obrábění jsou tak převzaty pouze doby, u kterých dochází k úběru materiálu. Doba obrábění pro přebroušený nástroj je uvažována jako 85 % z doby obrábění při použití nového nástroje.

Vzorový výpočet je proveden pro nástroj HRRS 4100-10-30.

Využití nástroje pro nový nástroj:

$$L_n = \frac{t_{AS}}{T_n} \cdot 100 \quad (5.1)$$

kde: L_n - využití nástroje pro nový nástroj [%],
 t_{AS} - čas strojní [min],
 T_n - trvanlivost pro nový nástroj [min].

$$L_n = \frac{43,48}{30} \cdot 100 \doteq 144,9 \%$$

Využití nástroje pro přebroušený nástroj:

$$L_p = \frac{t_{AS}}{T_p} \cdot 100 \quad (5.2)$$

kde: L_p - využití nástroje pro přebroušený nástroj [%],
 t_{AS} - čas strojní [min],
 T_p - trvanlivost pro přebroušený nástroj [min].

$$L_n = \frac{43,48}{26} \cdot 100 \doteq 167,2 \%$$

Náklady na nový nástroj pro obrábění:

$$N_{N_nO} = N_{N_n} \cdot \frac{L_n}{100} \quad (5.3)$$

kde: N_{N_nO} - náklady na nový nástroj pro obrábění [Kč],
 N_{N_n} - náklady na nový nástroj [Kč],
 L_n - využití nástroje pro nový nástroj [%].

$$N_{N_nO} = 14\,544,5 \cdot \frac{144,9}{100} \doteq 21\,075 \text{ Kč}$$

Náklady na přebroušený nástroj:

$$N_{N_pO} = N_{N_p} \cdot \frac{L_p}{100} \quad (5.4)$$

kde: N_{N_pO} - náklady na přebroušený nástroj pro obrábění [Kč],
 N_{N_p} - náklady na přebroušený nástroj [Kč],
 L_p - využití nástroje pro přebroušený nástroj [%].

$$N_{N_pO} = 1\,542,5 \cdot \frac{167,2}{100} \doteq 2\,579,1 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů:

$$N_{N_nOC} = \sum_{i=1}^n N_{N_nOi} \quad (5.5)$$

kde: N_{N_nOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů [Kč],
 N_{N_nOi} - náklady na nový i-tý nástroj pro obrábění [Kč].

$$N_{N_nOC} \doteq 101\,197 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů:

$$N_{N_pOC} = \sum_{i=1}^n N_{N_pOi} + \sum_{i=1}^n N_{N_nOi} \quad (5.6)$$

kde: N_{N_pOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů [Kč],
 N_{N_pOi} - náklady na přebroušený i-tý nástroj pro obrábění [Kč],
 N_{N_nOi} - náklady na nový i-tý nástroj pro obrábění [Kč].

Celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů jsou doplněny o náklady na nástroje, které není možné přebrousit.

$$N_{N_pOC} = 18\,071,5 + 7\,720 \doteq 25\,791,5 \text{ Kč}$$

Vyjádření úspor při použití přebroušených nástrojů:

$$U = N_{N_nOC} - N_{N_pOC} \quad (5.7)$$

kde: U - vyjádření úspor při použití přebroušených nástrojů [Kč],
 N_{N_nOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů [Kč],
 N_{N_pOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů [Kč].

$$U = 101\,197 - 25\,791,5 \doteq 75\,405,5 \text{ Kč}$$

Podíl úspor na nástroje při používání přebroušených nástrojů:

$$U_p = \frac{N_{N_pOC}}{N_{N_nOC}} \cdot 100 \quad (5.8)$$

kde: U_p - podíl úspor na nástroje při používání přebroušených nástrojů [%],
 N_{N_nOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů [Kč],
 N_{N_pOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů [Kč].

$$U_p = \frac{25\,791,5}{101\,197} \cdot 100 \doteq 25,5 \%$$

Jak je z výpočtu patrné, představují náklady na nástroje při používání přebroušených nástrojů skoro čtvrtinové hodnoty z hodnoty při použití nových nástrojů. Teoretická úspora na nástrojích pro stanovený příklad tak odpovídá hodnotě 75 405,5 Kč.

Doba nutná k výměně nástrojů při používání nových nástrojů:

$$t_{Axn} = t_{vn} \cdot h_n \quad (5.9)$$

- kde: t_{Axn} - čas nutný k výměně nástroje při používání nových nástrojů [min],
 t_{vn} - čas výměny nástroje [min],
 h_n - počet výměn při použití nových nástrojů nástroje [-].

$$t_{Axn} = 5 \cdot 7 = 35 \text{ min}$$

Doba nutná k výměně nástrojů při používání přebroušených nástrojů:

$$t_{Axp} = t_{vn} \cdot h_p \quad (5.10)$$

- kde: t_{Axp} - čas nutný k výměně nástroje při používání přebroušených nástrojů [min],
 t_{vn} - čas výměny nástroje [min],
 h_p - počet výměn při použití přebroušených nástrojů nástroje [-].

$$t_{Axp} = 5 \cdot 8 = 40 \text{ min}$$

Doba práce na stroji při použití nových nástrojů:

$$t_{N_n} = t_s + t_{Axn} \quad (5.11)$$

- kde: t_{N_n} - čas práce na stroji při používání nových nástrojů [min],
 t_s - čas chodu stroje [min],
 t_{Axn} - čas nutný k výměně nástroje při používání nových nástrojů [min].

$$t_{N_n} = 700,67 + 35 \doteq 735,6 \text{ min}$$

Doba práce na stroji při použití přebroušených nástrojů:

$$t_{N_p} = t_s + t_{Axp} \quad (5.12)$$

- kde: t_{N_p} - čas práce na stroji při používání přebroušených nástrojů [min],
 t_s - čas chodu stroje [min],
 t_{Axp} - čas nutný k výměně nástroje při používání přebroušených nástrojů [min].

$$t_{N_p} = 700,6 + 40 \doteq 740,6 \text{ min}$$

Průměrné náklady na hodinu obrábění stroje při používání nových nástrojů:

$$N_{hs_n} = N_{hs_m} + (N_{hs_t} - N_{hs_m}) \cdot \frac{t_{as_t}}{t_{N_n}} \quad (5.13)$$

- kde: N_{hs_n} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání nových nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_t} - náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění kalených materiálů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_m} - náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění tepelně nezpracovaných materiálů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 t_{as_t} - čas provozu stroje při obrábění tepelně nezpracovaných materiálů [min],
 t_{N_n} - čas práce na stroji při používání nových nástrojů [min].

$$N_{hs_n} = 5\,190 + (6\,470 - 5\,190) \cdot \frac{479,5}{735,6} \doteq 6\,024,4 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$$

Průměrné náklady na hodinu obrábění stroje při používání přebroušených nástrojů:

$$N_{hs_p} = N_{hs_m} + (N_{hs_t} - N_{hs_m}) \cdot \frac{t_{as_t}}{t_{N_p}} \quad (5.14)$$

- kde: N_{hs_p} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání přebroušených nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_t} - náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění kalených materiálů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_m} - náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění tepelně nezpracovaných materiálů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 t_{as_t} - čas provozu stroje při obrábění tepelně nezpracovaných materiálů [min],
 t_{N_p} - čas práce na stroji při používání přebroušených nástrojů [min].

$$N_{hs_p} = 5\,190 + (6\,470 - 5\,190) \cdot \frac{481,4}{740,6} \doteq 6\,021,9 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vzhledem k nízkému rozdílu průměrných nákladů na hodinu obrábění stroje při používání nových a přebroušených nástrojů bude použita jedna hodnota. Tato hodnota se stanoví z aritmetického průměru podle rovnice:

$$N_{hs} = \frac{N_{hs_n} + N_{hs_p}}{2} \quad (5.15)$$

- kde: N_{hs} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_n} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání nových nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{hs_p} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání přebroušených nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$].

$$N_{hs} = \frac{6\,024,4 + 6\,021,9}{2} \doteq 6\,023,1 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$$

Náklady na obrábění při používání nových nástrojů:

$$N_{On} = \frac{t_{N_n}}{60} \cdot N_{hs} + N_{N_nOC} \quad (5.16)$$

- kde: N_{On} - náklady na obrábění při používání nových nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 t_{N_n} - čas práce na stroji při používání nových nástrojů [min],
 N_{hs} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{N_nOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů [Kč].

$$N_{On} = \frac{735,67}{60} \cdot 6\,023,1 + 101\,197 \doteq 175\,047,2 \text{ Kč}$$

Náklady na obrábění při používání přebroušených nástrojů:

$$N_{Op} = \frac{t_{N_p}}{60} \cdot N_{hs} + N_{N_pOC} \quad (5.17)$$

- kde: N_{Op} - náklady na obrábění při používání přebroušených nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 t_{N_p} - čas práce na stroji při používání přebroušených nástrojů [min],
 N_{hs} - průměrné náklady na hodinu provozu stroje [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{N_pOC} - celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů [Kč].

$$N_{Op} = \frac{735,67}{60} \cdot 6\,023,1 + 25\,791,5 \doteq 99\,574,5 \text{ Kč}$$

Úspora na obrábění:

$$U_o = N_{On} - N_{Op} \quad (5.18)$$

- kde: U_o - úspora na obrábění [Kč],
 N_{On} - náklady na obrábění při používání nových nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{Op} - náklady na obrábění při používání přebroušených nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$].

$$U_o = 175\,047,2 - 99\,574,5 \doteq 75\,472,7 \text{ Kč}$$

Podíl úspor na obrábění:

$$U_{op} = \frac{N_{Op}}{N_{On}} \cdot 100 \quad (5.18)$$

- kde: U_{op} - Podíl úspor na obrábění [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{On} - náklady na obrábění při používání nových nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$],
 N_{Op} - náklady na obrábění při používání přebroušených nástrojů [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$].

$$U_{op} = \frac{99\,574,5}{175\,047,2} \cdot 100 \doteq 56,9 \%$$

Stanovené výpočty jsou uvažovány za ideálních podmínek, kde nejsou zahrnuty časové prodlevy vzniklé v důsledku nutnosti úpravy programu, například pokud nástroj není dostupný. Tyto prodlevy mohou představovat nezanedbatelnou dobu a tím snižovat úspory vzniklé používáním přebroušených rezných nástrojů.

ZÁVĚR

Na základě původního NC programu určeného pro výrobu součásti, byl vytvořen nový program, u kterého byla provedena optimalizace, při níž bylo dosaženo:

- zkrácení drah nástroje pro obrábění odvodušňovacích drážek,
- odstranění vzniku nesousledného způsobu frézování pro hrubovací operace,
- úprava drah hrubovacích operací pro vhodnější předhrubování součásti,
- změna postupu hrubování kruhového vybrání pro dosažení plynulejšího pohybu stroje a získání vhodnějšího přídavku pro dokončovací obrábění,
- vytvoření nové strategie pro odstranění zbytkového materiálu, aby bylo odstraněno přetížení nástroje,
- vytvoření přídavné strategie pro získání rovnoměrného přídavku pro tepelné zpracování,
- naklopení nástroje pro odstranění nulové řezné rychlosti při obrábění kulovými frézami,
- provedení grafické simulace navrženého postupu,
- uvedení vlastních závěrů a doporučení pro praxi.

V nově navrženém programu byly pro výrobu uvažované přebroušené nástroje. Z tohoto důvodu se technické zhodnocení se zaměřuje na vyhodnocení možných problémů vzniklých v důsledku používání právě přebroušených nástrojů. Ekonomické zhodnocení je určeno pro vyjádření úspor vzniklých při používání přebroušených nástrojů. Podíl nákladů na nástroje při používání přebroušených nástrojů ku nákladům při používání nových nástrojů byl stanoven na hodnotě 25,5 %. Podíl nákladů na obrábění při používání přebroušených nástrojů ku nákladům na obrábění při používání nových nástrojů byl stanoven na hodnotě 56,9 %.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
2. ZOUHAR, Jan. *Vývoj výkonných frézovacích nástrojů s využitím CAD/CAM a analýzy mechanismu tvorby třísky*. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie,. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.
3. SINGAL, R. *Fundamentals of machining and machine tools*. I.K. International Publishing House Pvt.: , c2008, xii, 369 s. ISBN 978-81-89866-66-2.
4. GROTE, Karl-Heinrich a Erik K. ANTONSSON. *Springer handbook of mechanical engineering*. New York: Springer, [2008]. ISBN 978-3-540-49131-6.
5. FIALA, Zdeněk. *Analýza měrných řezných sil pro nové obráběné materiály a CNC technologie*. Brno, 2014. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
6. WALTER. *Kompletní katalog*. Praha: WALTER, 2017.
7. SOLER, D., P.X. ARISTIMUÑO, M. SAEZ-DE-BURUAGA, A. GARAY a P.J. ARRAZOLA. New calibration method to measure rake face temperature of the tool during dry orthogonal cutting using thermography. *Applied Thermal Engineering*. 2018, **2018**(137), 74-82.
8. BYERS, Jerry P. *Metalworking Fluids*. Třetí. Florida: CRC Press, 2017. ISBN 9781351230735.
9. PRAKASH, Chander, Sunpreet SINGH a J. Paulo DAVIM. *Advanced Manufacturing and Processing Technology*. Florida: CRC Press, 2020. ISBN 978-1000193169.
10. GUPTA, Kapil a J. Paulo DAVIM. *High-Speed Machining*. Cambridge. Academic Press, 2020. ISBN 978-0128150207.
11. GRZESIK, Wit. *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. Second edition. Boston: Elsevier, [2017]. ISBN 978-0-444-63711-6.
12. DESHPANDE, Soham a Yogesh DESHPANDE. A Review On Cooling Systems Used In Machining Processes. *Materialstoday: PROCEEDINGS*. 2019, 5019–5031.
13. Boswell, B. & Chandratilleke, Tilak. (2009). Air-Cooling Used For Metal Cutting. *American Journal of Applied Sciences*. 6. 10.3844/ajas.2009.251.262.
14. *Metal Cutting Theory and Practice*. 2nd edition. Florida: CRC Press, 2005. ISBN 978-0824758882.
15. RIETSCHER, Robert L., Joseph F. FOWLER a Alexander A. FISHER. *Fisher's Contact Dermatitis*. 6. USA: PMPH, 2008. ISBN 978-1550093780.
16. ZHANG, Dinghua, Ming Luo LUO, Baohai Wu WU a Ying ZHANG. *Intelligent Machining of Complex Aviation Components*. Singapore: Springer Verlag, 2021. ISBN 9789811615856.
17. YAP, Tze Chuen. Roles of Cryogenic Cooling in Turning of Superalloys, Ferrous Metals, and Viscoelastic Polymers. *Technologies* [online]. 2019, 2019, 7-63 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/technologies7030063>

18. Použití řezné kapaliny a chlazení při soustružení. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-apply-coolant-and-cutting-fluid-in-turning.aspx>
19. DVOŘÁK, Luděk. Rozhodující je použití efektivního chlazení: Výroba a technologie. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. 2014, 12. 02. 2014, **2014** [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rozhodujici-je-pouziti-efektivniho-chlazení>
20. ASTAKHOV, Viktor. *Tribology of Metal Cutting*. ISBN 9780444528810.
21. SCHMITZ, Tony L. a K. Scott " SMITH. *Machining Dynamics: Frequency Response to Improved Productivity*. 2. Singapore: Springer, 2018. ISBN 9783319937076.
22. GUPTA, Kapil, Neelesh JAIN a Rf LAUBSCHER. *Advanced Gear Manufacturing and Finishing: Classical and Modern Processes*. Cambridge: Academic Press, 2017. ISBN 9780128044605.
23. Čelní frézování. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/face-milling.aspx>
24. DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Kompenzační přístup při frézování - poloha frézy. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: Technologie spojování a dělení materiálu (za tepla)*. 2013, **2013**(4).
25. YOUSSEF, Helmi A. a Hassan EL-HOFY. *Machining Technology: Machine Tools and Operations*. Florida: CRC Press, 2008. ISBN 978-1420043396.
26. Sousedné frézování nebo nesousedné frézování. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
27. DIVIŠ, Václav a Petr INEMANN. Nesousedné frézování. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: Nové technologie a stroje v třískovém obrábění, CNC řízení* [online]. 2014, 11. 06. 2014, (6) [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nesousledne-frezovani>
28. Co je to tvarové frézování?. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/profile-milling.aspx>
29. BÖHLER. OCELI PRO FORMY NAZPRACOVÁNÍ PLASTŮ - KALITELNÉKOROZIVZDORNÉ OCELI [online]. [cit.]. Dostupné z: https://www.bohler.cz/app/uploads/sites/92/2022/04/productdb/api/m368-microclean_cs.pdf
30. BÖHLER: PLASTIC MOULD STEEL [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.bohler.cz/app/uploads/sites/92/2020/12/productdb/api/m368en.pdf>
31. NC vysokotlaký svěrák NC8 125L: Art. č.: 360405 125L. *Hoffmann Group* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.hoffmanngroup.com/CZ/cs/hot/Up%C3%ADnac%C3%AD-technika/Sv%C4%9Br%C3%A1ky/NC-vysokotlak%C3%BD-sv%C4%9Br%C3%A1k-NC8/p/360405-125L?tId=906>
32. *OPEN MIND* [online]. 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.openmind-tech.com/en.html>

-
33. Katalog 2022-2023: *Monolitní frézovací nástroje*. V Německu. Mitsubishi, 2022.
 34. DENKENA, B., V. BÖSS, D. NESPOR, P. GILGE, S. HOHENSTEIN a J. SEUME. Prediction of the 3D Surface Topography after Ball End Milling and its Influence on Aerodynamics. *CIRP: Conference on Modelling of Machining Operations*. 2015, **15**(31), 221-227.
 35. ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999. Třídící znak 01 4450.
 36. BÁLINT, VARGA, Balázs TÓTH a Bálint VARGA. Comparison of Theoretical and Real Surface Roughness in Case of Ball-End Milling. *Solid State Phenomena*. Trans Tech Publications, 2017, s. 299-304. ISBN 1662-9779.
 37. EMO Hannover potřetí – brousicí stroje. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. 2007, 18. 12. 2007 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-potreتي-brousici-stroje>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A	práce	[J]
A _d	plocha třísky	[mm ²]
a _e	šířka záběru ostří	[mm]
a _p	hloubka záběru ostří	[mm]
D _{cap}	řezný průměr nástroje	[mm]
e	excentricita	[mm]
f	posuv	[mm]
F _c	řezná síla	[N]
f _z	posuv na zub	[mm]
G0	pohyb rychloposuvem	[-]
G1	pohyb pracovním posuvem	[-]
G2	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček	[-]
G3	kruhová interpolace v protisměru hodinových ručiček	[-]
h _d	tloušťka třísky	[mm]
h _{dc}	deformovaná tloušťka třísky	[mm]
h _n	počet výměn při použití nových nástrojů	[-]
h _p	počet výměn při použití přebroušených nástrojů	[-]
h	výška nerovností povrchu	[mm]
k _c	měrná řezná síla	[N·mm ⁻²]
k _{c1}	jednotková měrná řezná síla pro 1 mm ² průřezu třísky	[N·mm ⁻²]
L _n	využití nástroje pro nový nástroj	[%]
L _p	využití nástroje pro přebroušený nástroj,	[%]
m _c	koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky	[-]
n	otáčky	[min ⁻¹]
N _{hs}	průměrné náklady na hodinu provozu stroje	[Kč·h ⁻¹]
N _{hsm}	náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění tepelně nezpracovaných materiálů	[Kč·h ⁻¹]
N _{hsm}	průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání nových nástrojů	[Kč·h ⁻¹]
N _{hsp}	průměrné náklady na hodinu provozu stroje při používání přebroušených nástrojů	[Kč·h ⁻¹]
N _{hst}	náklady za hodinu provozu stroje pro obrábění kalených materiálů	[Kč·h ⁻¹]
N _{Nn}	náklady na nový nástroj	[Kč]
N _{NnO}	náklady na nový nástroj pro obrábění	[Kč]
N _{NnOC}	celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití nových nástrojů	[Kč]
N _{NpO}	náklady na přebroušený nástroj pro obrábění	[Kč]
N _{NpOC}	celkové náklady na nástroje pro obrábění při použití přebroušených nástrojů	[Kč]
N _{on}	náklady na obrábění při používání nových nástrojů	[Kč·h ⁻¹]
N _{op}	náklady na přebroušený nástroj	[Kč]
Q	rychlost úběru materiálu	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _o	teplo odvedené	[J]
Q _v	teplo vzniklé	[J]
P _{Th}	velikost překrytí nástroje	[%]

Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rp	největší výška výstupků profilu	[μm]
Rz	výška nerovností profilu z deseti bodů	[μm]
s	velikost kroku nástroje	[mm]
t _s	čas chodu stroje	[min]
t _{as}	čas strojní	[min]
t _{ast}	čas provozu stroje při obrábění tepelně nezpracovaných materiálů	[min]
t _{AXn}	čas nutný k výměně nástroje při používání nových nástrojů	[min]
t _{AXp}	čas nutný k výměně nástroje při používání přebroušených nástrojů	[min]
t _{Nn}	čas práce na stroji při používání nových nástrojů	[min]
t _{Np}	čas práce na stroji při používání přebroušených nástrojů	[min]
t _{vn}	čas výměny nástroje	[min]
U	vyjádření úspor při použití přebroušených nástrojů	[Kč]
U _p	podíl úspor na nástroje při používání přebroušených nástrojů	[%]
U _o	úspora na obrábění	[Kč]
U _{op}	podíl úspor na obrábění	[%]
v _c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v _f	posuvová rychlost	[mm·min ⁻¹]
x	velikost zaboření nástroje	[mm]
z	hloubka záběru nástroje ve směru osy nástroje	[mm]
α_0	úhel hřbetu v ortogonální rovině	[°]
β	úhel náklonu nástroje	[°]
γ_0	úhel čela v ortogonální rovině	[°]
Λ	součinitel pěchování třísky	[-]
σ	normálové napětí	[MPa]
Φ	úhel střížné roviny	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
CAD	počítačem podporovaná konstrukce
CAM	počítačem podporovaná výroba
CVD	povlak vzniklý chemickou depozicí vrstev
HB	tvrdost podle Brinella
HRC	tvrdost podle Rockwella
MAG	svařování elektrickým obloukem v aktivní ochranné atmosféře tavným drátem
NC	číslicově řízený
SP	servisní balíček
TIG	svařování elektrickým obloukem v inertní ochranné atmosféře netavným drátem

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Seřizovací listy pro první upnutí
Příloha 2	Seřizovací listy pro druhé upnutí
Příloha 3	Seřizovací listy pro třetí upnutí
Příloha 4	Seřizovací listy pro čtvrté upnutí
Příloha 5	Vyobrazení modelu po prvním upnutí
Příloha 6	Vyobrazení modelu po druhém upnutí
Příloha 7	Vyobrazení modelu po třetím upnutí
Příloha 8	Vyobrazení modelu po čtvrtém upnutí
Příloha 9	Tabulka parametrů nástrojů pro ekonomické zhodnocení
Příloha 10	NC program
Příloha 11	Model součásti

Seznam výkresů

Dílec formy, 2022-DP-201018-01

Projekt_diplomka
UP_1_FC

19.04.2022
Rais Tomáš

Priloha I
Seřizovací listy pro první upnutí

Materiál:
Nulový bod:

Vysokoleg. litá ocel 1.2343(18552),1.2344(19554),1.3343(S6-5-2)_1

NCS UP_1_FC

Minimální a maximální souřadnice obrobku:

Xmax= 102.5

Ymax= 132

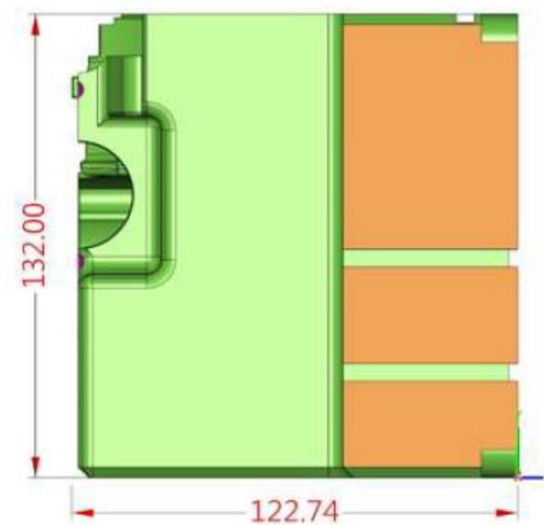
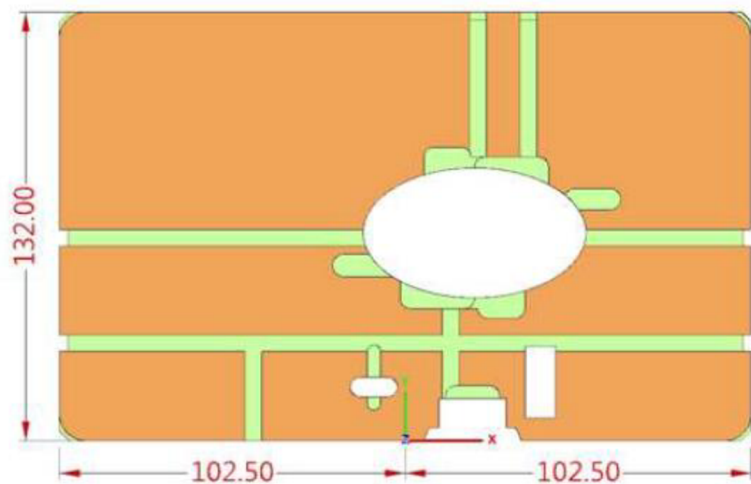
Zmax= 0

Xmin= -102.5

Ymin= 0

Zmin= -122.7419

Instrukce:



Projekt_diplomka

Komentář 1

19.04.2022

UP_1_FC

Komentář 2

Rais Tomáš

Vygenerováno jako jeden NC kód:

Celkový čas: 00:42:06

Chlazení: 1 – vzduch, 2 – vzduch vnitřkem, 3 – emulze, 4 – emulze vnitřkem

Program	Vyložení	Odlehčení	NC číslo	Název nástroje	Typ nástroje	D	R/°	Zmin	n	F	Vc	Přídavek XY	Přídavek Z	Přisuv XY	Přisuv Z	Kor.	Naklopení	Chlazení	Čas
1_Obrabeni_rohu_hrub	X	55	11184	ZM504 200	Stopková fréza	19,50		-50,000	1632	326	100	0,2	0	0,975	50	ANO	-/-	3	00:03:27
2_Obrabeni_rohu_hrub	X	55	11184	ZM504 200	Stopková fréza	19,50		-50,000	1632	326	100	0	0	0,975	50	ANO	-/-	3	00:00:55
3_Startovaci_otvory	X	88	698	1243-8.0-T	Vrták	8,00	140°	-7,456	2984	239	75		-1				-/-	3	00:00:08
4_Startovaci_kapsa	X	45	21823	(ZR514 2015) 2078	Toroidní fréza	16,00	1,50	-9,500	1989	764	100	0,3	0		0,8		-/-	3	00:01:52
5_Hrub_spodni_ot_drazky	X	20	2161499	(ZR514 0810) 0950	Toroidní fréza	5,80	1,00	-8,000	5488	439	100	0,49	0,34	0,29	11,6		-/-	3	00:11:50
6_Dokonceni_spodni_ot_drazky	X	20	2161499	(ZR514 0810) 0950	Toroidní fréza	5,80	1,00	-7,660	5488	439	100	0,34	0,34	0,29	10	ANO	-/-	3	00:00:29
7_Ot_drazky_hrub	X	20	2161499	(ZR514 0810) 0950	Toroidní fréza	5,80	1,00	-2,660	5488	1537	100		0,34	2,9	0,116		-/-	3	00:01:49
8_Srazeni_obvodovych_hran	X	74	8	208121 12x90°	Úkosová fréza	12,00	90°	-4,500	2653	1061	100	0	0		1,8		-/-	3	00:01:20
9_Hrub_bocni_ot_kapsa	X	20	21614	(ZR514 0810) 0950	Toroidní fréza	6,00	1,00	-5,000	5305	424	100	0,49	0	0,3	12		-/-	3	00:05:59
10_Doko_bocni_ot_kapsa	X	20	21614	(ZR514 0810) 0950	Toroidní fréza	6,00	1,00	-4,660	5305	424	100	0,34	0,34	3	10		-/-	3	00:00:05
11_Odvzdus_drazky_1	X	13	26650	(ZR734 050 10) 096	Toroidní fréza	4,50	1,00	-2,500	16623	3325	235		0		0,09		-/-	3	00:05:16
12_12: T25985 Frézování ko	X	20	25985	(ZR724 060 10 20)	Toroidní fréza	5,00	1,00	-2,500	17825	3779	280		0	1,5	0,1		-/-	3	00:00:40
13_Startovaci_ot_drazka	X	74	602	1243-5.5-T	Vrták	5,50	140°	-9,000	4341	260	75		-1				-/-	3	00:00:04
14_Hrub_uzavrena_drazka	X	10	21578	(ZR504 0405) 0967	Toroidní fréza	3,50	0,50	-7,000	9095	2037	100		0	0,1	0,07		-/-	3	00:03:34
18_N1_Drazky_indexovane	X	13	26650	(ZR734 050 10) 096	Toroidní fréza	4,50	1,00	100,000	16623	3325	235		0		0,09		ANO/-	3	00:01:02
19_N2_Drazky_indexovane	X	13	26650	(ZR734 050 10) 096	Toroidní fréza	4,50	1,00	129,500	16623	3325	235		0		0,09			3	00:02:33
20_N3_Drazky_indexovane	X	13	26650	(ZR734 050 10) 096	Toroidní fréza	4,50	1,00	100,000	16623	3325	235		0		0,09			3	00:00:58

Příloha I
Seřizovací listy pro první upnutí

19.04.2022
Rais Tomáš

Projekt_diplomka
Up_2_FC

Materiál:

Vysokoleg. litá ocel 1.2343(18552),1.2344(19554),1.3343(S6-5-2)_1

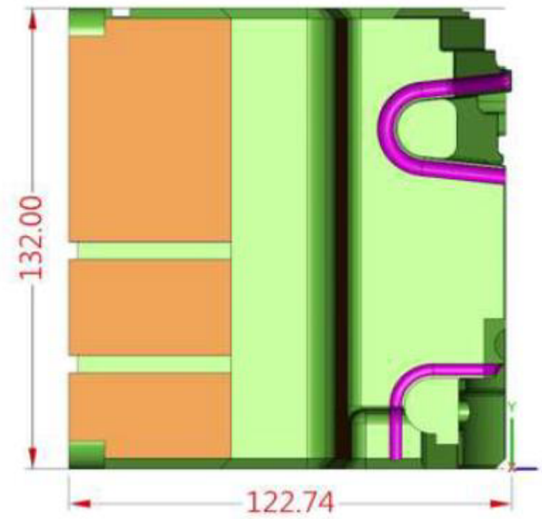
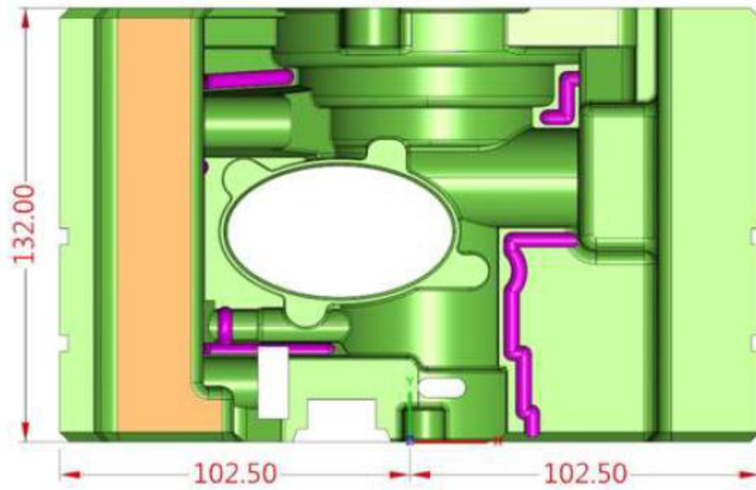
Nulový bod:

NCS Up_2_FC

Minimální a maximální souřadnice obrobku:

Xmax= 102.5	Ymax= 132	Zmax= 0
Xmin= -102.5	Ymin= 0	Zmin= -122.7419

Instrukce:



Projekt_diplomka

Komentář 1

19.04.2022

Up_2_FC

Komentář 2

Rais Tomáš

Vygenerováno jako jeden NC kód:

Celkový čas: 02:58:47

Chlazení: 1 – vzduch, 2 – vzduch vnitřkem, 3 – emulze, 4 – emulze vnitřkem

Program	Vylo-žení	Odleh-čení	NC číslo	Název nástroje	Typ nástroje	D	R/°	Zmin	n	F	Vc	Přídavek XY	Přídavek Z	Přisuv XY	Přisuv Z	Kor.	Naklopení	Chlazení	Čas
1_Hrub_boc_sten	40	40	7061	TUNG 32 AH725 hl	Toroidní fréza	32,00	1,50	-85,811	1492	5595	150	0,34	0	22,4	0,7		-/-	1	00:33:24
2_N4_Hrub_kruh_vyb	40	40	7061	TUNG 32 AH725 hl	Toroidní fréza	32,00	1,50	88,469	1492	5595	150	0,4	0,4	23	0,7		ANO/-	1	00:05:47
3_N4_dohrub_kruh_vyb	40	40	7061	TUNG 32 AH725 hl	Toroidní fréza	32,00	1,50	88,469	1492	5595	150	0,37	0,37	23	0,7		ANO/-	1	00:03:37
4_N4_Kruh_zbytkovy_mat	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	120,000	8209	1478	245	1,07	0,37	0,285	9,516		ANO/-	3	00:05:10
5_N4_Dohrub_kruh_vyb	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	88,469	9047	2352	270	0,34	0,34	2,85	0,3		ANO/-	3	00:16:07
6_N4_Zkoseni	X	74	8	208121 12x90°	Úkosová fréza	12,00	90°	126,500	2653	1061	100	0	0				ANO/-	3	00:00:08
8_Dohrub_horniho_tvaru	30	30	7021	TUNG 20 AH725 hl	Toroidní fréza	20,00	1,50	-38,242	2546	4074	160	0,4	0,4	13	0,5		-/-	1	00:15:54
9_Dokonceni_horniho_tvaru	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	-38,242	9047	2352	270	0,34	0,34	2,85	0,3		-/-	3	00:45:25
10_N5_Dohrub_celni_vybra	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	25,840	9047	2352	270	0,34	0,34	2,85	0,3		ANO/-	3	00:03:17
11_N6_Hrub_maleho_vybra	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	-23,200	9047	2352	270	0,34	0,34	2,85	0,3			3	00:02:32
12_N6_Predhrub_zkoseni	X	37	125838	(ZR704 100 20 32)	Toroidní fréza	9,50	2,00	-2,246	9047	2352	270	0,34	0,34	2,85	0,3			3	00:00:10
13_N6_Zkoseni	X	74	8	208121 12x90°	Úkosová fréza	12,00	90°	-5,500	2653	1061	100	0	0					3	00:00:24
32_Dokonceni_kapsa	X	40	25838	HRRS 4080-10-24-T	Toroidní fréza	7,80	1,00	-36,402	7182	8619	176	0,34	0,34	1,92	0,3		-/-	1	00:02:08
30_N7_Dokon_rohu	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	8,513	6379	1276	100	0	0				ANO/-	3	00:02:59
31_N7_Dokon_rohu_2	X	4	15012	HSB 2040-0400	Kulová fréza	3,99	2,00	8,501	18030	3245	226	0	0				ANO/-	1	00:01:54
14_N8_Odvzdus_dr_A_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	4,207	6379	1276	100		0		0,2			3	00:00:31
15_N8_Odvzdus_dr_A_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	3,207	6379	1276	100		0		0,1			3	00:01:01
16_N9_Odvzdus_dr_B_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-13,371	6379	1276	100		0		0,2		ANO/-	3	00:00:16
17_N9_Odvzdus_dr_B_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-14,371	6379	1276	100		0		0,1		ANO/-	3	00:00:30
18_N10_Odvzdus_dr_D_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-35,242	6379	1276	100		0		0,2		ANO/-	3	00:00:16
19_N10_Odvzdus_dr_D_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-36,242	6379	1276	100		0		0,1		ANO/-	3	00:00:30
20_N11_Odvzdus_dr_E_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-5,059	6379	1276	100		0,5		0,2		-/-	3	00:00:16
21_N11_Odvzdus_dr_E_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-5,387	6379	1276	100		0		0,1		-/-	3	00:00:17
22_Odvzdus_dr_F_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-17,270	6379	1276	100		0		0,2		-/-	3	00:00:28
23_Odvzdus_dr_F_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-18,270	6379	1276	100		0		0,1		-/-	3	00:00:25
24_N6_Odvzdus_dr_G_1	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	60,000	6379	1276	100		0		0,2		ANO/-	3	00:00:43
25_N6_Odvzdus_dr_G_2	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	59,000	6379	1276	100		0		0,1		ANO/-	3	00:00:33
26_N5_Odvzdus_dr_H	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	50,849	6379	1276	100	calc(+0)	0		0,1		ANO/-	3	00:01:36
27_N12_Radius_RS	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-55,659	6379	1276	100	0	0	0,15	0,15		ANO/-	3	00:08:58

Příloha 2

Seřizovací listy pro druhé upnutí

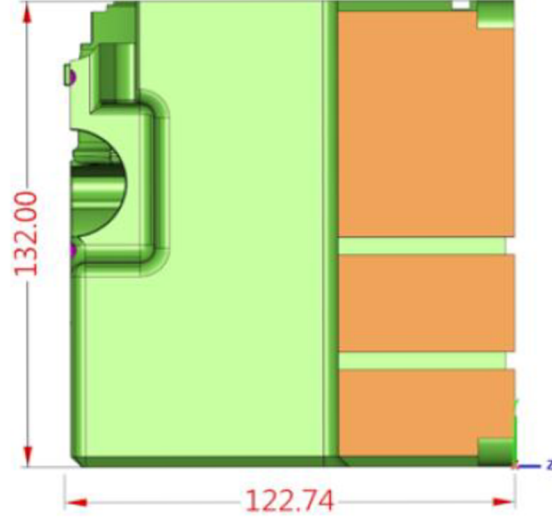
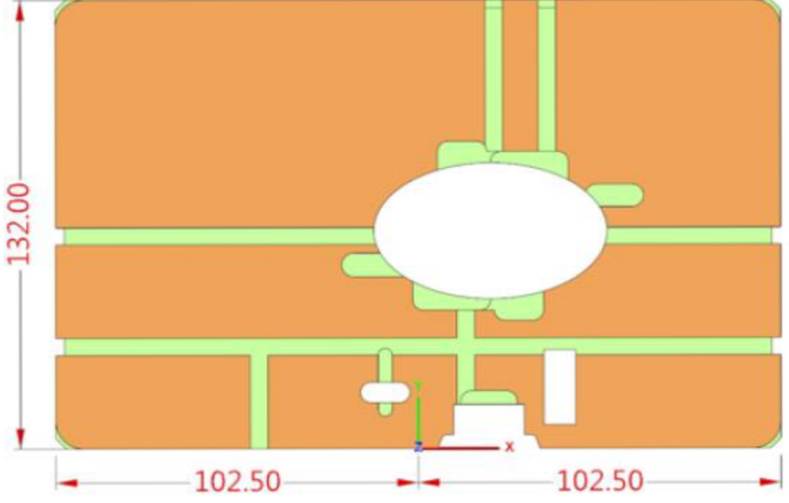
3/3

28_N13_Radius_R8_R5	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-16,841	6379	1276	100	0	0,15	0,15	0,15	ANO/-	3	00:16:31
29_N14_Dokonceni_tvar	X	6	11006	DB402 050	Kulová fréza	4,99	2,50	-16,013	6379	1276	100	0,34	0,5	0,5			3	00:01:27

19.04.2022
Rais Tomáš

Projekt_diplomka
Up_1_FT

Materiál: 55-60HRC
Nulový bod: NCS Up_1_FT
Minimální a maximální souřadnice obrobku: Xmax= 102.5 Ymax= 132 Zmax= 0
Xmin= -102.5 Ymin= 0 Zmin= -122.7419
Instrukce:



Projekt_diplomka

Komentář 1

19.04.2022

Up_1_FT

Komentář 2

Rais Tomáš

Vygenerováno jako jeden NC kód:

Celkový čas: 00:15:21

Chlazení: 1 – vzduch, 2 – vzduch vnitřkem, 3 – emulze, 4 – emulze vnitřkem

Program	Vylo-žení	Odhle- čení	NC číslo	Název nástroje	Typ nástroje	D	R/°	Zmín	n	F	Vc	Přídavek XY	Přídavek Z	Přisuv XY	Přisuv Z	Kor.	Naklopení	Chlazení	Čas
5_Dno_ot_kapsy	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		-8,000	4081	212	50	0,4	0	2,34	10		-/-	1	00:01:57
1_Steny_ot_kapsy	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		-8,000	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO	-/-	1	00:01:22
2_Steny_ot_drazky	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		-3,000	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO	-/-	1	00:00:28
3_Dokonceni_odvzs_drazky	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		-2,500	4081	212	50	0,15	0	0,2	4	ANO	-/-	1	00:05:55
4_Stena_otevrena_kapsa	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		-5,000	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO	-/-	1	00:00:12
6_N1_Dokonceni_odvzs_dra	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		100,000	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO	ANO/-	1	00:01:19
7_N2_Dokonceni_odvzs_dra	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		129,500	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO		1	00:02:10
9_N2_Dokonceni_odvzs_dra	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		129,500	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO		1	00:00:37
8_N3_Dokonceni_odvzs_dra	X	10	25154	(HMS 4040-0800) C	Stopková fréza	3,90		100,000	4081	212	50	0	0	0,2	4	ANO		1	00:01:16

Příloha 3
Seřizovací listy pro třetí upnutí

Projekt_diplomka
UP_2_FT

Materiál:
Nulový bod:

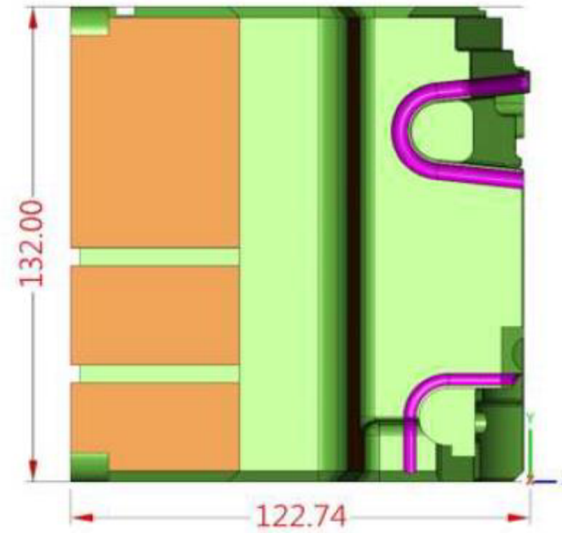
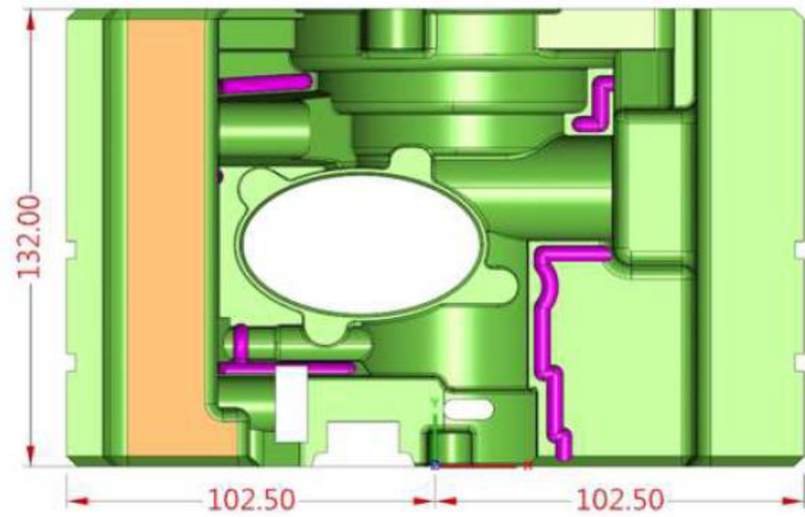
Minimální a maximální souřadnice obrobku:

Instrukce:

55-60HRC
NCS UP_2_FT
Xmax= 102.5
Xmin= -102.5

Ymax= 132
Ymin= 0

Zmax= 0
Zmin= -122.7419



19.04.2022
Rais Tomáš

Příloha 4
Seřizovací listy pro čtvrté upnutí

Projekt_diplomka

Komentář 1

19.04.2022

UP_2_FT

Komentář 2

Rais Tomáš

Vygenerováno jako jeden NC kód:

Celkový čas: 06:18:15

Chlazení: 1 – vzduch, 2 – vzduch vnitřkem, 3 – emulze, 4 – emulze vnitřkem

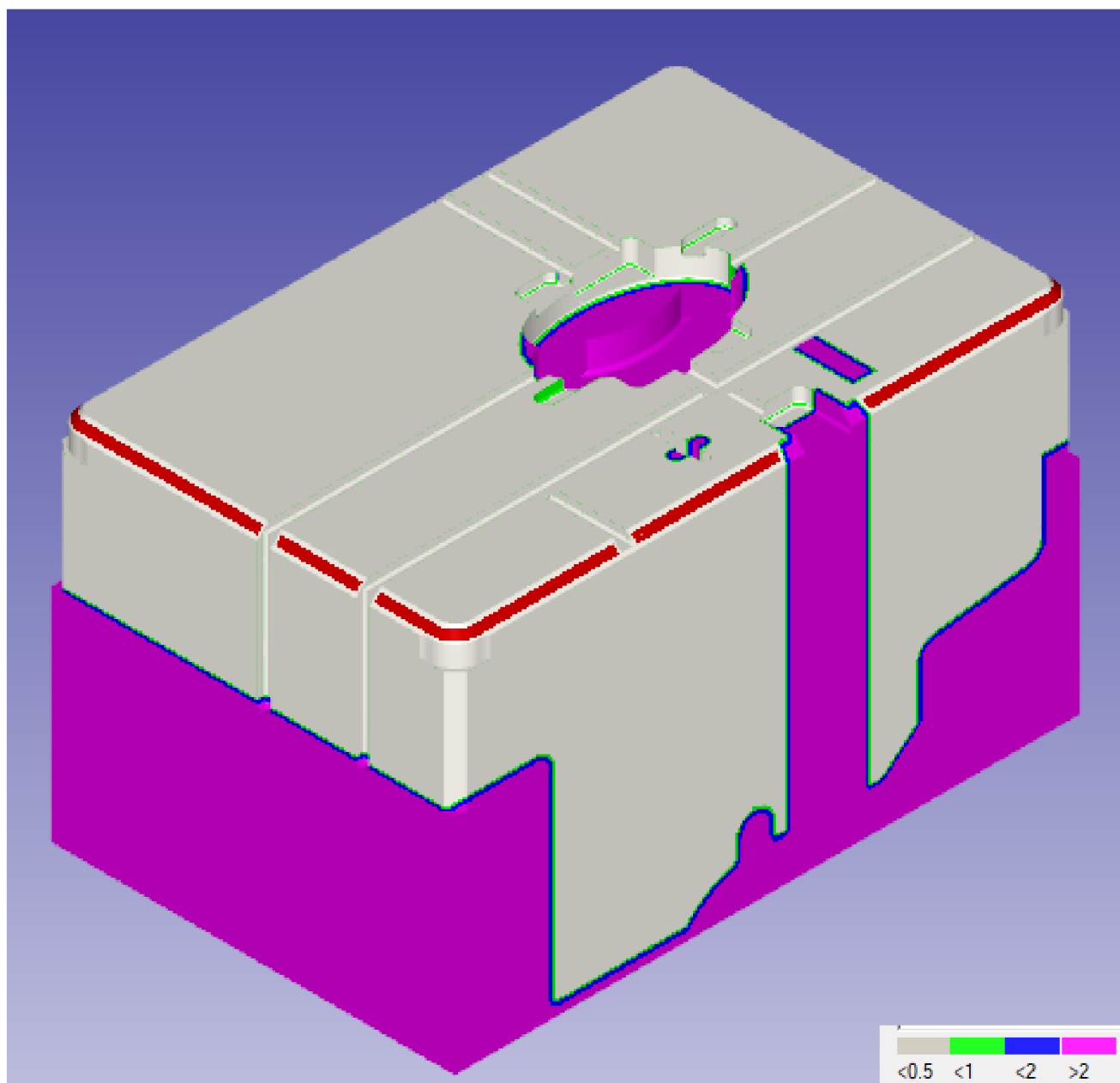
Program	Vylo-žení	Odleh-čení	NC číslo	Název nástroje	Typ nástroje	D	R/°	Zmin	n	F	Vc	Přídavek XY	Přídavek Z	Přisuv XY	Přisuv Z	Kor.	Naklopení	Chlazení	Čas
1_Hrub_horni_tvar_1	X	30	15581	HRRS 4080-10-24	Toroidní fréza	7,80	1,00	-32,699	4122	2143	101	0,06	0,06	1,8	0,1		-/-	1	00:49:27
2_Hrub_horni_tvar_2	X	30	15581	HRRS 4080-10-24	Toroidní fréza	7,80	1,00	-29,742	4122	2143	101	0,06	0,06	1,8	0,1		-/-	1	00:43:00
3_Hrub_kapsa	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30_	Toroidní fréza	9,80	1,00	-36,682	3086	2222	95	0,06	0,06	2,25	0,1		-/-	1	00:19:05
4_Dno_ot_kapsa	X	30	15581	HRRS 4080-10-24	Toroidní fréza	7,80	1,00	-24,742	4122	2143	101	0,15	0	5,46	10		-/-	1	00:00:10
5_N4_Hrub_kruh_vybrani	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30_	Toroidní fréza	9,80	1,00	100,500	3086	2222	95	0,06	0,06	2,25	0,1		ANO/-	1	00:31:24
6_N5_Hrub_celni_vybra	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30_	Toroidní fréza	9,80	1,00	25,560	3086	2222	95	0,06	0,06	1,443	0,3		ANO/-	1	00:02:26
7_N6_Hrub_kruh_vyb_male	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30_	Toroidní fréza	9,80	1,00	-22,265	3086	2222	95	0,06	0,06	1,757	0,3			1	00:01:25
8_N15_Dokonceni_tvar_A	X	6	15015	HSB 2060-0600	Kulová fréza	5,99	3,00	-14,025	6483	2464	122	0	0					1	00:10:42
9_N15_Dokonceni_tvar_B	X	6	15015	HSB 2060-0600	Kulová fréza	5,99	3,00	-17,534	6483	2464	122	0	0					1	00:03:25
10_N15_Dokonceni_Tvar_C	X	6	15015	HSB 2060-0600	Kulová fréza	5,99	3,00	-19,987	6483	2464	122	0	0					1	00:18:11
11_N16_Dokonceni_kruh_v	X	6	15015	HSB 2060-0600	Kulová fréza	5,99	3,00	53,129	6483	2464	122	0	0				ANO/-	1	00:22:45
12_N4_Dno_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	90,000	3351	402	100	0,3	0	5,7	1		ANO/-	1	00:00:55
13_N4_Cast_tvaru_1_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	131,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:00:33
14_N4_Cast_tvaru_2_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	120,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:03:05
15_N4_Cast_tvaru_3_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	120,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:02:24
16_N4_Cast_tvaru_4_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	129,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:00:40
17_N4_Cast_tvaru_5_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	120,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:01:51
18_N4_Cast_tvaru_6_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	105,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:02:54
19_N4_Cast_tvaru_7_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	105,200	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:03:29
20_N4_Cast_tvaru_8_KV	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	92,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO	ANO/-	1	00:02:22
21_N6_Cast_tvaru_1	X	32	25836	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	1,00	-22,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO		1	00:06:41
22_N6_Cast_tvaru_2	X	32	25836	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	1,00	-12,755	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO		1	00:02:08
23_N6_Rovina	X	32	25836	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	1,00	-26,000	3351	402	100	0	0	4,75	10			1	00:00:22
24_N6_Cast_tvaru_3	X	32	25836	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	1,00	-26,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO		1	00:01:00
25_N6_Cast_tvaru_4	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	-10,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO		1	00:01:43
26_N6_Cast_tvaru_5	X	32	25835	(ZR704 100 03 32)	Toroidní fréza	9,50	0,50	-43,000	4021	708	120	0	0	0,15	0,475	ANO		1	00:01:56
69_Dno_ot_kapsa	X	30	15581	HRRS 4080-10-24	Toroidní fréza	7,80	1,00	-14,742	4122	2143	101	0	0	5,46	10		-/-	1	00:00:03
27_Dokonceni_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-18,237	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:01:16
28_Dokonceni_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-15,876	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:00:22

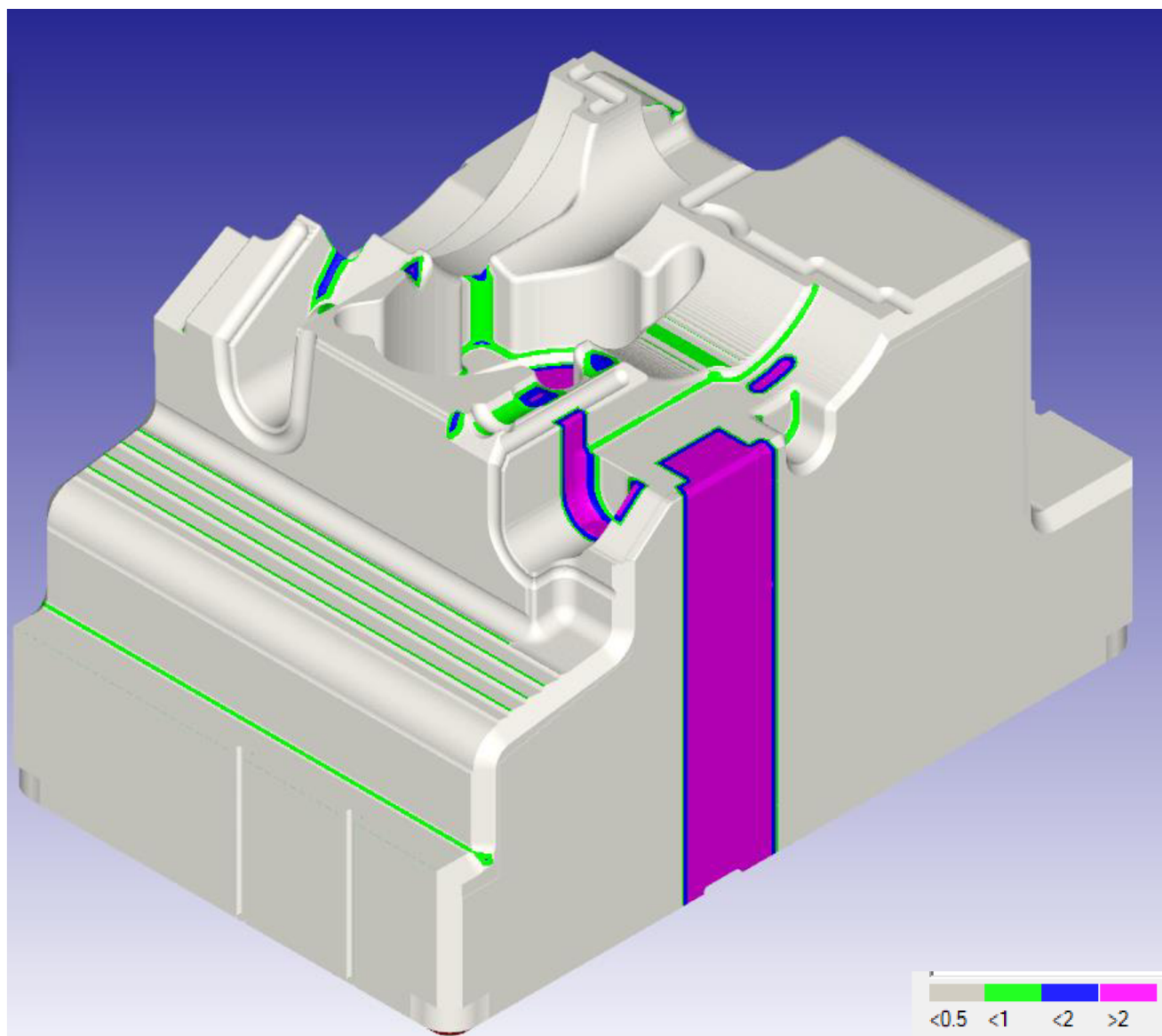
Příloha 4
Seřizovací listy pro čtvrté upnutí

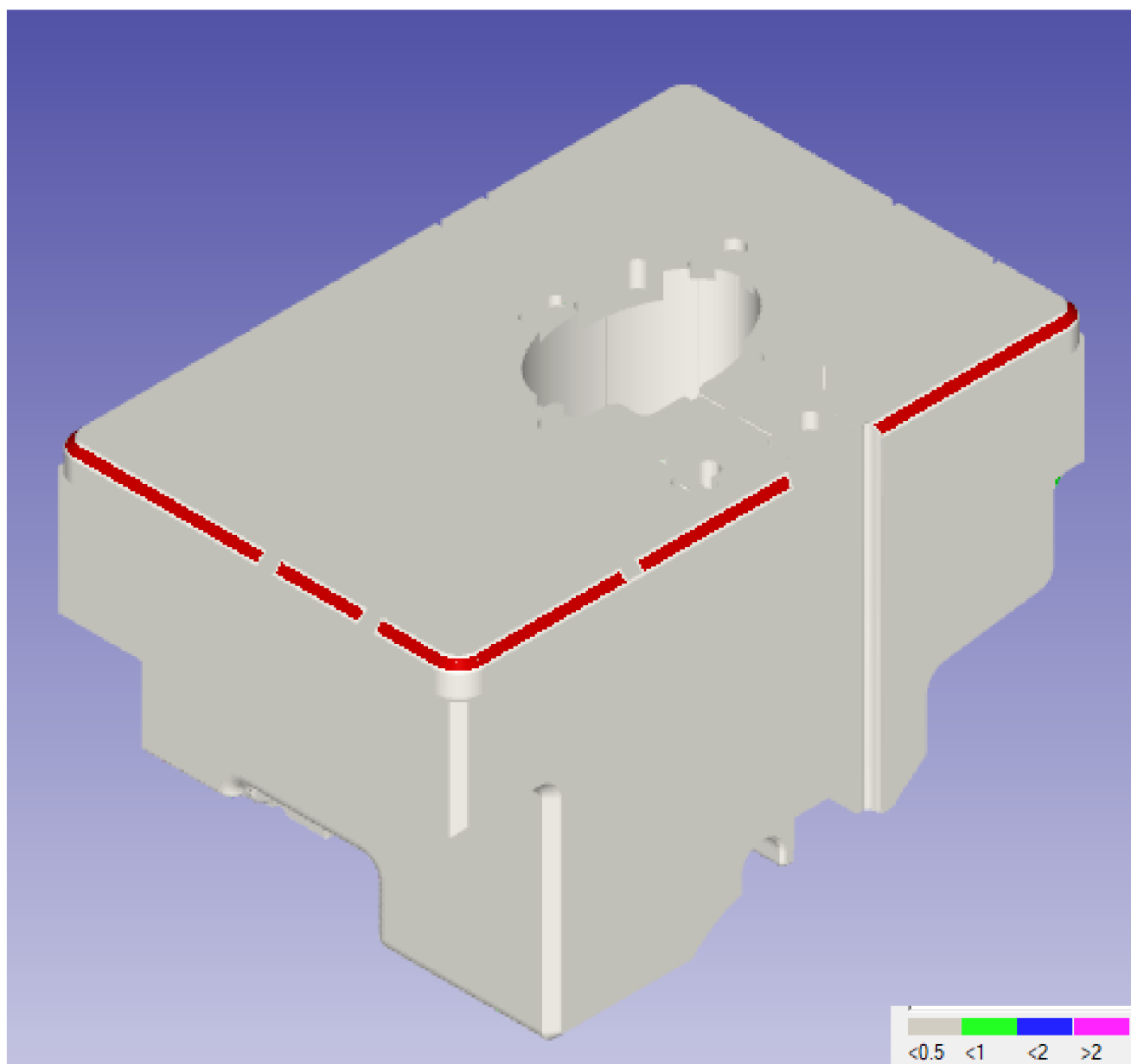
2/4

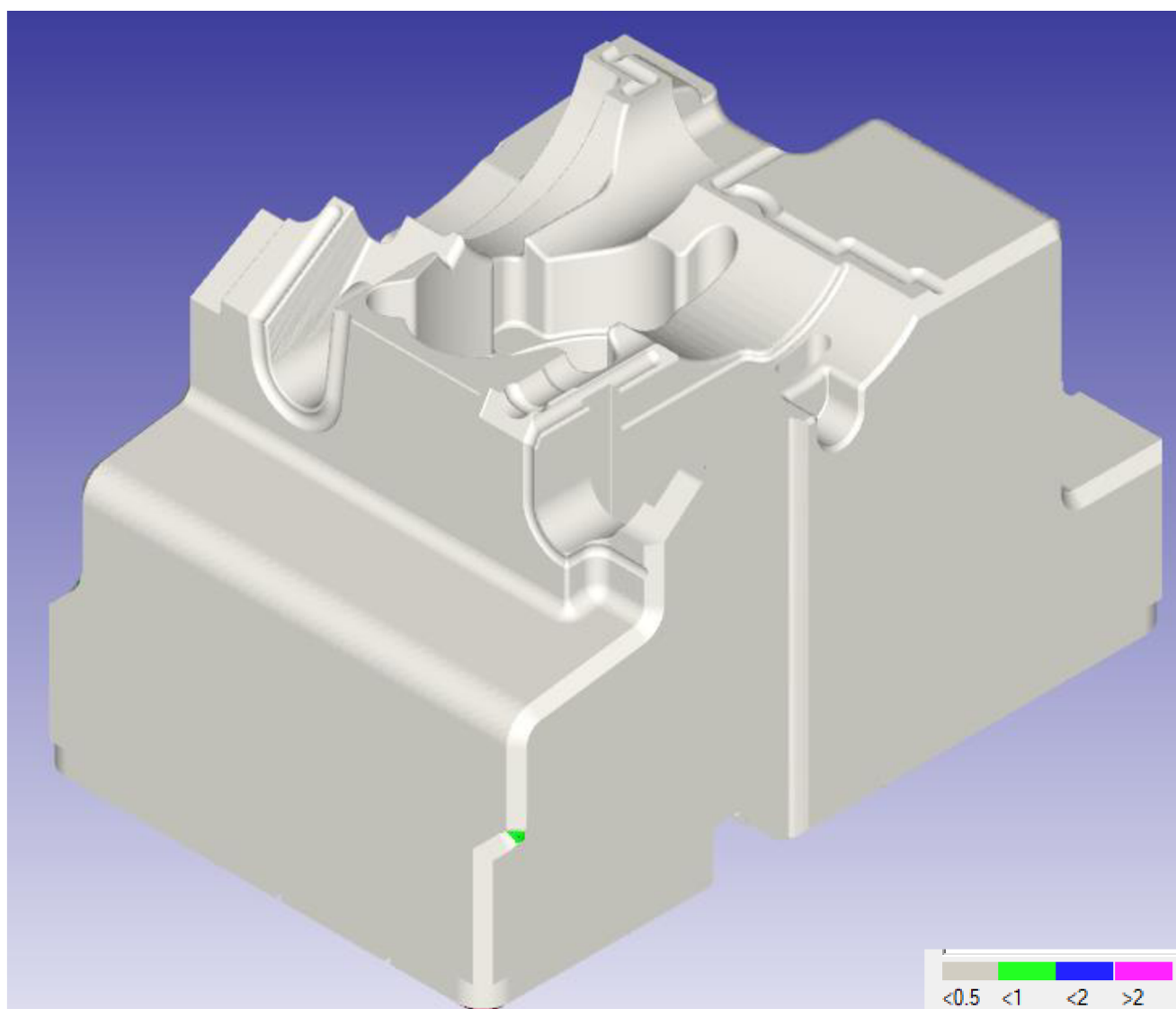
29_Dokončení_rohy_na_hra	X	3	16003	HSLB 2020-030	Kulová fréza	1,99	1,00	-18,419	13916	2087	87	0		0,02			-/-	1	00:00:31
30_Dokončení_rohy_na_hra	X	2	15051	HSLB 2006-020	Kulová fréza	0,60	0,30	-17,863	29959	1198	56	0		0,02			-/-	1	00:00:36
38_Dokončení_R_na_hrane	X	2	1,506E+09	HSLB 2010-020_11	Kulová fréza	0,99	0,50	-22,464	24243	1939	75,4	0	0	0,03				1	00:03:07
32_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-7,739	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:01:40
33_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-3,737	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:02:11
70_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-7,199	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:01:01
34_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-15,236	10539	2213	99	0	0	0,02	0,02		-/-	1	00:02:56
35_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-19,237	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:32:57
36_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-10,862	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:06:09
37_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-3,631	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:33
39_N16_Dokončení_R_na_h	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	49,802	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		ANO/-	1	00:05:59
40_N18_Dokončení_R_na_h	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	25,481	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		ANO/-	1	00:01:19
41_Cast_tvaru_1_dok	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-10,793	10539	2213	99	0	0		0,025		-/-	1	00:09:13
42_Cast_tvaru_1_zacistení	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-10,996	10539	2213	99	0	0				-/-	1	00:02:29
43_Vyostření_rohy_1	X	3	16003	HSLB 2020-030	Kulová fréza	1,99	1,00	-9,902	13916	2087	87	0		0,02			-/-	1	00:00:23
44_Vyostření_rohy_1_dok	X	2	15051	HSLB 2006-020	Kulová fréza	0,60	0,30	-8,983	29959	1198	56	0		0,02			-/-	1	00:00:34
45_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-29,868	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:02:04
46_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-29,868	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:33
47_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-38,925	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:40
48_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-32,712	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:28
49_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-17,658	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:43
50_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-38,483	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:03:37
51_N16_Vyostření_rohy_17	X	2	15051	HSLB 2006-020	Kulová fréza	0,60	0,30	58,340	29959	1198	56	0		0,02			ANO/-	1	00:00:41
52_N19_Vyostření_rohy_17	X	2	15051	HSLB 2006-020	Kulová fréza	0,60	0,30	27,964	29959	1198	56	0		0,02			ANO/-	1	00:00:34
53_N20_Dno	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30	Toroidní fréza	9,80	1,00	0,000	3086	2222	95	1	0	6,86	10		ANO/-	1	00:00:06
54_N20_Stěna	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30	Toroidní fréza	9,80	1,00	0,500	3086	2222	95	0	0				ANO/-	1	00:11:12
55_N20_Stěna_R	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30	Toroidní fréza	9,80	1,00	0,000	3086	2222	95	0	0				ANO/-	1	00:00:31
68_Dok_vnitřní_kapsa_Stěn	X	37	155890111	HRRS 4100-10-30	Toroidní fréza	9,80	1,00	-36,742	3086	2222	95	0	0		0,2		-/-	1	00:15:01
72_Dokončení_rohy_vnit_ka	X	30	15581	HRRS 4080-10-24	Toroidní fréza	7,80	1,00	-36,742	4122	2143	101	0	0		0,2		-/-	1	00:00:53
73_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-2,540	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:07:22
56_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-10,413	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:30
71_Dokončení_R_na_hrane	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-15,148	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03		-/-	1	00:00:14
57_N21_Dokončení_R_na_h	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-46,403	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03			1	00:00:12
58_N21_Dokončení_R_na_h	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	-52,465	10539	2213	99	0	0	0,03	0,03			1	00:00:31
59_N5_Cel_vyb_dno	X	40	25837	HRRS 4080-10-24-T	Toroidní fréza	7,80	1,00	25,500	4122	2143	101	0	0	5,46	10		ANO/-	1	00:00:04

60_N5_Cel_vyb_A_steny	X	40	25837	HRRS 4080-10-24-1	Toroidní fréza	7,80	1,00	25,917	4122	2143	101	0	0	0	ANO/-	1	00:01:52
61_N5_Cel_vyb_B_steny	X	40	25837	HRRS 4080-10-24-1	Toroidní fréza	7,80	1,00	42,500	4122	2143	101	0	0	0	ANO/-	1	00:01:13
62_N5_Dokonceni_R_na_hr	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	58,454	10539	2213	99	0	0	0,03	ANO/-	1	00:00:51
63_N5_Dokonceni_R_na_hr	X	6	16021	HSLB 2030-060	Kulová fréza	2,99	1,50	57,907	10539	2213	99	0	0	0,03	ANO/-	1	00:00:49
64_N22_Dokonceni_otevret	X	25	15016111	HSB 2060-0600_12	Kulová fréza	5,99	3,00	-5,192	6483	2464	122	0	0			1	00:17:23
65_N22_Dokonceni_R_na	X	25	15016111	HSB 2060-0600_12	Kulová fréza	5,99	3,00	-1,149	6483	2464	122	0	0	0,03		1	00:00:26
66_N20_Dokonceni_R_na	X	2	1,506E+09	HSLB 2010-020_11	Kulová fréza	0,99	0,50	2,640	24243	1939	75,4	0	0			1	00:02:15
67_N23_Plocha_nad_ovzd_	X	40	25837	HRRS 4080-10-24-1	Toroidní fréza	7,80	1,00	0,000	4122	2143	101	0	0	10		1	00:00:03









Nástroj	Cena nástroje	Cena přebroušení	Doba obrábění G1 G2 G3	Předpokládaná doba trvanlivosti		Využití nástroje		Náklady	
				Nový	Přebroušený	Nový	Přebroušený	Nový	Přebroušený
	[Kč]	[Kč]	[min]	[min]		[%]		[Kč]	
ZM504 200	18925,0	1595,0	4,6	30,0	26,0	0,2	0,2	2870,3	279,1
ZR514 2015	33220,0	1936,7	1,7	30,0	26,0	0,1	0,1	1860,3	125,1
ZR514 0810	4850,0	1166,2	11,4	30,0	26,0	0,4	0,4	1847,9	512,7
208121 12x90°	2379,0	1647,6	1,6	30,0	26,0	0,1	0,1	126,9	101,4
ZR734 050 10	5535,0	1280,1	21,5	30,0	26,0	0,7	0,8	3958,1	1056,3
ZR724 060 10 20	4350,0	1280,1	0,4	30,0	26,0	0,0	0,0	53,7	18,2
ZR504 0405	3790,0	997,2	1,5	30,0	26,0	0,1	0,1	193,3	58,7
ZR704 100 20 32	7045,0	1542,3	52,0	30,0	26,0	1,7	2,0	12211,3	3084,6
VBD 32	2006,3	-	25,7	30,0	-	0,9	-	1715,3	-
VBD 20	1605,0	-	13,4	30,0	-	0,4	-	718,0	-
DB402 050	2500,0	1014,3	36,2	30,0	26,0	1,2	1,4	3012,5	1410,3
HSB 2040-0400	3463,1	1070,7	1,9	30,0	26,0	0,1	0,1	219,3	78,2
HRRS 4080-10-24	11039,7	1359,8	61,3	30,0	26,0	2,0	2,4	22568,8	3207,4
HRRS 4100-10-30	14544,4	1542,3	43,5	30,0	26,0	1,4	1,7	21079,7	2579,2
HRRS 4060-05-18	12260,0	1280,1	5,2	30,0	26,0	0,2	0,2	2112,8	254,5
HSB 2060-0600	4221,4	1145,4	54,2	30,0	26,0	1,8	2,1	7623,8	2386,8
ZR704 100 03 32	7045,0	1542,3	1,8	30,0	26,0	0,1	0,1	415,7	105,0
ZR724 100 10 32	9310,0	1542,3	1,4	30,0	26,0	0,0	0,1	443,8	84,8
HMS 3015-0600	6916,4	-	7,7	30,0	-	0,3	0,3	1763,7	-
HSLB 2030-060	3840,4	1070,7	37,0	30,0	26,0	1,2	1,4	4730,1	1521,6
HSLB 2020-030	3126,2	-	9,3	30,0	-	0,3	0,4	969,1	-
HSLB 2006-020	3787,7	-	12,5	30,0	-	0,4	0,5	1578,2	-
HSLB 2010-020	3128,7	-	9,0	30,0	-	0,3	0,3	941,7	-
HMS 6060-1300	6916,4	1182,1	0,6	30,0	26,0	0,0	0,0	126,8	25,0
ZR724 060 10 20	4350,0	1280,1	19,8	30,0	26,0	0,7	0,8	2872,5	975,4
ZR734 060 02	4750,0	1280,1	11,3	30,0	26,0	0,4	0,4	1786,0	555,4
ZR724 060 05 20	4350,0	1280,1	0,6	30,0	26,0	0,0	0,0	82,7	28,1
ZR704 040 05 10	3760,0	1205,4	0,4	30,0	26,0	0,0	0,0	50,1	18,5
HMS 4040-0800	6012,3	997,2	16,1	30,0	26,0	0,5	0,6	3230,6	618,2
HSLB 2020-060-6	4636,6	-	0,2	30,0	26,0	0,0	0,0	34,0	-