

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL PŘI OBRÁBĚNÍ

APPLICATION OF CAD/CAM SOFTWARE POWERMILL WHEN MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN SVOBODA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.d.

BRNO 2009

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a rozbor technologie frézování 3D součásti s podporou CAD/CAM systému PowerMILL. V rámci volby technologie frézování jsou charakterizovány použité obráběcí strategie a kvantifikovány rozdílné možnosti jejich použití.

Klíčová slova

CAD/CAM, PowerMILL, 3D frézování, NC program

ABSTRACT

Bachelor's thesis is devoted on the suggest and analysis technology milling three axis part with support of CAD/CAM PowerMill system. In terms of selection technology milling are characterized used machining strategy and quantified different possibilities their using.

Key words

CAD/CAM, PowerMILL, three axis milling, NC program

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, J. *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při obrábění..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 38 s., 2.přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL při obrábění* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

20.5.2009

.....
Jan Svoboda

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

	Str.
Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 CAD/CAM systémy	9
1.1 CAD/CAM systémy obecně	9
1.2 Dělení CAD/CAM systémů	10
1.3 Charakteristika programu PowerMill.....	11
2 Charakteristika obráběné součásti.....	12
2.1 Charakteristika materiálu součásti.....	13
2.2 Postupové lisovací nástroje.....	13
3 Zhodnocení výrobních možností	15
3.1 Softwarové vybavení.....	15
3.2 Strojní vybavení	15
4 Příprava 3D modelu před obráběním.....	17
4.1 Import modelu.....	17
4.2 Nastavení modelu v pracovním prostoru	17
5 Volba technologie obrábění v PowerMILLu	19
5.1 Volba hrubovací strategie.....	19
5.1.1 Hrubování offsetem.....	22
5.1.2 Hrubování rastrem	23
5.1.3 Zhodnocení volby hrubovací strategie	24
5.1.4 Volba nástrojů a řezných podmínek.....	25
5.2 Volba strategie pro dokončení povrchu	27
5.2.1 Volba nástrojů a řezných podmínek.....	29
6 Optimalizace řezného procesu s využitím CAD/CAM systému	30
6.1 Porovnání efektivní řezné rychlosti s nakloněným nástrojem	32
6.2 Frézování s nakloněným nástrojem v softwaru PowerMILL	33
Závěr.....	34
Seznam použité literatury	35
Seznam použitých zkratk	36
Seznam příloh.....	37

ÚVOD

Současný trend ve strojírenské výrobě je symbolizován zvyšováním efektivity výroby a snižování výrobních nákladů. Z této snahy plyne čím dál častější začlenění moderních CAD/CAM systémů do strojírenských provozů.

Jedná se o způsob přípravy NC programů používaný od padesátých let. Ruční programování je obtížné, zdouhavé a pravděpodobnost výskytu chyby způsobené lidským faktorem je velká. Moderní CAM systémy umožňují podstatně rychlejší a výrazně jednodušší přípravu NC programů. Snaha o aplikaci výpočetní techniky pro přípravu řídicích programů souvisí s využitím NC obráběcích strojů k obrábění složitých rovinných tvarů a zvláště pak ploch prostorových. Ruční výpočty drah nástrojů jsou v těchto případech velmi zdouhavé, jsou zdrojem chyb a často nejsou v závislosti na čase a složitosti ploch reálné. CAD/CAM systémy v sobě skýtají integrované řešení a těsnější provázanost konstrukční a technologické činnosti.(2)

1 CAD/CAM SYSTÉMY

1.1 CAD/CAM systémy obecně

CAD/CAM – je počítačem podporovaný systém s integrovanou podporou konstrukce a zároveň i výroby součásti. Systémy CAD/CAM integrují modelování součásti a jeho konstrukční návrh, návrh technologické dokumentace ve formě NC programů do jednoho počítačového systému. Bez jejich nasazení je v mnohých případech výroba, především tvarových ploch, velmi složitou a časově náročnou činností. (2)

CAD - *Computer Aided Design* - Počítačem podporovaný konstrukce součásti, ale i matematické modelování součástí a jejich vlastností. CAD softwary se rozdělují do několika skupin, přičemž hlavním aspektem je zde složitost návrhu dané součásti. Výkonné CAD softwary určené pro práci v 3D prostoru jsou ve většině případů již součástí komplexních CAD/CAM systémů. (2)

CAM - *Computer Aided Manufacturing* – CAM jako systém představuje software související s tvorbou řídicích programů pro CNC stroje. Tyto systémy využívají především geometrické a další data, které byli získány v etapě počítačového návrhu součásti prostřednictvím CAD systému.

Produktem softwarové části CAM jsou CL data (*Cutter Location Data*) tj. program pro řízení „ideálního“ NC stroje. Tato data je třeba přizpůsobit technickým možnostem a formálnímu tvaru zadávaného programu pro konkrétní dvojici stroj a řídicí systém. To je hlavní úkol pro postprocesor, tj.

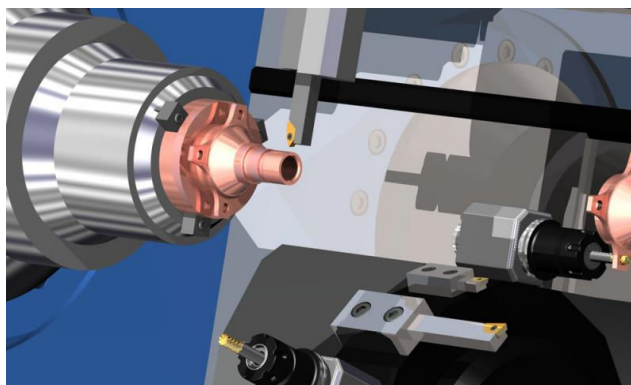
zabezpečují překlad geometrických dat definujících dráhy nástrojů do formy akceptovatelné řídicímu systému příslušného výrobního stroje – NC obráběcího stroje.

Podstatná charakteristika pro CAD/CAM systémy v oblasti obrábění je, že dokážou generovat NC programy přímo z modelu součásti z jednoho integrovaného prostředí.(2,3)

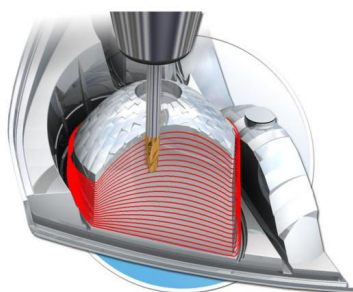
1.2. Dělení CAD/CAM systémů

V současné době je na trhu široké spektrum CAD/CAM řešení. Pro koncového uživatele je pozice při výběru toho správného CAM řešení nesnadná. V samotném rozdělení těchto řešení je velmi důležité pro jaký typ výroby a stroje chceme CAD/CAM využívat. Ve většině případů je CAD/CAM software řešen modulárně např. modul 2D frézování, 2,5D frézování, obrábění na vícekanálových strojích (Obr. 1), 3D frézování (Obr. 2), 5ti-osé frézování, modul pro elektroerozivní obrábění. Všeobecně lze CAM řešení rozdělit do dvou skupin s ohledem na jejich modulovou stavbu a využití:

- Produkční CAD/CAM řešení
- Specializovaná integrovaná CAD/CAM řešení (4)



Obr. 1 Obrábění na vícekanálových strojích



Obr. 2 3D plošné frézování

1.3. Charakteristika programu PowerMILL

CAD/CAM software PowerMill se řadí do skupiny CAD/CAM systémů zabývajících se problematikou frézování ve 3 až 5-ti osách. Při jeho postupném vývoji došlo ke vzniku dalších doplňkových modulů, jako je modul 2.5D frézování, modul pro automatizovanou výrobu elektrod nebo modul pro obrábění lopatek a kanálků.

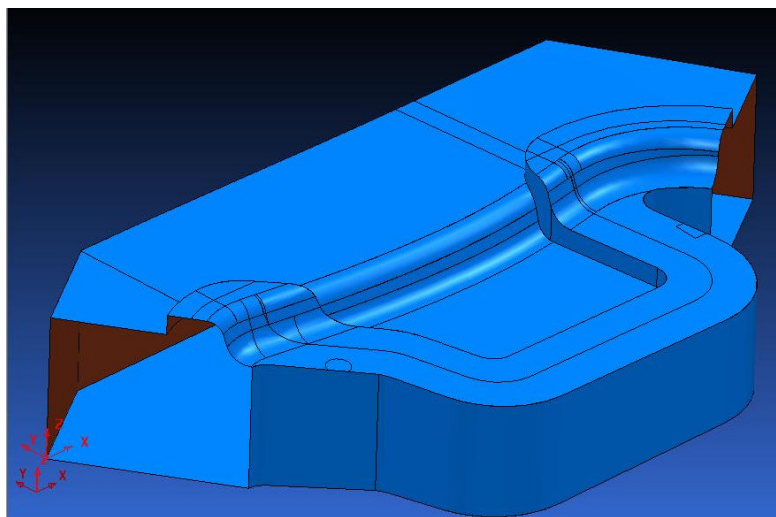
Je obzvláště vhodný pro obrábění částí forem a komponentů do automobilového a leteckého průmyslu. Při jeho stručné charakteristice je třeba zmínit především že:

- Obsahuje více než **30 obráběcích technologií**
 - **Velmi silnou editaci dráhy nástroje** včetně editace všech nájezdů a výjezdů dráhy nástroje. Při úpravách nedochází k opětovnému přepočtu celé dráhy, ale pouze k aktualizaci změněných nájezdů.
 - **Díky 5osému souvislé frézování** může měnit úhel naklopení osy nástroje během pracovního posuvu
 - **Raceline obrábění** - funkce pro efektivní hrubování. Hrubovací řezy jsou progresivně vyhlazovány, během řezu nástroje.
 - **Trochoidní obrábění** - při generování dráhy zamezuje obrábění plným průměrem nástroje přidáním kruhových pohybů do míst, kde by hrozilo poškození nástroje (rohy, drážky).
 - Modul pro automatizované obrábění lopatek a celých oběžných kol.
- (5)

2 CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

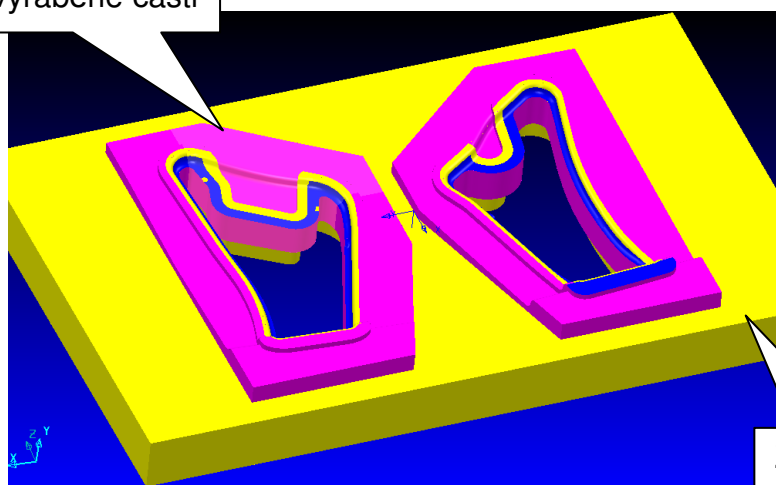
Pro ukázkou aplikace CAD/CAM softwaru PowerMill v mé bakalářské práci, jsem využil spolupráce s Libereckou firmou HMB, která se už 15 let specializuje na výrobky pro automobilový průmysl. V její celkové produkci je nejvíce zastoupena výroba lisovacích nástrojů např. střížné nástroje, postupové nástroje, transferové nástroje.

Pro samotnou aplikaci softwaru jsem zvolil část postupového lisovacího nástroje (Obr. 3). Tato část tvoří jednu pozici celkového tvaru (Obr. 4), který je součástí jednoho z kroků na postupovém nástroji.



Obr. 3 Obráběná součást

Pozice vyráběné části



Obr. 4 Celkový tvar

Celkový tvar lisovacího nástroje je rozdělen do několika pozic. Jednotlivé pozice jsou hrubovány zvlášť. Pro dodržení geometrických návazností jsou po tepelném zpracování umístěny do základního rámu, kde se následně dokončují. Konečná kompletace lisovacího postupového nástroje je dokončena v zámečnických dílnách.

2.1 Charakteristika materiálu součástí

Pro tento typ lisovacích nástrojů je použita nízkolegovaná mangan-volframová ocel 19 312.4 s tvrdostí 60HRC. Ocel 19 312.4 je vhodná ke kalení v oleji, se střední prokalitelností, s velmi dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování, dobrou houževnatostí i odolností proti opotřebení. Je tvárná za tepla a dobře obrobitelná.

Používá se především ve výrobě nástrojů pro stříhání a tváření za studena, zejména tvarově složitých průstřížnic a průstřížníků. Dále ve výrobě malých forem pro tváření plastů a pryže.

2.2. Postupové lisovací nástroje

Automobilový průmysl patří mezi jedno z mála odvětví, které stále roste a neustále zvyšuje objem výroby. Což znamená, že je potřeba vyrábět velké množství dílů. Díly z plechů, jsou dnes vyráběny nejvíce z pozinkovaných plechů a tvoří velký balík zakázek, které jsou vyráběny pomocí lisovacích nástrojů. Jedná se o velké série dílů, pokud možno co nejlevnějších dílů. Snaha o výrobu co nejlevnějších dílů, však silně kontrastuje s cenou nástrojů potřebných k jejich výrobě. Proto jsou hledány nové možnosti jak snížit ceny vyráběných dílů, potažmo náklady na jejich výrobu. Současně je však požadována vyšší kvalita, přesnost vyráběných dílů a vyšší složitost dílů.

Postupové nástroje (Obr. 5) spočívají v tom, že při jednom pracovním kroku proběhne například 11 operací současně. (7)

V závislosti na složitosti tvarů karoserií automobilů a jejich částí, je třeba do technologie výroby těchto dílů zapojit i moderní a efektivní softwarové nástroje, jako jsou CAD/CAM systémy.



Obr. 5 Kompletace Postupového nástroje

3 ZHODNOCENÍ VÝROBNÍCH MOŽNOSTÍ

Při tvorbě NC programu pro zadaný díl je nutné zjistit výrobní možnosti na místě, kde uvažujeme reálnou výrobu dané součásti. Základní body, které vstupují do přípravy NC programu jsou:

- Softwarové vybavení
- Strojní vybavení
- Nástrojové vybavení

3.1 Softwarové vybavení

Ve firmě HMB je v technologickém procesu realizován systém CAD – CAE – CAM.

CAD: Pro konstrukci modelů je využíváno CAD softwaru CATIA V4, V5.

CAE: Pro simulaci funkčnosti technologie tváření plechu software PAM – STAMP 2G. Pomocí tohoto systému lze realisticky nasimulovat funkčnost lisovacího nástroje ještě před jeho výrobou.

CAM: CAD/CAM software PowerMILL Pro 8.0 s modulem pro 3 - osé frézování a možností načítání formátů CATIA V4, V5, VDA, DWG, DXF, IGES.

3.2 Strojní vybavení

Pro výrobu lisovacího nástroje lze využít dvou variant strojů:

- 1) 3 - osé obráběcí centrum VMCF 1300 s parametry:

Rozměr stolu: 1500x660

Vysokotlaké chlazení: 20 bar.

Vysokootáčkové vřeteno 10 000 ot/min

Řídící systém: HEIDENHAIN i530TNC

2) Vertikální frézka FS 100 CNC s parametry:

Rozměr stolu: 2000x1000

Automaticko - polohovací hlava: náklon v ose C

Řídicí systém: SIEMENS 810D

Zhodnocení výběru stroje

3 - osé obráběcí centrum VMCF 1300

- + rozměry stolu zcela vyhovují rozměru základního rámu 1150x600
- + stroj je vybaven vysokotlakým chlazením, lze zvýšit efektivitu obrábění
- + pro řídicí systém stroje HEIDENHAIN i530TNC je k dispozici postprocesor

Vertikální frézka FS 100 CNC

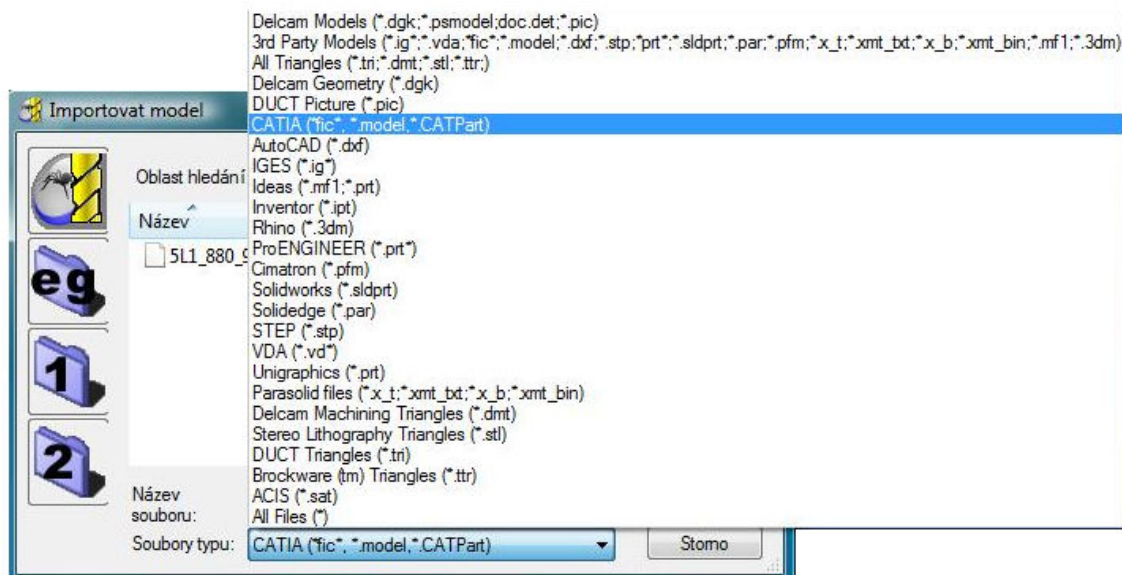
- + stroj je vybaven automaticko-polohovací hlavou s náklonem v ose C, lze zvýšit efektivitu obrábění pomocí frézování naklopeným nástrojem
 - pro řídicí systém stroje SIEMENS 810D není k dispozici postprocesor, pořízení a odladění daného postprocesoru by si vyžádalo finanční a časovou investici.

Z uvedeného hodnocení vyplívá vhodnost umístění výroby daného dílu na 3 - osé obráběcí centrum VMCF 1300.

4 PŘÍPRAVA 3D MODELU PŘED OBRÁBĚNÍM

4.1 Import modelu

Model součásti byl vytvořen v CAD prostředí CATIA, je tedy nutné provést přenos dat z formátu CATIA do formátu kompatibilního softwaru PowerMILL, tedy .DGK. Pro tuto operaci je k dispozici doprovodný program Exchange, který je schopen importovat daný formát a následně jej převést do formátu DGK. Program PowerMILL je schopen pracovat s velkým množstvím formátů (Obr. 6).



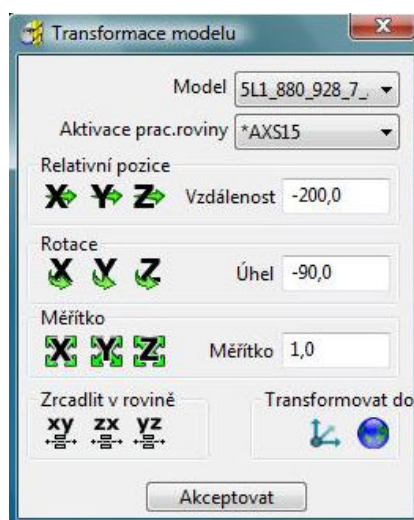
Obr. 6 Možnosti při načítání geometrie součásti

4.2 Nastavení modelu v pracovním prostoru

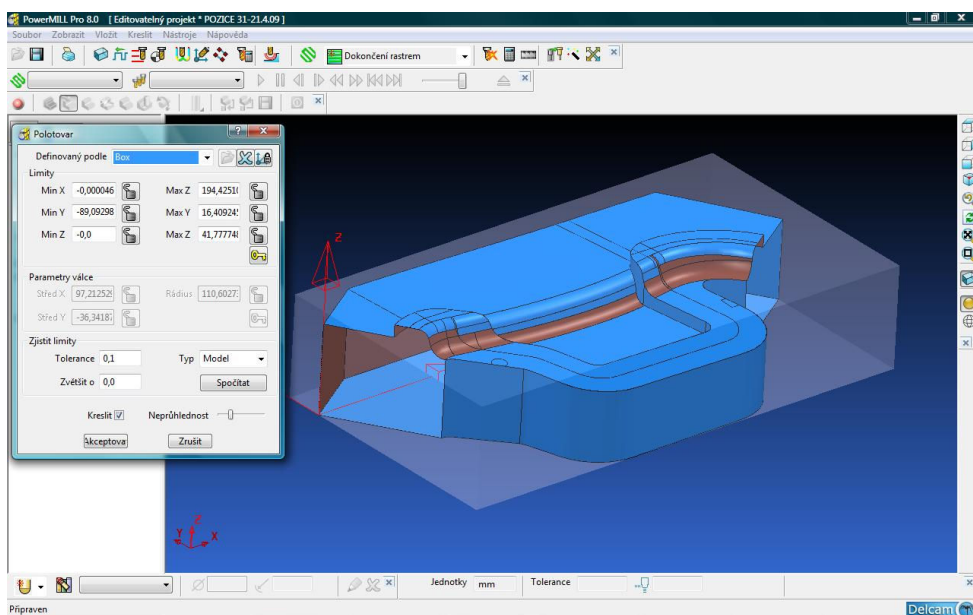
Po načtení modelu je nutné zpracovat načtenou geometrii a provést několik kroků k správnému nastavení modelu v pracovním prostoru, před tvorbou samotné technologie.

Transformace modelu

Změna orientace a polohy vůči souřadnému systému (Obr. 7)

Vytvoření pracovní roviny**Definice polotovaru součásti** (Obr. 8)**Definice oblasti přejezdů, nastavení bezpečné vzdálenosti**

Obr. 7 Možnosti transformace modelu

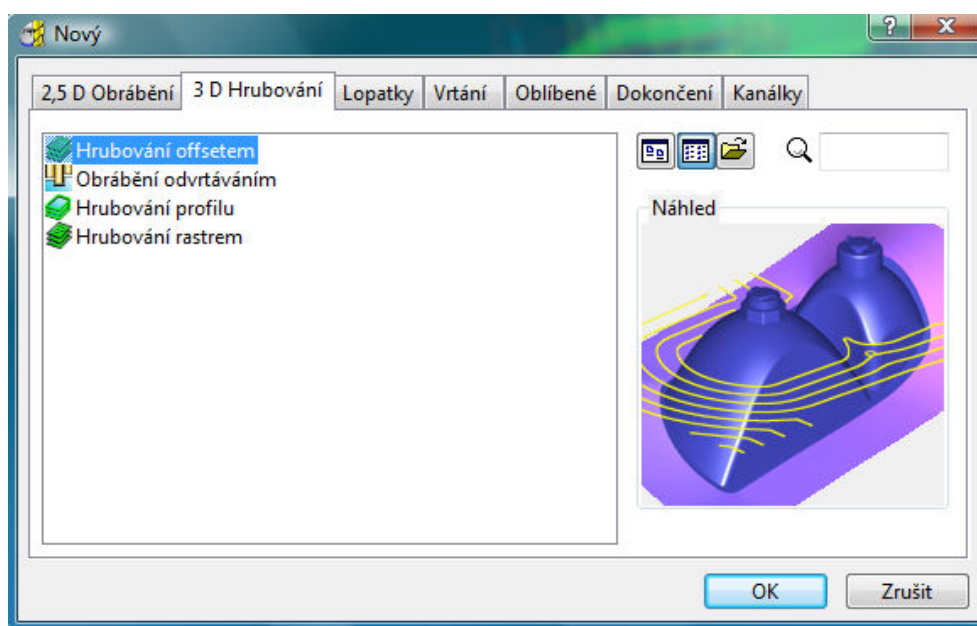


Obr.9 Definice polotovaru

5 VOLBA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V POWERMILLU

5.1 Volba hrubovací strategie

Základní princip hrubování je, odebrání co největšího množství materiálu v co nejkratším čase. V programu PowerMill Pro 8.0 jsou dostupné čtyři hrubovací strategie (Obr. 9), které lze použít. U každé z hrubovacích strategií je odlišný způsob automatického generování dráhy nástroje, což má výrazný vliv především na časový faktor obrábění. Hrubování je procedura mající vysoký vliv na efektivitu celkového obrábění.



Obr. 9 Dostupné hrubovací strategie v programu PowerMill Pro 8.0

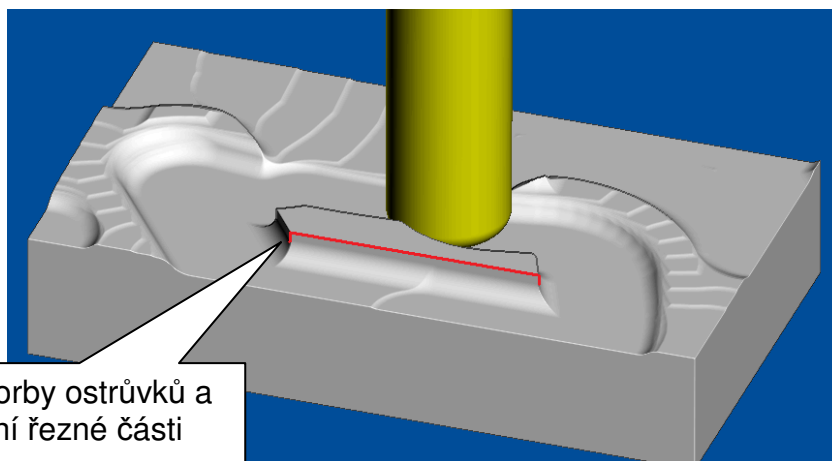
Strategie **Obrábění odvrtáním** je při odebrání přebytečného materiálu realizováno axiálním pohybem řezného nástroje. Z pohledu času programování se jedná o strategii náročnější, ale z pohledu obrábění dochází mnohdy k velké časové úspoře. (8)

Pro hrubování dané součásti není její použití optimálním řešením a to především s ohledem na tvarové přechody na obráběných plochách.

Strategie vyžaduje také speciální nástrojové vybavení, což by vyžadovalo finanční investici do nástrojového vybavení.

Strategie **Hrubování profilu** odebírá materiál pouze podél „svislých“ stěn modelu. Lze ji úspěšně aplikovat na celkové polo-dokončovací obrábění některých typů obrobků. (8)

Při aplikaci této strategie na danou součást dochází v první fázi k odebrání materiálu podél „svislých“ stěn a až následně k odebrání materiálu zbylého na jednotlivých plochách. To vede k tvorbě ostrůvků, které následně nástroj odebírá v celé jejich hloubce. Dochází tak k nerovnoměrnému zatížení nástroje a k možnému překročení řezné části břitu nástroje (Obr. 10).



Oblast tvorby ostrůvků a překročení řezné části břitu

Obr. 10 Simulace obrábění při aplikaci strategie *Hrubování profilu*

Při volbě správné hrubovací strategie pro danou součást je tedy vhodné uvažovat o aplikaci dvou zbývajících strategií a to:

Hrubování offsetem

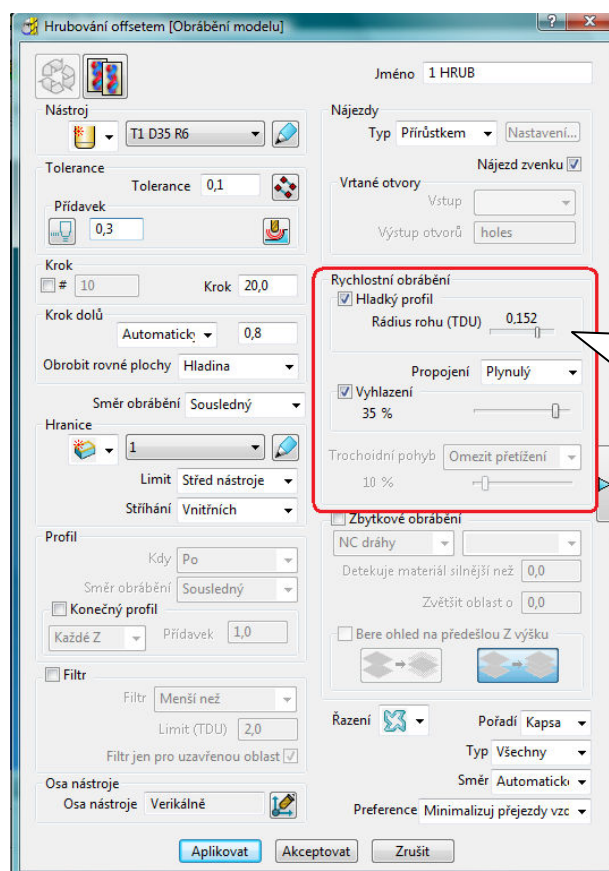
Hrubování rastrem

5.1.1 Hrubování offsetem

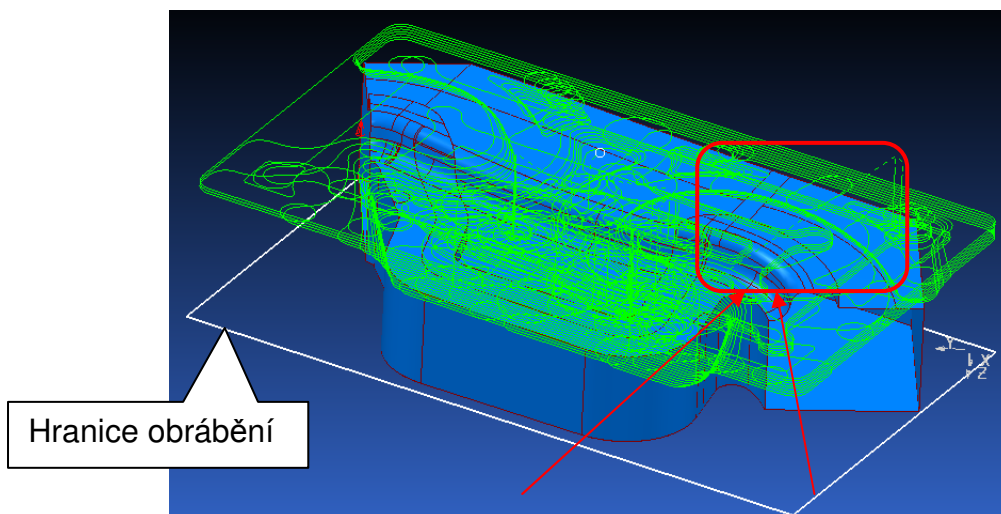
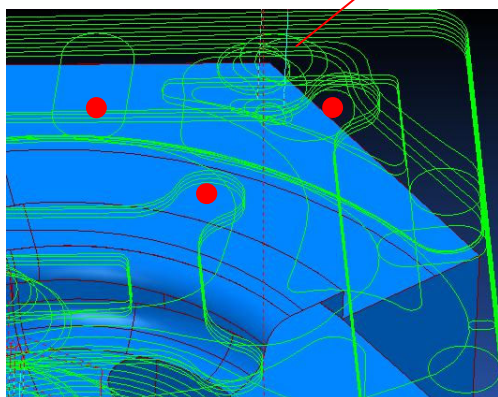
Popis strategie:

Tvorba drah nástroje s použitím této strategie je symbolizována snadným a rychlým programováním a možností optimalizace drah nástroje v rámci strategie. Při použití této strategie se nástroj pohybuje po vrstvách s dodržením konstantní hloubky záběru. Pomocí nastavení vyhlazení profilu a rádiusu rohu u přechodů mezi drahami (Obr. 12), v záložce *Rychlostní obrábění*, se lze vyhnout neefektivním přejezdům a trhavým pohybům nástroje při náhlé změně směru (Obr. 14, Obr. 15).

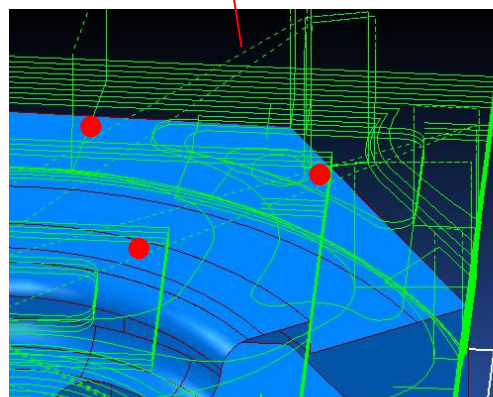
Vysoká efektivita obrábění při použití této strategie je dále zajištěna automatickým přepočtem hodnoty posuvu při obrábění. Při tvorbě hrubovací strategie je nutné vytvořit hranici obrábění vycházející z polotovaru součásti (Obr.13). Hranice obrábění zamezí vytvoření drah na již opracovaných plochách či nežádoucích místech součásti.



Obr.12 Nastavení strategie *Hrubování offsetem*

Obr.13 Vytvoření drah pomocí strategie *Hrubování offsetem*

Obr.14 Použití propojení a vyhlazení dráhy nástroje

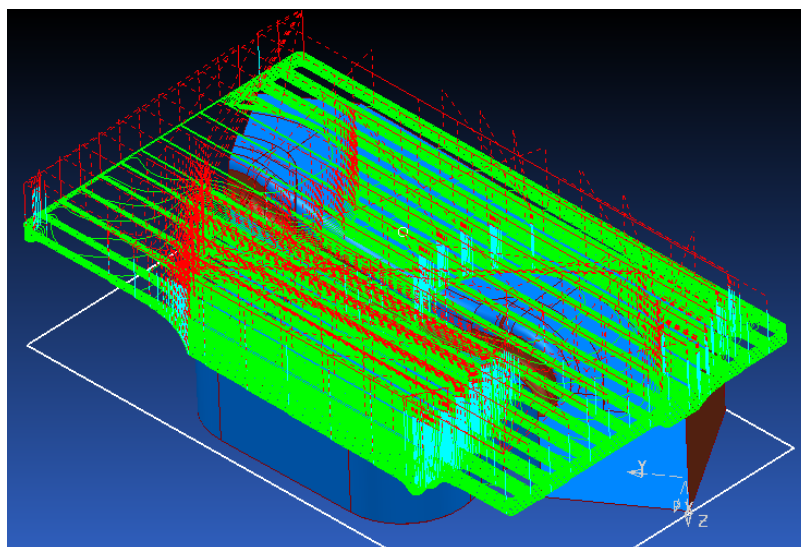


Obr.15 Dráhy s ostrými přechody

5.1.2 Hrubování rastrem

Popis strategie:

Z hlediska programování použití této strategie rychlé. Z hlediska obráběcího času, za použití totožných podmínek jako u strategie *Hrubování offsetem*, je mnohem náročnější. Důvodem je velké množství přejezdů a generování drah nástroje pomocí řádkování v určitém úhlu (Obr. 16).

Obr.16 Dráhy vygenerované pomocí strategie *Hrubování rastrem*

5.1.3 Zhodnocení volby hrubovací strategie

Při volbě hrubovací strategie je prioritou odebrat co nejvíce materiálu v co nejkratším čase. Pro hrubování dané součásti je vhodné využít *Hrubování offsetem* a to především s ohledem právě na výsledný obráběcí čas, který lze pomocí funkce *statistika drah* strategie, porovnat (Obr. 17, Obr. 18). Obráběcí čas při použití strategie hrubování rastrem je delší o 50min 56s, přičemž největší rozdíl je v položce *Nájezdů a přejezdů rychloposuvů*.

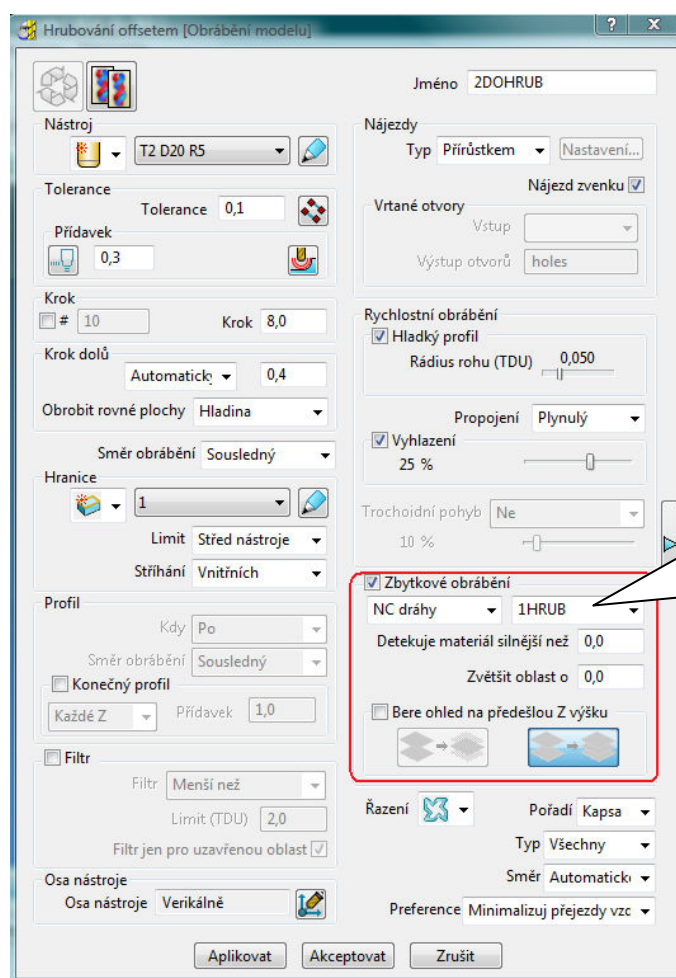
Statistika drah			
Nájezdy a přejezdy			
	Délka	Čas	
Rychloposuv	1049,36	0:00:20	
Přirůstkem	367,52	0:02:55	
Pod úhlem	0,00	0:00:00	
Další	0,00	0:00:00	
Celkový	1416,88	0:03:15	
Pohyby nástroje			
	Délka	Čas	
Lineární	13756,82	0:10:55	
Oblouky	7374,72	0:05:51	
Celkový	21131,54	0:16:46	
Celkový	22548,41	0:20:02	
		Zdvihy	21

Obr. 17 Statistika drah při použití strategie *Hrubování offsetem*

Statistika drah			
Nájezdy a přejezdy			
	Délka	Čas	
Rychloposuv	70208,64	0:23:24	
Přirůstkem	8644,68	0:08:38	
Pod úhlem	0,00	0:00:00	
Další	0,00	0:00:00	
Celkový	78853,32	0:32:02	
Pohyby nástroje			
	Délka	Čas	
Lineární	76772,59	0:38:23	
Oblouky	1081,85	0:00:32	
Celkový	77854,45	0:38:55	
Celkový	156707,77	1:10:58	
		Zdvihy	543

Obr. 18 Statistika drah při použití strategie *Hrubování rastrem*

Hrubovací proces je s ohledem na množství odebíraného materiálu rozdělen do dvou částí, přičemž v obou částech je použita strategie *Hrubování offsetem*. V první části je použita čelní válcová fréza s kruhovými břity o průměru $D = 32\text{mm}$. Druhá část hrubování je realizována pomocí detekce zbytkového materiálu s předcházející části hrubování (Obr. 19). Pro druhou část hrubování je použita čelní válcová fréza s kruhovými břity o průměru $D = 20\text{mm}$. Pro dokončení povrchu je ponechán na obrobených plochách přídavek $0,3\text{ mm}$.



Obr. 19 Nastavení detekce zbytkového materiálu

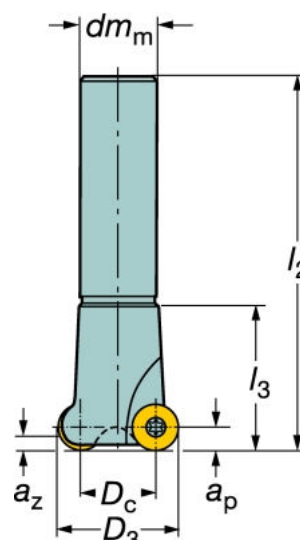
5.1.4 Volba nástrojů a řezných podmínek

Vzhledem k použitému materiálu součásti, kterým je nízkolegovaná mangan-volframová ocel 19 312.4 s tvrdostí až 63HRC, je třeba použít nástroje odpovídající pro uvedenou tvrdost materiál. S ohledem na větší množství odebíraného materiálu je nutné zvolit dva typy nástrojů pro hrubování a následné dohrubování povrchu.

Zvolené nástroje od firmy Sandvik Coromant jsou universálním řešením pro tento typ výroby. Pro první část hrubování byl zvolen nástroj: Válcová celní fréza CoroMill 200 s kruhovými čelními břity (Obr. 20).

Tab. 1 Parametry nástroje

Parametr	hodnota
Weight	0.809
Zc	3
l2	190
l3	35
dmm	25
ap_max	6
az	3.7
Dc	20
Kappa_r	45
Zn	3
D3	32
Kod	R200-020A25-12H



Obr. 20 Nástroj CoroMill 200

Pro výpočet řezných podmínek jsou určující především vztahy:

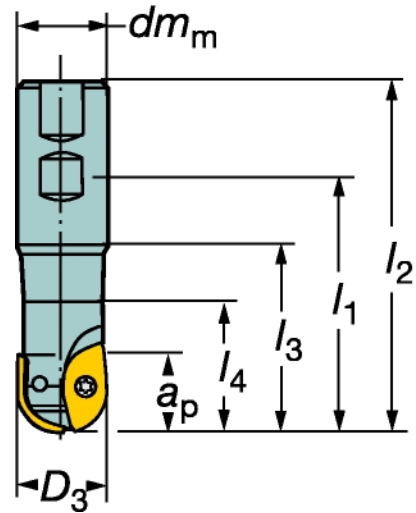
$$n_1 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 32} = 1989,43 \text{ ot/min} \Rightarrow n_1 = 1990 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{f_1} = n \cdot f_z \cdot z_n = 1990 \cdot 0,21 \cdot 3 = 1253,7 \text{ mm/min} \Rightarrow v_{f1} = 1260 \text{ mm/min}$$

Pro druhou část hrubování byl zvolen nástroj:
Válcová celní fréza CoroMill 216 s půlkruhovými celními břity (Obr. 21).

Tab. 2 Parametry nástroje

Parametr	hodnota
Weight	0.415
Zc	2
l1	75
l2	107
l3	50
l4	33
dmm	25
ap_max	17.9
Max_rpm	18500
Insert_Size	10
Kappa_r	45
Zn	2
D ₃	20
Kód R216-20B25-050	



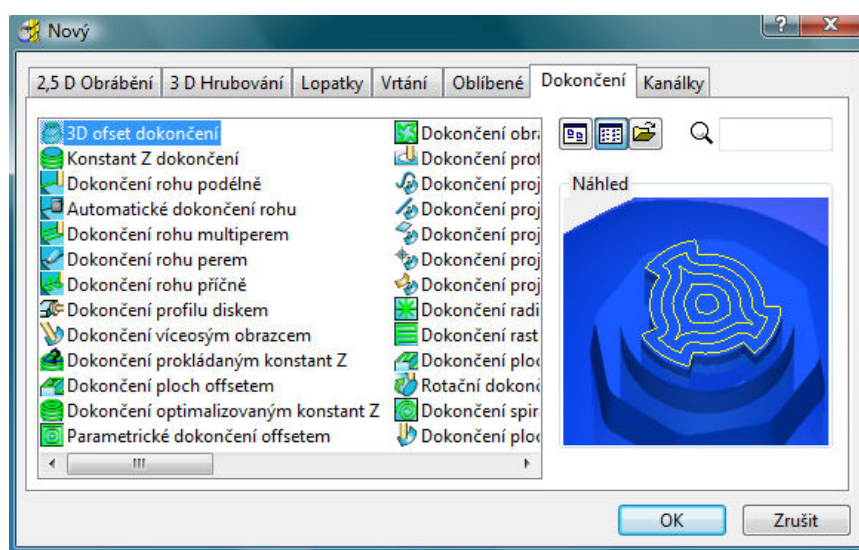
Obr. 21 Nástroj CoroMill 216

$$n_2 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{220 \cdot 1000}{\pi \cdot 20} = 3501,4 \text{ ot/min} \Rightarrow n_2 = 3500 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{f2} = n \cdot f_z \cdot z_n = 3500 \cdot 0,20 \cdot 2 = 1400 \text{ mm/min} \Rightarrow v_{f2} = 1400 \text{ mm/min}$$

5.2. Volba strategie pro dokončení povrchu

Při volbě hrubovací strategie byl rozhodující aspekt co největšího odebrání materiálu v co nejkratším čase. U volby dokončovací strategie je takovýmto základním principem kvalita obrobenej plochy. Dle výkresové dokumentace je nutné dodržet určitou kvalitu povrchu. Při výběru dokončovací strategie lze v softwaru PowerMill vybírat ze široké škály dokončovacích strategií (Obr.22).



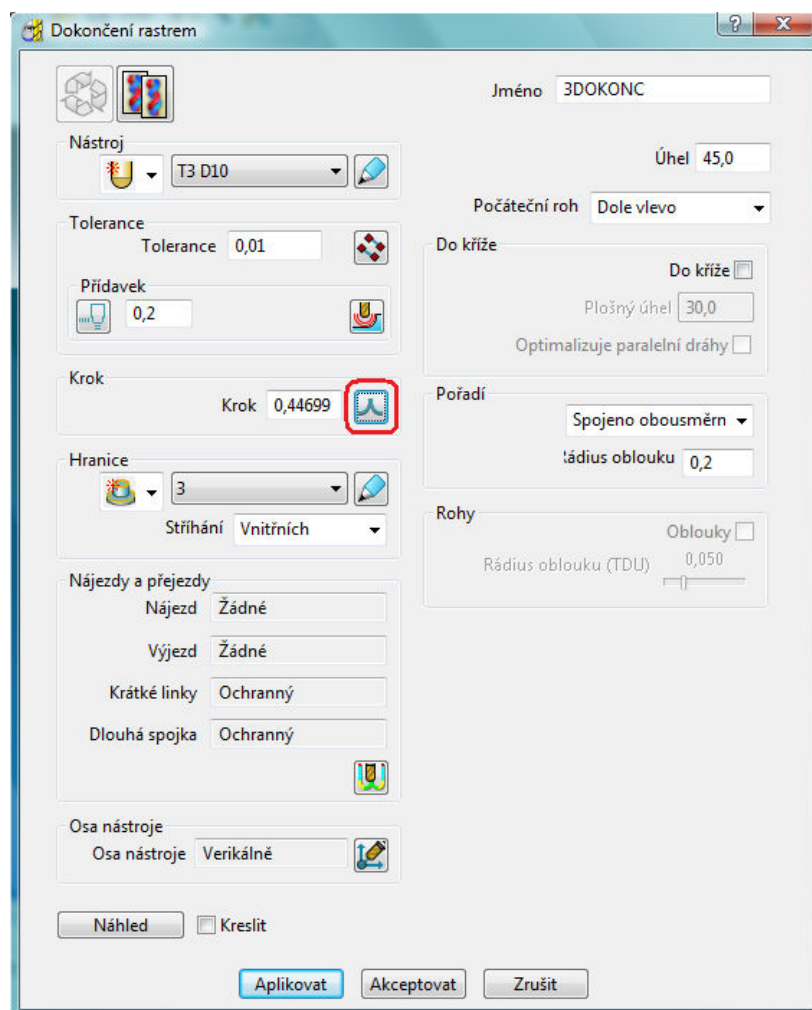
Obr. 22 Dostupné dokončovací strategie v programu PowerMill Pro 8.0

S ohledem na tvar dokončovaných ploch bude pro dokončení ploch rozděleno do dvou kroků. Pro každý z dokončovacích kroků bude vytvořena hranice pomocí výběru obráběných ploch, ty zajistí dodržení požadované drsnosti povrchu a efektivitu obrábění při dokončování. Při dokončení bude, s ohledem na rovinný tvar dokončovaných ploch, uplatněna strategie *Dokončení rastrem*. Tato strategie bude na součást aplikována ve dvou krocích, vždy s rozdílně definovanou hranicí obrábění.

Dokončení rastrem

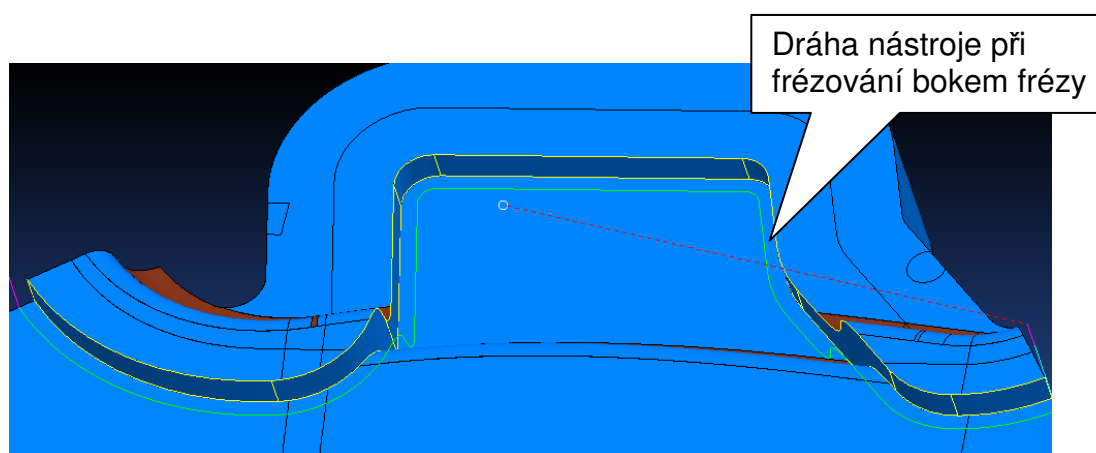
Popis strategie:

Nastavení této strategie je velmi jednoduché a rychlé. Dráhy jsou generovány v rovnoměrně rozloženém rastru na daných plochách s možností určení úhlu řezů. Volbou úhlu řezů 45° bude zajištěno rovnoměrné generování drah na svislých rádiusových plochách a tím zajištění požadované drsnosti povrchu. Použitím možnosti automatického výpočtu kroku na základě geometrie zvoleného nástroje a hodnoty tolerance je lze ovlivnit dosažení předepsané kvality povrchu v rámci nastavení strategie (Obr. 23). (9)



Obr. 23 Nastavení strategie *Dokončení rastrem*

Po aplikaci strategie Dokončení rastrem čelní válcovou frézou s půlkruhovými břity zůstává v rozích ostrého přechodu materiál odpovídající poloměru frézy, tedy $R=5\text{ mm}$. Pro vytvoření ostrého přechodu je nutné aplikovat další dokončovací strategii *Dokončení bokem*. Při této strategii je nástroj veden podél označených ploch a materiál je odebírán bokem frézy. Při použití nástroje s rovným čelem lze dosáhnout ostrého rohu na přechodu mezi dnem a označenou svislou plochou (Obr. 24).



Obr. 24 Strategie *Dokončení bokem*

5.2.1 Volba nástrojů a řezných podmínek

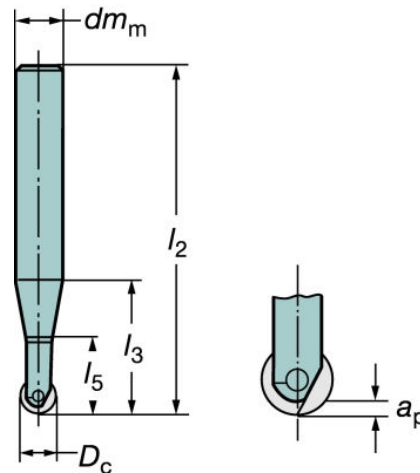
Vzhledem k použitému materiálu součásti, kterým je nízkolegovaná mangan-volframová ocel 19 312.4 s tvrdostí až 63HRC, je třeba použít nástroje odpovídající pro uvedenou tvrdost materiál. S ohledem na větší množství odebíraného materiálu je nutné zvolit tři typy nástrojů pro hrubování, dohrubování a následné dokončení povrchu.

Zvolené nástroje od firmy Sandvik Coromant jsou universálním řešením pro tento typ výroby.

Pro první část dokončení povrchu byl zvolen nástroj:
Válcová čelní fréza Coromant s půlkruhovými čelními břity (Obr. 25).

Tab. 3 Parametry nástroje

Parametr	hodnota
Weight	0.2392
l2	110
l3	53
dmm	12
ap_max	1.5
Dc	10
Zn	1
Rpm max	40000
Kód	R216F-10A12C-053



Obr. 25 Nástroj CoroMill 200

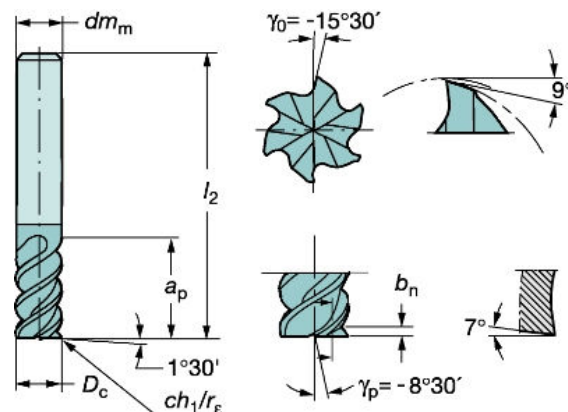
$$n_3 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{170 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 5411,2 \text{ ot/min} \Rightarrow n_3 = 5400 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{f3} = n \cdot f_z \cdot z_n = 5400 \cdot 0,15 \cdot 1 = 810 \text{ mm/min} \Rightarrow v_{f2} = 810 \text{ mm/min}$$

Pro dokončení bokem frézy byl zvolen nástroj:
Dokončovací válcová čelní fréza Coromill s mimostředným řezem (Obr. 26)

Tab. 3 Parametry nástroje

Parametr	hodnota
Weight	0.09
l2	72
dmm	12
ap_max	22
Dc	10
Zn	6
Helix_ish	31.5
bn	0.25
Kód	R216F-10A12C-053



Obr. 26 Nástroj CoroMill Plura

$$n_3 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{190 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 6047 \text{ ot/min} \Rightarrow n_3 = 6047 \text{ min}^{-1}$$

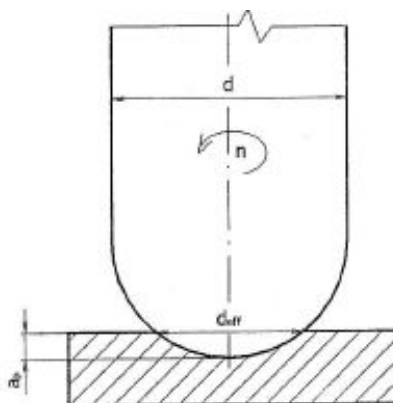
$$v_{f3} = n \cdot f_z \cdot z_n = 6047 \cdot 0,08 \cdot 1 = 1910 \text{ mm/min} \Rightarrow v_{f2} = 1910 \text{ mm/min}$$

6 Optimalizace řezného procesu s využitím CAD/CAM systému

Při použití CAD/CAM systémů k tvorbě NC programů, lze využít změny náklonu frézovacího nástroje a tím optimalizovat řezný proces. Díky možnosti definovat náklon nástroje v prostředí CAD/CAM softwaru, je možné tento způsob optimalizace uplatnit na širším spektru obráběných součástí.

Při frézování frézami s kulovým břitem standardním způsobem, kdy materiál a nástroj svírají pravý úhel, je na kulovém ostří v ose frézy nulová řezná rychlost. V tomto místě nástroj pouze zatlačuje materiál obrobku. Díky tomu zde dochází k nežádoucím vlivům, jako je pěchování třísky, zvyšování teploty řezání, nebo zvýšení tvorby nárůstků.

Tyto jevy mají za následek zhoršení jakosti obrobených ploch materiálu a snížení trvanlivosti nástroje. Zmíněné jevy lze eliminovat naklopením nástroje, nebo nakloněním obrobku. (Obr. 27) znázorňuje polohu nástroje tříosého obráběcího centra, u něhož není možnost naklonění vřetene (úhel $\beta_{n(f)} = 0^\circ$). Zde se podstatně snižuje efektivní průměr frézy d_{eff} , zvláště při malých hloubkách řezu a_p , a tím také efektivní řezná rychlost. (4)



Obr. 27 Efektivní průměr frézy bez náklonu

$$d_{eff} = 2 \cdot \sqrt{a_p(d - a_p)} \quad [\text{mm}]$$

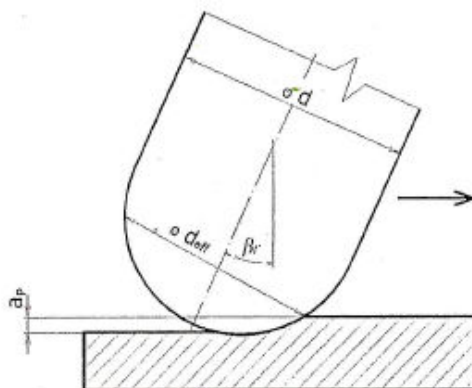
1.1.

Kde: a_p je axiální přísuv nástroje (hloubka řezu) [mm],

d je průměr frézy [mm],

d_{eff} je skutečný (efektivní) průměr frézy [mm].

Velmi důležitý je směr posuvu nástroje. Pokud je způsob posuvu nástroje označený jako tažený viz. (Obr. 28), má nástroj tišší chod a zlepšuje se i povrch obráběného materiálu, oproti způsobu označovaného jako tlačení. Také použití sousledného, či nesousledného způsobu frézování má na jakost povrchu a životnost nástroje velký vliv.



Obr. 28 Efektivní průměr frézy při frézování taženým nástrojem

$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{d - 2 \cdot a_p}{d} \right) + \beta_f \right] \quad [\text{mm}] \quad 1.2.$$

Kde: a_p je axiální přísuv nástroje (hloubka řezu) [mm],
 β_f je úhel naklonění nástroje ve směru posuvu [°],
 d je průměr frézy [mm],
 d_{eff} je skutečný (efektivní) průměr frézy [mm].

Výpočet efektivní řezné rychlosti:

$$v_{ceff} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{eff}}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad 1.3.$$

Kde: d_{eff} je skutečný (efektivní) průměr frézy [mm].
 n jsou otáčky frézy [min^{-1}],
 v_{ceff} je skutečná (efektivní) řezná rychlost [m/min],

6.1. Porovnání efektivní řezné rychlosti při frézování s nakloněným nástrojem

Parametry obrábění:

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$n = 5400 \text{ min}^{-1}$$

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

$$\pi = 3.14159$$

Výpočet $v_{c,eff}$ při frézování bez náklonu nástroje:

$$d_{eff} = 2 \cdot \sqrt{a_p(d - a_p)} = 2 \cdot \sqrt{0.3(10 - 0.3)} = \underline{3.411 \text{ mm}} \quad 1.4.$$

$$v_{c,eff} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{eff}}{1000} = \frac{\pi \cdot 5400 \cdot 3.411}{1000} = \underline{57.866 \text{ m/min}} \quad 1.5.$$

Výpočet $v_{c,eff}$ při použití náklonu nástroje 15° :

$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{d - 2 \cdot a_p}{d} \right) + \beta_f \right] = 10 \cdot \sin \left[\arccos \left(\frac{10 - 2 \cdot 0.3}{10} \right) + 15 \right] \quad 1.6.$$

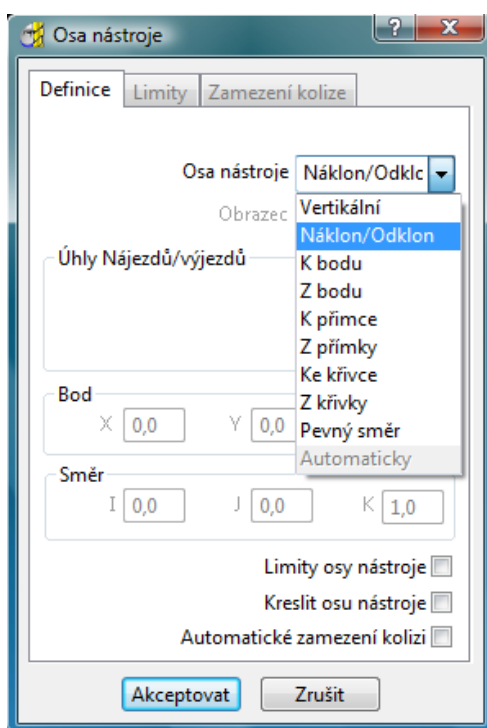
$$d_{eff} = \underline{5.728 \text{ mm}}$$

$$v_{c,eff} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{eff}}{1000} = \frac{\pi \cdot 5400 \cdot 5.728}{1000} = \underline{97.173 \text{ m/min}} \quad 1.7.$$

Z vypočtených vztahů vyplývá, že efektivní řezná rychlost se při použití náklonu frézovacího nástroje o 15° zvýšila o 59.5%.

6.2. Frézování s nakloněným nástrojem v softwaru PowerMILL

Pro definici frézování nakloněným nástrojem v softwaru PowerMill lze využít dvou přístupů. Lze jej nastavit globálně pro celý projekt, kdy bude náklon frézy uvažován ve všech generovaných strategiích nebo jej nastavit v rámci každé strategie zvlášť. Pro způsob nastavení náklonu nástroje existuje několik variant (Obr. 29) uplatňujících se v různých případech, především s ohledem na geometrii součásti a způsobu obrábění.



Obr. 29 Nastavení náklonu nástroje

Při použití náklonu frézovacího nástroje lze sledovat změnu efektivního průměru nástroje d_{eff} a s ním tedy i efektivní řeznou rychlost $v_{c,\text{eff}}$, při konstantní hodnotě otáček a axiálního přísuvu nástroje. Se zvyšováním řezné rychlosti klesá nerovnost obrobeného povrchu a zvyšuje se trvanlivost břítu nástroje. (4)

ZÁVĚR

V současné době se stále zvyšuje výskyt tvarově složitých součástí. K jejich výrobě jsou využívány moderní CNC obráběcí stroje. Využitím CAD/CAM systému při této výrobě je podstatnou měrou zvyšována efektivita a kvalita výroby.

V práci je uveden postup tvorby technologie obrábění s využitím CAD/CAM systému PowerMILL Pro 8.0. K obrobení celkového tvaru součásti bylo použito několika hrubovacích a dokončovacích strategií. Při aplikaci na danou součást byl zohledněn vliv volby obráběcí strategie na dosažený obráběcí čas a životnost nástroje. Jako způsob optimalizace řezného procesu byla uvedena možnost naklonění frézovacího nástroje v rámci obráběcí strategie. Nástroje pro obrobení dané součásti byli použity od firmy Sandvik Coromant.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BILÍK, O. a VRABEC, M. *Technologie Obrábění s využitím CAD/CAM systémů*, vyd. Ostrava: VŠB Technická universita 2002. 128 s. ISBN 80-248-0034-9
3. PETERKA, J. *CAD/CAM systémy*, vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, Materiálovotechnologická fakulta 2002. 63 s. ISBN 80-227-1685-5
4. SADÍLEK, M. *Zvyšování efektivity obrábění s využitím CAD/CAM systémů: autoreferát doktorské disertační práce*, vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava 2005. 42 s. ISBN 80-248-0867-6
5. t-support, vybrali jsme dobré technologické CAD/CAM řešení?, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.t-support.cz/t-support/index.php?rubrika=1173>> 28.3.2009, hod. 09:30)
6. Delcam Brno s.r.o., Delcam PowerMill, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.delcam.cz/produkty/powermill/>> 15.3.2009, hod. 18:00)
7. HMB spol. s.r.o., O společnosti, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.hmb.vidtman.com/>> 28.3.2009, hod. 11:45)
8. KAISER, V. *Nové možnosti využití postupových nástrojů pro plošné tváření plechů*, Dostupné na World Wide Web: <http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/stc/History/2007/Sbornik/S2/Kaiser_Viktor_12123.pdf> 16.3.2009, hod. 21:10)
9. ESF, Inovace studijních programů Strojírenské technologie, Dostupné na World Wide Web: <http://esf.fme.vutbr.cz/inter_prikklady/cadcam/inter_cv/3_powermill/03_priklad.pdf> 30.3.2009, hod. 09:15)
10. DELBRESSINE F.L.M., VAN DER WOLF A.C.H., *Integrating Design and Manufacturing*, Annals of the CIRP. Vol. 39/1 (1990), 149-152.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

CNC	[-]	Computer Numeric Control
NC	[-]	Numeric Control
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CAD	[-]	Computer Aided Design
A_p	[mm]	délka řezné části
D	[mm]	průměr frézy
D_c	[mm]	průměr řezné části frézy
$D_{e,ff}$	[mm]	efektivní průměr nástroje
D_{h_6}	[mm]	průměr stopky frézy
D_2	[mm]	průměr dřívku frézy
f_z	[mm]	posuv na zub
H	[mm]	délka vyložení
L	[mm]	délka nástroje
L_1	[mm]	délka přesahu nástroje
n	[min^{-1}]	otáčky nástroje
r	[mm]	zaoblení rohu břitové destičky
r_ϵ	[mm]	zaoblení špičky nástroje
v_c	[m/min]	řezná rychlost
$v_{c,eff}$	[m/min]	efektivní řezná rychlost
v_f	[m/min]	rychlost posuvu
Z_n	[-]	počet břitů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 NC program

Příloha 2 CL data