

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika srážení hran při výrobě nástrojů

Autor: **Bc. Jiří Pivoňka**

Vedoucí práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří PIVOŇKA**

Osobní číslo: **S14N0080P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

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

Název tématu: **Problematika srážení hran při výrobě nástrojů**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Definice řešené problematiky a teoretický rozbor
2. Rešerže použitelných technologií
3. rozpracování a srovnání 2 vybraných variant
4. praktická aplikace 1 vybrané varianty
5. Stanovení obecné metodiky
6. Závěr se zhodnocením

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- ŠTULPA, Miloslav. 2015. CNC: programování obráběcích strojů. 1. vyd. Praha: Grada, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- MÁDL, Jan. 2000. Technologie obrábění: 1. díl. Praha: ČVUT, 79 s. ISBN 80-010-2091-6. Skriptum. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- VRABEC, Martin. 2012. Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením. 1. vyd. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 109 s. ISBN 978-80-7414-499-8.
- ŠTULPA, Miloslav. 2006. CNC: obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- VRABEC, Martin a Jan MÁDL. 2004. NC programování v obrábění. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 92 s. ISBN 80-010-3045-8.
- STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 58 s. ISBN 80-704-3363-9.
- Catia V5 nápověda

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Kapinus**
Hofmeister s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **18. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 20. října 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Hnátíkovi, Ph.D. za podporu, vedení i za čas, který mi věnoval.

Dále bych chtěl velmi poděkovat Ing. Vladimíru Kapinusovi za jeho vstřícnost, poskytnutí cenných rad a spolupráci při tvorbě této diplomové práce.

Další poděkování patří firmě Hofmeister s.r.o. spolu s vedoucím konstrukce Ing. Petrem Štípkem za umožnění vykonání této diplomové práce, která byla pro mě velkým přínosem.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat celé mojí rodině za jejich každodenní podporu ve studiu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení PIVOŇKA	Jméno JÍŘÍ		
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie- technologie obrábění			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. HNÁTÍK, Ph.D.	Jméno JAN		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Problematika srážení hran při výrobě nástrojů			

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	71	TEXTOVÁ ČÁST	66	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Náplní a cílem této práce je volba technologie pro hrankování na VBD nástrojích ve firmě Hofmeister s.r.o. Při volbě technologie tak bude kladem důraz jejich dostupnost ve firmě a na výslednou kvalitu srážení. Dalším krokem je naprogramování obrábění v CAM systému Catia V5 a následné vyrobení vybraného VBD nástroje. Přínosem pro firmu tak bude metodický postup jak provádět hrankování na nástrojích za pomoci speciálních nástrojů.
KLÍČOVÁ SLOVA	VBD nástroj, hrankování, CAM, Catia V5

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname PIVOŇKA	Name JÍŘÍ	
FIELD OF STUDY	Department of Machining Technology		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. HNÁTÍK, Ph.D.	Name JAN	
INSTITUTION	UWB in Pilsen - FME - DMT		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The issue of chamfering in the process of making tools		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	71	TEXT PART	66	GRAPHICAL PART	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of this dissertation is to find suitable technologies for chamfering on insert tools in the Hofmeister s.r.o. The availability and quality of sardine in the company plays the major role in the choice of the right technology. Next, the machining is programmed in Cam subsystem Catia 5. Finally, the finished product is manufactured in the chosen insert tools. This dissertation creates a methodic process of chamfering on industrial machines with special tools which should immensely contribute to Hofmeister s.ro
KEY WORDS	Insert Tool, Chamfering, CAM, Catia V5

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
PŘEDMLUVA	11
1 ÚVOD	12
1.1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY HOFMEISTER S.R.O. [16]	12
1.2 CÍL PRÁCE	12
1.1 ÚVOD DANÉ PROBLEMATIKY	12
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	14
2.1 RUČNÍ SRÁŽENÍ HRAN	14
2.1.1 <i>Nástroje pro ruční srážení hran</i>	15
2.2 BROUŠENÍ BRUSNÝM TĚLÍSKEM	16
2.3 FRÉZOVÁNÍ NA 5TI-OSÉM CENTRU	17
2.3.1 <i>Frézovací nástroje</i>	17
2.4 OMÍLÁNÍ	18
2.5 PÍSKOVÁNÍ	19
2.6 ELEKTROCHEMICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ OTŘEPŮ [8].....	20
2.7 OBRÁBĚNÍ PAPERSEM LASERU [8].....	20
2.8 TERMICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ OTŘEPŮ [8]	21
3 ZHODNOCENÍ A VÝBĚR VARIANT	22
3.1 ÚVOD DO FRÉZOVÁNÍ [9]	22
3.2 NÁSTROJE APLIKOVATELNÉ PRO SRÁŽENÍ HRAN FRÉZOVÁNÍM [10]	23
3.2.1 <i>Čelní válcová fréza</i> [10].....	24
3.2.2 <i>Kulové fréza</i> [10]	24
3.2.3 <i>Úhlová fréza 90° (hrankovač)</i> [11].....	25
3.2.4 <i>Technické frézy</i> [12], [13].....	25
3.3 MODERNÍ METODY OBRÁBĚNÍ- FRÉZOVÁNÍ[14]	26
3.3.1 <i>HSC (High Speed Cutting)- vysokorychlostní obrábění</i>	26
3.3.2 <i>HFC (High Feed Cutting)- vysokoposuvové obrábění</i>	27
3.3.3 <i>HPC (High Productive Cutting) – vysokovýkonné obrábění</i>	27
3.4 ZADANÉ OBROBKY PRO APLIKACE TECHNOLOGIE HRANKOVÁNÍ	28
3.4.1 <i>Varianta A- nástroj pro sériovou výrobu</i>	28
3.4.2 <i>Varianta B- nástroj pro kusovou výrobu</i>	29
4 CAD/CAM	30
4.1 PROGRAMOVÁNÍ STROJŮ CAD/CAM SYSTÉMY [1]	30
4.2 SOFTWARE CATIA V5 [15].....	32
4.2.1 <i>NC aplikace systému CATIA V5</i> [15].....	32
4.2.2 <i>Třiosé frézování</i> [15].....	33
4.2.3 <i>Třiosé frézování s jednou naklápěcí osou</i> [15]	33
4.2.4 <i>Pětiosé frézování - Multi-Axis Surface Machining</i> [15]	34

5	PRAKTICKÁ ČÁST	35
5.1	EXPERIMENTÁLNÍ OTESTOVÁNÍ TECHNICKÝCH FRÉZ.....	35
5.2	REPREZENTACE NÁSTROJE	38
5.3	FUNKCE VHODNÉ PRO HRANKOVÁNÍ	41
5.4	NASTAVENÍ FUNKCE MULTI-AXIS CURVE MACHINING PRO HRANKOVÁNÍ	43
5.4.1	<i>Volba strategie</i>	<i>43</i>
5.4.2	<i>Volba geometrie</i>	<i>46</i>
5.4.3	<i>Volba Nástroje.....</i>	<i>46</i>
5.4.4	<i>Řezné podmínky nástroje.....</i>	<i>46</i>
5.4.5	<i>Nájezdy a odjezdy.....</i>	<i>47</i>
5.5	OBECNÉ NASTAVENÍ CAM PRO VYBRANÉ VARIANTY	48
5.5.1	<i>Výběr stroje</i>	<i>48</i>
5.5.2	<i>Nastavení nulového bodu</i>	<i>49</i>
5.5.3	<i>Polotovary.....</i>	<i>50</i>
5.5.4	<i>Upínání.....</i>	<i>50</i>
5.6	CAM PRO VARIANTU A	50
5.6.1	<i>Úprava CAD modelu před hrankováním</i>	<i>50</i>
5.6.2	<i>Plynulá proměnlivá hrana po obvodu nástroje.....</i>	<i>51</i>
5.6.3	<i>Plynulá hrana 90°</i>	<i>52</i>
5.6.4	<i>Tvarově proměnlivá hrana</i>	<i>53</i>
5.6.5	<i>Hrana pod VBD v lůžku nástroje</i>	<i>54</i>
5.6.6	<i>Díry nebo osazení.....</i>	<i>54</i>
5.6.7	<i>Transformace</i>	<i>55</i>
5.7	CAM PRO VARIANTU B.....	55
5.7.1	<i>Křivka podél nástroje.....</i>	<i>56</i>
5.7.2	<i>Díra pro šroub.....</i>	<i>56</i>
5.7.3	<i>Transformace</i>	<i>57</i>
5.7.4	<i>Simulace varianty B</i>	<i>57</i>
5.8	NC DATA	57
5.9	VYROBENÍ VARIANTY A.....	58
6	TECHNICKO- EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	60
6.1	RUČNÍ HRANKOVÁNÍ.....	60
6.2	STROJNÍ HRANKOVÁNÍ PRO MALOSÉRIOVOU VÝROBU (VARIANTA B).....	60
6.3	STROJNÍ HRANKOVÁNÍ PRO VELKOSÉRIOVOU VÝROBU (VARIANTA A).....	61
6.4	ČASOVÁ NÁROČNOST	61
6.5	FINANČNÍ NÁROČNOST	62
7	ZÁVĚR	63
	LITERATURA	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Popis
VBD	Vyměnitelná břitová destička
CNC	Počítačově číslicové řízení obráběcího stroje
NC	Číslicové řízení obráběcího stroje
CAD	Computer Aided Design- počítačem podporované navrhování
CAM	Computer Aided Design- počítačem podporovaná výroba
TiN	Nitrid Titanu
ECM	Elektrochemické odstraňování otřepů
HSC	High Speed Cutting- obrábění vysokou rychlostí
HFC	High Feed Cutting- obrábění vysokými posuvy
HPC	High Performance Cutting- vysokovýkonné obrábění
HFM	High Feed Milling- frézování vysokou rychlostí
SK	Slinutý karbid
FN _x	Fixní náklady
PVN _x	Průměrné variabilní náklady
TF _x	Fixní čas
TV _x	Variabilní čas

Značení a jednotky	Popis
D _{cap} [mm]	Průměr nástroje v řezu
a _p [mm]	Hloubka řezu
v _c [m/min]	Řezná rychlost
D _c [mm]	Charakteristický průměr nástroje
κ _r [°]	Úhel nastavení hlavního ostří

Předmluva

Náplní a cílem této práce je volba vhodných technologií pro srážení hran na tělesech nástrojů, které jsou osazeny VBD, ve firmě Hofmeister s.r.o. Hrany určené ke srážení nejsou klasické, jak tomu bývá například u děr nebo na soustruženém průměru, jedná se o tvarově náročné hrany, které vzniknou po vyfrézování zubové mezery, popřípadě lůžka pro VBD, do tělesa daného nástroje. Jelikož je tento návrh řešen komplexně, v úvodní části práce tak budou rozebrány současné trendy v oblasti srážení hran a nástroje k tomu vhodné. Přičemž hlavní důraz bude kladen na rozebrání dostupných technologií, kterými firma disponuje.

V druhé části práce bude vybrána nejvhodnější varianta pro srážení hran a následná praktická aplikace při výrobě nástrojů. Při tvorbě technologie je přitom kladen důraz na sériovou a kusovou výrobu (speciální nástroje).

1 Úvod

1.1 Představení firmy Hofmeister s.r.o. [16]

Firma Hofmeister s.r.o. je česká rodinná firma zabývající se strojírenstvím již od roku 1990. Firma úzce spolupracuje se Západočeskou univerzitou v plzni a to konkrétně s Fakultou strojní. Se svými 110 zaměstnanci má sídlo na Borských polích v Plzni.

Hlavními činnostmi firmy jsou prodej nástrojů, náradí a měřidel pro kovoobrábění, technické poradenství a tvorba kompletních technologií obrábění včetně programování, výroba standardních a speciálních nástrojů, ostření a servis nástrojů, výroba forem pro vstřikování plastů, výroba přípravků, CNC obrábění (včetně pětiosého), konstruování ve 3D (CAD/CAM), montáž a servis filtračních systémů pro obrábění kovů, výroba a montáž modulárních skříní, jemné omílání a pískování, laserový popis, certifikovaná kontrola [16]



Obrázek 1: Sídlo firmy Hofmeister s.r.o

1.2 Cíl práce

Cílem práce je volba nejvhodnější technologie srážení hran pro dva dané typy nástrojů osazené VBD a stanovení metodiky daného technologického postupu, který bude následně firma aplikovat pro svou výrobu a zvýšení kvality výroby při výrobě nástrojů.

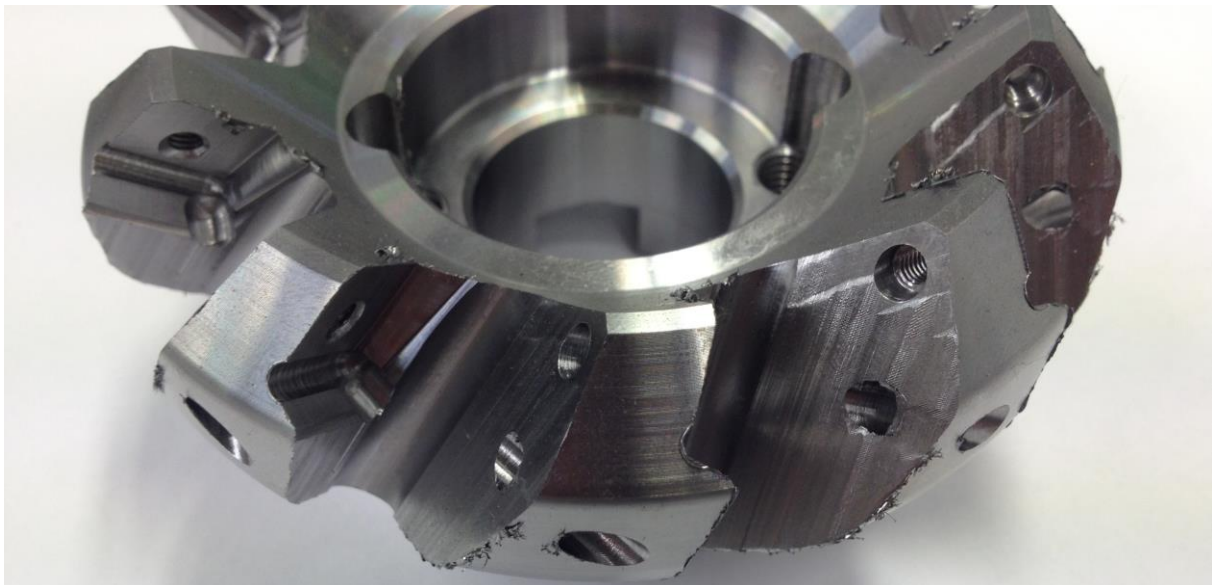
1.1 Úvod dané problematiky

Při obrábění, v místě, kde vybíhá nástroj ze záběru, vznikají otřepy. Jsou to ostré hrany se zbytkovým materiálem, který je třeba odstranit a na tomto místě navíc vytvořit hranu, popřípadě zaoblení. Řešením je srážení hrany, odstranění otřepů, odgrotování. V této diplomové práci se budeme zabývat srážením hrany a zbavením otřepů. Ve výrobě je srážení ostrých hran často bráno jako druhořadá operace, nebo jako úkon, který je potřeba zařadit až po vyrobení součásti. Díky dnešním technologiím je možné srážení hran zařadit do technologického postupu jako rovnocennou operaci a tím sjednotit jak výrobu tak finální opracování, které se dříve muselo řešit zcela odděleně, do jednoho celku.

V mnoha případech probíhá sražení hrany s odstraněním otřepů ručně, záleží však na charakteru obrobku. Při celkovém sražení hran na součásti hraje velkou roli otáčení součásti. Charakter našeho obrobku ale není tímto faktorem zatížen, a proto je možné srážet hrany i strojně. Použitelných technologií pro srážení hran je celá řada. Je možno vybírat jak z metod konvenčních tak nekonvenčních, přičemž firma disponuje jen vybranými technologiemi.

Zda srážení hran provádět strojně nebo ručně určuje počet vyráběných kusů, popřípadě požadavek zákazníka na jakost výrobku. U kusové výroby se jeví jako logický krok ruční sražení hran, při sériovější výrobě zase strojní. Není ovšem od věci, že by se i u kusové výroby drahého nástroje volila vhodná varianta strojního srážení hran či nějaké jiné konvenční nebo nekonvenční metody.

U některých metod navíc mohou vznikat takzvané sekundární otřepy. To jsou otřepy, které vzniknou po vykonání dané metody na sražené hraně a jsou menší velikosti než otřepy u předešlé metody.



Obrázek 2: Ostré hrany a otřepy na nástroji po jeho obrobení

2 Rozbor současného stavu

Jak již bylo řečeno v úvodu, srážení hran může probíhat jak ručně, tak strojně. Při ručním srážení záleží na schopnostech daného pracovníka, jehož schopnosti mají velký vliv na kvalitu srážení. Je jisté, že při sériové výrobě bude různorodost typu srážení a jeho velikost na denním pořádku. Řešením tohoto problému je strojní srážení hran, kde se docílí teoreticky shodného srážení u každého kusu. Na tvar, případně přesnost srážení mají pak vliv jiné faktory, které budou zmíněny u každých způsobů srážení zvlášť. Strojní metody lze rozdělit na konvenční a nekonvenční.

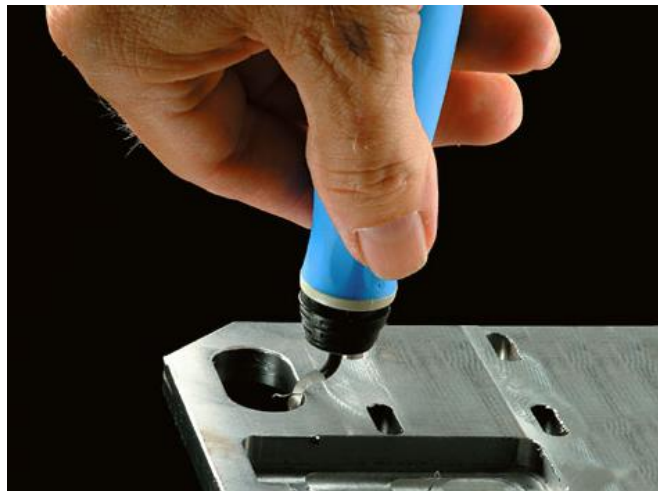
Strojní konvenční srážení hran se provádí třískovým obráběním (frézováním) na CNC centrech, broušením na bruskách, omíláním a pískováním.

Mezi nekonvenčními způsoby srážení hran nalezneme technologie, kde se docílí odstranění otřepů, ale místo rovné hrany se může docílit i zaoblení. Zástupci nekonvenčních způsobů jsou elektrochemické odstraňování, laser a termické odstraňování otřepů

Dostupné technologie ve firmě tak jsou ruční srážení hran, strojní třískové obrábění pomocí CNC center, pískování, omílání a laser, ovšem ne všechny jsou vhodné pro danou problematiku.

2.1 Ruční srážení hran

Ručně lze srážek hrany více způsoby. Buď za použití škrabáků, použitím brusky s daným nástrojem nebo brusným papírem. Ve všech případech má dělník k dispozici nástroj, se kterým ručně zbaví obrobek otřepů a srazí hrany. Je pouze na něm, jak velkou sílu použije a jak moc velkou pak vytvoří hranu. Nevýhodou pak samozřejmě je, že srážení hrany je nepravidelného tvaru i velikosti, což by u sériové výroby mohl být problém jak s kvalitou, tak s pracností pro dělníka. Tyto faktory poté umocňuje fakt, že u našich nástrojů se jedná o tvarově někdy velice náročné křivky a nepřesnosti v sériové výrobě by potom byly velice znatelné.



Obrázek 3: Příklad ručního srážení hran

2.1.1 Nástroje pro ruční srážení hran

2.1.1.1 Škrabáky

V dnešní době se na výrobu škrabáků klade téměř stejný důraz jako na klasické nástroje pro obrábění, který vyžaduje výzkum a vývoj ke zdokonalení těchto nástrojů. Jedná se především o ostří, které se vyrábí z kvalitních rychlořezných ocelí, někdy i s TiN vrstvou nebo diamantovým povlakem a není výjimkou ostří ze slinutého karbidu. Ostří může být zahnutého tvaru nebo rovné.

Konstrukce samotného škrabáku se skládá z rukojeti a řezné části, která obsahuje již zmíněné ostří. Řezná část je za svou stopku vložena do rukojeti, a to buď pevně, nebo s možností rotace v rukojeti. Rotace nám pak umožní možnost kopírování srážené hrany s konstantním úhlem řezu.

Touto metodou se docílí sražení hrany a odstranění otřepů.



Obrázek 4: Nástroje pro ruční srážení hran

2.1.1.2 Brusky

Do brusky je vložen rotační nástroj. Nejvíce používané jsou technické frézy nebo různá brusná tělíška. Zapnutím brusky, která může mít elektrický nebo pneumatický pohon, se daný nástroj roztočí na konkrétní otáčky a záleží opět na dělníkovi a jeho použité síle aby vytvořil sražení hrany o konkrétní velikosti. Jedná se o metodu poměrně produktivní, která však vyžaduje určitou zručnost obsluhy.

Firemním dodavatelem v této kategorii je značka PFERD, jejímž produktem je přímá pneumatická bruska PGAS 1/750 s otáčkami 75 000min⁻¹ a výkonem 11W. Tato bruska se po vybrání optimálního nástroje používá na ruční odstranění otřepů a následné sražení ostrých hran.



Obrázek 5: Pneumatická pohon od firmy PFERD

2.1.1.3 Brusný papír

Brusný papír lze použít na menší velikost otřepů, kdy se po dané hraně přejede ručně brusným papírem za použití tvarové podložky a hrana je pak zbavena otřepů a je na ní vytvořeno zaoblení. Při použití u větších otřepů hrozí protržení brusného papíru a jeho zničení. Je proto vhodné ho používat pro zbavení se nejmenších nečistot a vytvoření minimálního zaoblení.



Obrázek 6: Brusný papír

2.2 Broušení brusným tělískem

Brusné tělísko je možné použít v kombinaci s ruční bruskou nebo vrtačkou, nebo i se stolní bruskou, ramennou bruskou, úhlovou bruskou a rovinnou bruskou. V případě použití strojního broušení jsme bohužel značně omezeni při složitějším tvaru křivky určené ke sražení hrany. Při této metodě nedochází ke vzniku sekundárních otřepů a je ji tak možno aplikovat pro finální odstranění otřepů a sražení hrany. Volbou vhodné specifikace pro konkrétní problém lze dosáhnout výborného výsledku obrobení a zároveň i dosažení vysoké životnosti brusného tělíska.

Brusné tělísko je tvořeno tvrdými reznými zrny a elastickým pojivem. Následkem toho je, že se kolem obrobku obepne a vytvoří tak zaoblení popřípadě srazí hranu. Velikost brusných tělísek bývá většinou daná výrobcem, někteří jsou schopni vyrobit brusné tělísko dle požadavků zákazníka.



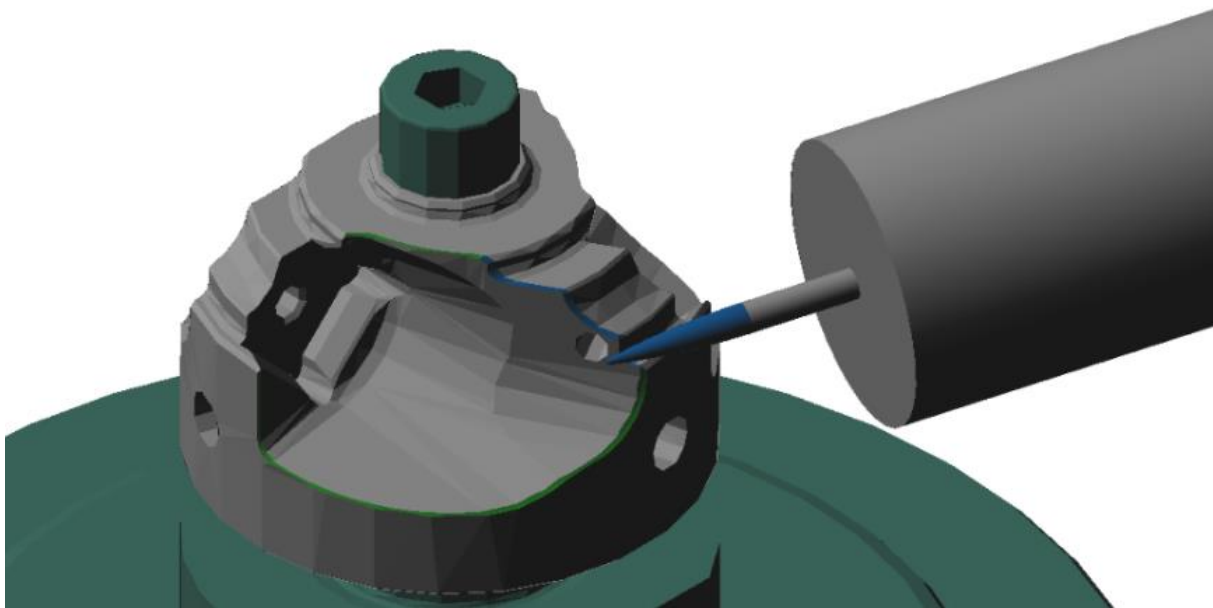
Obrázek 7: Brusné tělísko s pneumatickým pohonem

2.3 Frézování na 5ti-osém centru

Podstatný způsob, jak odstranit otřepy a vytvořit hranu na obrobku je frézování, kde základ najdeme v CAM systémech (Catia V5). Použitím vhodných nástrojů můžeme vytvořit program, který nám srazí vzniklé hrany po obrábění stejným způsobem, jakým se sráží hrany u děr. Musíme však dávat pozor na vznik sekundárních otřepů, které mohou vznikat při použití nepřiliš ostrého nástroje.

Tato metoda mezi velice přesná a docílíme jí kvalitních povrchů s konstantní velikostí sražení. Jelikož by frézování bylo prováděno na 5ti-osé frézovací centrum, je zaručena jeho požadovaná přesnost sražení a konstantní velikost na každém kusu.

Jedná se o technologii dostupnou firmě Hofmeister s.r.o



Obrázek 8: Frézování v CAM systému Catia

2.3.1 Frézovací nástroje

Jelikož naše daná problematika je charakterizována velice malými úběry materiálu a místo pro obrábění je omezeno svou velikostí, veškeré frézovací nástroje jsou uvažovány jako monolitní. V nabídce nástrojů jsou jak standardní frézy, tak speciální nástroje. Mezi zvolené nástroje pro hrankování frézováním patří:

- Čelní válcová fréza
- Kulové fréza
- Úhlová fréza 90° (dále jen hrankovač)
- Technické frézy

2.4 Omílání

Omílání se používá pro širokou škálu technologických procesů, jako je odstraňování otřepů, zaoblení ostrých hran, leštění, broušení, odmaštění, atd. Pro nás jsou důležité první dva procesy a to odstranění otřepů a zaoblení hrany.

Definicí pro volbu omílacího stroje je velikost obrobku, jeho tvar a požadavek na jeho konečný vzhled. Od těchto údajů se pak odvíjí například tvar a velikost omílací vany, nebo druh omílacích kamenů. Velice záleží na volbě brusných kamenů. Volit lze od nejdrobnějších zrněk až po hrubší kamínky o velikosti deseti milimetrů. V případě nějakých nepřístupných míst, kam by se hrubší kameny nedostaly, se musí volit jemnější zrna. Rozdílná bude i kvalita a velikost omlévané plochy.

Konstrukcí omílacího stroje je pevný plášť a rotující nebo vibrující dno, které uvede do pohybu omílací tělíska, která unášejí spolu s sebou i obrobek.

Velkou nevýhodou u použití omílacího stroje pro zbavení se otřepů a zaoblení hrany je fakt, že se omílání podrobí celý nástroj. Může pak dojít i k opracování ploch, které nemáme v úmyslu již nijak upravovat. Tyto plochy mohou být zakryty, v případě lůžka pro VBD například otupenou destičkou, nicméně je to komplikace pro výrobu a v případě sériové výroby představuje větší čas a pracnost na samotnou přípravu.

Firma dále vlastní stroj pro vlečné omílání. Tato technologie se zabývá úpravou mikrogeometrie nástroje, popřípadě přípravou nástroje před depozicí tenké vrstvy.

Jedná se o technologii dostupnou firmě Hofmeister s.r.o.



Obrázek 9: Omílací stroj

2.5 Pískování

Pískování nebo také tryskání je technologie na opracování nejrůznějších povrchů, ať už ve strojírenském nebo stavebním průmyslu. Princip spočívá v otryskávání povrchu proudem jemných abrazivních částic. Nejčastěji používané abrazivní částice jsou ocelové broky, korund, křemičitý písek, ocelová drť nebo skořápky od ořechů. Dostatečně silný proud částic zajistí odstranění otřepů a vytvoření zaoblení na ostré hraně. Opět je zde nevýhodou, jako u omílání, že jsou při otryskávání povrchu zasaženy proudem i plochy, u kterých nechceme, aby byly dotčeny. Řešením je zakrytí těchto ploch.

Proud částic je způsoben buďto stlačeným vzduchem, nebo rotujícími lopatkami, které metají abrazivní částice.

V tomto případě se skládá pískovací zařízení z ochranného boxu s průhledným sklem. Do boxu jsou instalovány ochranné rukavice. Vložení rukou do rukavic může dělník manipulovat s obrobkem a zároveň míří tryskou na námi určenou plochu k otryskání. Abrazivní částice se po odražení od obrobku dostanou do sběrného prostoru, odkud putuje zpět do trysky.

Jedná se o technologii dostupnou firmě Hofmeister s.r.o. Tato technologie se však používá více na jiný druh úpravy nástrojů, a to na úpravu nefunkčních ploch většinou po vysoustružení polotovaru, než dojde na samotný proces výroby na frézovacím centru.



Obrázek 10: Pískovací kabina

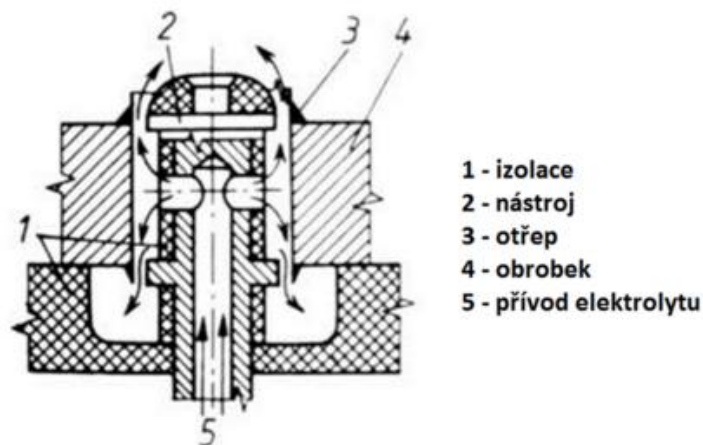
2.6 Elektrochemické odstraňování otřepů [8]

Při klasických (třískových) způsobech obrábění vznikají v místě výběhu nástroje z obráběné plochy otřepy. Pro jejich odstranění existuje řada metod, z nichž metoda ECM umožňuje automatizaci a zproduktivnění časově velmi náročné ruční práce zejména v sériové a hromadné výrobě, a při odstraňování otřepů v málo přístupných dutinách.

ECM odhrotování je založeno na principu anodického rozpouštění, které probíhá mezi kovovým obrobkem (anodou) a katodou, jejíž tvar odpovídá tvaru obrobku. Nástrojová elektroda je vzdálena od obrobku 0,5-1mm a v této mezeře proudí elektrolyt. Izolační vrstvou na katodě je možno soustředit účinky rozpouštění na otřepy. Rozpouštění je tím rychlejší, čím je vyšší proudová hustota. Přitom na hranách a vrcholcích je rozpouštění intenzivnější než na rovinných plochách.

Odhrotování probíhá ve speciálních přípravcích, které jsou konstruovány pro jeden nebo více stejných obrobků.

Nejznámějším výrobcem zařízení pro odhrotování je firma BOSCH (Německo). Zařízení mají často charakter pracovišť (linek), která slouží nejen k odhrotování, ale i k automatickému čištění součástí od elektrolytu a jejich nakonzervování proti korozi. [8]



Obrázek 11: Schéma elektrochemického odstraňování Otřepů

2.7 Obrábění paprskem laseru [8]

Je známa aplikace v japonském experimentálním automatizovaném závodě, kde jsou odjehlovány obrobené součástky i ozubení. Odjehlování se provádí tak, že ostříny se roztaví a odpaří. Je používán IAG laser 300W řízený mikropočítačem. Kromě odjehlování se stejný laser používá k povrchovému kalení obrobených součástek. [8]

Jedná se o technologii dostupnou firmě Hofmeister s.r.o. Z hlediska využití pro hrankování se jedná o poměrně drahou technologii, které je nyní ve stádiu vývoje v oblasti mikroobrábění.

2.8 Termické odstraňování otřepů [8]

Termické odstraňování otřepů zařazujeme mezi metody využívající tepelného účinku chemických reakcí (principů) pro obrábění. Je založeno na chemicko-tepelném procesu, při kterém se v uzavřené komoře, ve které jsou uloženy obrobky, zapaluje elektrickou jiskrou, např. směs vodíku a kyslíku v poměru 2:1 až 1:1. Při poměru 2:1 se dosáhne chemickou reakcí teplota 3500°C. S rostoucím obsahem kyslíku ve směsi se účinky chemických reakcí zvyšují a dojde nejen ke spálení otřepů, ale i k většímu zaoblení hran. To je umožněno malou hmotností a relativně velkou plochou otřepů, případně hrana z toho vyplívajícímu jejich rychlejšímu ohřátí na reakční teplotu oproti ostatním částem obrobku. Přednosti termického odstraňování otřepů:

- Vysoká produktivita práce a možnosti automatizace
- Nezáleží na tvaru a členitosti obrobků, ale na jejich dostatečné hmotnosti
- Účinky reakcí pracovního plynu se projeví i ve složitých a nepřístupných dutinách obrobku.
- Zařízení je možno rychle přizpůsobit jinému obrobku
- Vliv člověka na provedení operace je minimální

Metoda má široké použití, ale není univerzální náhradou jiných způsobů odstraňování ostřin, a zejména mechanických způsobů srážení hran.

Kromě kovových obrobků je při menším obsahu kyslíku v pracovním plynu možno odstraňovat otřepy i z plastických hmot. [8]

3 Zhodnocení a výběr variant

Výběr nejvhodnější varianty pro srážení hran na nástrojích vyplývá z dostupnosti a aplikovatelnosti pro sériovou a kusovou výrobu. Jelikož častým požadavkem zákazníka je požadavek pokud možno stejného sražení na každém kuse ze sériové výroby, jako jednoznačná volba se jeví srážení hran na frézovacím centru pomocí speciálních nástrojů k tomu určených. U kusové výroby se pohled na věc zcela liší. Může se jednat o natolik složitý obrobek, že strojní programování by zbytečně navyšovalo časové a tím i finanční náklady, tudíž je voleno ruční sražení hrany. Jsou také určité druhy nástrojů, kde strojní naprogramování zabere minimum času a vystačíme si zde s klasickými nástroji, jako jsou hrankovač nebo čelní válcová fréza.

U technologií omílání a pískování je tvar a mnohdy i velikost sražení hrany předem nejasná. Jelikož výroba nástrojů se řadí mezi velice přesné strojírenské výrobky, není v zájmu firmy s tímto zaměřením jejich finální dokončení provádět technologiemi, které jsou v dosahované přesnosti o řád níže oproti frézovacímu centru s vysokou dosahovanou přesností.

V této práci tak bude kladen důraz na strojní programování v programu Catia V5 pro nástroje sériové výroby se složitou programovanou křivkou a na druhé straně jednoduché speciální nástroje které zastupují kusovou výrobu.

3.1 Úvod do frézování [9]

Při frézování nástroj – fréza rotuje, zatím co obrobek se pohybuje proti nástroji. Tímto způsobem vzniká při spolupůsobení různých dalších parametrů záběr frézy. Existují dvě cesty, jak lze v závislosti na poměru rotačního pohybu frézovacího nástroje k obrobku tohoto procesu dosáhnout. Rozdíly v postupu mají pro frézování zásadní význam a ovlivňují různé funkce procesu obrábění. Obrobek se pohybuje buď ve směru, nebo proti směru otáčení frézy. Oba dva způsoby mají význam při vstupu a výstupu břitu do a ze záběru.

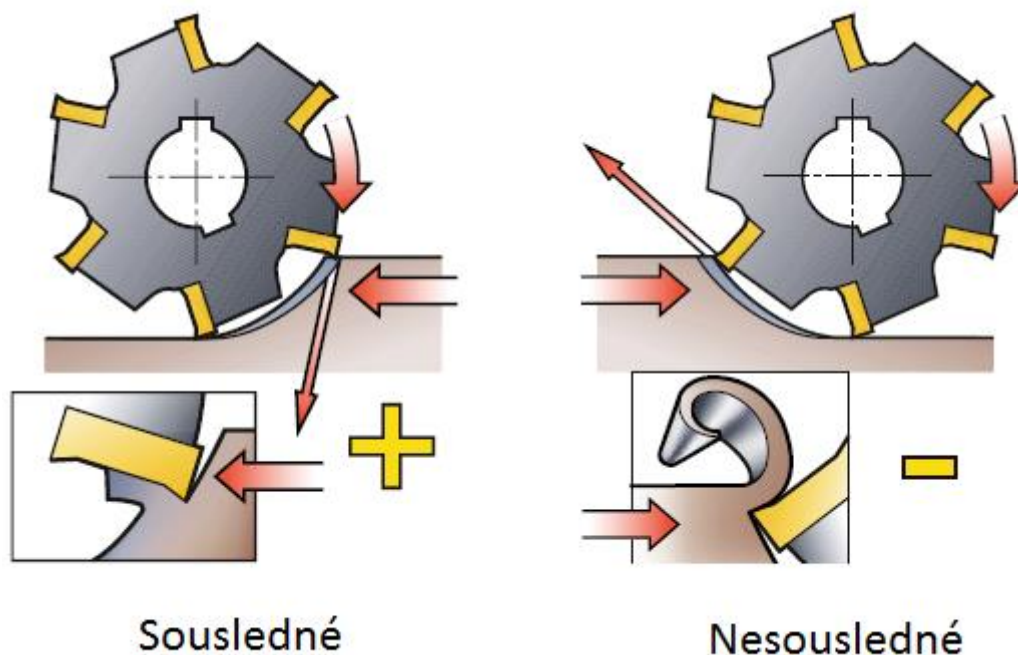
O sousledném frézování mluvíme tehdy, je-li směr posuvu obrobku v oblasti řezání shodný se směrem otáčení frézy. Tloušťka třísky je největší na začátku obrábění a směrem ke konci klesá až na nulu. Při sousledném frézování přichází břit do záběru náhle. Obrábění začíná velkou tloušťkou třísky. Tím dochází k rázovému namáhání břitu, nevzniká však kluzný efekt, jak je tomu při nesousledném frézování. Mimoto se rovněž vyvíjí méně tepla a minimální je i sklon ke zpevnování materiálu obrobku za studena. Velká tloušťka třísky se projevuje příznivě a řezné síly mají tendenci přitlačovat obrobek ke stolu frézky, přičemž je břit stále udržován v řezu.

Při nesousledném obrábění se obrobek v oblasti řezání posouvá proti směru otáčení frézy. Tloušťka třísky začíná nulovou hodnotou a zesiluje se ke konci záběru až na maximum. Při nesousledném frézování vznikají v okamžiku záběru břitu do obrobku velké řezné síly, které vyvolávají silný tlak mezi obrobkem a frézou. Břit je fakticky odtlačován ze záběru. Přitom dochází v průběhu krátké kluzné fáze ke zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu. V této fázi vzniká na břitu nástroje vlivem tření a vysokých teplot vyšší opotřebení, než jakému dochází v dalším průběhu obrábění. Vznikající síly (F) zvedají obrobek

při nesousledném frézování směrem vzhůru; to vyžaduje velmi stabilní upnutí, aby byl obrobek bezpečně upevněn na stole stroje.

Z níže uvedených informací bude zřejmé, že souslednému frézování je v praxi dáována přednost všude tam, kde to umožňuje obráběcí stroj, upínání a obrobek.

Sousledné frézování však klade na obráběcí proces určité požadavky v tomto směru, že řezné síly mají snahu vtahovat obrobek ve směru posuvu, přičemž je současně tlačěn ke stolu frézky. Proto musí být posuvový mechanismus stolu stroje bez vůle, jinak by docházelo k vtahování nástroje do obrobku, čímž by došlo k nechtěnému zvýšení posuvu; následkem by pak bylo mimořádné zvětšení tloušťky třísky a zničení břitu nástroje. [9]



Obrázek 12: Ukázka sousledného a nesousledného frézování

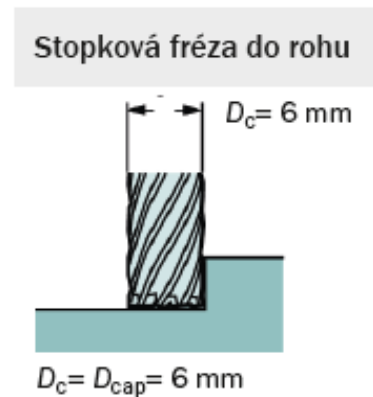
3.2 Nástroje aplikovatelné pro srážení hran frézováním [10]

Jelikož naše daná problematika je charakterizována velice malými úběry materiálu a přístupnost obráběného místa je omezena svou velikostí, veškeré frézovací nástroje jsou uvažovány jako monolitní.

Pokud se pro výpočet řezné rychlosti uvažuje nominální průměr nástroje, bude v případě fréz s kulovým čelem nebo hrankovačem skutečná řezná rychlost v_c mnohem menší, pokud hloubka řezu, a_p , bude nízká. Rychlost posuvu stolu a produktivita bude drasticky omezena. Výpočet řezné rychlosti musí být založen na hodnotě skutečného, nebo také efektivního, průměru v řezu D_{cap} . [10]

3.2.1 Čelní válcová fréza [10]

Obrábění hran a odstraňování ostřin na hranách obrobků patří k běžným operacím. Podle typu stroje a upnutí nástroje existují různá řešení. Jako nejvhodnější varianta pro tyto operace se nabízí použití malých frézovacích hlav, nebo čelních válcových fréz- podle toho, jak je konstruováno vřeteno stroje. To znamená, že sklon vřetene musí být nastavitelný k dosažení odpovídajícího úhlu sražení. Na moderních obráběcích centrech a frézkách lze velmi účinně obrábět všechny hrany pod úhlem zkosené plochy. [10]

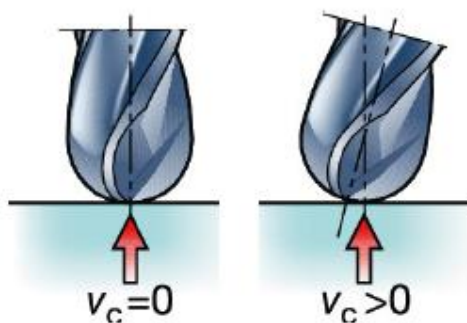


Obrázek 13: čelní válcová fréza

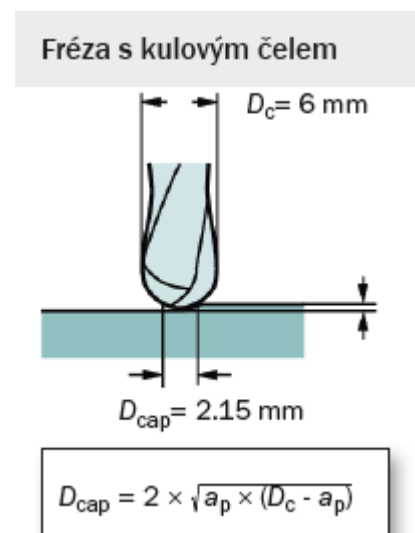
3.2.2 Kulové fréza [10]

Jedná se o speciální tvarovou frézu, která má poloměr zaoblení špičky ostří roven polovině svého průměru. Od toho je odvozen název kulová fréza. Při použití stopkových fréz s kulovým čelem se nejkritičtější místo břitu nalézá v ose nástroje, kde se řezná rychlost blíží nule, což je pro obráběcí proces krajně nepříznivé. Odvádění třísek v blízkosti osy nástroje představuje mezní stav, jelikož prostor kolem příčného břitu je velmi úzký. Z tohoto důvodu je doporučeno naklonění vřetena nebo obrobku o 10 až 15 stupňů, čímž se docílí posunutí oblasti řezu směrem od osy nástroje. [10]

- minimální hodnota řezné rychlosti bude vyšší
- Zlepšení životnosti nástroje a utváření třísky
- Lepší kvalita obrobenej plochy [10]



Obrázek 14: Nastavení kulové frézy



Obrázek 15: Řezný průměr kulové frézy

3.2.3 Úhlová fréza 90° (hrankovač) [11]

Standardně slouží ke sražení hran a odstraňování otřepů z otvorů, ale také k zapuštění pro šrouby nebo nýty se zápustnou hlavou. [11]

Jedná se o tvarovou frézu určenou pro srážení hran, kdy její špička svírá úhel 90°.



Obrázek 16: Hrankovač

3.2.4 Technické frézy [12], [13]

Dalším řešením pro frézování hran, přípravu hran pro svařování, odstranění otřepů, dokončování ploch apod. – avšak v menším měřítku, než při frézování drážek je použití tvarových monolitních technických fréz ze slinutého karbidu s děliči třísek na břitech. Tyto nástroje s vysokým výkonem se dodávají v mnoha tvarech a velikostech pro nejrůznější způsoby obrábění, například také pro použití na robotech. Provedení se zuby ve šroubovici zaručuje, že bude v kontaktu s plochou obrobku vždy maximální počet zubů, což umožní stejnoměrné obrábění a dosažení vysoké trvanlivosti břitu nástroje. Technické frézy se dodávají v rozsahu průměrů od 3mm do 16mm ve dvou provedeních: s průběžným hladkým ostřím pro obrábění měkkých materiálů, nebo se střídavým šroubovitým nebo šikmým ostřím, které je určeno pro obrábění jak měkkých, tak tvrdých materiálů. Při obrábění technickými frézami, opatřenými průběžným hladkým ostřím vznikají jehličkovité třísky. Hlavními charakteristickými znaky těchto nástrojů jsou: optimální jakost obrobeného povrchu, vysoký výkon a vynikající trvanlivost břitu.

Při použití technických fréz se střídavým šroubovitým nebo šikmým ostřím mohou být použity nízké otáčky, čímž se dosáhne krátké třísky, jejíž odvádění je bezproblémové a řez je klidný a bez chvění. Tyto frézy mohou být v omezeném rozsahu přeastřovány.

Nástroje s malým průměrem vyžadují vysoké otáčky vřetene, přičemž výkon vřetene i při relativně vysokém zatížení nesmí klesnout. Většina technických fréz obrábí obdobným způsobem, jako ostatní stopkové frézy. Při jejich aplikaci je však možné použít velké rezné rychlosti, které mohou být při obrábění oceli dvakrát vyšší než při obrábění jinými stopkovými frézami a pětkrát vyšší, frézuje-li se v měkkých materiálech, jako například v mosazi, mědi a bronzu. Otáčky vřetene jsou určovány největším průměrem rezné části a rovněž obrobiteľností materiálu. Technické frézy ze slinutých karbidů by měli být používány při otáčkách, které se pohybují výrazně nad hranicí 15000 za minut. [12]

Zásady použití technických fréz:

- Pro dosažení optimálního výsledku frézování je důležité upravit podmínky podle naznačených závislostí.
- Pro tvrdší materiály je vhodné použít nižší rychlosti.
- Pro menší frézy je nutno použít vyšší rychlosti.
- Pro velmi dlouhé frézy (nad 150 mm) je nutno použít nižší rychlosti.
- Při použití udržujte stejnoměrný posuv a lehký přítlak.
- Otáčky nižší než optimální způsobují přichytávání třísky a zanášení zubů.
- Otáčky vyšší než doporučené a nadměrný přítlak způsobují opotřebenosti nástroje.
- Přehřátí nástroje může způsobit odlomení pracovní části ze stopky.
- Používání opotřebených fréz a kleštin způsobuje přichytávání třísky.
- Při práci by měla být v kontaktu s materiálem nejvýše 1/3 obvodu frézy. [13]



Obrázek 17: Tvary technických fréz

3.3 Moderní metody obrábění- frézování[14]

Neustálý tlak na snižování výrobních nákladů a cen výrobků i celosvětové ekologické trendy vedou k rozvoji moderních technologií třískového obrábění, kam je možno zařadit i tzv. HSC (High Speed Cutting), HFC (High Feed Cutting) a HPC (High Performance Cutting).

Za hlavní ekologické problémy strojírenské výroby jsou dnes považovány především aplikace procesních kapalin, které mnohdy zlepšují průběh nebo výsledek jednotlivých technologických procesů. Především chladicí kapaliny na bázi ropy, s přísadami chlóru, fosforu nebo síry, jsou po ukončení jejich funkce velmi těžko ekologicky (a ekonomicky) zlikvidovatelné. Některé dále popsané technologie tyto aplikace procesní kapaliny eliminují. [14]

3.3.1 HSC (High Speed Cutting)- vysokorychlostní obrábění

Hlavní rozdíl mezi třískovým obráběním běžnými řeznými rychlostmi a tzv. vysokorychlostním spočívá v mechanismu tvorby třísky.

Za zakladatele HSC se považuje Carl Salomon, který si nechal patentovat použití vysokých řezných rychlostí pro obrábění, kdy predikoval tranzitní deformační chování v důsledku předpokládaného křehkého lomu a pokles energetické spotřeby na tvorbu třísky. To se však dlouhodobě nedařilo experimentálně potvrdit, ba naopak, pro HSC je typický výskyt vysokých teplot v zóně řezu v důsledku adiabatické deformace. V dnešní době tento způsob obrábění klade vysoké nároky na stroje, nástroje i jejich CNC řízení. Pracuje-li řezný nástroj ve srovnání s cca 5 až 10 krát vyššími řeznými rychlostmi ve srovnání s běžným frézováním, pak je vystaven výraznějšímu působení odstředivých sil a dynamickému zatížení. Metoda vysokorychlostního obrábění podporuje nejen snahu zvýšit efektivitu technologie třískového obrábění, podporuje i „cestu“ suchého či tzv. kvazisuchého obrábění.

Z pohledu aplikace řezných nástrojů jsou v dnešní době běžně užívané povlakované SK (slnutý karbid) či cermety, které jsou při HSC vhodné pro obrábění ocelí.

Mezi hlavní přednosti HSC obrábění lze zařadit zvýšení objemu odebraného materiálu při hrubovacích operacích, dosažení vysoké kvality obrobeného povrchu zpravidla bez vzniku nežádoucích výrazných reziduálních tahových napětí, snížení tepelného namáhání řezného nástroje i obrobku vlivem odvodu převážné většiny tepla třískou, snížení vzniku vibrací, snížení řezné síly vlivem menšího pěchování třísky (až o 30 %).

HSC je v současné době aplikováno zejména při frézování na horizontálních, vertikálních i univerzálních obráběcích centrech nástroji malých průměrů. Metoda se využívá jak pro hrubovací tak pro dokončovací operace. [14]

3.3.2 HFC (High Feed Cutting)- vysokoposuvové obrábění

Metoda obrábění vysokými posuvovými rychlostmi nebo frézování HFM (High Feed Milling). Vysokoposuvové frézování je poměrně produktivní, ale mnohdy vyžaduje speciální nástrojové a strojní vybavení včetně nutnosti dodržovat určitá nezbytná pravidla NC programování. Např. na rozdíl od HSC je nutno sledovat nejen maximální použitelné pracovní otáčky hlavního vřetene obráběcího stroje, ale především parametry maximální aplikovatelné posuvové rychlosti a tloušťky třísky. Při CNC programování nesmí být opomenuta ani kontrola dosažitelného zrychlení ve všech řízených osách. Obecně je však nutno konstatovat, že frézování velkými posuvy má ekonomický i ekologický přínos. Tato technologie třískového obrábění je patrně nejčastěji spojována s frézováním, kdy umožňuje úběr materiálu s malou hloubkou řezu a vysokým posuvem na zub frézy.

Konstrukce nástrojů je založena především na aplikaci VBD, které jsou rozměrově i tvarově robustní a mají malý úhel nastavení hlavního ostří κ_r . VBD svou konstrukcí a v kombinaci s vhodně stanovenými řeznými podmínkami umožňují odebrání velkého množství materiálu za časovou jednotku (ve srovnání s běžným obráběním), ale také zlepšují stabilitu a spolehlivost procesu řezání, změnou směru výsledného silového zatížení řezného nástroje (obrobku) v pracovním procesu. [14]

3.3.3 HPC (High Productive Cutting) – vysokovýkonné obrábění

HPC je založeno na požadavku velkého úběru třísky (cm^3/min). Tento proces je tedy typický pro hrubovací operace nebo pro zpracování těžkoobrobitelných materiálů. Hloubku řezu je možno považovat za velkou (cca 1,5D), přestože metoda vychází z HSC a je řazena

mezi alternativní technické inovace. Vyznačuje se ekologickými a ekonomickými přednostmi především v sériové výrobě, vyžaduje však dodržení některých pravidel týkajících se soustavy stroj-nástroj-obrobek. U této technologie se často používá tzv. trochoidní frézování, tzn. frézování s velkou hloubkou řezu, kdy se nástroj pohybuje po trochoidě, která je dána rotačním a translačním pohybem, pomocí kterého se přerušuje řez a zabraňuje se vzniku vibrací. Z pohledu řezného nástroje je např. pro úspěšné frézování možno doporučit kvalitní celokarbidový substrát s povlakem vysoké tepelné odolnosti, jako je třeba (Ti,AL)N, (Al,Ti)N nebo moderní nanokompozitní povlaky (Al,Cr,Si)N. Dnes jsou touto metodou běžně obráběny oceli tvrdosti až do 67 HRC (což je tvrdost rychlořezné oceli) a tak pro zvýšení stability je preferováno srážení nebo zaoblení břitů.

Mezi současné trendy HSC, HFC a HPC je možno zařadit

- Vývoj nových tvarů VBD s efektivními utvařeči třísek
- Vývoj a výroba řezných nástrojů ze SK s velmi jemnou strukturou karbidů, což vede ke zvýšení tvrdosti materiálu a zároveň i houževnatosti.
- Vývoj speciálních povlaků řezných nástrojů, které umožňují suché obrábění při zachování efektivní trvanlivosti nástroje
- Vývoj specializovaných softwarů pro optimalizaci volby řezných podmínek nástrojů
- Zvyšování rozsahu otáček i výkonů pracovních vřeten
- Vývoj obráběcích strategií CAD/CAM softwarů [14]

3.4 Zadané obrobky pro aplikace technologie hrankování

Pro diplomovou práci byly zadány dva nástroje s VBD, na kterých byla provedena praktická aplikace hrankování na nástrojích. Srážení je u obou variant realizováno programováním v CAM softwaru Catia V5, avšak metodika se u každé varianty liší. U nástroje určeného pro sériovou výrobu dochází k jeho většímu propracování a naopak u nástroje pro kusovou výrobu se volí tvary co nejjednodušší a tím i vzniklá hrana nabývá podstatně jednodušších tvarů.

3.4.1 Varianta A- nástroj pro sériovou výrobu

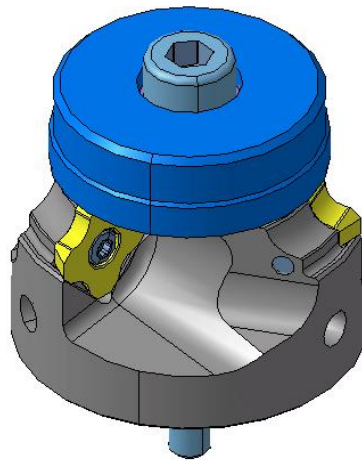
Pro praktické odzkoušení této varianty byla vybrána VBD srážecí hlava R3,5 pro ruční B15R. Tento nástroj je určen pro přípravu plechů určených ke svařování. Na daném profilu vytvoří zaoblení o velikosti 3,5 mm. Fréza a její zubová mezera by měly charakterizovat veškeré hrany, jaké lze na nástrojích srážet a při změně obrobku by se postupovalo stejnými metodami za použití shodných nástrojů.

Nástroj je charakterizován tvarově složitými hranami a jejich proměnlivostí. Dále vyžaduje určitou časovou náročnost pro naprogramování.

Tento nástroj bude vyroben na obráběcím centru a následně na něm bude provedeno strojní hrankování pomocí plynulého 5ti-osého obrábění v rámci této diplomové práce.

Důležité parametry frézy:

- Průměr frézy: 50mm
- Počet zubů (zubových mezer): 3
- Materiál tělesa: Ocel dle ČSN 16 343.6



Obrázek 18: Nástroj varianty A pro hrankování

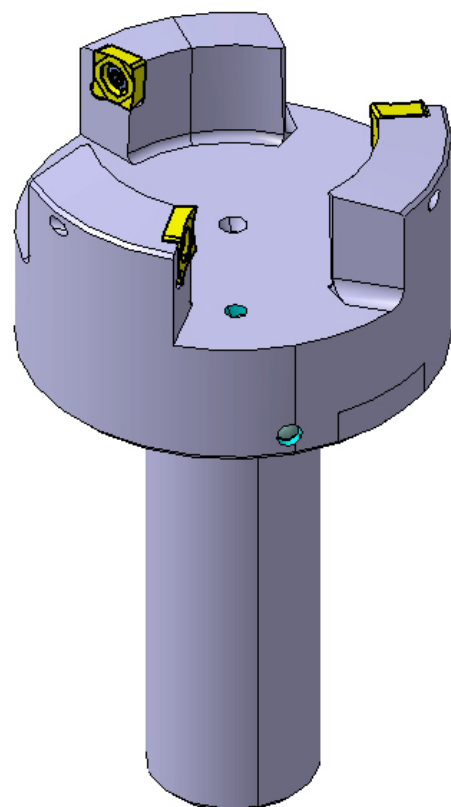
3.4.2 Varianta B- nástroj pro kusovou výrobu

Jako charakteristický zástupce kusové výroby byl vybrán obkružovací VBD nástroj D32,4 mm. Úlohou nástroje je ofrézování válcového osazení o daném průměru. U všech kusových nástrojů se volí jeho konstrukce co nejjednodušeji, jelikož časový horizont od návrhu nástroje až po jeho výrobu je velice krátký. Zubová mezer je tvořena zpravidla rovnými plochami, které jsou na sebe kolmé. Naprogramování CAM programu takového nástroje lze většinou pomocí jedné operace a s jedním nástrojem. S CAD modelem dále není třeba provádět nějaké větší úpravy, co se týče domodelování různých geometrií a podobně.

Za zmínku stojí i speciální nástroje kusové výroby, které by svou složitostí konkurovaly sériovým. U těchto nástrojů by časová náročnost CAM programátora byla příliš vysoká a hrany na nástroji by bylo vhodnější srazit ručně. I z důvodu, že se jedná o jeden nebo dva kusy výroby by se nehledělo na konstantní velikosti ručně zhotovených sražení.

Důležité parametry frézy:

- Průměr frézy: 50 mm/ 32,4 mm
- Počet zubů (zubových mezer): 3
- Materiál tělesa: Ocel dle ČSN 16 343.6



Obrázek 19: Nástroj Varianty B pro hrankování

4 CAD/CAM

4.1 Programování strojů CAD/CAM systémy [1]

Programování v CAD/CAM se stále více uplatňuje v praxi, zejména kvůli rychlosti, s níž je vyhotoven program, napomáhá tomu i přímé převzetí výkresu od konstruktéra v digitální podobě (2D, v modelu 3D) technologem-programátorem, což znamená podstatné zrychlení průběhu zakázky na straně podniku. Následuje výroba, montáž- a již lze výrobek expedovat. Rychlost průběhu zakázky v podniku (od zadání zakázky po její expedici) je jedním z ukazatelů její prosperity.

Programy pro některé tvary požadovaných výrobků (např. forem) nelze pro jejich složitost vyhotovit jiným způsobem, nebo by bylo velmi obtížné je ručně naprogramovat. Ovšem CAD/CAM má přes různé výhody i nevýhody. Tyto spočívají v obecném pochopení principu těchto systémů a ve znalosti ovládání používaného softwaru, což v začátcích působí potíže, zejména co se týče správné volby strategie obrábění ve spojení s použitou technologií a postprocesorem.

Systémy CAD/CAM by měli znát alespoň v základech i maturanti z odborných strojírenských škol, a to nejen modul CAD pro kreslení výkresů a modelování (práce konstruktéra), ale i modul CAM, s jehož pomocí se vytvářejí automatizovaně CNC programy (tedy osvojit si znalosti práce technologa- programátora). Použije-li se správný postprocesor z bohaté nabídky autorů CAM, lze takto naprogramovat snad každý stroj v dílně i ve škole. Je samozřejmostí, že kvalifikovaný programátor ovládá programování v ISO kódu, ruční (dílenské) programování a také programování těchto CAD/CAM systémů, které má jeho firma k dispozici. Při programování (zejména u náročných dílců), kdy často nelze na poprvé zhotovit kvalitní program, kontrolní programátoři kromě kvality obrábění (požadované jakosti povrchů a přesnost rozměrů) také čas výroby na simulátoru- je to jeden z ekonomických ukazatelů. Kvůli snížení časů výroby autoři těchto systémů stále vyvíjejí lepší strategie obrábění, napomáhá tomu též nepřetržitý vývoj výkonnějšího nářadí. Mnohdy opomíjený výstup z těchto systémů a z ručního CNC programování jsou výrobní časy. Jsou nutné pro dispečerské kapacitní řízení dílny, plánování a využití výrobních strojů. Jsou nutné také pro kalkulaci výrobku a pro následné stanovení ceny. Často se používají i při stanovení mezd a prémie zainteresovaných pracovníků.

Při nastavení správných řezných podmínek umí software těchto systémů spočítat na simulátoru časy od startu stroje po ukončení činnosti (M30). Nejsou zde však zahrnuty časy upnutí a odepnutí obrobku, výměny nástroje (čas rychloposuvu od-do je započítán), zastavení nebo zpomalení mezi jednotlivými bloky programu. Tyto nedostatky se obvykle v podnikové práci řeší koeficientem na čas, získaným ze softwaru. Koeficient bývá dost rozdílný v závislosti na typu výroby.

CAD (computer aided design, počítačová podpora konstruování): Kreslení, navrhování, konstruování na počítači. Práce konstruktéra na výkrese nebo na modelu součásti, která je určena (v našem případě) pro obrábění. Znamená také vytvoření návrhu obrobku (výkresu, modelu) projektantem, návrhářem, designérem. Po převzetí výkresu a kusovníku od konstruktéra se zpracovává technologický postup, sled po sobě jdoucích technologických

operací, z nichž některé mohou být určeny pro výrobu na CNC strojích (vyhotovuje technolog-postupář).

CAM (computed aided manufacturing, počítačová podpora výroby): Následuje převzetí digitalizovaného modelu a výkresu technologem-programátorem, za účelem jeho prostudování pro stanovení pracovního postupu v dané technologické operaci. Do této operace v modulu CAM vkládá programátor technologické znalosti a zkušenosti, aby byl výsledný CNC program ekonomicky výhodný při použití daného stroje a nástroje. Výstupní data ze systému CAM jsou datové soubory ATP nebo CL.

Postprocessor je součástí CAM: zde jsou data ATP nebo CL v uvozovkách přeložena do GM kódu, zadaného řídicímu systému stroje určenému pro tuto výrobu v dílně.

Práce v CAM představuje vyšší automatizovaný stupeň pro vyhotovení CNC programů, kde podle modelu, výkresu stanovíme pracovní postup (po sobě jdoucí operační úseky). Pomocí slovních příkazů, ale také graficky a číselně určíme:

- které (a v jakém pořadí) budeme obrábět jednotlivé prvky tvaru uvedené na výkrese, jakou pro to zvolíme technologii výroby na daném obrobku a vhodném stroji (např. čelo, hrubování, hlazení, otvor, závit atd.)
- jakým způsobem budeme obrábět jednotlivé prvky (např. otvor-vrtáním, poté soustružením).
- jakým nástrojem tento prvek vyrobíme, určíme ho výběrem (možnosti výdejný náradí, možnosti nákupu podle katalogu). Pokud tento nástroj v systému CAM není k dispozici, lze ho definovat, nakreslit. K použitému nástroji se váží řezné podmínky, které je mnohdy nutné korigovat (např. nůž do otvoru, jeho délka a tvar ostří ovlivňují katalogem stanovené řezné podmínky).

Obecně lze postup prací a používání softwaru CAD/CAM popsat takto:

Zhotovení výkresu, lépe modelu v modulu CAD. Výkresy 2D v CAD/CAM jsou na ústupu, vyhotovují se modely (solids) 3D, z nich není v mnoha případech třeba vyhotovovat dílenské výkresy (výkresy pro dílenské použití v papírové podobě se používají z CAD 2D i z 3D modelů- jsou v elektronické podobě a podle potřeby se tisknou i v dílně.)

Převzetí digitálního výkresu nebo modelu z modulu CAM. Moduly CAM bývají součástí CAD softwarů, tak jako další moduly se dokupují podle požadavku zákazníka, ale také se prodávají jako samostatný software s jednoduchým CAD. Problémy s výskytem chyb mohou nastat při přenosech z cizích CAD formátů do CAM. Autoři softwarů budou vždy přesvědčovat zákazníka o kvalitě a možnostech svého produktu, a to i při použití přenosových standardů na další software. Zde ovšem také záleží na tom, zda byl model kvalitně vyhotoven konstruktérem podle zásad autora daného CAD. Po převzetí je tedy nutná kontrola a je třeba případné chyby odstranit.

Kontrola výkresu, případně modelu se provádí zejména z těchto důvodů:

Nutná spojitost obráběné kontury součásti pro generování součásti v CNC programu (program obsahuje možnost spojit křivky, plochy, tělesa, případné mezery přeskočit). Spojitost je nutné ověřit, je možné, že některé plochy na modelu chybí. Plochy je nutné doplnit a „sešít“ s okolními plochami, nechat toleranci pro „přeskočení případných děr“.

Ověřit rozměry- toto bývá častý nešvar konstruktérů (zejména u jednoduchých CAD), že rozměry uvedené na kótě neodpovídají nakreslenému rozměru.

Je vhodné výkres nebo modle před prací v CAM „očistit“, tedy zjednodušit odstraněním kót a tvarů, které nepotřebujeme pro programování, a to pro větší přehlednost práce programátora. (Týká se to i tvarů, které se budou zhotovovat až v následných operacích.)

Vyhotovení programů z výkresů, z modelů:

Práce v modulu CAM- rozhodnout o strategii výroby znamená určit pořadí operačních úseků vázaných na nástroj a také to, jakým způsobem bude nástroj dané tvar, plochu opracovávat. Výsledek je třeba ověřit na simulátoru, zkontrolovat geometrii obrobku a dráhy nástrojů. Náročné programy se ani zdatnému programátorovi často nepodaří vyhotovit napoprvé. Po zhotovení se program archivuje a je připravený k použití podle termínů výroby.

Následuje předání programu na CNC stroj, spolu s dalšími údaji určenými pro seřízení stroje. Jedná se rovněž o způsob upnutí součásti (pokud je zapotřebí) a použití nástrojů (druhy-rozměry, tvary). Příprava nástrojů nepatří do kompetencí programátora, ale programátor jednotlivé nástroje při své práci použil, případně tvary navrhl podle požadované součásti, a to s ohledem na vybavení podniku (výdejny náradí). Případně je navrhl podle katalogů výrobců náradí (nutno zakoupit). Tyto nástroje je třeba pro dílnu zajistit a s těmito nástroji bude pracovat obsluha. K příslušnému zápisu slouží takzvaný nástrojový list.

Každý technik, tedy i programátor, by si měl svoji práci v dílně ověřit. Programátor je obvykle přítomen při výrobě, při odladění programu u prvního kusu na CNC stroji. Pouze na stroji v dílně lze ověřit a upravit řezné podmínky a strategii, způsob obrábění. Přímo na stroji lze upravit chybné otáčky vřetene a velikosti posuvů potenciometry v procentech od zadaných naprogramovaných hodnot, provádí to obsluha stroje. Programátor provede přepsání těchto úprav do programu a případně opraví i nevhodné dráhy nástroje. Pro takové opravy je zapotřebí znalost ručního programování. [1]

4.2 Software Catia V5 [15]

CATIA V5 (Dassault Systemes) je plně integrovaným CAD/CAM/CAE/PDM softwarovým řešením pro vývoj, technologickou přípravu výroby nových průmyslových produktů a řízení jejich životního cyklu. [15]

4.2.1 NC aplikace systému CATIA V5 [15]

CATIA V5 je nový a dynamicky se vyvíjející software. Výrobce uvolňuje ročně dvě až tři nové verze, přičemž každá obsahuje řadu nových produktů a desítky zlepšení těch stávajících. Uživatel má již k dispozici také úplnou škálu aplikací, pokrývající nepoužívanější NC technologie. Obráběné modely mohou být plošné či objemové součásti, které mohou být soustruženy, nebo frézovány s kontinuálním řízením dvou až pěti os.

Všechny NC aplikace jsou plně integrovány a poskytují nejtěsnější vazbu mezi geometrickou definicí součásti a její výrobou. Výhody plně integrovaného řešení jsou zřejmé:

- Jeden datový model pro všechny aplikace a přenos geometrie mezi aplikacemi bez překladů

- Změna geometrie modelu je možná v každé fázi procesu vývoje a TPV
- Technologicky nutné změny geometrie při zpracování NC programů se provádějí přímo na jednotném modelu, přičemž je možno plně využívat jeho vnitřní topologie, parametrizace a konstrukčních prvků (features)
- Jednotné uživatelské prostředí usnadňuje týmovou spolupráci a umožňuje vzájemnou zastupitelnost odborníků.

NC aplikace CATIA V5 poskytují komplexní řešení, tj. pokrývají všechny oblasti, které se obvykle při přípravě NC výroby vyskytují. Jde zejména o import geometrie a její analýzu, editaci geometrie, generování NC programů, vizualizaci pracovních drah, simulaci procesu, zpracování výrobní dokumentace, postprocesory atd. [15]

4.2.2 Třiosé frézování [15]

2,5osé frézování představuje ve strojírenství nejrozšířenější NC technologii. Aplikuje se na součástech, jejichž obrábění se vyznačuje operacemi zarovnání ploch, kapsování, konturování a axiálními vrtacími cykly. Nejvyšší produktivitu přináší při práci na třírozměrných modelech, ale lze obrábět i kontury.

Při zadávání obráběné geometrie systém automaticky vychází z vnitřní topologie modelu a snaží se (ve většině případů velmi úspěšně) předvídat programátorovy úmysly. Operace kapsování jsou optimalizovány pro technologie rychlostního obrábění (HSM), kdy se dráha nástroje tvoří bez ostrých rohů a s konstantním úběrem materiálu. Velmi oceňovanou vlastností je možnost tvoření vlastních nájezdových, přejezdových a odjezdových maker. Nejčastěji se používají makra předdefinovaná, ale ve speciálních případech máme možnost pomocí grafického menu krok za krokem (v našem případě pohyb za pohybem) vytvořit makra vlastní.

Axiální cykly jsou zastoupeny dvaceti samostatnými operacemi, kromě obvyklých vrtacích cyklů je zde i řezání závitů závitovými frézami nebo vrtání víceprůměrovým osazeným nástrojem.

Speciální využití zde nalézá technologie managementu znalostí (knowledgeware). Pokud například často obrábíme navrtanou, vrtanou a T drážkou osazenou díru, můžeme jednoduše vytvořit katalogový proces, který obsahuje dané technologie. Proces může obsahovat interakce s programátorem (třeba dotaz na obráběnou geometrii), a také funkcemi definované parametry (např. hloubka výplachu v závislosti na materiálu a průměru díry). Příště již jen použijeme katalogovou technologii na novou geometrii. [15]

4.2.3 Třiosé frézování s jednou naklápěcí osou [15]

Tento produkt je používán zejména při obrábění tvarově složitých součástí v nástrojárnách a obsahuje úplnou sadu tříosých operací, jako např. hrubování, řádkovací hrubování, dohrubování, řádkování kopírovací, řádkování konturovací, bitangentní frézování, spirálové frézování či konturami řízené obrábění (mezi konturami, paralelně s konturou, kolmo na konturu). Pro zvýšení univerzálnosti použití byly doplněny také některé 2,5osé operace.

Všechny třiosé cykly podporují rychlostní obrábění (HSM). Za zmínku stojí např. koncentrická strategie hrubovacího cyklu. Je zajištěno to, že nástroj nikdy nevjíždí celým

průměrem do plného materiálu, je zachováván stálý průřez třísky a sousledné či nesousledné frézování je vždy dodrženo. U dokončovacích cyklů jsou automaticky dopočítávány různé druhy optimalizovaných a bezkolizních nájezdů a přejezdů.

Nová technologie Instant Cycle Update umožňuje velmi rychlou modifikaci parametrů. Následná aktualizace přepočítává pouze ty části dráhy nástroje, které byly změnou ovlivněny. Velmi vítanou novinkou je také dokonalá kontrola kolizí nástroje včetně upínače, do výpočtu lze zahrnout i upínky a upínací přípravky. Výsledkem je vyznačení kolizních oblastí dráhy a vypočtená minimální potřebná délka nástroje. Při následné úpravě použijeme nástroj delší, než je vypočtený požadavek, anebo využijeme integrovaný editor dráhy nástroje a kolizní části dráhy necháme odstranit.

Zcela nové úrovně bylo dosaženo při automatickém vytváření dílenské dokumentace v HTML formátu (lze ale zvolit i formáty jiné). Dokumentace je automaticky generována včetně obrázku obrobku, nulových bodů, potřebných nástrojů, technologických parametrů atd.

Snadné je vytváření katalogů nástrojů včetně řezných podmínek. Buď je možno použít katalogy připravené v MS Excel, nebo lze využít katalogy od výrobců nástrojů (např. Walter Tool Data Management). Nástroje z katalogů vybíráme přímo, pomocí jednoduchých dotazů (např. podle průměru), můžeme ale vytvářet i dotazy kombinující mnoho různých kritérií a závislostí. [15]

4.2.4 Pětiosé frézování - Multi-Axis Surface Machining [15]

Používá se všude tam, kde je potřeba plynulá změna vektoru osy nástroje v průběhu obrábění. Důvodem může být jiným způsobem neobrobitelná geometrie (např. boky tvarových drážek) nebo extrémní požadavky na kvalitu povrchu. Oproti tříosým operacím zde lze definovat závislosti pro řízení vektoru osy nástroje:

- víceosé řádkování (strategie rovnoběžných rovin)
- víceosé operace řízené konturami (interpolace mezi konturami, paralelně s konturou, kolmo na konturu)
- víceosé konturování

Nejdůležitější částí víceosého obrábění jsou strategie řízení náklonu osy nástroje:

- definovaný prostorový vektor
- předklon ve směru pohybu a boční výklon, jeden z úhlů může být variabilní v definovaném rozsahu
- osa procházející bodem
- osa procházející přímkou
- interpolace mezi definovanými vektory
- 4osá strategie, kdy jedna osa je blokována
- optimalizovaný úhel.

Zajímavou možností je poslední strategie, tj. optimalizace úhlu v závislosti na křivosti plochy. Adaptivní náklon dovoluje maximální úběr materiálu, zvýšení kvality povrchu a redukci obráběcího času. [15]

5 Praktická část

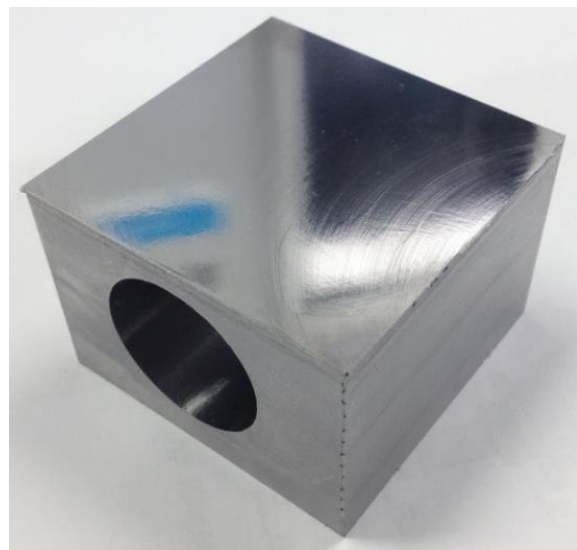
5.1 Experimentální otestování technických fréz

Jako první krok v praktické části bylo třeba experimentálně otestovat, zda je možno aplikovat technické frézy na pětiosém obráběcí centrum Hermle C20U (parametry stroje lze nalézt v příloze č. 1). Největší výhodou technických fréz a jejich tvarů je to, že se dostanou do míst, kam se s běžnými nástroji nedostaneme, jako jsou ostré rohy, malé rádiusy a podobně. Doposud byly technické frézy aplikovány ve firmě pouze na ruční srážení hran pomocí pneumatické fortunky. Bylo tedy třeba otestovat technické frézy strojně, ať z pohledu sousledného a nesousledného obrábění, tak z hlediska řezných podmínek, nebo vyvrácení jejich možného použití na obráběcím centru.

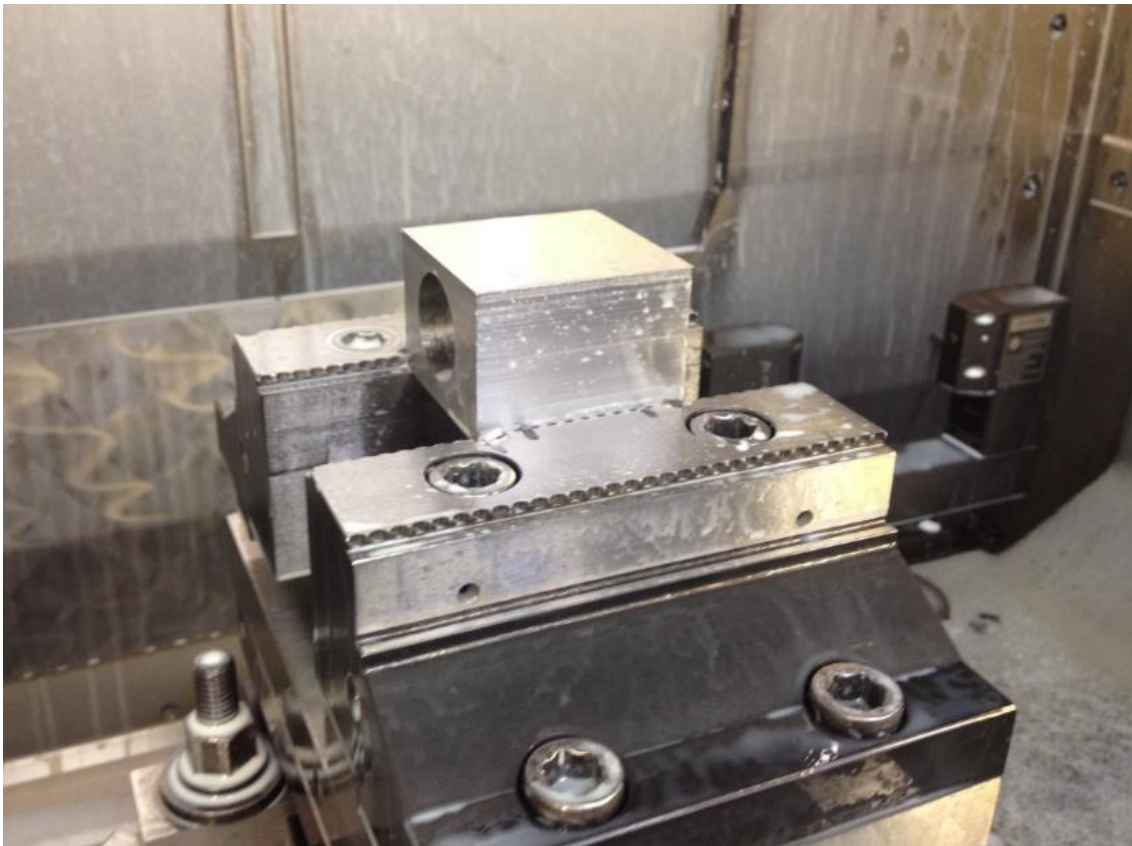
Některé tvary technických fréz se velmi podobají klasickým nástrojům, jako je čelní válcová fréza, kulová fréza nebo hrankovač. Na druhé straně jsou tu ovšem tvary, které se klasickým nástrojů zcela vymykají, přičemž největší význam mají ty nejmenšího průměru, ty které se dostanou do špatně přístupných míst.

Testování proběhlo na dvou zkušebních kostičkách o rozměru 50x50x50 mm na stroji Hermle C20U s řídicím systémem Haidenhain. Materiálem zkušební kostičky je ocel dle ČSN 16 242.6. Jedná se o nejpoužívanější materiál pro firemní nástroje osazené VBD použit u obou variant A i B. Na kostičce jsou obrobena vždy 4 zkušební hrany s proměnnými řeznými podmínkami, proměnnou hloubkou řezu a to jak pro sousledné, tak nesousledné obrábění.

Naprogramování programu proběhlo pomocí softwaru Catia V5 a přeloženo postprocesorem Haidendain do tříosého obrábění s jednou naklápěcí osou. Na kostičce tak bylo otestováno sousledné a nesousledné obrábění pomocí technických fréz, dále posuv a hloubka třísky. Jelikož maximální otáčky stroje jsou 18 000 za minutu, byli jsme tímto faktorem limitováni a nemohli jsme tak použít doporučené otáčky kolem 80 000 za minutu (při použití pneumatické fortunky lze dosáhnout otáček kolem 70 000 za minutu).



Obrázek 20: Zkušební kostička z oceli
dle ČSN 16 343.6



Obrázek 21: Upnutá zkušební kostička ve svěráku stroje Hermle C20U

Po celý experiment byla použita technická fréza od firmy PFERD, která do firmy Hofmeister s.r.o. dodává veškerý sortiment, co se týče srážení hran na obrobcích. Vybraná technická fréza SPG 0313/3 Z5 (Obrázek 24). Materiál technické frézy je Slinutý karbid, konkrétně se jedná o karbid Wolframu. Technická fréza je tak typickým představitelem práškové metalurgie. Zvolená fréza je toho nejmenšího možného průměru, a to $D=3$ mm. Tvar frézy ale ukazuje, že řezná část má snižující se hodnotu průměru, tedy ani řezná rychlost nástroje není shodná s průměrem upínací části $D=3$ mm.



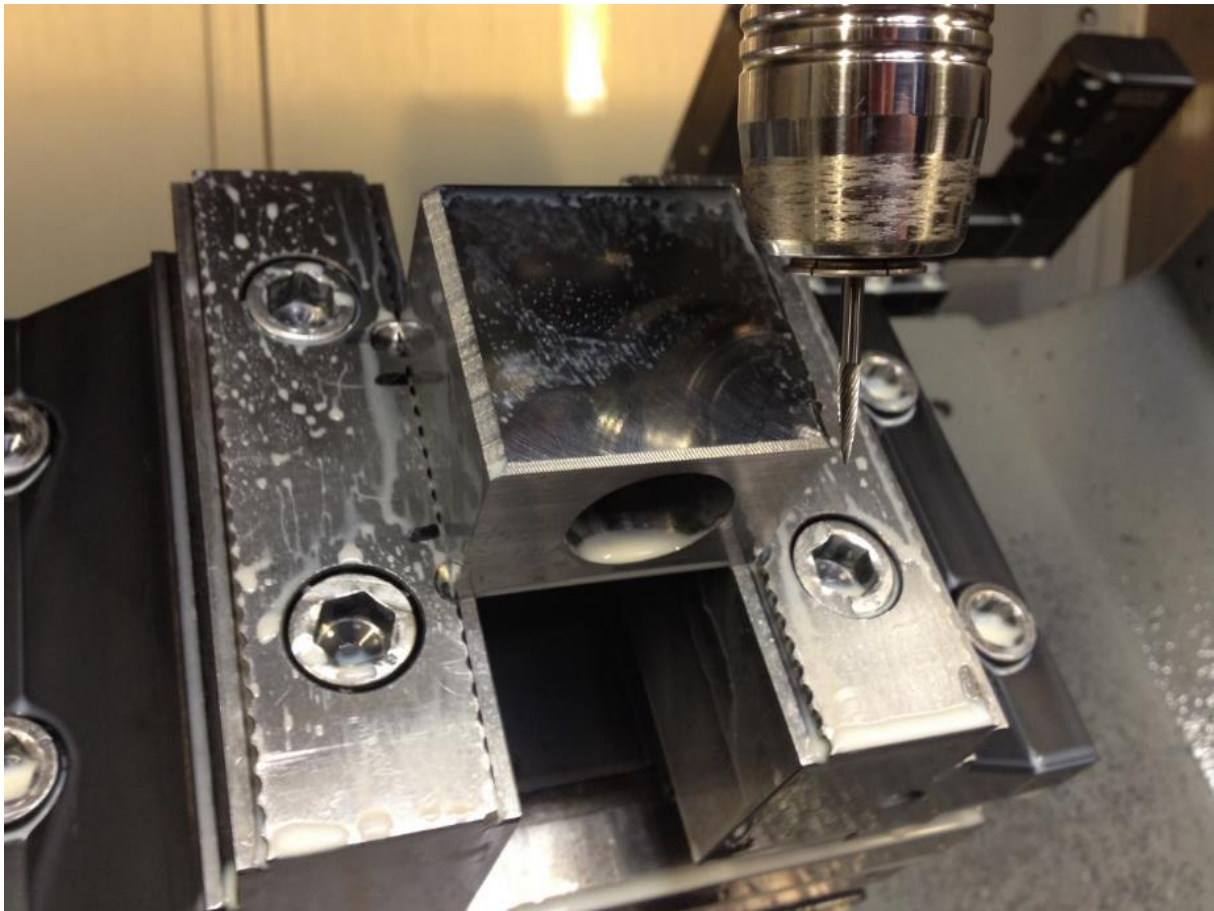
Obrázek 22: Testovaná technická fréza od firmy PFERD

Zjištěné hodnoty za uvedených podmínek obrábění jsou zaznamenány v tabulce. I přes to, že program byl tvořen pomocí CAM systému, nevyhnuli jsme se ručním úpravám, které se týkali především změny hloubky řezu a posuvu.

Č. měření	Hloubka řezu a_p [mm]	Způsob obrábění	Chlazení	Posuv [mm/min]	Sekundární otřepty	Výsledná kvalita sražení
1.	1,4	Sousledně	NE	3000	ANO	Nevyhovující
2.	1,4	Nesousledně	ANO	100	ANO	Nevyhovující
3.	0,1	Sousledně	ANO	100	NE	Nevyhovující
4.	0,2	Sousledně	ANO	100	ANO	Nevyhovující
5.	0,3	Sousledně	ANO	50	NE	Nevyhovující
6.	0,1	Nesousledně	ANO	50	NE	Vyhovující
7.	0,1	Sousledně	ANO	50	NE	Nevyhovující
8.	0,1	Nesousledně	ANO	100	NE	Vyhovující
9.	0,2	Nesousledně	ANO	100	NE	Vyhovující
10.	0,1	Nesousledně	ANO	150	NE	Vyhovující
11.	0,1	Nesousledně	ANO	200	NE	Vyhovující
12.	0,1	Nesousledně	ANO	300	NE	Vyhovující
13.	0,1	Nesousledně	ANO	400	NE	Vyhovující
14.	0,1	Nesousledně	ANO	600	NE	Vyhovující
15.	0,1	Nesousledně	ANO	800	NE	Vyhovující
16.	0,1	Nesousledně	ANO	1000	NE	Vyhovující
17.	0,1	Nesousledně	ANO	1200	NE	Vyhovující
18.	0,1	Nesousledně	ANO	1400	NE	Vyhovující
19.	0,1	Nesousledně	ANO	1700	NE	Vyhovující
20.	0,1	Nesousledně	ANO	2000	NE	Vyhovující

Tabulka 1: Experimentální odzkoušení technické frézy

Počátek průběhu experimentu neprobíhal podle představ. Při první třísce byl zvolen příliš vysoký posuv a hloubka třísky bez použití chlazení u sousledného obrábění. Při tomto úběru se technická fréza rozzářila a po obrobení první hrany byla viditelně spálena řezná část, která byla v záběru. Druhá strana kostičky byla obrobena za stejných podmínek, pouze sousledné frézování bylo změněno na nesousledné a bylo použito chlazení (při celém zbytku experimentu tak je u frézování použito chlazení). Při tomto kroku došlo po pár milimetrech ke zlomení technické frézy, a to v místě upínací části. V kleštině tak zůstala válcová stopka frézy a celková délka vyložení nástroje se ulomila. U dalších hran tak nastalo výrazné snížení řezných podmínek, a to jak posuvu, tak hloubky řezu. Experiment tak konečně začal poskytovat podmínky aplikace technických fréz. V několika dalších krocích obrábění tak docházelo už jen ke zjištění maximálních řezných podmínek, konkrétně velikosti posuvu za použití konstantní hloubky řezu ($a_p = 0,1$ mm), které snese technická fréza, aby nedošlo k jejímu poškození.



Obrázek 23: Obrobené hrany na zkušební kostičce pomocí technické frézy

Výsledkem experimentu tak jsou následující hodnoty, které lze aplikovat na strojní srážení hran při použití na stroji Hermle C20U:

- Způsob obrábění: nesousledné
- Otáčky vřetena stroje: maximální, a to $18\,000\text{min}^{-1}$
- Hloubka řezu a_p : každá tříska bude mít maximální hloubku $a_p = 0,1\text{mm}$
V případě požadavku většího sražení hrany bude aplikováno více kroků v radiálním směru a to vždy po jedné desetíně milimetru
- Chlazení: ano

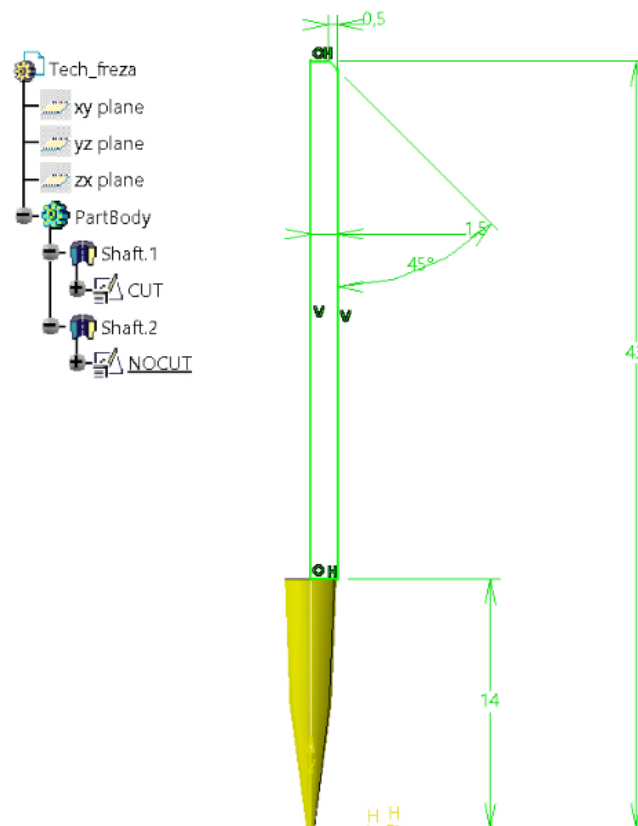
5.2 Reprezentace nástroje

Každá funkce pro obrábění v programu Catia má přiřazené konkrétní nástroje, kterými lze danou technologii obrábění provádět. Zároveň každý nástroj má pro svou editaci rozměrů a tvarů již konkrétní nadefinované hodnoty, které jsou pevně dané a jsou pro daný nástroj charakterizující. V případě, že chceme obrábět nástrojem, který daná funkce nemá ve své nabídce, jakým v našem případě technická fréza je, je třeba pro simulaci a zároveň pro její věrohodnost vytvořit vhodný nástroj, který nám tuto simulaci a simulaci umožní.

Pro danou funkci tak zvolíme nástroj co nejvíce podobný tomu našemu (v našem případě zvolená technická fréza daného tvaru a rozměrů). Nastavením jeho rozměrů a tvarů

shodných s nástrojem, kterým později nahradíme- přiřadíme reprezentaci nástroje. Při jeho tvorbě je nutné se řídit určitými zásadami pro jeho konstrukci. V případě nedodržení těchto zásad hrozí, že se přiřazení reprezentace nástroje nepodaří.

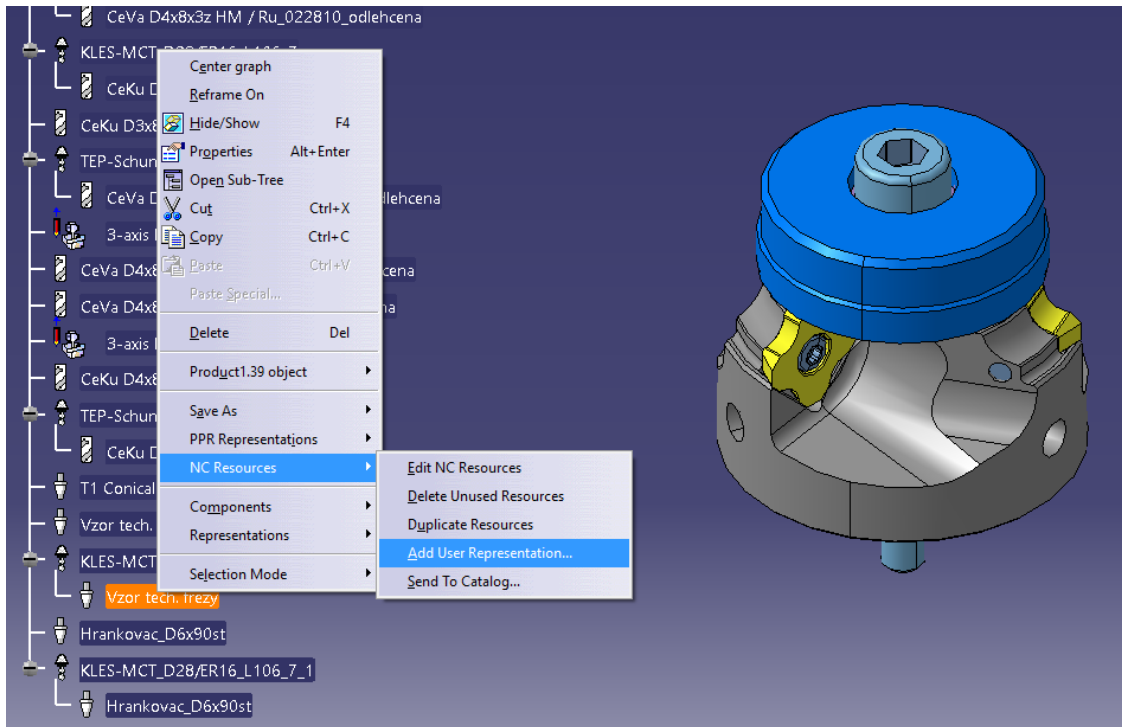
Otevřením nového souboru v modulu CATPart tak namodelujeme nástroj, který je charakteristický svou řeznou částí a svou upínací částí. Tyto dvě části nástroje musí být naskicovány každá v jiný skice, aby mohly být od sebe pro simulaci odděleny a následně správně fungovaly. Obě skicy musí být vytvořeny v rovině ZX a zároveň v prvním kvadrantu (dle obrázku 27). První skica charakterizuje řeznou část frézy, kdy je nutné ji kreslit proti směru hodinových ručiček a zároveň uzavřenou křivkou. Jelikož se jedná o rotační nástroj, osu nástroje nám udává žlutá šipka značící vertikální směr a zároveň je osou rotace nástroje pro výsledný model. Od této osy tak je vytvořena skica řezné části nástroje, která musí být uzavřena. Po uzavření skicy je dále možné doplnit nástroj a případná sražení nebo o rádiusy. Stejným způsobem je nakreslena skica pro upínací část, v našem případě o válcovou stopku. Obě skicy mohou být pod jedním PARTBody, ale každá musí mít svou skicu s jiným názvem. Skicu pro řeznou část je nutno přejmenovat ve vlastnostech na CUT a druhou skicu pro upínací část přejmenovat na NOCUT (dle obrázku 27), obě velkými písmeny. Následuje už jen orotování skic pomocí funkce *shaft*. Nyní může být soubor uložen.



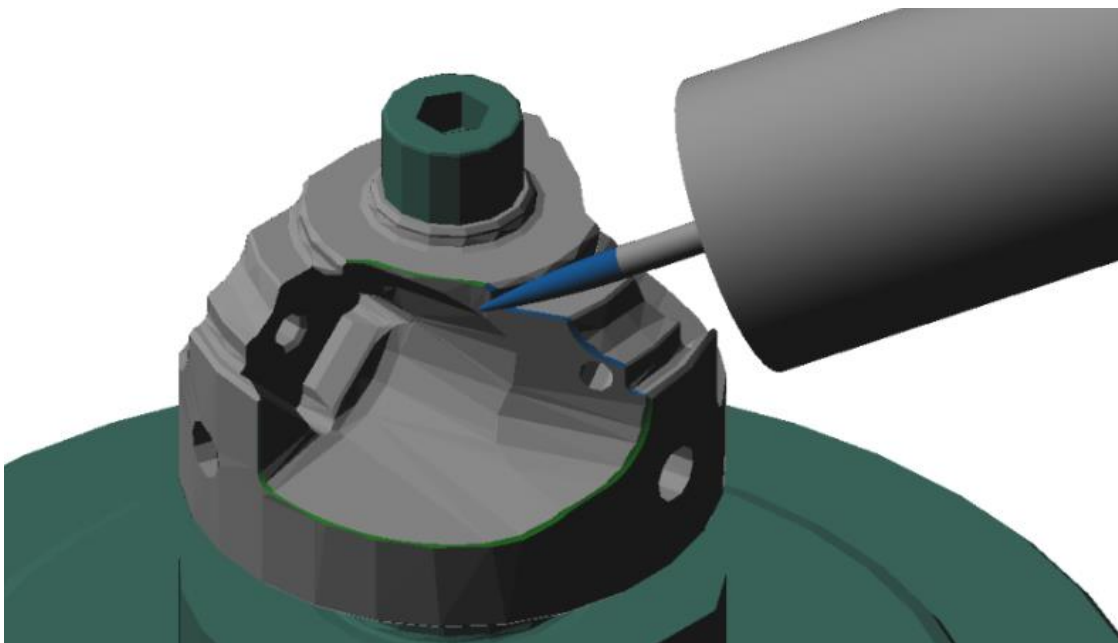
Obrázek 24: Skica technické frézy pro reprezentaci nástroje

Pro vymodelovanou technickou frézu se správným tvarem už zbývá jen její použití v modulu *Advance machining*. Funkci pro obrábění tedy necháme propočítat dráhy s nástrojem zvoleným na počátku, který je svými rozměry a tvarem co nejpodobnější.

Ve stromové struktuře v ResourcesList klikneme pravým tlačítkem na daný nástroj, kde vybereme *NC resources* a následně *Add user representation*, kde v adresáři vybereme namodelovanou technickou frézu. Nyní při otevření simulace místo původního nástroje zde obrábí nový nástroj, kterým můžeme celý proces obrábění odsimulovat s již správným tvarem a geometrií.




Obrázek 25: Přirazení nové reprezentace technické frézy



Obrázek 26: Simulace pomocí přiřazené reprezentace

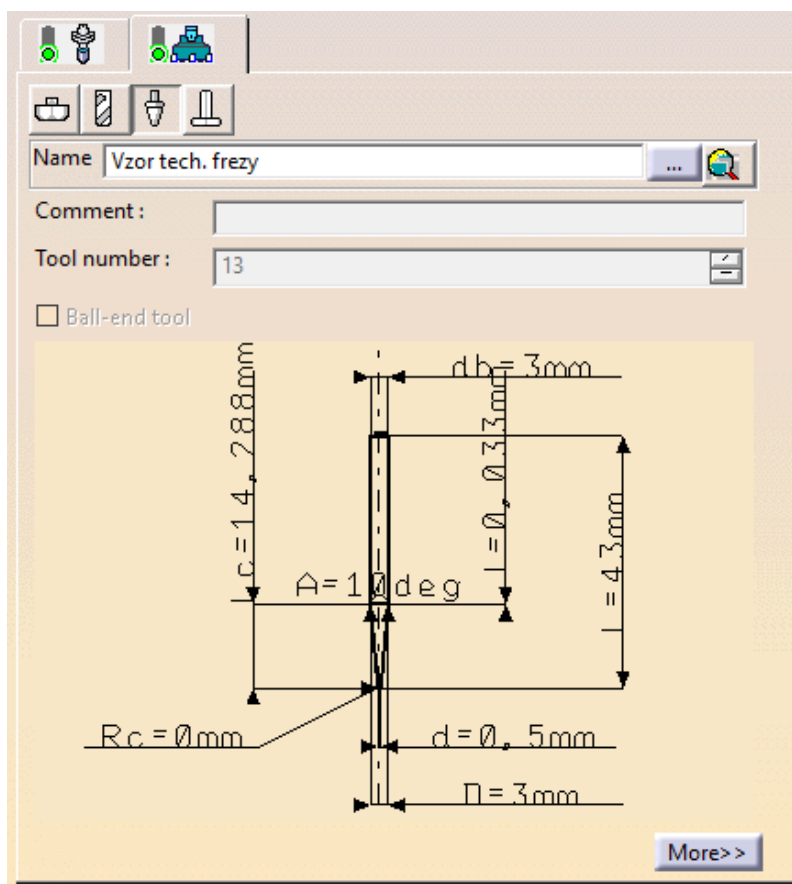
5.3 Funkce vhodné pro hrankování

Jak již bylo řečeno, v modulu Advanced Machining  lze obrábět ve třech osách, dále ve třech osách a jednou naklápěcí osou, nebo plynule v pěti osách. Všechny tyto nastavení umožňují obrábění pomocí určitých funkcí, kde každá funkce umožňuje obrábění určitého tvaru nebo křivky za pomoci konkrétních nástrojů k tomu vhodných. Ve volbě vhodné funkce je proto nutno brát v potaz geometrickou charakteristiku obráběného tvaru a dle tohoto uvážení volit funkci, které nám zajistí správné obrobení za použití vhodného nástroje, popřípadě jeho naklápění.

Jelikož hrankování na nástrojích představuje ve většině případů obrábění po určité křivce, jako nejvhodnější pro tuto operaci se jeví funkce Multi-Axis Curve Machining, která zároveň obsahuje v nabídce nástrojů určených pro danou operaci poměrně široký výběr, a to:

- Face mill (čelní fréza)
- End mill (čelní válcová fréza nebo kulová fréza)
- Conical mill (úhlová fréza)
- T-slotter (drážkovací fréza nebo kotoučová)

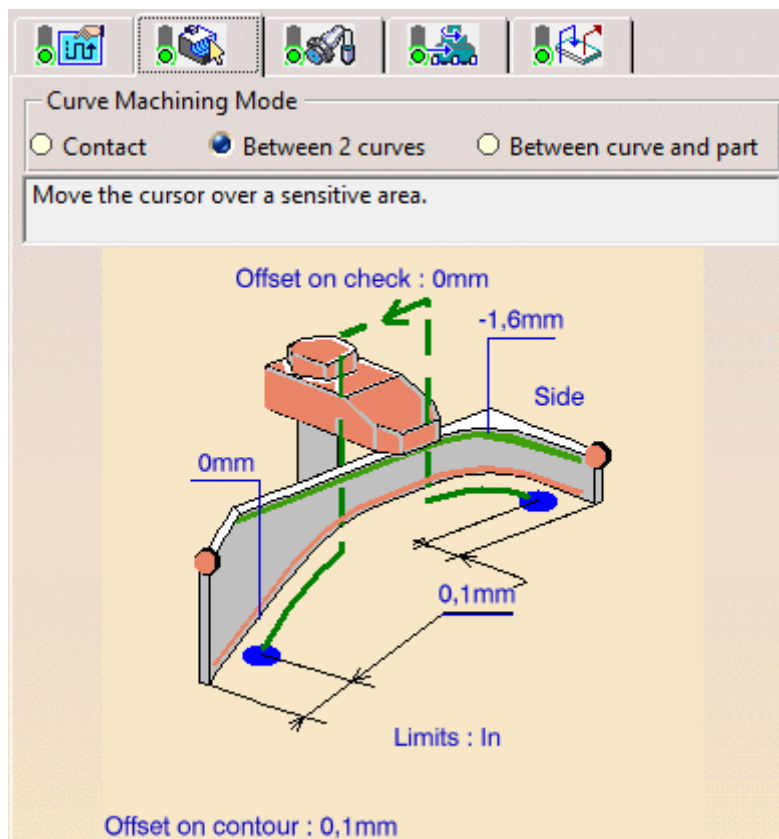
Volbou těchto nástrojů, nebo jejich modifikací, popřípadě nahrazením vhodnou reprezentací si vystačíme pro veškeré nástroje, kterými lze hrankování na nástrojích realizovat.



Obrázek 27: Definice nástroje

Jako hlavní geometrie, kterou lze touto funkcí obrábět je vybraná křivka. Ta může mít tři nastavení, jsou to:

- Contact (křivka v kontaktu s vybranou plochou)
- Between 2 curves (mezi dvěma křivkami)
- Between curve and part (mezi křivkou a libovolnou plochou).




Obrázek 28: Volba geometrie pro funkci Multi axis curve machining

Funkce zároveň umožňuje klasické obrábění ve třech osách tak i plynulé 5ti-osé obrábění. Naklápění os může být realizováno pomocí:

- Fixed axis (konstantním úhlem)
- Interpolation (pomocí vektorů)
- Lead and tilt (pomocí 2 úhlů nastavení nástroje X a Y)
- Thru a point (osa nástroje vztažena k bodu)
- Normal to line (normála ke křivce)
- 4-Axis lead/lag
- Tangent axis (tečně ke křivce)
- Thru a guide (osa nástroje vztažena ke křivce)

V neposlední řadě lze v záložce strategie obrábění volit počet třísek jak v axiálním, tak v radiálním směru nástroje, což je velice dobrá věc z hlediska technologie sražení ořepů a následné vytvoření hrany.

Druhou funkcí vhodnou pro srážení hran je Profile countouring , tato funkce však umožňuje obrábění pouze ve třech osách a je tak značně omezena tímto faktorem na pouze malé množství křivek určených ke srážení. Funkce Multi-axis Curve Machining je tedy v tomto případě výhodnější variantou, kde lze aplikovat veškeré operace.

5.4 Nastavení funkce Multi-Axis Curve Machining pro hrankování

Každá funkce v modulu Advanced MACHining obsahuje pět záložek, jsou to:

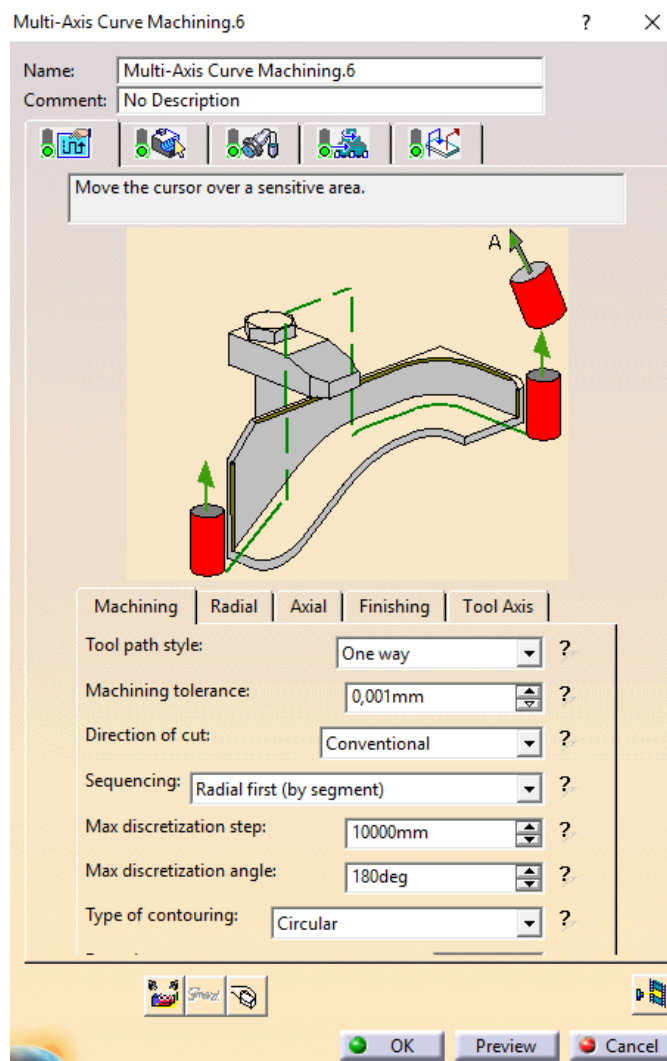
- volba strategie obrábění
- volba geometrie určené pro obrábění
- volba nástroje
- volba rezných podmínek
- volba nájezdů, odjezdů a přejezdů

5.4.1 Volba strategie

V záložce strategie je dalších pět podzáložek. Pozornost je třeba věnovat třem vybraným. Machining, Radial a Tool Axis.

5.4.1.1 Machining- důležitými parametry

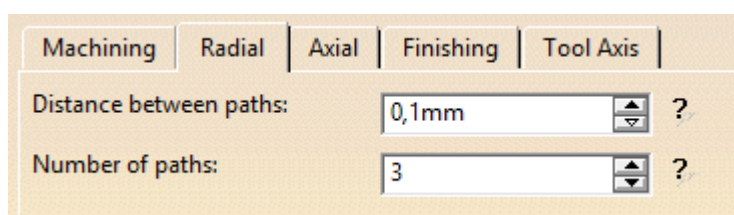
- Tool path style: na výběr dvě možnosti, a to Zig ZAG nebo One way. V podstatě se zde jedná o způsob generování drah ve více třískách v axiálním směru, kdy Zig Zag první třísku jede sousledně a druhou nesousledně. Přitom mezi první a druhou třískou není řešen žádný nájezd nebo odjezd, a druhá tříška je tak realizována po stejné křivce ale opačným směrem. Druhá možnost One way provede obě třísky jedním směrem a to buďto sousledně, nebo nesousledně.
- Machining tolerance: nastavením správné tolerance obrábění lze velmi ovlivnit výslednou přesnost i tvar sražení. Jelikož se velikost sražené hrany pohybuje v řádech desetin milimetru, je nutné nastavit dostatečně přesnou toleranci v rozmezí 0,01 až 0,001 mm.
- Direction of cut: Zde dojde k nastavení sousledného nebo nesousledného obrábění. Pro klasické nástroje, jako je kulová fréza nebo hrankovač je charakteristické sousledné obrábění. Z experimentálního odzkoušení pro technické frézy zase vyšlo výhodnější nesousledné obrábění.



Obrázek 29: Machining- důležité parametry

5.4.1.2 Radial

Zde se nastaví počet třísek v radiálním směru od osy nástroje a vzdálenost mezi těmito třískami. Z hlediska technologie pro srážení hran je vhodné nastavení více třísek, jelikož nástroje při výrobě nástroje s větším otupení vytváří poměrně velké otřepy. Jako vhodná technologie je proto zvolena volba více třísek, kdy první až druhá tříska má za úkol srazit otřepy a až teprve třetí tříska vyrábí na křivce srážení. Tato volba je vhodná jak z hlediska životnosti technické frézy tak výsledné kvality povrchu daného srážení i celého nástroje.

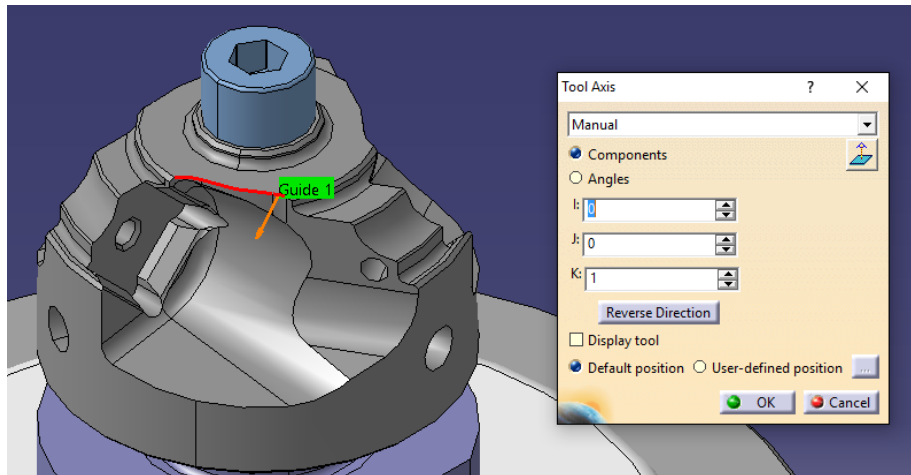


Obrázek 30: Radial- volba počtu kroků

5.4.1.3 Tool Axis

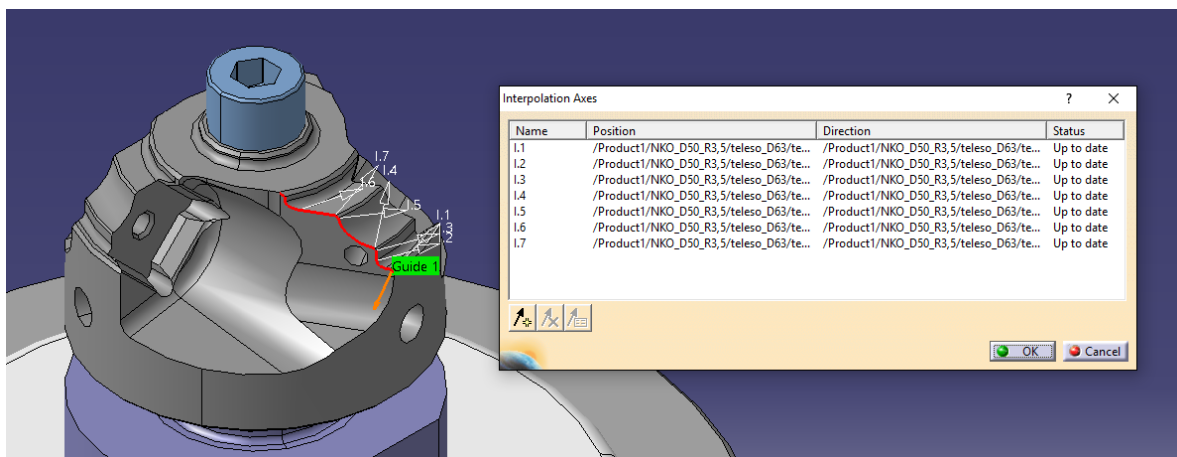
Nastavení osy nástroje popřípadě způsob naklápění v záložce Tool Axis. Zde jsou pro ideální vedení nástroje vhodné dvě varianty:

- **Fixed Axis:** Tato varianta umožňuje nastavení pevné osy Z, což v podstatě umožňuje obrábění ve třech osách, popřípadě ve třech osách se čtvrtou osou nakloněnou. *Fixed Axis* může být použita pouze pro omezené druhy křivek, kde u složitějších geometrií nepostačí a je nutno volit jiné varianty



Obrázek 31: Fixed Axis- pro tříosé obrábění

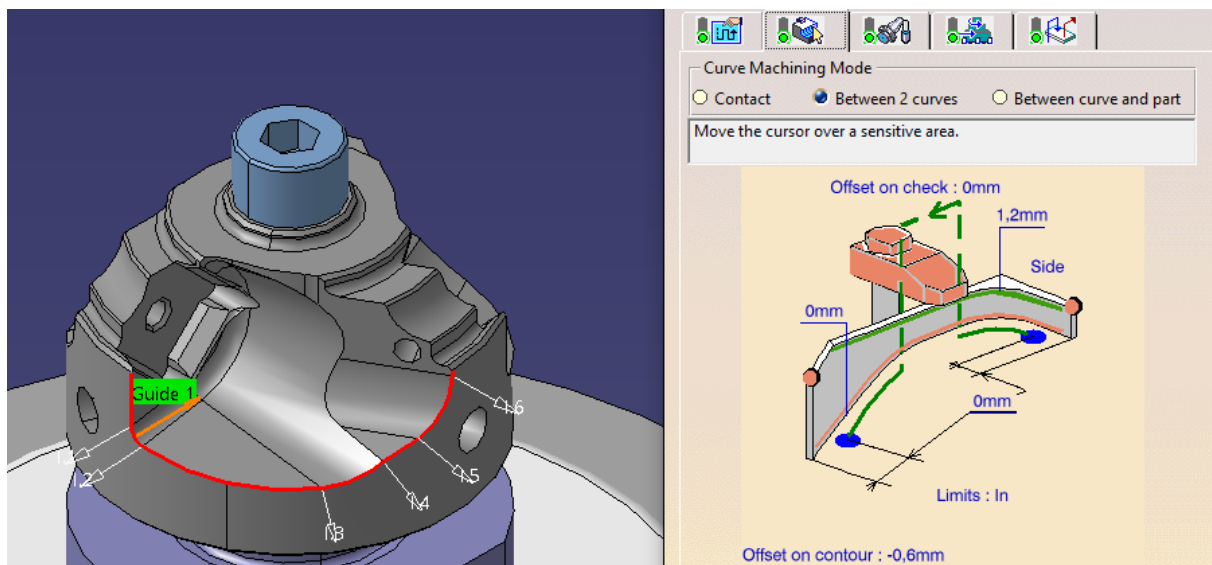
- **Interpolation:** Jedná se o plynulé pětiosé naklápění pomocí vektorů. Vektory naklápění lze zvolit na nástroji (např. pomocné čáry zubové mezery) nebo je možno vektory namodelovat v modulu *PartDesing*. Zvolit vektory přímo na nástroji je možné v případě jednoduše řešené zubové mezery, kdy její tvar je velice jednoduchý a plochy jsou na sebe často kolmé. Takové zubové mezery jsou charakteristické pro nástroje, které jsou od zákazníka požadovány jako kusová výroba. Zpravidla se jedná o sdržené nástroje s VBD pro vrtání a frézování, popřípadě vyvrtávání či srážení hran.



Obrázek 32: Interpolace pro plynulé 5ti-osé obrábění

5.4.2 Volba geometrie

Ve volbě geometrie jsou na výběr tři možnosti- Contact, Between two curves a Between curve and part. Pro hrankování je zde nejvýhodnější volba Between two curves. V nabízené geometrii se poté vybere hlavní křivka, která nám v našem případě charakterizuje obráběnou hranu. Déle je zde nastavení odsazení nástroje jak v radiálním (offset on contour) tak v axiálním směru (vyznačeno pouze odkazovou kótou). Tyto hodnoty se mění v závislosti na použitém nástroji. Rozdíl může být například mezi kulovou frézou a úhlovou frézou. Kulová fréza je při nastavené nulové vzdálenosti offset on contour posazena na kraj nástroje, oproti tomu úhlová fréza na špičku, tedy osu nástroje. V poslední řadě se zde mohou nastavit koncové body křivky, které je možno aplikovat při špatně obrábění špatně přístupných rohů, neboť zde lze nastavit velikost odsazení od těchto koncových rohů a zpřístupnit je tak například technické fréze.



Obrázek 33: Volba geometrie- výběr hran

5.4.3 Volba Nástroje

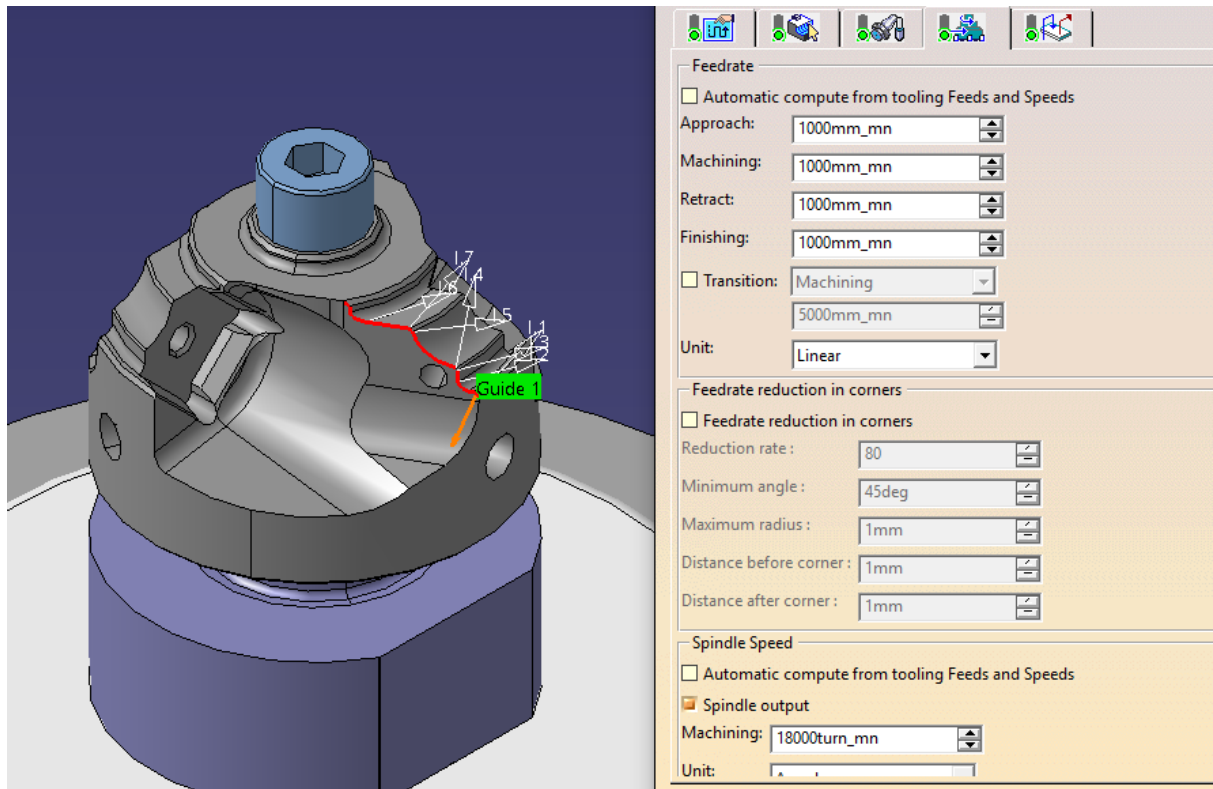
Volba typu nástroje je zde čistě na nás. Volit můžeme mezi čtyřmi variantami. V editačním okně lze měnit rozměry nástrojů, nebo můžeme nástroj vybrat z hotového firemního katalogu. Další variantou je vytvoření pomocného nástroje pro přidání následné reprezentace. To samé platí pro upínač, který se vytvoří namodelováním s vlastními parametry nebo opět vybráním z katalogu. Podstatným parametrem je nastavení vyložení nástroje, který by mělo vyhovovat z pohledu pevného a přesného upnutí. Nástroj s upínačem jako celek ve finále hrají velkou roli z pohledu simulace obrábění a zamezení případným kolizím ať už nástroje, nebo upínače s obrobkem nebo přípravkem pro obrábění.

5.4.4 Řezné podmínky nástroje

Při zadávání řezných podmínek se vychází pro standardní nástroje z firemních poznatek pro dané řezné materiály. Co se týče technických fréz, tak zde se vychází z jejich experimentálního odzkoušení. Zadávané parametry jsou:

- Otáčky vřetene stroje (ot/min, m/min)
- posuvu pro řezný proces (mm/ot, mm/min)
- velikost posuvu pro nájezdy a odjezdy (mm/ot, mm/min)

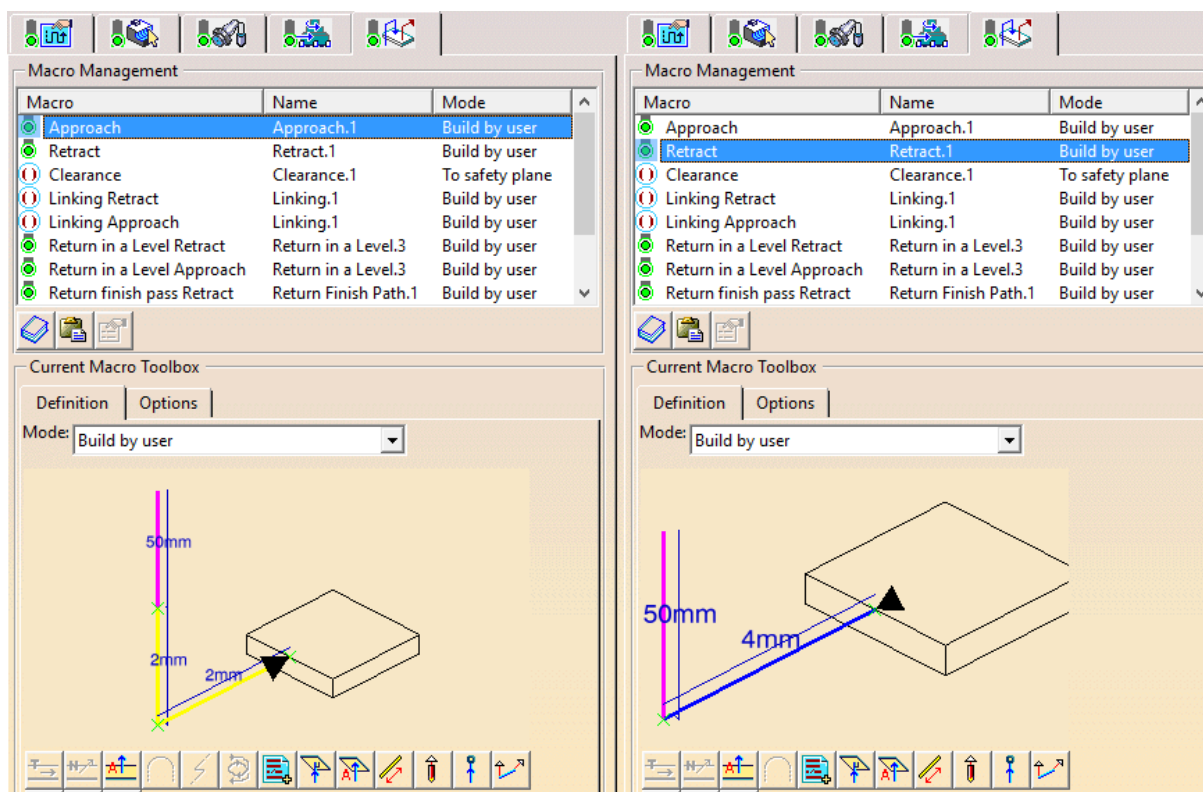
U všech těchto parametrů je nutno dbát na možnosti stroje a jeho omezení co se týče rychlosti posuvů i otáček stroje.



Obrázek 34: Ukázka řezných podmínek pro technickou frézu

5.4.5 Nájezdy a odjezdy

Nájezdy a odjezdy se zde realizují stejným způsobem jako u ostatních funkcí. Nejvhodnější jsou nájezdy po přímce nebo po kružnici. Odjezdy jsou realizovány po přímce. Z důvodu volby technologie více třísek je nutné nastavit i přejezdy mezi jednotlivými třískami a to s dostatečnou velikostí. Těmto přejezdům je poté při odladění programu s plynulým 5ti-osým obráběním kladen velký důraz z hlediska kolizí.



Obrázek 35: Nastavení nájezdů a odjezdů pro technickou frézu

5.5 Obecné nastavení CAM pro vybrané varianty

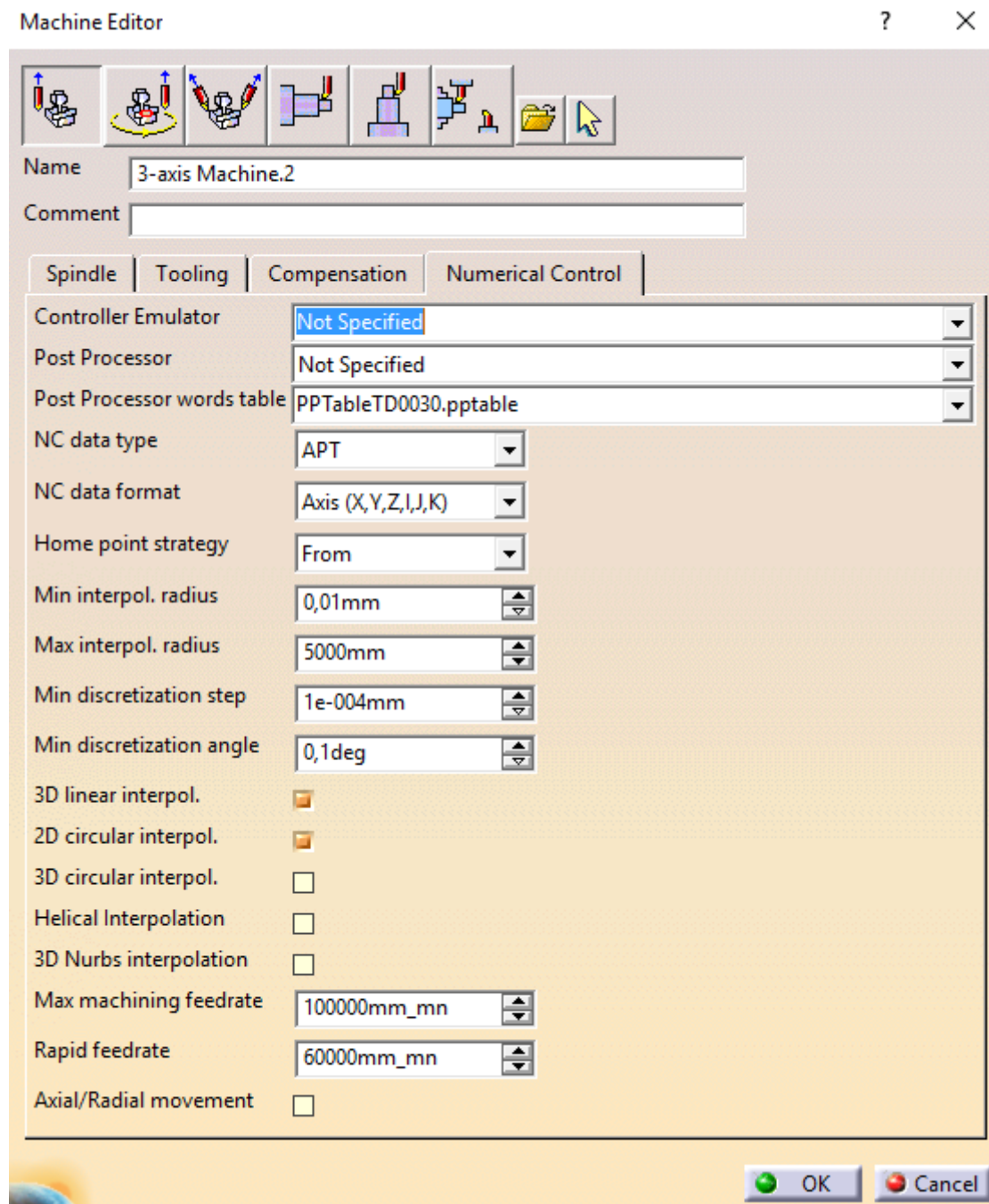
5.5.1 Výběr stroje

Zde se volí mezi třemi variantami

- 3-osý stroj
- 3-osý stroj s jednou osou naklápěnou
- 5ti-osý stroj

Pro simulaci obrábění je možno vybrat CAD maketu modelu stroje. V tomto směru však záleží na možnostech firmy, zda danou softwarovou podporou disponuje. Dále záleží na postprocesorech, se kterými firma pracuje. V našem případě se jedná o postprocesor PPTableTD0030 které je třeba vybrat v dané záložce. Pro tento procesor se vždy zadává tříosý stroj, a to i v případě, že se jedná o plynulé 5ti-osé obrábění. Mezi 3-osým nebo 5ti-osým obrábění se pak volí varianty formátu NC dat, a to:

- 3-osé (X,Y,Z)
- 5ti-osé (X,Y,Z,I,J,K)



Obrázek 36: Nastavení stroje a postprocesoru

5.5.2 Nastavení nulového bodu

Jelikož hrankování je na stroji zařazeno jako poslední operace a musí být dodržena určitá posloupnost technologií, volí se nulový bod totožný s nulovým bodem obrobku. Velkou roli v tomto případě hraje i upnutí obrobku, které je většinou realizováno pomocí speciálního přípravku a nulový bod bývá často vložen do středu rotačního nástroje a zároveň i upínacího přípravku, v tomto případě do osy frézy.

5.5.3 Polotovar

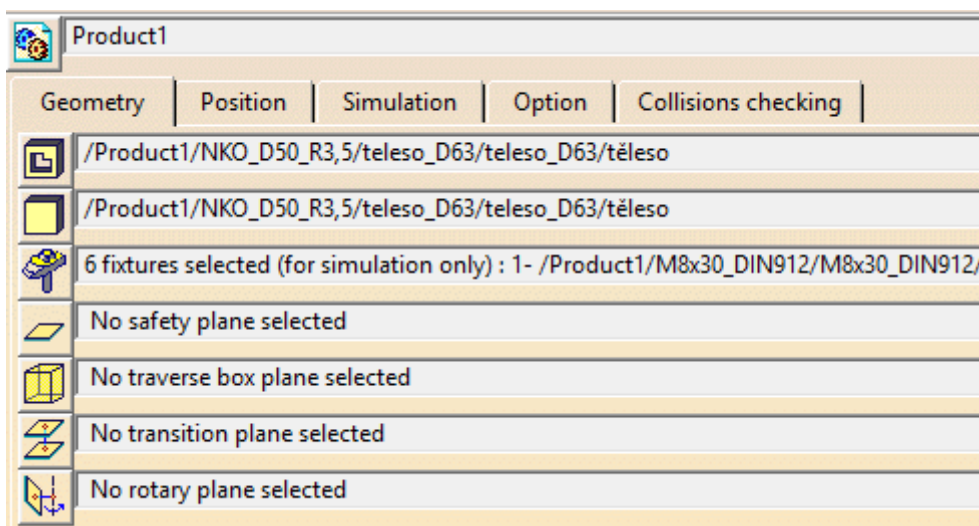
Co se týče hrankování na VBD nástrojích, na CAD modelu není obrobená hrana vymodelována. Jako polotovar se v tomto případě vybere CAD model hotového obrobku, kde se již hotové hrany vyberou a vytvoří se na nich sražení.

5.5.4 Upínání

Oba obrobky jsou upnuty pomocí přípravku Hainbuch Manok 65. Do přípravku jsou vloženy kleštiny o určitém průměru pro válcovou stopku, která je utažena pomocí ozubeného převodu:

- Varianta A: trn, na který se pomocí šroubu pevně přišroubuje polotovar obrobku.
- Varianta B: válcová stopku frézy

V nastavení obrábění je pak nutno všechny tyto upínací prvky označit, aby mohlo dojít k detekci případných kolizí nástroje s upínačem a upínacími prvky.



Obrázek 37: Definice obrobku, polotovaru a upínacích prvků

5.6 CAM pro variantu A

Každou hranu určenou ke sražení je možno vyrobit pomocí nástrojů k tomu vhodných. Každá hrana má svůj určitá charakter a její ideální sražení je pokaždé realizováno pomocí jiného nástroje. Při volbě nástroje se přitom klade důraz na:

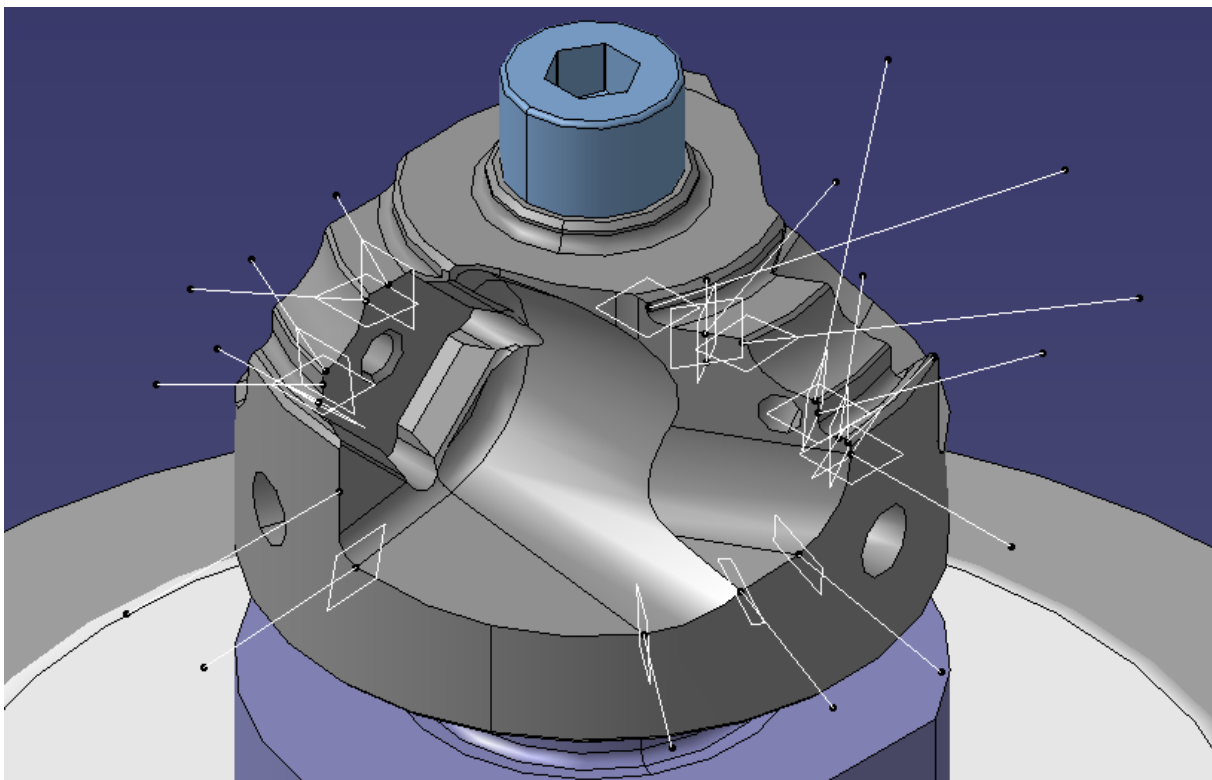
- Maximální možné naklopení stolu stroje 115°
- Vhodný přístup s nástrojem ke křivce
- Zabránění kolizí nástroje nebo upínače

5.6.1 Úprava CAD modelu před hrankováním

Jelikož nástroj obsahuje tvarově složitou zubovou mezeru, vektory pro naklápění osy nástroje je proto nutné namodelovat v modulu Part Design.

Zobrazování CAD modelu je dobré mít nastavené na *Shading with Edges* a to z důvodu dobré viditelnosti hran a jejich označení. Vektory určující naklápění os se modelují pomocí skic a pomocí klasických čar. Vektory je vhodné umístit vždy na začátek a konec jedné tvarové křivky, aby překlápění proběhlo vždy plynule po celé křivce a nástroj byl pokud možno vždy kolmo k obráběné hraně. Před vytvořením skicy je třeba si na křivkách vytvořit pomocné roviny a to pomocí funkce *Plane*, kde se vybere nastavené *Normal to curve*. Zde se jako křivka vybere obráběná hrana a jako bod jeden konec křivky. Takto je nutné vytvořit roviny u všech hran a ve všech bodech, kde je překlápění realizováno pomocí interpolací. Klasickým vytvořením skicy, kde je jako reference vybrána právě námi vytvořená rovina na konci hrany. Vektor polohy osy nástroje je pak dán čarou, kde jeden její konec leží na obráběné hraně a druhý směřuje pod konkrétním úhlem ve směru osy nástroje.

V samotném nastavení interpolací se po otevření interpolačních vektorů objeví tabulka, která je charakterizuje. Pro vytvoření vektoru je nutné nadefinovat bod, což je bod čáry na obráběné hraně a dále jeho směr, kterým je právě námi vytvořená čára, popřípadě otočením jeho směru. Tímto způsobem se nadefinují všechny vektory, které jsou potřebné pro plynulé překlápění, které je realizováno vždy jedním směrem mezi danými vektory.



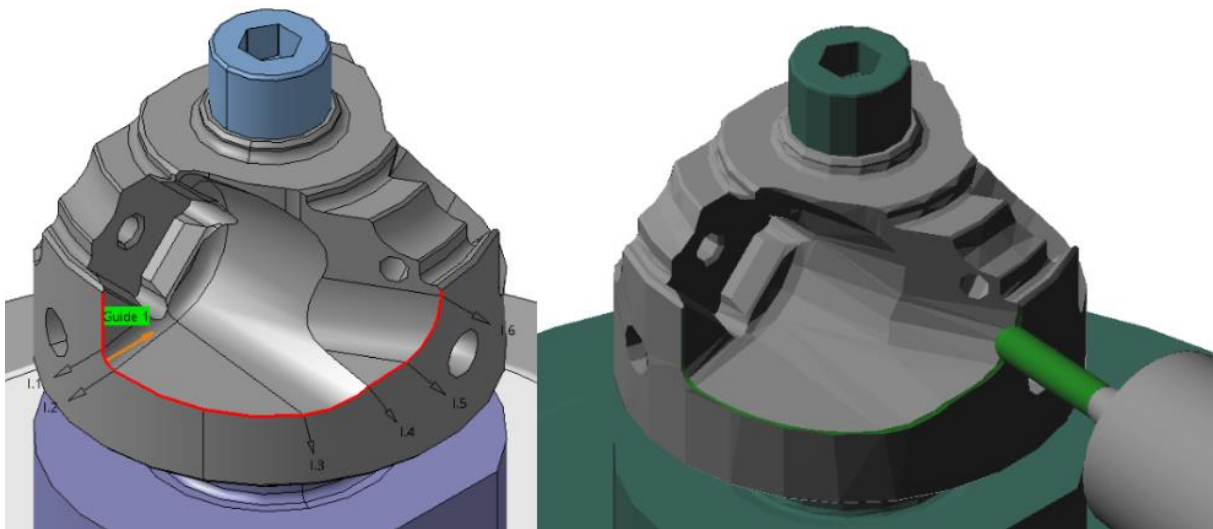
Obrázek 38: Model A po vytvoření pomocných geometrií

5.6.2 Plynulá proměnlivá hrana po obvodu nástroje

Jedná se o křivku, která vznikne průmětem zubové mezery polotovaru po jeho obvodu. Takováto křivka je většinou dobře přístupná z obou stran, nájezd a odjezd nástroje tak lze realizovat více způsoby s různými nástroji. Musíme však brát v úvahu polohu křivky, dále pak maximální možné otočení stolu stroje, poloha upínacích prvků a velikosti úhlů, který

obráběná hrana svírá. Od těchto faktorů se odvíjí volba nástroje. Nástroje vhodné pro tuto křivku tedy jsou kulová fréza a hrankovač.

Právě velikost úhlu, který svírá obráběná hrana, je zde rozhodujícím faktorem. Kdyby byl po celé délce křivky konstantní úhel, a nebyl by příliš tupý ($<120^\circ$) mohli bychom zvolit oba dva nástroje. Jelikož je úhel podél křivky proměnný, hrankovač by nám na ostřejších úhlech vytvořil menší sražení, a na tupějších úhlech velké sražení, v drážku nebo nevyrobil žádné sražení (dle nastavení funkce). Jako ideální volba nástroje v tomto případě je tedy kulová fréza, která vytvoří po celé délce křivky stejně velké sražení. Pro realizování sražení je plynulého 5ti-osého obrábění s interpolacemi a vektory je nutno namodelovat dle zadaného postupu.

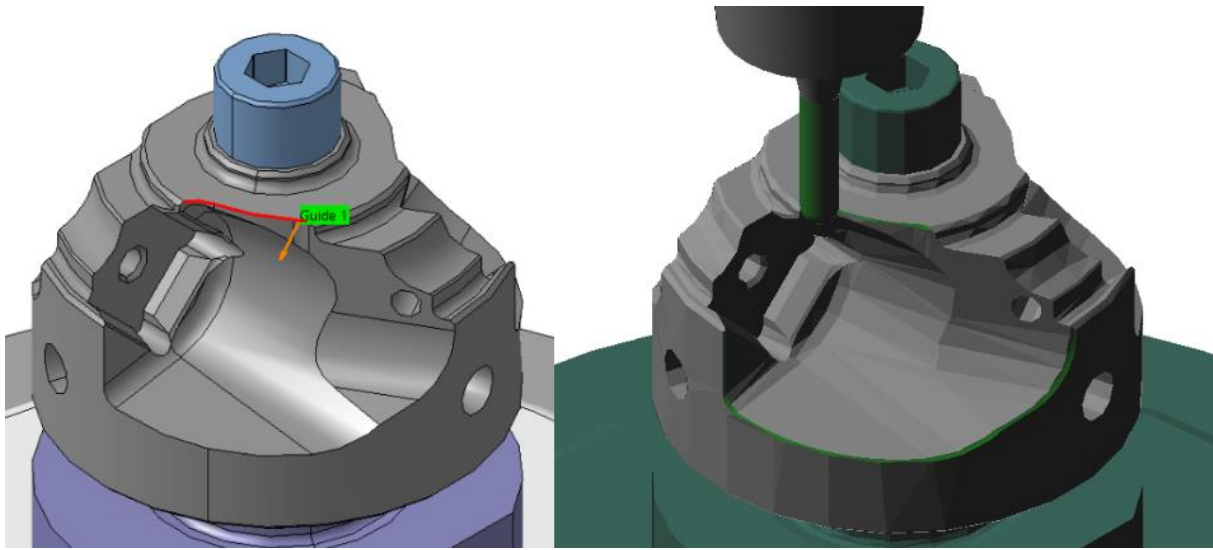


Obrázek 39: Plynulá proměnlivá hrana

5.6.3 Plynulá hrana 90°

Jedná se o křivku, která vznikne průmětem zubové mezery polotovaru v jakémkoli místě. Takováto křivka je většinou dobře přístupná z obou stran, nájezd a odjezd nástroje tak lze realizovat více způsoby s různými nástroji. Je velice podobná předchozímu druhu (Plynulá proměnlivá křivka po obvodu nástroje), ale úhel, který hrana svírá je konstantní a blíží se 90° .

Jako nástroje se opět nabízejí kulová fréza a hrankovač. Je tedy naše volba, kterou variantu zvolíme. V tomto případě lze křivku obrobit pomocí klasického 3-osého obrábění bez nutnosti naklápění os.

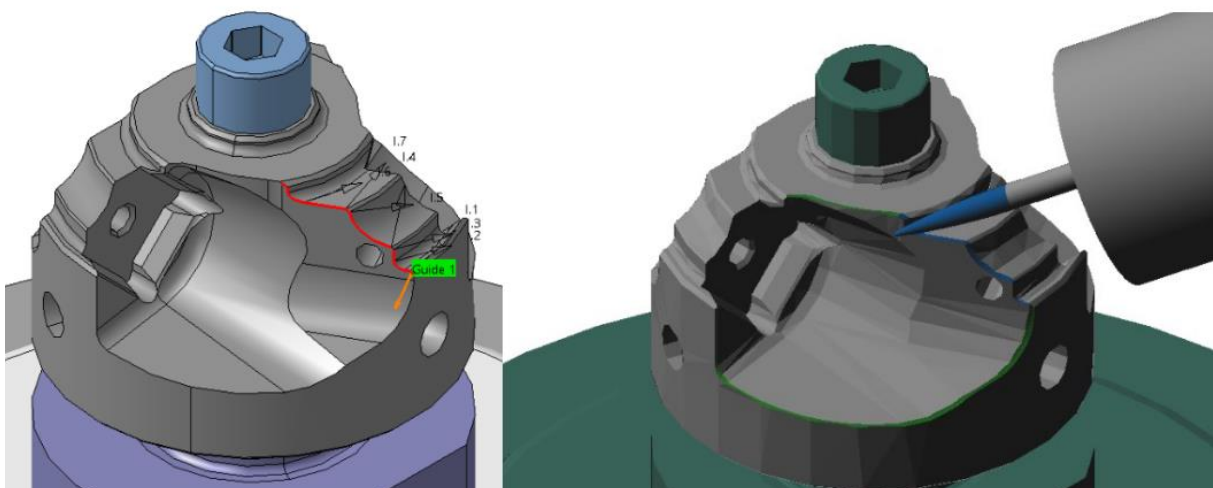


Obrázek 40: Plynulá hrana 90°

5.6.4 Tvarově proměnlivá hrana

Tato křivka je charakteristická svou nepravidelností s mnoha rádiusy nebo zkoseními, která dosahují velice nízkých hodnot. Obsahuje tvary, které jsou klasickými nástroji jen těžko přístupná nebo vyrobitelná a často by zde docházelo k odebrání přílišného množství materiálu a vzniklý tvar by nebyl vyhovující.

Ideálním nástrojem pro charakter této křivky je technická fréza jehlicového tvaru, která má minimální řezný průměr a poradí si i s velmi malými rádiusy nebo s nepřístupnými místy pro klasické nástroje. Nájezdy a odjezdy lze v tomto případě realizovat více způsoby. Pro křivku je důležité, aby byla programována v plynulém 5ti-osém obrábění a naklápění os je řešeno pomocí interpolací.

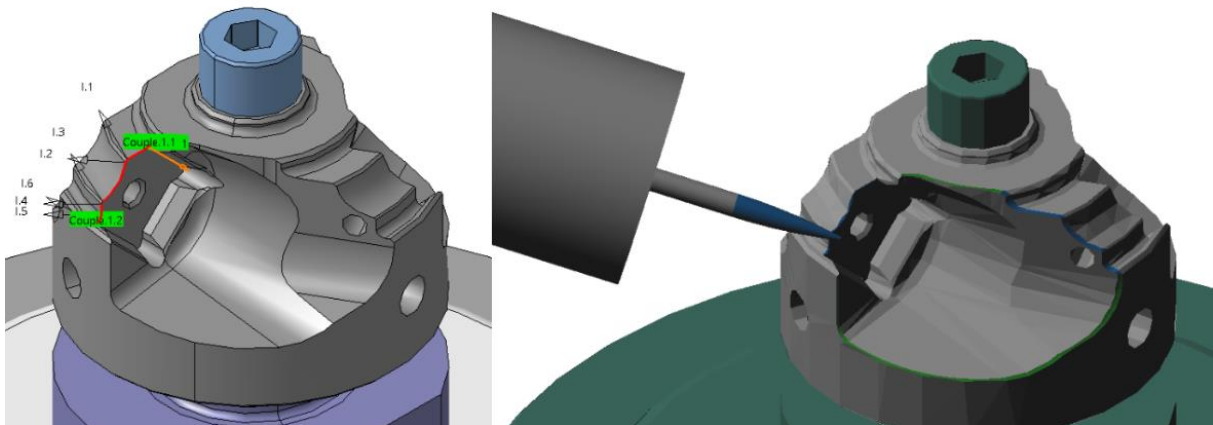


Obrázek 41: Tvarově proměnlivá hrana

5.6.5 Hrana pod VBD v lůžku nástroje

Uzavřená křivka, která kopíruje tvar VBD. Její konce jsou přístupné pouze z jednoho směru. Na koncích křivky jsou kolmé hrany bez rádiusů a z toho důvodu si zde nevystačíme s klasickými nástroji.

Hrana je tedy sražena pomocí technické frézy jehlicového tvaru s co možná nejmenším řezným průměrem, který nám zajistí obrobení až do konců rohů. Nájezdy a odjezdy jsou nastaveny nikoli po přímce nebo kružnici, ale kolmo ke křivce. Obrábění pomocí 3-osého obrábění, v případě složitějšího tvaru VBD (rádiusová R3,5) pomocí interpolací.

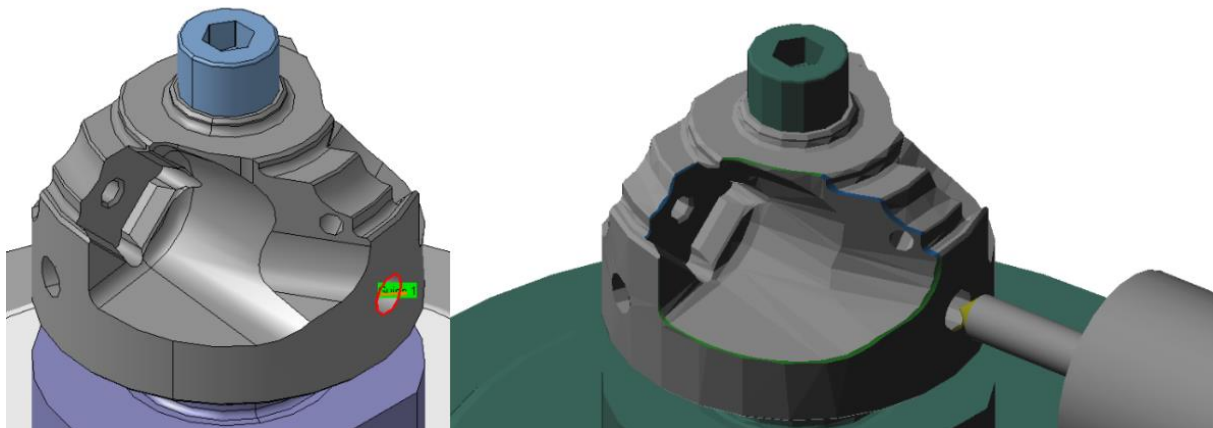


Obrázek 42: Hrana pod VBD

5.6.6 Díry nebo osazení

Sražení u děr nebo osazení bývá součástí samotné technologie výroby nástroje. Mohou se však objevit díry, jako v tomto případě na obvodu zkušební frézy, které slouží proti pootočení při upínání frézy na stroj a je třeba jejich sražení, jako je tento případ.

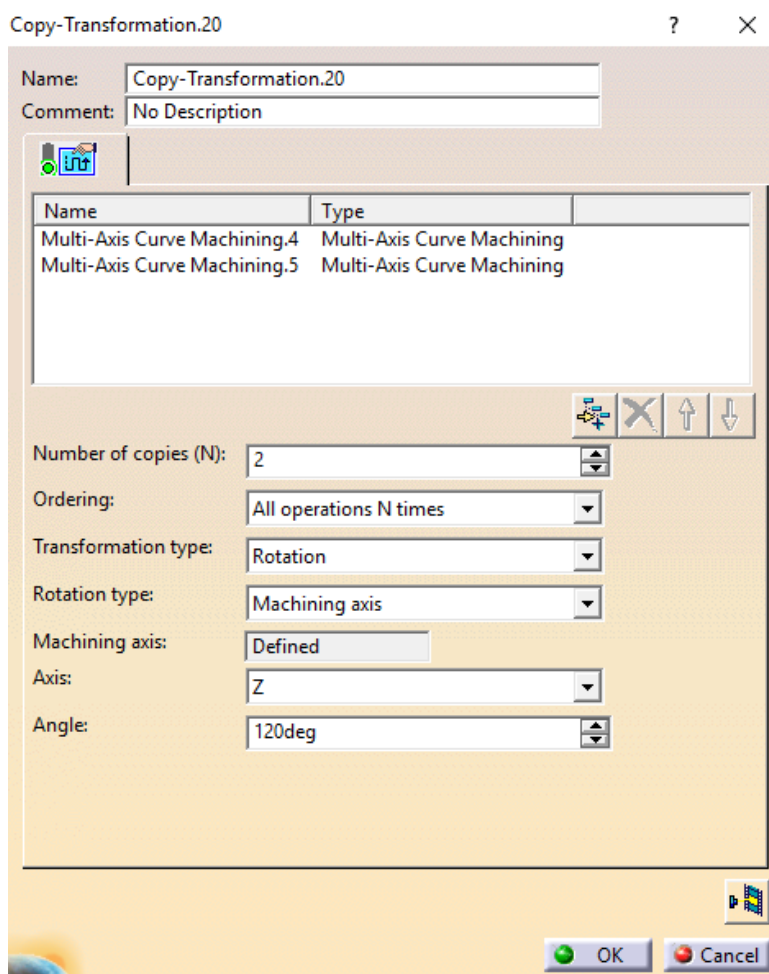
Sražení je zhotoveno hrankovačem. Jelikož je díra po obvodu obrobku a nejedná se o rovinnou kružnici, nevystačíme zde pouhým vyvrtáním v ose díry, ale je třeba objet celou konturu křivky. Tím je zajištěna stejná velikost podél celé díry. Nájezd a odjezd je řešen kolmo k díře nebo po spirále a sražení obrobeno 3osým obráběním s naklápěním



Obrázek 43: Díra při obrábění hrankovačem

5.6.7 Transformace

Nyní máme obrobenou jednu zubovou mezeru, ale zadaný nástroj má zubové mezery tři. Bohužel na samotném stroji s řídicím systémem Heidenhain není možné tyto transformace nastavit. Tento problém by šel na stroji vyřešit pouze pootočením nulového bodu obrobku o konkrétní úhel pro další zubovou mezeru a následného opětovného spuštění daných operací. Musí se proto naprogramovat v CAM systému pomocí funkce Copy transformation a to pomocí rotace. Vyberou se operace určené k rozkopírování, dále se zadá počet kopií, osa rotace (osa nástroje) a úhel mezi jednotlivými kopiemi. Nyní je hrankování aplikováno na všechny zubové mezery obráběného nástroje.



Obrázek 44: Ukázka transformace vybraných operací

5.7 CAM pro variantu B

Při volbě nástroje se vychází ze stejných požadavků na jeho volbu, jak tomu bylo u varianty A. Jak je u tohoto nástroje vidět, hrany jsou tvořené buďto po přímce, nebo po kružnici, popřípadě je zde minimum rádiusů nebo rohů.

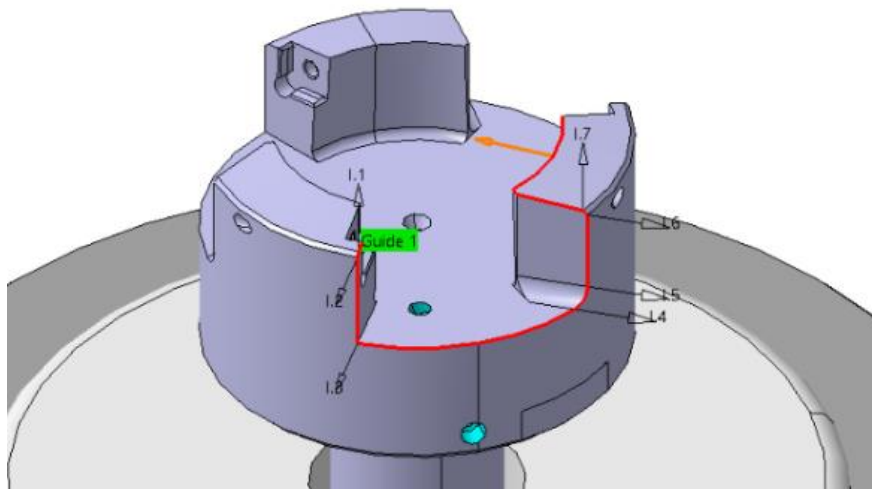
Pro tento typ nástroje je nutné mít zapnuté zobrazování *Shading with Edges*, protože naklápění os bude realizováno pomocí geometrií vzniklých na samotném nástroji a případná úprava CAD modulu tak není nutná.

5.7.1 Křivka podél nástroje

Jelikož na sebe veškeré hrany určené ke sražení navazují a lze je zhotovit jedním nástrojem, vyberou se všechny najednou jako jedna geometrie. Nástroj je v tomto případě dobře přístupný z obou stran a s nájezdy a odjezdy nástroje nebude problém.

Jako ideální nástroj pro tento druh sražení hrany je hrankovač. Jeho průměr je proměnlivý a tak se s ostřím u špičky nástroje, charakteristickým malým řezným průměrem, dostaneme i do ostrého rohu a vytvoříme na něm sražení.

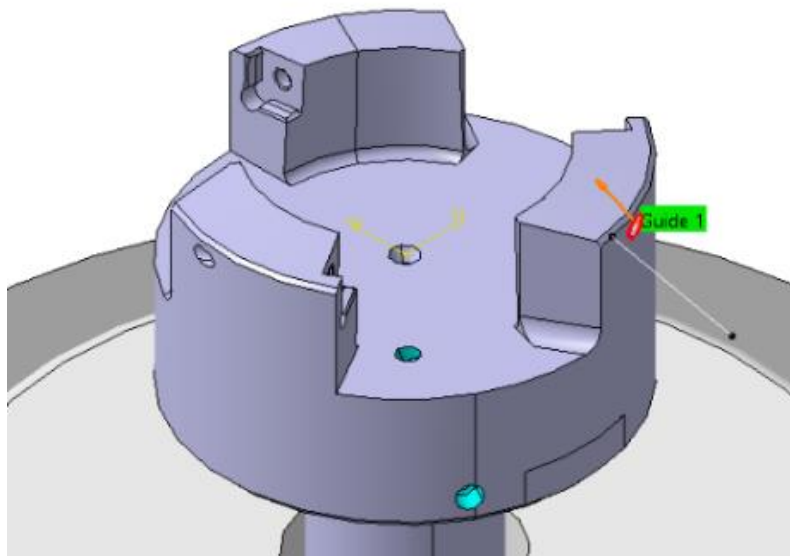
Naklápění os je řešeno pomocí interpolací, kdy postupně vybíráme jednotlivé body na křivce a k nim přiřazujeme směry vektorů. Tentokrát se ale nejedná o námi zhotovené vektory v CAD modelu, ale již hotové konstrukční prvky daného obrobku, které nám to oproti předchozímu příkladu umožňuje. Při sražení těchto hran je tak osa nástroje řízena plynulým 5ti-osým naklápěním osy nástroje.



Obrázek 45: Vybraná křivka podél nástroje

5.7.2 Díra pro šroub

U průchozí díry se pro šroub držící VBD v lůžku nevztahuje technologie výroby samotného sražení na vnější válcové ploše. I tuto ostrou hranu je třeba srazit. Je k tomu vytvořena pomocná přímka z důvodu určení osy naklopení nástroje. Kdybychom zvolili jako osu nástroje osu díry, sražení by nebylo podél obvodu díry konstantní, a to nechceme. Je proto vytvořena přímka ve stejné rovině jako osa díry, ovšem je od ní vychýlena o určitý úhel. Tento úhel pootočení vektoru nám zajistí konstantní sražení podél celého obvodu díry, které je opět realizováno hrankovačem. Transformace na další dvě díry je řešena pomocí funkce Copy transformation stejným způsobem jako u varianty A.

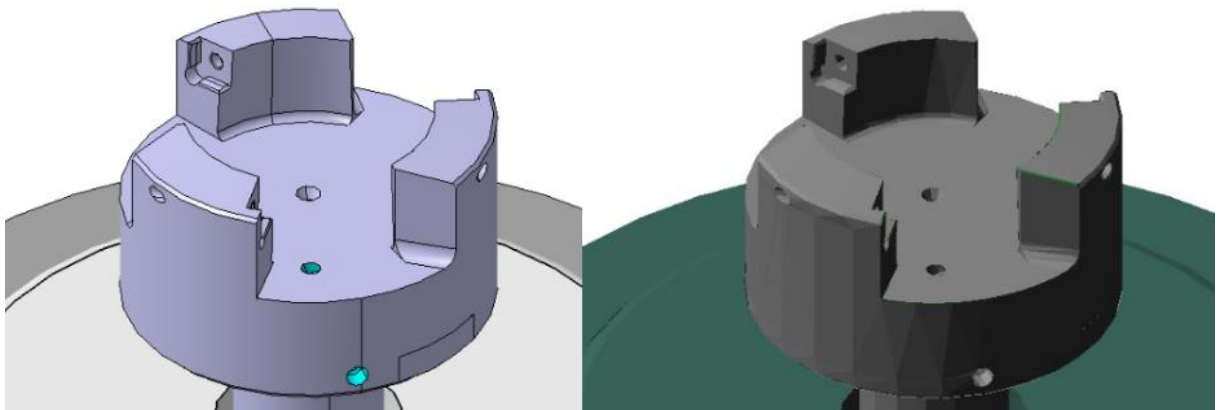


Obrázek 46: Díra na obvodu nástroje

5.7.3 Transformace

Transformace byla provedena stejným způsobem jako varianta A. Opět zde došlo k rotaci kolem osy nástroje pro dvě kopie o úhel 120° .

5.7.4 Simulace varianty B



Obrázek 47: Varianta B po simulaci




5.8 NC data

Definice veškerého nastavení co se týče strojů a výběr postprocesoru již proběhlo ve výběru stroje. Toto nastavení bylo nutné provést z důvodu správného vygenerování NC kódu. Prvně se pomocí ikonky Generate NC code interaktivně musí vygenerovat APT data. Poté následuje volba postprocesoru Haidenhain, který má tři varianty, a to na:

- Postprocesor pro 3-osé obrábění
- Postprocesor pro 3-osé obrábění s jednou osou naklápěnou
- Postprocesor pro plynulé 5ti-osé obrábění

V našem případě se pokaždé jedná o plynulé 5ti-osé obrábění. Po spuštění daného postprocesoru se zde zvolí již vygenerovaná APT data a spolu s nastavením registru je postprocesor připraven generovat NC kód pro Hermle C20U a příslušné dokumenty. Nyní je postprocesor správně nastaven.

Posledním krokem pro vygenerovaný NC kód je spuštění funkce Generate documentation který nám vytvoří html soubor pro naše obrábění. Po otevření souboru html v prohlížeči zde najdeme veškeré informace nastavení stroje, co se týče nulového bodu a tool listu. V tool listu najde obsluha kompletní seznam nástrojů spolu s upínačem a vyložením nástroje v upínači.

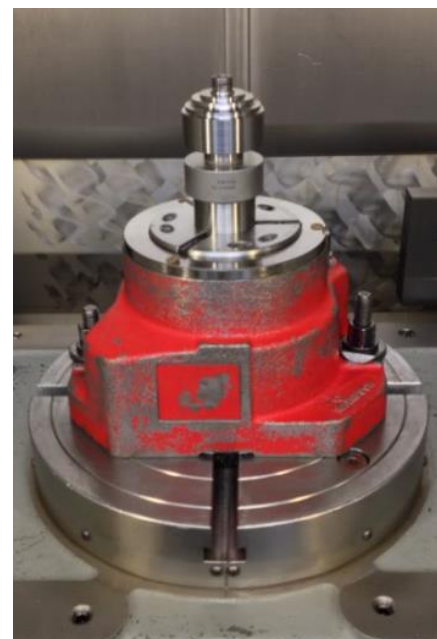
Assembly 12 : TEP-Schunk D27/8 L131 Odjehlení		Type : Milling Assembly Tool : CeKu D4x8x2z HM / Ru 022832
Assembly 13 : KLES-MCT D28/ER16 L106 Odjehlení		Type : Milling Assembly Tool : Vzor tech. frezy
Assembly 14 : KLES-MCT D28/ER16 L106 7 1		Type : Milling Assembly Tool : Hrankovac D6x90st

Obrázek 48: Seznam nástrojů s upínači pro obsluhu stroje

5.9 Vyrobení varianty A

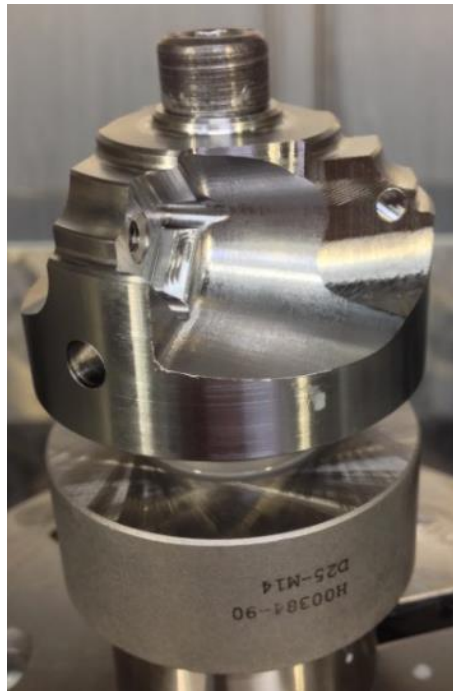
Pro praktickou ukázkou ve výrobě nástroje s hrankováním byla vybrána varianta A. Velkým plusem u této varianty je i fakt, že jsou zde použity veškeré nástroje, kterými lze hrankovat a firma s těmito informacemi bude moci počítat do budoucna při výrobě nástrojů.

Po naprogramování v CAM systému Catia V5 a vygenerování potřebných NC dat bylo vše předáno obsluze stroje Hermle C20U, kde byla samotná výroba realizována. Polotovár nástroje pro hrankování byl vysoustružen a následně upnut pomocí speciálního přípravku do stolu stroje. Veškeré nástroje potřebné jak pro samotnou výrobu, tak pro hrankování byly následně upnuty do správných upínačů s daným vyložením, které bylo navoleno v CAM systému. Následovalo vyrobení nástroje, které bylo dané již samotnou technologií ve firmě, na které plynule navazovala technologie hrankování.

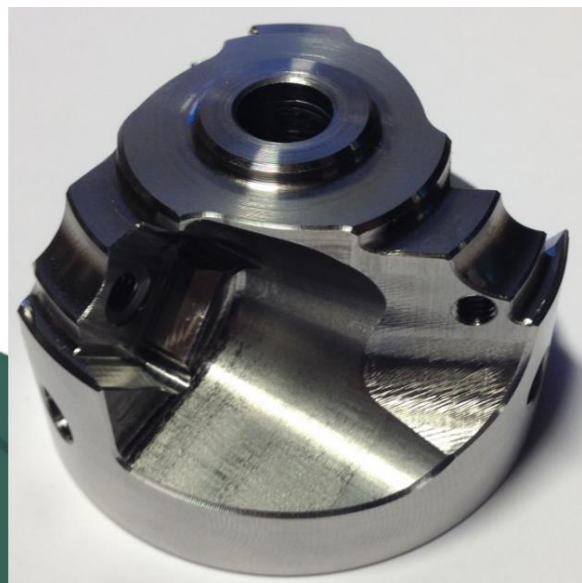
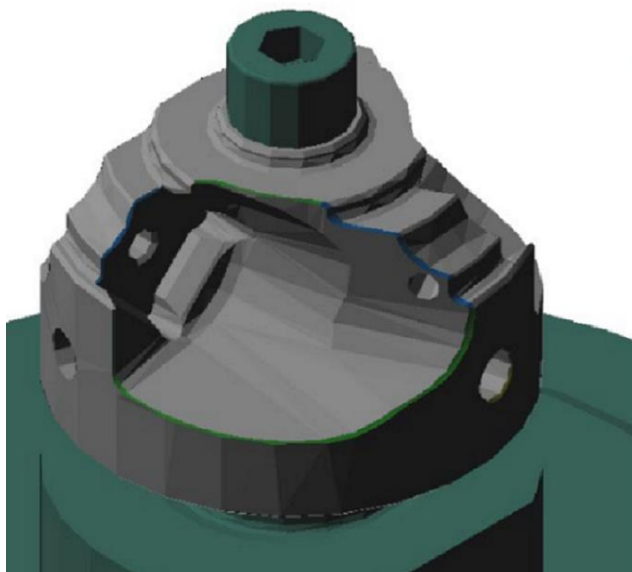


Obrázek 49: Upnutý polotovár ve stroji

První zubová mezeza byla vyrobena s korigující rychlostí posuvů z důvodu detekcí kolizí, zejména při přejezdech mezi jednotlivými radiálními třískami. Po hrankování na první zubové mezeře došlo ke kontrole sražených hran. Následně došlo ke korekci délkového vyložení u technické frézy o 1 mm. Po těchto úpravách mohla být druhá zubová mezeza podrobena hrankování s již 100% rychlostí všech posuvů a přejezdů. Třetí zubová mezeza byla ponechána bez sražení hran a s otřepy, z důvodu porovnání kvality před technologií hrankování a po ní.



Obrázek 50: Viditelné otřepy na ostré hraně po vyrobení nástroje



Obrázek 51: Porovnání CAM simulace a obroběného kusu se zařazením technologie hrankování

6 Technicko- ekonomické zhodnocení

Úkolem technicko- ekonomického zhodnocení je nalezení mezních počtů kusů výroby pro jednotlivé varianty hrankování, které jsou rozděleny do tří kategorií:

- Ruční hrankování
- Strojní hrankování pro malosériovou výrobu
- Strojní hrankování pro velkosériovou výrobu.

Dále je typ hrankování dán zákazníkem a jeho požadavky, bez ohledu na finanční nebo časovou náročnost výroby. V našem případě byl tento faktor zákazníka pro technicko- ekonomické zhodnocení opomenut a zaměření tak bylo na časovou náročnost výroby a déle pak na finanční náklady na jednotlivé varianty.

Nejdůležitějším faktorem pro volbu ručního a strojního hrankování hraje charakter výrobku. Může se jednat o tvarově jednoduchý nástroj, kde by ruční práce nezabrali vysoké nároky na výkon dělníka. Na druhé straně jsou velké několikazubé nástroje, které svou náročností podstatně zvyšují nároky na kvalifikovanost dělníka a to může mít i vliv na kvalitu sražení. V této práci se ale bude technicko- ekonomické zhodnocení týkat zadaných obrobků, konkrétně variantou A a variantou B.

6.1 Ruční hrankování

Při ručním sražení hran se na stanoviště zámečnick přepraví obrobky určené k hrankování. Zde na nich dělník zhotoví daná sražení s případnými malými nároky na přípravu. Výslednými náklady tak jsou:

- Hodinová mzda dělníka: 150 Kč/hod
- Časová náročnost pro ruční sražení varianty A: 15 min
- Časová náročnost pro ruční sražení varianty B: 15 min
- $FN_R = 0$ Kč
- $PVN_R = (150/60) \times 15 = 37,5$ Kč/kus

6.2 Strojní hrankování pro malosériovou výrobu (varianta B)

Při strojním hrankování se uvažuje čas CAM programátora strávený naprogramováním daného programu. Jelikož se hrankování provádí na stejném stroji, jako vyrobení obrobku, uvažuje se sloučení těchto prací do jedné. Časové nároky na vytvoření CAM programu jsou tak sraženy na minimum. Dále je uvažována strojní hodinová sazba daného stroje a hodinová mzda obsluhy stroje. Jelikož počet nástrojů pro hrankování se pohybuje mezi jedním nebo dvěma kusy, příprava nástroje pro danou technologii je tak započtena pro samotnou výrobu obrobku a není tak do tohoto hodnocení započtena.

- Hodinová mzda CAM programátora: 250 Kč/hod
- Časová náročnost pro CAM variantu B: 15 min
- Hodinová mzda obsluhy stroje: 200 Kč/hod
- Časová náročnost pro strojní sražení varianty B: 7 min
- Strojní hodinová sazba stroje: 1500 Kč/hod

- $FN_B = (250/60) \times 15 = 62,5$ Kč
- $PVN_B = (200/60) \times 7 + (1500/60) \times 7 = 23,3 + 175 = 198,3$ Kč

6.3 Strojní hrankování pro velkosériovou výrobu (varianta A)

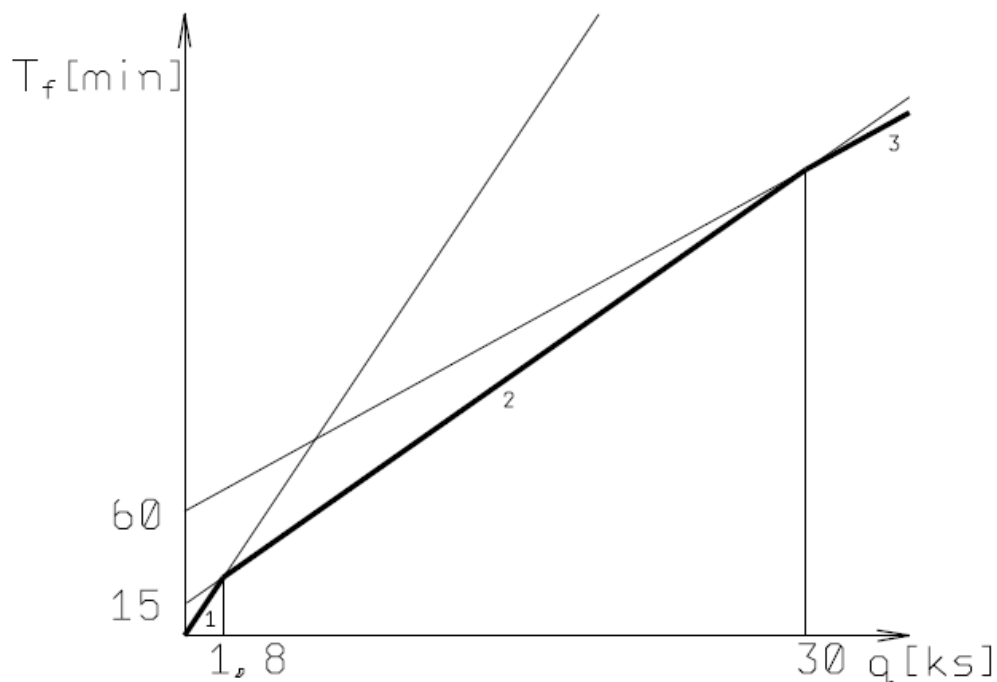
Velkosériová výroba se oproti malosériové liší podstatně větší časovou náročností pro CAM programátora. Déle je použito širší spektrum nástrojů. OD toho se odvíjejí dané časové nároky a náklady.

- Hodinová mzda CAM programátora: 250 Kč/hod
- Časová náročnost pro CAM variantu A: 1 hod
- Hodinová mzda obsluhy stroje: 200 Kč/hod
- Časová náročnost pro strojní sražení varianty A: 5,5 min
- Strojní hodinová sazba stroje: 1500 Kč/hod
- $FN_A = 250$ Kč
- $PVN_A = (200/60) \times 5,5 + (1500/60) \times 5,5 = 18,33 + 137,5 = 155,8$ Kč

6.4 Časová náročnost

V této kategorii je srovnána časová náročnost pro jednotlivé varianty, kde výstupem je nalezení mezních počtu kusů, od kterých je výhodnější zase další varianta. Byly tak nalezeny body zvratu mezi závislostí počtu kusů a doby výroby.

$TF_R = 0$ min	$TV_R = 15$ min
$TF_B = 15$ min	$TV_B = 7$ min
$TF_A = 60$ min	$TV_A = 5,5$ min



Obrázek 52: Body zvratu pro časovou náročnost vybraných variant

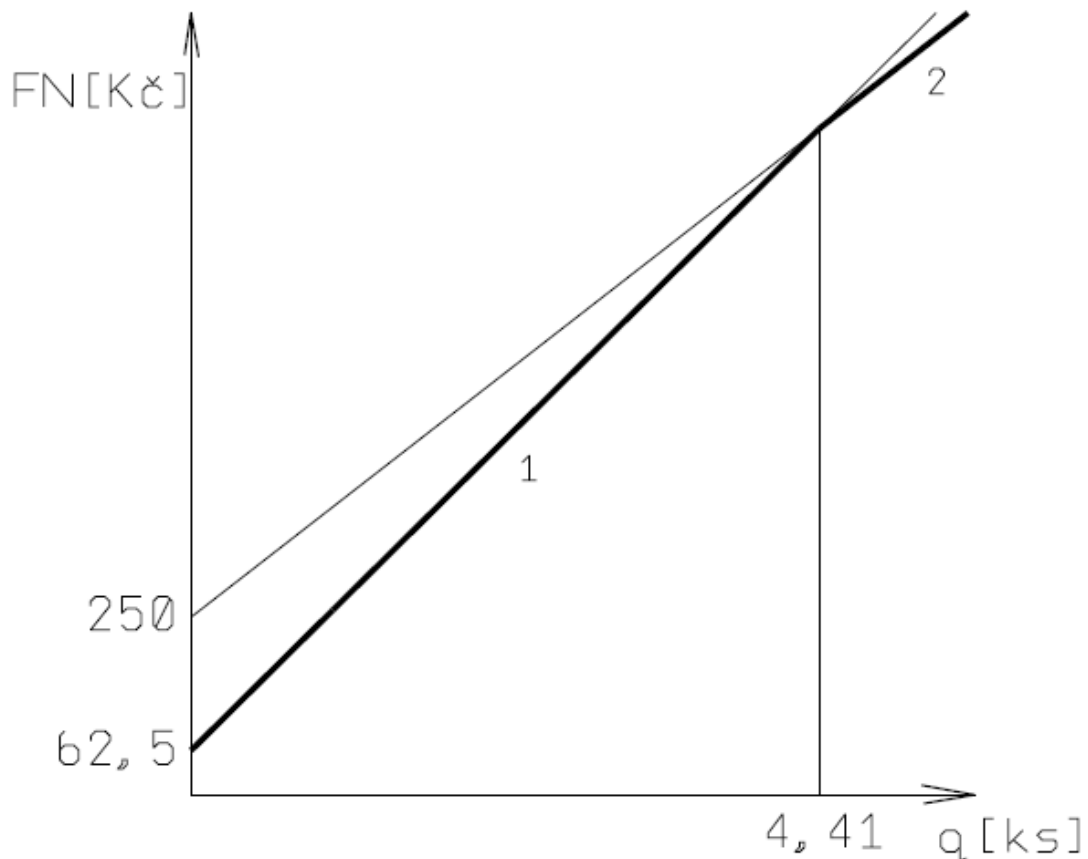
Z hlediska časové náročnosti podle grafu je zřejmé, že strojní hrankování pro malosériovou výrobu se vyplatí již od dvou kusů. Dále pak stojí hrankování pro velkosériovou výrobu od 30 kusů a více.

6.5 Finanční náročnost

Jelikož strojní varianty mají průměrné variabilní náklady vždy větší než jak je tomu u ručního hrankování, toto srovnání se bude týkat pouze porovnání malosériové a velkosériové výroby. Nejlevnější by v tomto ohledy bylo vždy ruční hrankování, dokážeme si však stěží představit, že by dělník zhotovil na sto kusech stejná sražení co se velikostí a kvalitou týče.

$$FN_A = 250 \text{ Kč}$$
$$FN_B = 62,5 \text{ Kč}$$

$$PVN_A = 155,8 \text{ Kč}$$
$$PVN_B = 198,3 \text{ Kč}$$



Obrázek 53: Bod zvratu pro malosériovou a velkosériovou výrobu

Z bodu zvratu nám tedy vychází, že náklady na složitější naprogramování si zaplatí již při pátém kusu. Rozdíl tedy mezi malosériovou výrobou a většími sériemi tak je podstatně malý co se týče ceny a vyplatí se tak řádné propracování CAM programu již od poměrně malého počtu výrobků.

7 Závěr

Hlavní náplní této diplomové práce byla volba technologie hrankování na VBD nástrojích a následné praktické odzkoušení ve výrobě. Technologie hrankování byla doposud ve firmě vnímána jako druhořadá operace potřebná k finálnímu opracování VBD nástrojů a řešena byla výhradně ručně a to jak pro kusovou výrobu speciálních nástrojů, tak pro sériovou výrobu klasických nástrojů. V této diplomové práci je tak kladen důraz na zařazení strojního hrankování pomocí CAM systému Catia V5 a sjednocení tak této operace se samotnou výrobou nástroje. Po vyjmutí z obráběcího centra je hotový VBD nástroj připraven k používání, popřípadě k finálnímu povrchovému černění.

Před samotným vytvořením CAM programů na zadaných nástrojích byla provedena obecná rešerše technologie hrankování v praxi. Dále došlo k vymezení dostupných firemních technologií s přihlédnutím na jejich účel použití a vhodnost při aplikaci na výrobu VBD nástrojů. Bylo vybráno přesné strojní hrankování, které tak zajistilo maximální zvýšení kvality finálního výrobku.

Samotné obrobení bylo realizováno jak za pomoci klasických nástrojů, tak pomocí speciálních nástrojů-technických fréz, které se doposud používaly pouze pro ruční práce. Bylo tak úspěšně experimentálně zjištěno na zkušební kostičce jejich možné využití na 5ti-osém obráběcím centru. Zároveň bylo nutné vyřešit problém s tvarovou náročností technických fréz, došlo tak k nahrazením vhodnou reprezentací nástroje v CAM modulu Catia V5 pro simulaci obrábění. Technické frézy je tak možno použít i pro jiné druhy strojní výroby vyjma hrankování.



Obrázek 54: Nástroj po strojním hrankování

Pro operaci hrankování byly analyzovány možnosti CAM systému a vhodnost jednotlivých funkcí, popřípadě nástrojů. Následně byly vytvořeny programy hrankování pro dva nástroje, jeden charakterizující typický nástroj pro sériovou výrobu a druhý pro speciální kusovou výrobu. Každý z nich byl řešen zcela odlišně a tomu odpovídala i jejich časová náročnost pro CAM programátora. Následovalo vyrobení sériového nástroje i s technologií hrankování na stroji Hermle C20U s řídicím systémem Haidenhain za pomoci programů vytvořených v CAM systému Catia V5 a následným vygenerováním NC kódu přes firemní postprocesory pro pětiosé obrábění.

V technicko-ekonomickém hodnocení byly stanoveny mezní počty kusů, kterými lze docílit sražení hran na VBD nástrojích v co možná nejkratším čase ať už ručně, nebo strojně. Dále je nalezen bod zvratu mezi kusovou a sériovou výrobou, tedy počet kusů, kdy se vyplatí věnovat větší úsilí na vytvoření náročného CAM programu pro hrankování na VBD nástrojích.

Diplomová práce slouží jako doporučený metodický postup pro problematiku srážení hran na nástrojích, jejichž výrobou se firma Hofmeister s.r.o. zabývá.

LITERATURA

- [1] ŠTULPA, Miloslav. 2015. *CNC: programování obráběcích strojů. 1. vyd.* Praha: Grada, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [2] MÁDL, Jan. 2000. *Technologie obrábění: 1. díl.* Praha: ČVUT, 79 s. ISBN 80-010-2091-6. Skriptum. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [3] VRABEC, Martin. 2012. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením. 1. vyd.* V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 109 s. ISBN 978-80-7414-499-8.
- [4] ŠTULPA, Miloslav. 2006. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd.* Praha: BEN - technická literatura, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- [5] VRABEC, Martin a Jan MÁDL. 2004. *NC programování v obrábění. Vyd. 1.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 92 s. ISBN 80-010-3045-8.
- [6] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 58 s. ISBN 80-704-3363-9.
- [7] Catia V5 nápověda
- [8] Ing. RUDOLF MORÁVEK, *Nekonvenční metody obrábění*, ZČU Plzeň, Fakulta Strojní, Katedra technologie obrábění, 1994
- [9] PIVOŇKA, Jiří. *Konstrukce čelní válcové frézy v CW Catia V5.* Plzeň 2014. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/14134/Pivonka_Jiri_BP.pdf?sequence=1
- [10] SANDVIK. *Technická příručka.* Sandviken, Švédsko : AB Sandvik Coromant, 2010. str. 793.
- [11] GARANT, příručka obrábění
- [12] SANDVIK. *Příručka obrábění.* Praha : Scientia spol s.r.o., 1997. str. 908. ISBN 91-9722 99-4-6.
- [13] *Technické tvrdokovové frézy/* 17.05.2016 v rubrice Katalogy/ Technické tvrdokovové frézy : MM spektrum, 2006. Dostupné z: <http://katalogy.abrasiv.cz/technicke-tvrdokovove-frezy>
- [14] prof. Ing. MIROSLAV PIŠKA, CSc. A kolektiv. *Speciální technologie obrábění*, 2009, vysoké učení technické v brne, fakulta strojního inženýrství-pro moderní technologie obrabeni
- [15] *Programování NC strojů v systému CATIA V5./* 05.08.2001 v rubrice Trendy/ Obrábění : MM spektrum, 2006. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/programovani-nc-stroju-v-systemu-catia-v5.html>
- [16] *O nás/*17.04.2016 v rubrice O nás/ Kdo jsme. Dostupné z: <http://www.hofmeister.cz/onas/kdo-jsme>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Sídlo firmy Hofmeister s.r.o</i>	12
<i>Obrázek 2: Ostré hrany a otřepy na nástroji po jeho obrobení</i>	13
<i>Obrázek 3: Příklad ručního srážení hran</i>	14
<i>Obrázek 4: Nástroje pro ruční srážení hran</i>	15
<i>Obrázek 5: Pneumatická pohon od firmy PFERD</i>	15
<i>Obrázek 6: Brusný papír</i>	16
<i>Obrázek 7: Brusné tělísko s pneumatickým pohonem</i>	16
<i>Obrázek 8: Frézování v CAM systému Catia</i>	17
<i>Obrázek 9: Omílací stroj</i>	18
<i>Obrázek 10: Pískovací kabina</i>	19
<i>Obrázek 11: Schéma elektrochemického odstraňování Otřepů</i>	20
<i>Obrázek 12: Ukázka sousledného a nesousledného frézování</i>	23
<i>Obrázek 13: čelní válcová fréza</i>	24
<i>Obrázek 14: Nastavení kulové frézy</i>	24
<i>Obrázek 15: Řezný průměr kulové frézy</i>	24
<i>Obrázek 16: Hrankovač</i>	25
<i>Obrázek 17: Tvary technických fréz</i>	26
<i>Obrázek 18: Nástroj varianty A pro hrankování</i>	29
<i>Obrázek 19: Nástroj Varianty B pro hrankování</i>	29
<i>Obrázek 23: Zkušební kostička z oceli</i>	35
<i>Obrázek 24: Upnutá zkušební kostička ve svěráku stroje Hermle C20U</i>	36
<i>Obrázek 25: Testovaná technická fréza od firmy PFERD</i>	36
<i>Obrázek 26: Obrobené hrany na zkušební kostičce pomocí technické frézy</i>	38
<i>Obrázek 27: Skica technické frézy pro reprezentaci nástroje</i>	39
<i>Obrázek 28: Přřazení nové reprezentace technické frézy</i>	40
<i>Obrázek 29: Simulace pomocí přřazené reprezentace</i>	40
<i>Obrázek 30: Definice nástroje</i>	41
<i>Obrázek 31: Volba geometrie pro funkci Multi axis curve machining</i>	42
<i>Obrázek 32: Machining- důležité parametry</i>	44
<i>Obrázek 33: Radial- volba počtu kroků</i>	44

<i>Obrázek 34: Fixed Axis- pro tříosé obrábění</i>	45
<i>Obrázek 35: Interpolace pro plynulé 5ti-osé obrábění</i>	45
<i>Obrázek 36: Volba geometrie- výběr hran</i>	46
<i>Obrázek 37: Ukázka řezných podmínek pro technickou frézu</i>	47
<i>Obrázek 38: Nastavení nájezdů a odjezdů pro technickou frézu</i>	48
<i>Obrázek 39: Nastavení stroje a postprocesoru</i>	49
<i>Obrázek 40: Definice obrobku, polotovaru a upínacích prvků</i>	50
<i>Obrázek 41: Model A po vytvoření pomocných geometrií</i>	51
<i>Obrázek 42: Plynulá proměnlivá hrana</i>	52
<i>Obrázek 43: Plynulá hrana 90°</i>	53
<i>Obrázek 44: Tvarově proměnlivá hrana</i>	53
<i>Obrázek 45: Hrana pod VBD</i>	54
<i>Obrázek 46: Díra při obrábění hrankovačem</i>	54
<i>Obrázek 47: Ukázka transformace vybraných operací</i>	55
<i>Obrázek 48: Vybraná křivka podél nástroje</i>	56
<i>Obrázek 49: Díra na obvodu nástroje</i>	57
<i>Obrázek 50: Varianta B po simulaci</i>	57
<i>Obrázek 51: Seznam nástrojů s upínači pro obsluhu stroje</i>	58
<i>Obrázek 52: Upnutý polotovar ve stroji</i>	58
<i>Obrázek 53: Viditelné otřepy na ostré hraně po vyrobení nástroje</i>	59
<i>Obrázek 54: Porovnání CAM simulace a obrobeného kusu se zařazením technologie hrankování</i>	59
<i>Obrázek 55: Body zvratu pro časovou náročnost vybraných variant</i>	61
<i>Obrázek 56: Bod zvratu pro malosériovou a velkosériovou výrobu</i>	62
<i>Obrázek 57: Nástroj po strojním hrankování</i>	63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Parametry stroje hermle C20U

Příloha 2

Nulový bod obrobku Varianty A

Příloha 3

Program pro odjehlení variant A

Příloha 4

Tool list pro technickou frézu

Příloha 5

CD s elektronickou formou veškerých dat

Příloha 1: Parametry stroje Hermle C20U

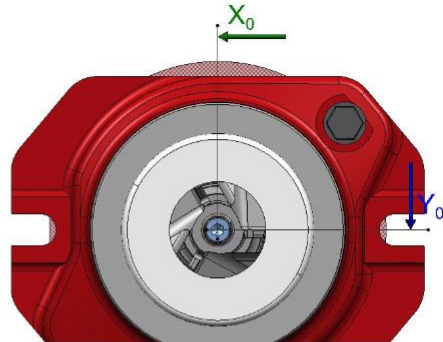
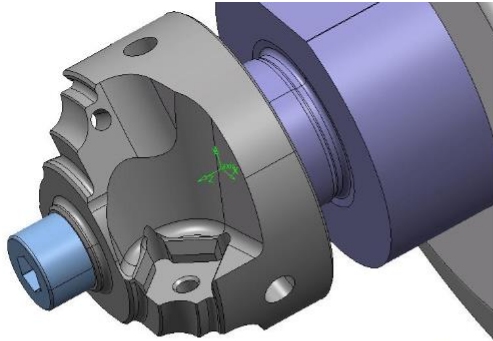
Frézovací centrum Hermle C20U

Základní technické parametry stroje:

Typ:	Hermle C20U
Počet CNC řízených os:	5
Jmenovitý výkon vřetena:	32 kW
Max. otáčky vřetena:	18 000 min ⁻¹
Změna otáček:	plynulá
Zdvih v ose X, Y, Z:	600, 450, 450 mm
Osa IV:	200°
Osa V:	360°
Rozměry upínacího stolu:	650x370 mm
Rychloposuvy X, Y, Z:	45 m.min ⁻¹
Řídicí systém:	Heidenhein iTNC 530



Příloha 2: Nulový bod obrobku varianty A



Vykres: H00612-02 - těleso

Program: 588-02

Datum: 11.3.2016

Polotovár: H00612-03

Stroj: Hermle 20 (Hermle 40)

Upnutí: Do přípravku se závitem M14

Nulový bod: Na rovním cele přípravku cca 35mm nad klestinou

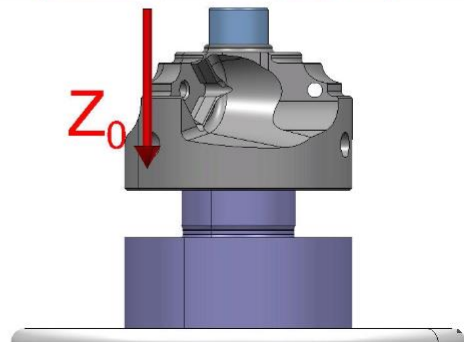
X - v ose obrobku

Y - v ose obrobku

Z - na rovním cele přípravku

Nastroje c.5 a c.11 CeVa D4x8x3z odlehčit za břitem 13mm od cela frezy

5-os plynule: ne; naklopení > 100°: ne



Příloha 3: Program pro odjehlení Varianty A

H00612-02_Odjehlení

[612-02 Odjehlení 12](#)
Type : Tool Change



Assembly : [TEP-Schunk_D27/8_L131_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [CeKu_D4x8x2z_HM / Ru_022832](#) (End Mill)

[Multi-Axis Curve Machining 4](#)
Type : Multi-Axis Curve Machining



Assembly : [TEP-Schunk_D27/8_L131_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [CeKu_D4x8x2z_HM / Ru_022832](#) (End Mill)

[Multi-Axis Curve Machining 5](#)
Type : Multi-Axis Curve Machining



Assembly : [TEP-Schunk_D27/8_L131_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [CeKu_D4x8x2z_HM / Ru_022832](#) (End Mill)

[Copy-Transformation 20](#)
Type : Copy-Transformation



Assembly : [TEP-Schunk_D27/8_L131_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [CeKu_D4x8x2z_HM / Ru_022832](#) (End Mill)

[612-02 Odjehlení 13](#)
Type : Tool Change



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [Vzor tech. frezy](#) (Conical Mill)

[Multi-Axis Curve Machining 6](#)
Type : Multi-Axis Curve Machining



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [Vzor tech. frezy](#) (Conical Mill)

[Multi-Axis Curve Machining 7](#)
Type : Multi-Axis Curve Machining



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [Vzor tech. frezy](#) (Conical Mill)

[Copy-Transformation 21](#)
Type : Copy-Transformation



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení](#) (Milling Assembly)
Tool : [Vzor tech. frezy](#) (Conical Mill)

[612-02 Odjehlení 14](#)
Type : Tool Change



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_7_1](#) (Milling Assembly)
Tool : [Hrankovac_D6x90st](#) (Conical Mill)

[Multi-Axis Curve Machining 10](#)
Type : Multi-Axis Curve Machining



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_7_1](#) (Milling Assembly)
Tool : [Hrankovac_D6x90st](#) (Conical Mill)

[Copy-Transformation 22](#)
Type : Copy-Transformation



Assembly : [KLES-MCT_D28/ER16_L106_7_1](#) (Milling Assembly)
Tool : [Hrankovac_D6x90st](#) (Conical Mill)

Program cutting time : 14"
Program total time : 20"

Příloha 4: Tool list pro technickou frézu

Assembly 13 : KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení

Tool : Vzor tech. frézy

Name	KLES-MCT_D28/ER16_L106_Odjehlení
Source identifier	KLES-MCT_D28/ER16_L106_7
Repository source	ZCU-vyuka
Tool number	13
Tool holder stages	5
Length Holder 1	0mm
Length Holder 2	0mm
Length Holder 3	13,5mm
Diameter 1	3mm
Diameter 2	28mm
Diameter 3	63mm
Diameter 4	69,3mm
Diameter 5	76,23mm
Diameter 6	83,853mm
Orientation	0deg
Cone Diameter 1	0mm
Cone Diameter 3	0mm
Cone Diameter 4	0mm
Cone Diameter 5	0mm
Set X	0mm
Set Y	0mm
Set Z	0mm
Total set length	131mm
Turret Number	1
Power	Powered
Number of components	3
Gage 1	25mm
Gage 2	79mm

