

Technologičnost výroby kol designové studie automobilu

Ing. Jan Tomíček

1. Úvod

Úkolem této práce bylo prakticky zrealizovat výrobu kol designové studie automobilu. Tuto designovou studii vytvořil student FS ČVUT Karel Linhart v rámci předmětu Design. Vzhledem k tomu, že se jednalo o unikátní návrh designu kol, který byl nezbytný pro celkové vyznění studie automobilu, bylo nutné v maximální možné míře zachovat původní návrh. Tato zásada se v praxi neoficiálně označuje pojmem „nedotknutelnost designu“. Problémy plynoucí z této zásady budou v menší míře ukázány v následujícím textu příspěvku.

Při práci v laboratoři Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie bylo v maximální míře využito dostupného vybavení k vytvoření výstupů z projektu výroby kol, kterými jsou zejména optimalizovaný model kol studie a virtuální model výroby těchto optimalizovaných kol a NC kódy pro řízení obráběcích strojů. Vedlejšími produkty projektu bylo vytvoření postprocesoru-formátovače pro software CATIA, který bude využitelný i pro další realizované úlohy.

Poslední avšak asi nejdůležitější částí projektu bylo vlastní obrobení materiálu a vytvoření kol designové studie. Toto obrábění samo o sobě přineslo další problémy a nová řešení, která jsou nastíněna v příspěvku.

2. Model a jeho úpravy

Pro designovou studii automobilu bylo požadováno vyrobení předních a zadních kol (celkem 2+2 kusy), které se od sebe lišily hlavně velikostí, ale částečně i tvarem, který bylo nutné upravit právě s ohledem na velikost. Virtuální model automobilu a tedy i kol vznikl v software CATIA V5, který má dominantní postavení na automobilovém trhu zejména v evropském měřítku, ale také z celosvětového hlediska[1]. Protože model vznikl na ČVUT bylo využito verze dostupné oběma účastníkům a sice CATIA V5 R17SP2. Spolupráce na stejné platformě umožnila snazší provádění nutných úprav konstrukce. Náhled výsledného designu je na Obr.2.1.

Virtuální model vznikl v měřítku 1:1 a pro skutečný model bylo zvoleno měřítko 1:5. Skutečné rozměry ráfků a pneumatik a jejich modelů ukazuje tabulka 2-1. Protože kolo pro modelovou studii bylo obráběno jako celek (tedy ráfek společně s pneumatikou) jsou uváděny pouze rozměry celé sestavy.

Kolo			celkové rozměry, průměr - šířka (mm)	
osa	součást	označení	Měřítko 1:1	Měřítko 1:5
Přední	Ráfek	8,5Jx20	672,8 - 235	134,56 - 47
	pneumatika	235x30 R20		
Zadní	Ráfek	11Jx20	685 - 290	137 - 58
	pneumatika	290x30 R20		

Tabulka 2-1: Rozměry vyráběných kol

Přední a zadní kolo se lišily hlavně rozměrem, základní tvar byl stejný a odpovídal vyobrazení na obrázku Obr.2.2, kde je zobrazeno zadní kolo. Tvarovou odchylku představuje zejména jiný poměr šířky a výšky věnce ráfku a to s ohledem na použitou pneumatiky. S ohledem na úkol vyrobit obě kola to představovalo pouze problém s hloubkou obrábění a tedy potřebnou délkou nástroje.

První přiblížení k modelu v měřítku 1:5 proběhlo pomocí funkce „Scale“ v programu Catia. Tato funkce provede změnu velikosti všech vybraných entit v měřítku zvoleném při aplikaci funkce scale. Tímto postupem jsem získal základní model, který ovšem bylo nutné upravit dle zásad technologičnosti konstrukce a s ohledem na dostupné vybavení a zařízení laboratoře. Mezi hlavní úpravy patří zejména odstranění nevyrobitelných prvků, úprava konstrukce z hlediska pevnostního namáhání a zjednodušení tvaru.



Obr.2.1 – Zobrazení designové studie

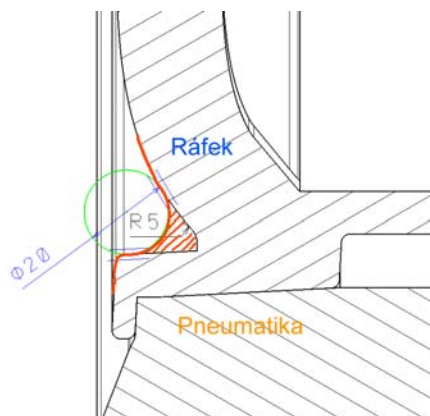


Obr.2.2 – Zadní kolo, rednerované zobrazení Catia

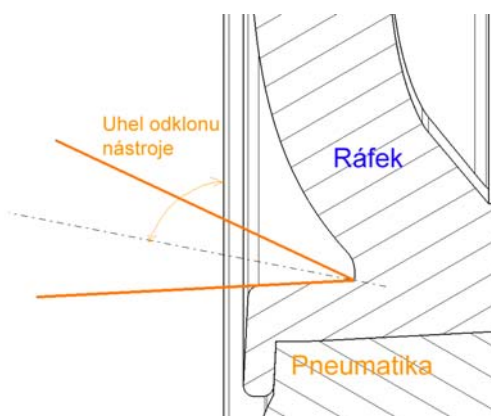
Při výrobě designových studií, nebo prvních kusů určitého návrhu, platí nepsaná zásada „nedotknutelnosti designu“. Ta říká, že jakékoliv prováděné úpravy nesmí zasáhnout původní design, nebo jej smí ovlivnit pouze minimálním způsobem. Větší úpravy designu je pak možné provádět pouze po dohodě s designérem. Zde se velkou měrou uplatní principy souběžného inženýrství, které dokáží ušetřit čas přípravy výroby a její náklady[4]. Místo navazujících úseků práce designéra-konstruktéra a technologa-projektant tyto činnosti probíhají souběžně a vzájemně se ovlivňují a změny tak probíhají průběžně. V našem případě byl designér osobně přítomen designéra na pracovišti technologa, který prováděl potřebné úpravy modelu. Výsledkem byl optimalizovaný model splňující požadavky na výrobu.

2.1. Nevyrobitelné prvky

Globální změnou měřítka vznikly na modelu nevyrobitelné prvky. Designér například navrhnul zaoblení přechodů mezi paprsky a věncem ráfku o velikost poloměru $R = 2 \text{ mm}$. Zmenšením tohoto prvku v globálním měřítku se z tohoto zaoblení stalo zaoblení o poloměru $R = 0,4 \text{ mm}$. To samé platí i o $R = 5 \text{ mm}$ v patě paprsku. Tento prvek je „nevyrobitelný“, protože jeho výroba by vyžadovala speciální nástroj malého průměru. Tento nástroj by musel být navíc dostatečně dlouhý, aby vyrobil prvek ukrytý v dutině ráfku (viz Obr.2.3). To vše představuje dodatečné náklady a ekonomicky je tento prvek tedy nevyrobitelný.



Obr.2.3(vlevo) – Zaoblení napojení paprsku a minimální velikost detailu.



Obr.2.4(vpravo) – Šikmá plocha a schématické znázornění kuželového nástroje pro její obrobení

Stejně nevyrobitelným prvkem je ostrý roh v přechodu mezi paprskem a věncem ráfku. Nejen že tento prvek je podle mého názoru vrubem snižujícím pevnost konstrukce, ale hlavně je tento prvek nevyrobitelný, protože představuje použití nástroje o ostrím ve tvaru ostrého kužele, který by navíc musel být veden šikmo a po obvodu ráfku (Obr.2.4). To vše znamená nutnost použití víceosého stroje a opět dodatečné náklady. Zjednodušením tohoto prvku na pozvolný přechod se zaoblením o velikosti stejné jako poloměr nástroje dojde k razantnímu snížení pracnosti výroby tohoto prvku a tedy i snížení nákladů. Navíc trvanlivost ostří kuželového nástroje tohoto průměru by nebyla vysoká.

Proto byl tento prvek i jemu podobné prvky zjednodušeny a nahrazeny zaoblením o poloměru nejmenšího nástroje. V praxi to znamenalo sice zahlázení detailu, ale ne zásadní změnu návrhu výrobku..

2.2. Zjednodušení tvaru a úprava konstrukce

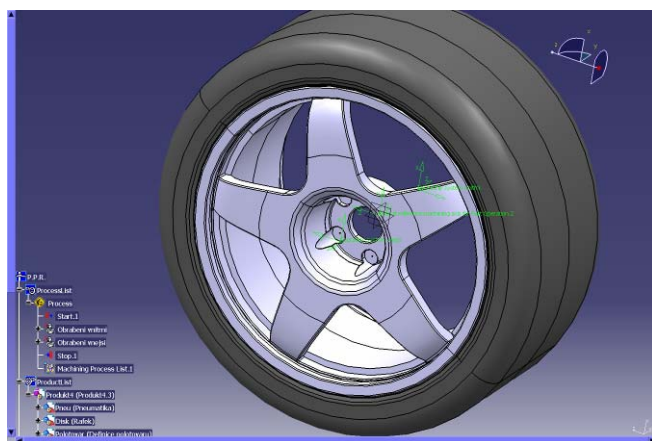
Zjednodušení tvaru bylo provedeno se souhlasem designéra zejména s ohledem na dvě skutečnosti. Zaprvé po zmenšení v měřítku 1:5ti došlo ke zmenšení některých detailů na tak malé hodnoty, že již nepředstavovaly dominantní prvek designu a proto mohly být zcela vynechány.

Druhou skutečností byla nutnost přizpůsobit součást možnostem pracoviště Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie. Tedy možnost použít pouze 3osý obráběcí stroj (frézka FCM 22 CNC) a nástroje následujícího sortimentu.

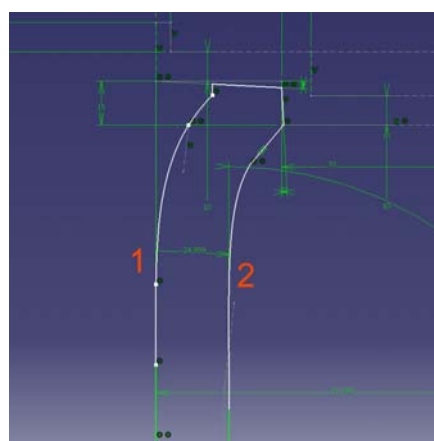
Typ nástroje	Průměr D (mm)	Číslo nástroje v CAMu	Zaoblení špičky r (mm)	Řezná délka l_1 (mm)	Celková délka L (mm)
Válcová fréza	3	T43	-	13	15
	5	T45	-	15	29
	10	T50	-	48	54
Kulová fréza	4	T54	2	14	28
	6	T56	3	31	51
	8	T58	4	23	48

Tab. 2-2: Sortiment nástrojů pro FCM22CNC

Z toho důvodu byly odstraněny zejména vnitřní zaoblení s rozměrem po zmenšení $R < 2\text{mm}$ a sražení hran menší než $2 \times 45^\circ$. Na skutečném automobilu by byl ráfek k ose připojen pomocí 5ti šroubů. Na modelové studii se ovšem počítalo s připojením pomocí jednoho šroubu a to v místě průchozího otvoru v ose náboje ráfku. Proto byly také z optimalizovaného modelu odstraněny otvory pro šrouby a pouze naznačeno jejich zahloubení.



Obr. 2.5 – Optimalizovaný model zadního kola



Obr. 2.6 – Křivky spline v konstrukci ráfku

Toto řešení také pomohlo k větší tuhosti náboje ráfku. Výsledný model tedy vypadal jako model na obr.2.5. Rozdíl v konstrukci není na první pohled vůbec patrný.

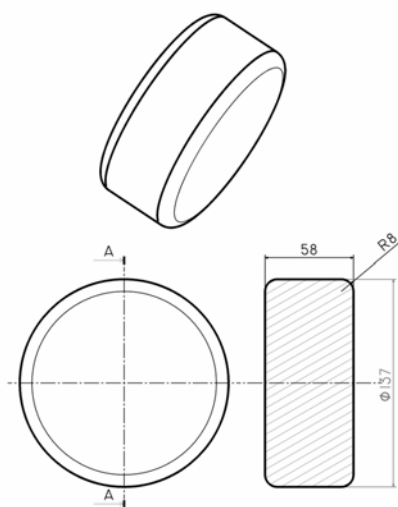
Během práce na optimalizaci modelu kola bylo také zjištěno, že paprsek ráfku je vytvořen pomocí řídicí křivky definované jako obecný spline (křivky 1 a 2 na obr 2.6). Tím bylo jednoznačně určeno, že výroba bude muset probíhat na CNC stroji, protože na konvenčním stroji není možné tyto plochy obrábět. Je to možné pouze použitím tvarového nástroje, který by bylo nutné nabrousit na CNC stroji. To ovšem znamená vyšší náklady a čas výroby.

3. Příprava drah nástrojů

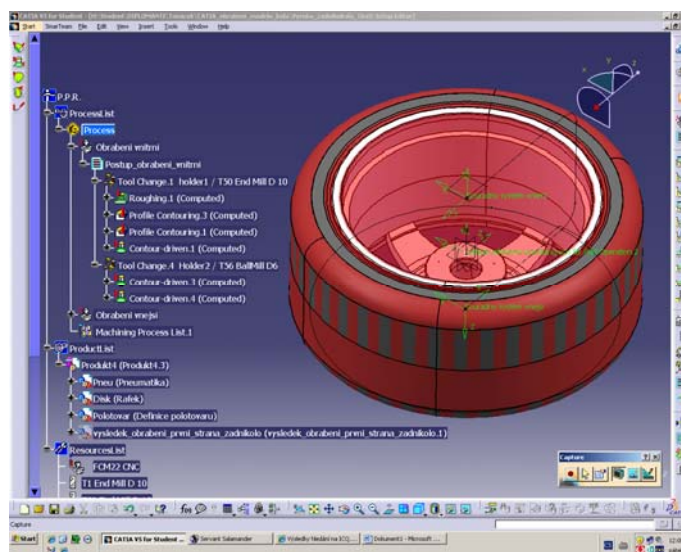
Software Catia V5 je komplexním softwarem typu CAD/CAM/CAE. Pro tuto jeho vlastnost a jeho dostupnost na obou pracovištích byl zvolen i pro tvorbu drah nástrojů. Ta proběhla s využitím modulu „Surface machining“ – 3osé obrábění. Obrábění bylo rozděleno do dvou částí. První byla realizována na konvenčním soustruhu SRL20 a představovala přípravu polotovaru. Druhá část představovala dokončení tvaru součásti a byla realizována na dvě upnutí na stroji FCM22CNC.

3.1. Příprava polotovaru

Polotovary pro následnou dokončovací operaci frézování měly tvar disku se zaoblenými rohy, jak je znázorněno na obrázku Obr.3.1. Vnější obvod disku představuje již konečný povrch součásti.



Obr. 3.1(vlevo) – Výkres polotovaru pro zadní kolo



Obr. 3.2(vpravo) – Partprogram a technologický postup obrábění vnitřní strany zad. kola

Původní záměr předhrubovat dutinu pro frézování byl vzhledem ke zkušenostem s obráběním během přípravy polotovaru zamítnut a bylo rozhodnuto odebrat celý objem dutiny frézováním. Záměr soustružit vnější (mělčí) stranu na konečný tvar byl také opuštěn a sice z důvodu výskytu obecné geometrie spline v profilu ráfku (viz bod 2.2).

3.2. Dokončování zadního kola

Vyhotovení konečného tvaru součásti bylo rozděleno na dvě upnutí podle obráběného tvaru nazváno jako obrábění vnitřní a vnější strany. Vnitřní strana představuje největší operaci z hlediska odebraného objemu materiálu. Vnější strana zase představuje povrch, který bude zákazníkovi „na očích“ což znamená zvýšené nároky na kvalitu jeho zpracování.

3.2.1. Obrábění vnitřní strany.

Tato strana byla obráběna jako první Vnitřní strana obrábění znamená odebrání velkého objemu materiálu poměrně jednoduchou, snadno kontrolovatelnou drahou. Z tohoto důvodu bylo toto obrábění vhodnější pro nutné experimentální ověření navržených hodnot řezných podmínek. Pro simulaci obrábění bylo potřeba provést nastavení Procesu v partprogramu v SW Catii tak, aby odpovídalo reálným podmínkám obrábění:

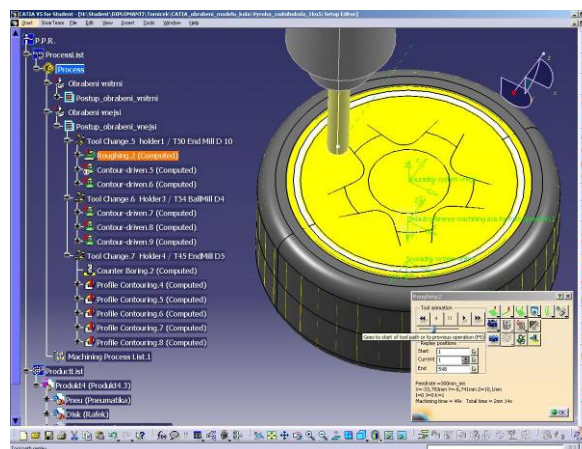
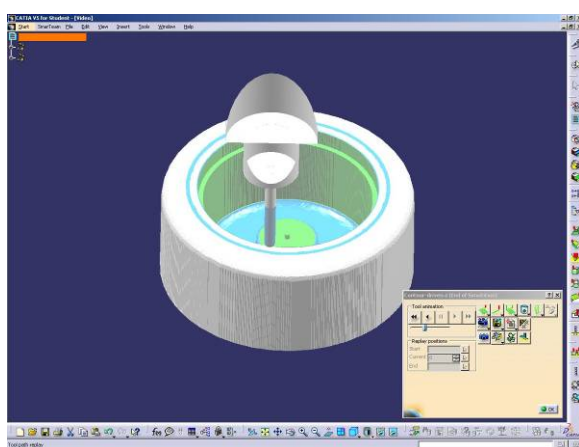
Machine: FCM22CNC (CNC frézka v laboratoři Ústavu 12134)
 Spindle home point: 0,0,50 (výchozí bod nástroje – jeho souřadnice X,Y,Z)
 Post processor words table: IMSPGCC_MILL.pptable (zvolená tabulka APT funkcí, které budou využity pro postprocessing)
 NC Data type: ISO (požadovaný výstupní formát NC dat)
 NC data format: Point (X,Y,Z) (způsob najíždění na souřadnice uzlových bodů drah)
 Home Point Strategy: Goto (výchozí bod je určen souřadnicemi, ne referenčním bodem)

Pro obrábění vnitřní strany byly použity nástroje T50 a T56 a celkem 6 operačních úseků pro obrobení jednotlivých prvků modelu. Viz Tab. 3-1 a Obr 3.2.

Číslo úseku	Nástroj	Popis	Čas obrábění (min:sec)	Čas řezu (min:sec)
1	T50	Hrubování celé dutiny ráfku	9:47	8:02
2		Obrobení boku zahloubení ráfku	0:38	0:33
3		Obrobení boku dutiny ráfku	0:38	0:31
4		Začistění vnitřní strany náboje ráfku	0:16	0:08
5	T56	Výroba vydutého dna ráfku	7:23	6:49
6		vytvoření přechodu mezí ráfkem a pneu.	5:33	5:23
Celkový čas			24:15	21:26

Tab. 3-1: Technologický postup obrobení vnitřní strany zadního kola

Protože stroj nemá automatickou výměnu nástroje, je třeba k tomuto času připočítat určitý čas na ruční výměnu nástroje. Výsledek obrábění byl uložen jako model a posloužil jako polotovar pro simulaci obrábění druhé, tedy vnější strany. (viz obr. 3.3.) To umožnilo přesnější odladění obrábění vnější strany, včetně odhadu pohybu třísek během obrábění.



Obr. 3.3(vlevo) – konečný stav obrábění vnitřní strany – model použit jako polotovar pro vnější stranu
 Obr. 3.4(vpravo). – Partprogram a technologický postup obrábění vnější strany zadního kola

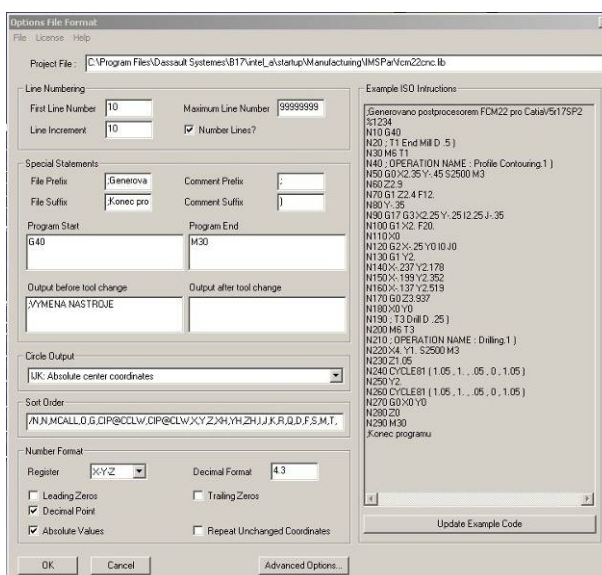
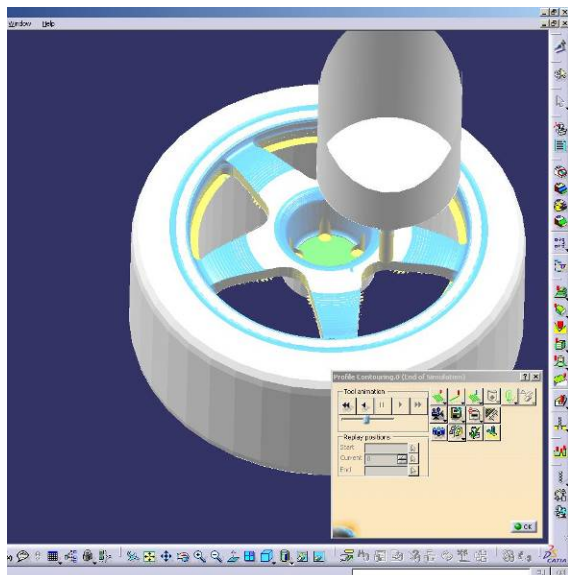
3.2.2. Obrábění vnější strany

To znamenalo kromě obrobení souměrného profilu ráfku a pneumatiky také vytvoření 5ti paprsků mezi nábojem a ráfkem. Zde bylo možné s výhodou použít možnosti vytváření násobných kopií prvků v SW Catia a sice kopie drah obrábění. Při tomto kopírování bylo nutné upravit a optimalizovat přejezdy nástroje mezi jednotlivými kopiemi – obráběnými kapsami. I to je však jednodušší, než vytváření pěti drah a tak došlo ke značné časové úspoře. Zároveň také k zachování stejných vlastností drah nástroje pro jednotlivé kapsy.

Obrábění vnější strany bylo provedeno pomocí tří nástrojů (50,54,45) a celkem 12ti operačních úseků. Rozteč drah byla optimalizována s ohledem na zachování výšky zbytkového materiálu o velikost do 0,2 mm.

Číslo úseku	Nástroj	Popis	Čas obrábění (min:sec)	Čas řezu (min:sec)
1	T50	hrubování dutiny náboje a dutin paprsků	2:14	1:49
2		obrábění ploché části náboje načisto	0:20	0:16
3		začištění dna náboje	0:06	0:03
4	T54	obrobení boku dutiny náboje ráfku	3:43	3:24
5		obrobení přechodu náboje a paprsků	4:11	3:55
6		obrobení povrchu paprsků náboje	18:36	18:08
7	T45	zahloubení otvorů pro šrouby	0:20	0:10
8		obrobení kapsy mezi paprsky I., načisto	0:40	0:35
9		obrobení kapsy II.	0:40	0:35
10		obrobení kapsy III.	0:40	0:35
11		obrobení kapsy IV.	0:40	0:35
12		obrobení kapsy V.	0:40	0:35
Celkový čas			32:50	30:40

Tab. 3-2: Technologický postup obrobení vnější strany zadního kola



Obr. 3.5(vlevo) – Výsledek simulace v Catia - konečný stav obrábění vnější strany

Obr. 3.6(vpravo). – Náhled editoru formátovače v systému CATIA

Vyvrtání otvoru v ose náboje bylo provedeno mimo NC kódy z Catia a to pomocí nástroje T50. Program pro výrobu otvoru pomocí strategie „frézování otvoru po šroubovici“ byl

vzhledem ke své jednoduchosti napsán ručně přímo v editoru ŘS Mikronex F – Win 3.03. Délka tohoto obrábění byla 3 minuty na jeden kus.

3.3. Obrábění předního kola

Toto obrábění proběhlo pomocí stejného technologického postupu. Jediným rozdílem bylo sloučení dokončení boku dutiny ráfku a boku zahloubení ráfku do jediného operačního úseku. To bylo možné díky menší hloubce obrábění, která umožnila obrábění celého boku dutiny ráfku najednou. Samozřejmě celkové zmenšení rozměrů obrobku vedlo k vytvoření kratších drah nástrojů a tedy ke snížení časů výroby.

Vnější strana předního kola také proběhla pomocí stejného technologického postupu. Došlo pouze ke sloučení op.ús. 4 a 5 do jediného a sice z toho důvodu, že už nebylo nutné mít rozdílné podmínky pro obě dílčí plochy. U předního kola totiž vlivem změny geometrie došlo ke zploštění vnější strany náboje a zatímco u zadního kola bylo nutné nastavit rozdílnou rozteč drah pro jinak strmé plochy, u předního kola se výsledek tohoto dělení ukázal být nepodstatný. Proto došlo ke zjednodušení postupu na 11 operačních úseků. A stejně jako u vnitřní strany celková změna rozměrů způsobila zkrácení času obrábění.

Strana obrábění	Počet úseků	Celkový čas obrábění (min:sec)
vnitřní	5	18:32
vnější	11	24:29

Tab. 3-3: Celkové časy obrábění pro přední kolo

3.4. Postprocessing

Nutnou součástí tvorby NC kódu je postprocessing, který je zodpovědný za převod drah z CL dat do takového formátu NC programu, který je schopen načíst ŘS stroje. Zde bylo potřeba překonat několik problémů.

- 1) SW Catia je systém s celosvětovou působností a proto v základní instalaci obsahuje nejznámější a nejpoužívanější řídicí systémy (Heidenhein, Deckel, Siemens ad.) Bohužel nemá v dodávané standardní databázi postprocesorů systém Mikronex, kterým je řízena frézka FCM22CNC
- 2) Od verze Catia V5 R15 není uživatelům dovoleno modifikovat stávající a vytvářet vlastní postprocesory. Pouze po zakoupení speciální (a dosti drahé) licence na postprocessing. Alternativně výrobce SW doporučuje obrátit se na firmu Cenit jakožto autorizovaného dodavatele postprocesorů pro SW Catia a koupit řešení od něj.

Proto jsem zvolil třetí možnost. Postprocesor v Catii se totiž skládá ze dvou částí. Z vlastního APT-NC postprocesoru, který se zde nazývá „APT Word table“ a z tzv. formátovače. APT Word table se stará o rozpoznání APT dat a jejich převod na ISO G kód (event. Heidenhain Dialog atd.) překládá tedy funkci, její parametry a kontroluje překračování rozsahů velikostí posuvů a otáček. Ovšem o to jakým způsobem bude přeložený kód zapsán do souboru se stará formátovač. Ten rozhodne, jak budou číslovány řádky, co bude dělicí znak, co bude na začátku a konci programu, jakým způsobem budou zapsány souřadnice oblouků a další.

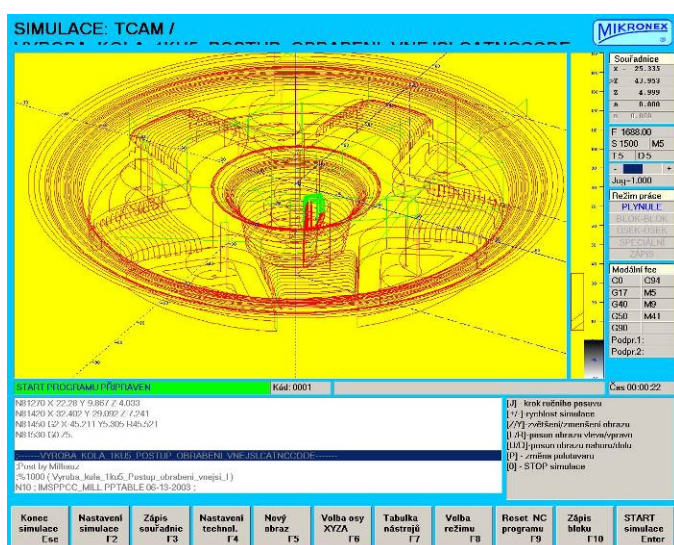
Tento formátovač je možné vytvořit i v současné verzi SW Catia, jak ukazuje Obr. 3.6. A protože ŘS Mikronex používá takřka standardní ISO G kód podle normy ISO 6983[3], bylo potřeba pouze najít takový „postprocesor“ (APT word table), jehož výstupem je tento ISO G kód. Tomuto účelu nejlépe vyhověl již zmiňovaný IMSPGCC_MILL.pptable

3.5. Simulace NC kódu

Výsledkem postprocesingu byly tedy 4 NC programy pro obrábění kol. Tyto programy byly odsimulovány v ŘS Mikronex, kde byly odstraněny drobné nedostatky NC kódu, které vznikly, při postprocesingu.

- Odstranění neznámých funkcí G43, G80, M2,
- zrušení korekcí nástrojů pokud byly do programu zapsány,
- odstranění nadbytečného čísla programu ;1000 v úvodu NC kódu,
- obrácení pořadí příkazů u volby nástroje (Tn M6 na M6 Tn kde n je číslo nástroje),
- aj.

Po těchto drobných úpravách byl již NC kód plně funkční a mohl jsem přistoupit k vlastnímu obrábění na stroji FCM 22 CNC.



Obr. 3.7(vlevo) – simulace NC kódu v ŘS Mikronex

Obr. 6.1 (vpravo). – obrábění vnější strany zadního kola na stroji FCM22CNC

4. Volba materiálu a příprava polotovaru

Při volbě materiálu jsem vycházel z požadavků designéra aby model měl co možná nejvyšší kvalitu povrchu, byl funkční, tedy aby byl schopen nést váhu modelu a to vše při zachování nejnížší možné ceny výrobku. Rozhodoval jsem tedy mezi těmito materiály.

Skupina materiálů	Pevnost	Kvalita povrchu	Obrobitelnost	Cena
Lisovaný PS	Střední	Nízká	Výborná	Nízká
Pryskyřice - umělé dřevo	Velmi velká	Velmi vysoká	Výborná	Vysoká
Dřevo	Velká	Velmi nízká*	Střední*	Střední
MDF dřevotříska	Velká	Střední	střední	Střední

Tab. 4-1: Porovnání materiálů obvykle používaných materiálu na zkušební výrobky

Pozn. Materiály jsou v tabulce porovnány podle svých relativních vlastností. Skutečné vlastnosti se mohou lišit podle konkrétně použitého druhu v konkrétní skupině.

* Tyto parametry jsou ovlivněny nehomogenitou dřeva v závislosti na orientaci vláken dřevní hmoty.

Vzhledem k limitujícímu kritériu konečné ceny modelu bylo rozhodnuto použít na testovací výrobky lisovaný polystyrén a na konečné výrobky MDF dřevotřísku. Polystyrénové polotovary jsem vytvořil pomocí ruční pilky, protože na nich byl testován pouze vnitřní

povrch. Od výrobce nebylo možné sehnat desku MDF v dostatečné tloušťce, proto byl materiál pro tvorbu polotovaru získán slepením více vrstev tenčí MDF desky. Původní obavy o pevnost tohoto spojení se ukázaly mylné. Slepený polotovar vydržel nejen řezání pilkou, ale také soustružení vnějšího tvaru. Vzhledem k možnému riziku delaminace vrstev MDF dřevotřísky však nebyl soustružen tvar dutiny.

5. Volba řezných podmínek

Volba řezných podmínek proběhla na základě dlouhodobých zkušeností s obráběním podobných materiálů na Ú12134. V několika předmětech zde totiž probíhá výuka NC programování a používání CAM SW a to včetně praktické výuky, tedy obrábění na CNC strojích. Proto jsem pro obrábění dřeva a tedy i MDF dřevotřísky a PS volil následující řezné podmínky (Tab. 5-1)

materiál	řezná rychlost (m.min ⁻¹)		posuv (mm.min ⁻¹)		posuv (na otáčku)	
	hrubování	dokončování	hrubování	dokončování	hrubování	dokončování
PS	35-45	35-60	500-1000	<1500	<0,4	0,2
MDF	25-35	35-42	250-500	500-1000	0,15-0,4	0,125-0,2

Tab. 5-1: Rozmezí použitý řezných podmínek

Skutečné hodnoty byly dopočítány pro konkrétní nástroj. Kromě toho byly tyto hodnoty upravovány během vlastního obrábění pomocí „override“ ovladače na stroji. Nástroje použité pro obrábění totiž nemají nejvhodnější geometrii pro obrábění vysoce houževnatého materiálu se špatnou tepelnou vodivostí, jako je MDF dřevotřísky. V některých okamžicích při určitých záběrových poměrech (obrábění velkou částí ostří, obrábění pod vrstvou třísek apod.) stoupala teplota nástroje a docházelo k pálení třísek. Z toho důvodu bylo nasazeno chlazení a odsávání třísek pomocí vzduchu. To stabilizovalo obrábění a vylepšilo dosahovanou kvalitu povrchu.

6. Praktická realizace obrábění

Obrábění dílců proběhlo na stroji FCM22CNC v laboratoři Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie (Obr.6.1). Nejprve proběhlo zkušební obrábění do tvrzeného polystyrenu, které ověřilo, že je NC kód v pořádku a není potřeba provádět žádné dodatečné úpravy. Proto bylo přistoupeno k obrábění polotovarů z MDF dřevotřísky. Během obrábění prvního kusu došlo ale k nehodě.

6.1. Problém při obrábění MDF dřevotřísky

Pořadí obrábění nejprve vnitřní a potom vnější bylo zvoleno záměrně z obavy, že při opačném postupu by mohlo během hrubování vnitřní dutiny dojít k překročení pevnosti již obrobených paprsků ráfku a ke zničení obrobku. Bohužel problém se objevil jinde.

Během obrábění prvního kola došlo během obrábění vnější dutiny, konkrétně dna dutiny náboje, k překročení pevnosti MDF dřevotřísky, delaminaci vrstev a destrukci obrobku. Při vizuálním rozboru se ukázalo, že vrstva MDF dřevotřísky s nejmenší pevností prochází rovinou obrábění dna dutiny náboje. Vzhledem k tomu, že polotovar již byl upraven na konečnou výšku a tedy nepřicházelo do úvahy posunutí obrábění mimo tuto oblast byla provedena úprava v technologickém postupu.

Pořadí obrábění pak bylo změněno; nejprve byla obrobena vnější a pak vnitřní strana modelu. Odlomený kus dna byl přilepen ke zbytku obrobku a dokončen při snížených ŘP. Kontrola rozměrů posuvným měřítkem ukázala odchylku od požadovaného tvaru menší než 0,2mm.

7. Vyhodnocení a závěry

Jednoznačně kladným závěrem je, že se podařilo podle vytvořených programů vytvořit 4 modely kol designové studie automobilu (Obr. 7.1). Modely byly vyrobeny s předpokládanou přesností a k plné spokojenosti zákazníka – designéra. Modely byly součástí expozice na výstavě architektury a designu, která proběhla v atriu Fakulty architektury ČVUT v lednu 2008 (Obr.7.2). Problémy, které se vyskytly během tvorby partprogramy a následných NC kódu byly vyřešeny. Důsledné uplatňování zásad technologičnosti konstrukce pomohlo některé problémy vyřešit ještě před zahájením tvorby technologického postupu. Potvrdilo se, že principy souběžného inženýrství mají své opodstatnění a že zrychlují a zkvalitňují přípravnou část výroby.

Jako vedlejší produkt tohoto projektu vznikl postprocesor – formátovač, který bude možné využít jak pro další projekty obrábění v SW Catia, tak i pro doplnění doktorské práce autora na téma postprocessingu.

Zároveň se ukázalo, že použití nástrojů na obrábění oceli je při obrábění dřeva možné, ale s dodržением podmínek nízké rychlosti obrábění. V případě příliš vysoké teploty je nutné doplnit chlazení vzduchem, nebo alespoň ofukování třísek aby nedocházelo k hromadění tepla. S tím souvisí také kontrola obráběcího procesu na silové zatížení obráběním, které může v případě nehomogenních materiálů vést i k destrukci.



Obr. 7.1. – Hotové modely kol



Obr. 7.2. – Kola jako součást exponátu na výstavě Designu

8. Použitá literatura a odkazy

- [1] PLM Market Growth in 2007-2008 (Zpráva o vývoji trhu PLM), CIMdata Inc., Ann Arbor Michigan(USA), duben 2008, dostupná na www.cimdata.com
- [2] Catia V5 R17SP2 Documentation, firemní literatura Dassault Systèmes, 2007
- [3] ČSN ISO 6983-1:1992 Číslicové řízení strojů. Formát programu a definice adres. Část 1: Formát dat pro polohovací, pravoúhlé a souvislé řídicí systémy
- [4] Mádl, J.; Kafka, J.; Vrabec, M.; Dvořák, R. *Technologie obrábění*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, ISBN 80-01-02091-6.
- [5] Hana. M. Návrh metodiky sestavení partprogramu pro frézování v software CATIA, diplomová práce, ČVUT v Praze, 2005
- [6] Vrabec, M.; Mádl, J. *NC programování v obrábění*, Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004, ISBN 80-01-03045-8