

## Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



## POČÍTAČOVÁ PODPORA PROCESU OBRÁBĚNÍ

učební text

## Marek Sadílek

Zuzana Sadílková

Ostrava 2012

Recenze: Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

Název: Počítačová podpora procesu obrábění
Autor: Ing. Marek Sadílek, Ph.D; Ing. Zuzana Sadílková
Vydání: první, 2012
Počet stran: 149
Náklad: 50
Vydavatel a tisk: Fakulta strojní VŠB – TUO

Jazyková korektura: nebyla provedena

#### Určeno pro projekt:

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost
Název: Zvyšování kompetencí studentů technických oborů prostřednictvím modulární inovace studijních programů
Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0459
Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava
Tento projekt je spolufinancován z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky

© Marek Sadílek, Zuzana Sadílková © VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2770-4

## Obsah:

1. Charakteristika CAD/CAM systémů a vymezení základních pojmů	3
1.1. Základní způsoby programování CNC obráběcích strojů	3
1.1.1. Ruční programování NC/CNC obráběcího stroje	4
1.1.2. Programování prostřednictvím CAM systému - automatické programování	5
1.2. Základní moduly - systémy	6
1.2.1. Řízení životního cyklu výrobku	6
1.2.2. Popis jednotlivých základních částí systému CIM	7
1.3. Uplatnění CAD/CAM systémů v praxi	13
1.4. Rozdělení CAD/CAM systémů	14
1.4.1. Školní a výukové CAD/CAM systémy	15
2. Postup tvorby výrobního postupu v CAD/CAM systémech	17
2.1. Základní kroky při tvorbě obráběcího postupu v CAD/CAM systému Mastercam	21
2.2. Základní kroky při tvorbě obráběcího postupu v CAD/CAM systému EdgeCAM	22
3. Import geometrických dat do prostředí CAM	25
3.1. Umístění objektů do vhodné polohy	27
3.1.1. Polohování obráběné geometrie pro frézování	28
3.1.2. Import upínacích přípravků	30
4. Nastavení počátečních podmínek obrábění	35
4.1. Vztažné body CNC obráběcího stroje	36
4.2. Nastavení nulového bodu obrobku	38
4.3. Zavedení obráběcího postupu v a nastavení počátečních podmínek frézování	44
4.4. Vložení upínacích elementů do Mastercam	46
4.4.1. Vložení strojního svěráku do Mastercam	46
4.4.1. Vložení upínek do Mastercam	47
4.5. Vložení modelu svěráku do systému EdgeCAM	47
4.5.1. Tvorba makra svěráku	48
4.6. Vložení upínacích elementů do systému Edgecam	49
5. Technologie frézování tvarových ploch	53
5.1. 30sé frézování tvarových ploch	54
5.2. Víceosé frézování tvarových ploch	56
6. Rozdělení a popis základních strategií 2,50sého a 30sého frézování	59
7. Rozdělení a popis základních strategií víceosého frézování	61
8. Strategie 2,50sého hrubování	68
8.1. Základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů	69
9. Strategie 30seho hrubovani	/3
9.1. Strategie zbytkoveno nrubovani.	81
<ol> <li>Strategie 30seno preddokoncovani a dokoncovani</li> <li>Strategie 2asile a súcces ile shetlessile a heiliúití.</li> </ol>	84
<ol> <li>Strategie 30seno a viceoseno zbytkoveno obrabeni</li></ol>	92
12. Stanovení řezných parametrů v navaznosti na drsnost povřchu při kopirovacím frezovaní	98
12.1. Mikrogeometrie povrchu obradeneno irezovanim	99
12.2. V olda postupu odradeni s priniednutim ke strukture povrchu	101
12.3. Struktura povičnu v zavislosti na charakterističkých nodnotach obradeli	101
12.4. Napel ově a deformacií stavy povřchu	102
12.5. Zpevnem a zbytkova napeti v povičnove vistve pri obrađeni	102
12.0. Funkchost oblobeneno povičnu	103
12. /. Teoreticka dishost nezovalieno povičnu	105
13. Zavereche faze vyfobililo postupu v CAW systemu	109
13.1. 1 volua incepiogramia	109
15.2. I volua pluvouiii uokuineniaee	110
Klíč k řešení příkladů	110
Seznam příloh a nodnůrných souhorů onory	1/0
beznam priton a poupurityen soubora opory	147

## Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



### Čas ke studiu: 18 hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



### Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat ... definovat ... vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní d<u>ovedno</u>sti, znalosti.



## Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



### Shrnutí kapitoly

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



### Kontrolní otázka

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



### Úkol k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



### Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

## 1. CHARAKTERISTIKA CAD/CAM SYSTÉMŮ A VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• znát možnosti programování počítačem řízené obráběcí stroje,	
<ul> <li>rozlišovat používané zkratky v oblasti konstruování a počítačové podpory obrábění,</li> </ul>	Budete umět
• rozlišovat jednotlivé softwary používané v oboru.	

Budete schopni:	
<ul> <li>vysvětlit základní pojmy v oblasti počítačové podpory výroby,</li> </ul>	
<ul> <li>základní způsoby programování CNC obráběcích strojů,</li> </ul>	Budete schopni
<ul> <li>rozdělit CAD/CAM systémy,</li> </ul>	
• znát uplatnění CAD/CAM systémů v praxi.	

Charakteristika CAD/CAM systémů a vymezení základních pojmů – úvodní kapitola vysvětluje základní pojmy v oblasti počítačové podpory výroby, základní způsoby programování CNC obráběcích strojů, uvádí rozdělení CAD/CAM systémů a jejich uplatnění v praxi.

### 1.1. Základní způsoby programování CNC obráběcích strojů



Cíl Po prostudování této podkapitoly budete umět:

rozdělení a možnosti programování CNC obráběcích strojů.



Vytvoření programů pro řízení NC/CNC obráběcího stroje je možné následujícími způsoby - literatura a praxe uvádí několik možných rozdělení:

- Online programování přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP Shop Floor Programing).
- Offline tvorba NC programu mimo řídící systém:
  - o ručně (psaní pomocí ISO/DIN kódu),
  - o pomocí CAM systému.

Další možné rozdělení:

- ruční programování,
- > automatizované.

Další možné rozdělení:

- přímé psaní NC kódu (ISO/DIN),
- použitím geometrických programovacích jazyků,
- použitím CAM systému,
- použitím CAD/CAM systému.

### 1.1.1. Ruční programování NC/CNC obráběcího stroje

Tento způsob má využití především při kusové a malosériové výrobě a v opravárenských provozech, kde stroj není tolik vytížen a programování je možné přímo u stroje. Dále pak tam, kde výkresy nejsou dodávány ve formě CAD dat. Je určeno pro jednodušší, tvarově nenáročné součásti.

### Ruční programování v ISO kódu

Tímto způsobem se programují pouze jednodušší součásti s jednoduchými plochami rovinnými, válcovými, kuželovými a kulovými ve 2D a 2.5D. Hlavní nevýhodou je velká časová náročnost programování.

Programování v interaktivním prostředí u ovládacího pultu na ploše obrazovky obráběcího stroje

Jedná se pokročilejší a jednoduší způsob programování než v ISO kódu za pomocí interaktivního rozhraní mezi operátorem a řídícím systémem stroje.

Pro tento způsob psaní programu není potřebná znalost G a M kódu. Všechny informace potřebné pro kompletní programovací blok si řídící systém vyžádá v dialogu. K popisnému dialogu také patří možnost volného programování kontur (FK). Velmi výhodně se využívá, pokud obrobek není okótován v souladu s ISO. Díky tomu se jednoduše zadají z klávesnice potřebná data. Není zde třeba nic přepočítávat nebo vypočítávat. Při tom mohou být jednotlivé prvky kontury neurčité, dokud není určena celková kontura sama o sobě.

Toto velice jednoduché programování na základě tvorby tzv. výrobního postupu, kde se vyplňují geometrické a technologické parametry jednotlivých tvarových elementů (např. vybrání, drážka apod.). Představitelem tohoto způsobu programování je produkt řídícího systému Sinumerik 840D "ShopMill" (viz. následující 2 obrázky), který komunikuje s obsluhou přes technologicky orientované prostředí a symboly. Mimo jiné nabízí všechny možnosti obrábění i s měřícími cykly [ 25 ]. Výhodou tohoto způsobu programování je editace sestavených NC programů, v tomto případě výrobních postupů, které jsou srozumitelné a přehledné i pro obsluhu, jež editované programy nesestavovala. Při sestavování výrobního postupu nemusí obsluha dokonale znát jednotlivé funkce ISO kódu, což patří mezi další velkou výhodu sestavování výrobního postupu u ovládacího pultu na ploše obrazovky.



### Poznámka

Vyspělé řídící systémy umožňují ruční programování na stroji, kde souběžně na tomto stroji probíhá obrábění.

Další používaná zkratka pro dílensky orientované programování je WOP (Werkstattorientierte Programmierung). Toto programování je vhodné zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Vychází z myšlenky vytvářet NC programy v místech největšího výrobního "know-how".



Obr. 1 Ukázka programovaní s B osou programu v Sinumerik ShopTurn [72]



Obr. 2 Ukázka vyplňování jednotlivých technologických a geometrických parametrů pomocí názorné grafiky v Sinumerik ShopTurn se simulací [72]

# 1.1.2. Programování prostřednictvím CAM systému - automatické programování

Automatické programování se používá tam, kde není možné použití ručního programování (složitost obráběného dílce) a nebo tam, kde ruční programování je velice zdlouhavé. Použití automatického programování závisí také na technických, ekonomických, ale i personalistických možnostech firmy a na jejich strategických plánech do budoucna.

### 1.2. Základní moduly - systémy



Cíl Po prostudování této podkapitoly budete umět:

rozdělení, popis a používané zkratky základních modulů používaných systémů.



## Výklad

Dnes už není žádnou novinkou využívání komplexních CAD systémů při práci konstruktérů a technologů ve většině vývojových pracovišť. Při vytváření prostorových modelů výrobků jsou zcela využívány jejich možnosti od jednotlivých součástí až po složité montážní celky. Na těchto virtuálních modelech je možné sledovat vyrobitelnost, funkčnost výrobku, dynamické vlastnosti, pevnostní i tepelné namáhání zatěžovaných součástí, rozměrové obvody, smontovatelnost, atd., a tak vlastně odhalit případné nedostatky konstrukčního návrhu ještě před tím, než je vyroben prototyp. Je nesporné, že efektivní využívání komplexních CAD systémů umožňuje zkrácení technické přípravy výroby.

### 1.2.1. Řízení životního cyklu výrobku

#### PLM (Product Lifecycle Management) = řízení životního cyklu výrobku.

Product lifecycle management je proces řízení kompletního životního cyklu výrobku od jeho vzniku (konceptu) přes návrh konstrukci, výrobu, servis až po jeho vyřazení. PLM zahrnuje lidské zdroje, data, procesy a obchodní systémy a poskytuje páteřní informaci o výrobku pro firemní společnosti a jejich podniky. je základním prvkem efektivní tvorby a používání globální inovační sítě.

PLM může být definováno jako informační strategie. Vytváří koherentní strukturu dat, konsolidované systémy. PLM lze také označit jako strategii společnosti. Umožňuje mezinárodním organizacím inovovat, vyvíjet, podporovat a stahovat výrobky z trhu jako jedné firmě za současného podchycení nejlepších metod a vědomostí získaných v průběhu celého života výrobku [ 68 ]. PLM umožňuje typ konvergence, propagované v minulosti ERP (*Enterprise resource planning* – podnikový informační systém) a CRM (*Customer relationship management* - řízení vztahů se zákazníky) systémy. Na počátku devadesátých let sjednocovalo ERP finanční, personální, výrobní a skladovací systémy. O desítku let později svedlo CRM dohromady automatizaci call center a prodejních sítí [ 68 ]. Nyní jsou CAD, CAM, PDM a výrobní postupy konvergovány díky PLM. PLM je unikátní v porovnání s ostatním softwarem, protože se zaměřuje na generování maximálních tržeb z opakovatelného inovačního procesu.

PLM je zaměřen na řízení popisu a vlastností výrobku během jeho vývoje a použitelného životního cyklu, hlavně z pohledu obchodně technického, kdežto PLCM (product life cycle management) je více zaměřen na užití produktu na trhu s ohledem na obchodně-technické náklady a opatření prodeje.

PLM je jeden ze čtyř základních stavebních kamenů firemní struktury informačních technologií. Všechny společnosti potřebují řídit komunikaci a informace s jejich zákazníky. Vývojově-výrobní společnosti musí vyvíjet, popisovat, řídit a komunikovat informace o jejich výrobku.

Dokumentované výhody PLM zahrnují:

- redukovaný čas uvedení výrobku na trh *time-to-market*,
- vylepšená jakost výrobku,
- snížení nákladů na výrobu prototypů,
- úspory díky využívání původních dat,
- rámcová činnost pro optimalizaci výrobku,
- snížení nákladů na zmetky,
- úspory díky kompletní integraci vývojových workflow (toku činností).

Oblasti použití PLM:

- systémové inženýrství System Engineering (SE),
- management výrobku a jejich portfolia Product and Portfolio Management (PPM),
- návrh a design výrobku Product Design (Cax),
- řízení výrobního procesu Manufacturing Process Management (MPM),
- řízení výrobních dat Product Data Management (PDM).



Obr. 3 Základní vlastnosti PLM [7]

Jádro PLM je ve vytvoření a centrálním řízení všech dat výrobku a technologií použitých k přístupu k těmto informacím a vědomostem. PLM jako disciplína se vyvinula z nástrojů jako CAD, CAM a PDM, ale může být na ni pohlíženo jako na integraci těchto nástrojů s metodami, lidskými zdroji a procesy přes všechny úrovně životního cyklu výrobku.

### 1.2.2. Popis jednotlivých základních částí systému CIM

CAD, CAM, CAE a další, jsou anglické zkratky různých počítačových systémů patřících do výroby integrované počítačem – označované jako CIM. Tyto systémy vychází z počítačové grafiky. Zabývají se kompletním návrhem nových produktů a jejich realizaci.

Softwarový CAD/CAM/CAE systém obsahující aplikace pro 3D modelování, tvorbu sestav, mechanismů, tvorbu výkresové dokumentace, výpočty metodou konečných prvků, programování pro NC stroje, testování a správu celého systému.

Pro svoje hardwarové nároky byly v minulosti tyto moduly výsadou jen zúženého okruhu konstruktérů a designérů, pracujících ve specifických odvětvích jako je vojenský průmysl, automobilový průmysl, letectví a speciální strojírenská výroba. V současné době se tyto produkty díky rychle se rozvíjejícímu počítačovému průmyslu rozšířily i do běžného průmyslu, nejen v zahraničí. Tyto systémy jsou zdrojem a zárukou růstu průmyslové produktivity.

#### **CIM** (*Computer Integrated Manufacturing*) = výroba integrovaná počítačem.

Tento systém zahrnuje řízení celého výrobního podniku. Využívá ve všech fázích výroby počítačovou podporu. Jeho funkcí je zastřešit všechny předchozí moduly od CAD přes CAM, CAE a koordinovat tok informací od myšlenky po vlastní realizaci. Jedná se o nasazení informační technologie do všech činností výrobní a inženýrské praxe, od návrhu a tvorby výrobku, až po jeho expedici [43].

Cílem zavádění výroby integrované počítačem je:

- snížení materiálové a energetické náročnosti,
- zvýšení produktivity práce,
- snížení předzásobení,
- zkrácení průběžné doby vývoje a výroby,
- zvýšení časového a výkonového využití výrobních zařízení,
- zlepšení hygieny práce,
- zvýšení kvality výrobků a výroby.

Počítačem integrovaná výroba byla poprvé definována v roku 1973 Josephem Harringtonem v knize "Computer Integrated Manufacturing". Myšlenka tenkráte vzbudila mimořádnou pozornost. Všeobecně představovala novou filozofii řízení celého podniku [ 37 ]. Následně tabulka uvádí nejvýznamnější normované propojení v CIM.

Nejvýznami	Nejvýznamnější normované propojení v CIM		
grafika	PHIGS GKS-3-D CGI CGM	Programmers Hierarchical Graphic System (ISO) Graphical Kernel System (ISO) Computer Graphics Interface (ISO) Computer Graphics Metafile (ISO)	
výkresy, geometrie	IGES SET VDAFS	Initial Graphic Exchange Specification (ANSI) Standard d Exchange et de Transport (AFNOR) VDA-Flächenschnitt (DIN)	
výrobkové modely	PDES STEP CAD-NT	Product Data Exchange Specification (NBS) Standard of Exchange of Product Data Model (ISO) CAD-Normteile	
číslicové řízení	IRDATA APT CLDATA	Industrial Robot Data Automatically Programmed Tools (ISO) Cutter Location Data (ISO)	
protokoly	MAP TOP	Manufacturing Automation Protocol (ISO) Technical and Office Protocol	

Tab. 1Nejvýznamnější normované propojení v CIM [ 26 ]

Následně jsou v tabulce uvedeny nejběžněji používané pojmy i s anglickými názvy.

Značení	Význam
CAA	Počítačová podpora montáže výrobků
	Computer Aided and Assembly
CAD	Počítačem podporovaný návrh
	Computer Aided Design
CAE	Počítačem podporované inženýrství
	Computer Aided Engineering
CAQ	Počítačová podpora řízení kvality
	Computer Aided Quality
CAM	počítačem podporovaná výroba
	Computer Aided Manufacturing
CAMA	Počítačová podpora údržby technických zařízení
	-
CAPE	Počítačová podpora výrobního inženýrství
	Computer Aided Production Engineering
CAPP	Počítačová podpora při zpracování technologické dokumentace
	Computer Aided Process Planning
CAPPS	Pčítačová podpora systémů plánování a řízení výroby
	Computer aided part programming and production control
CARC	Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů
	Computer Aided Robot control
CATS	Počítačová podpora řízení dopravy a skladů
	Computer Aided Transport and Store
CAT	Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky
	-
CIM	Výroba integrovaná počítačem
	Computer Integrated Manufacturing
EDM	Systém pro zprávu elektronických dat
	Economic Development Manager
PDM	Systém pro správu obecných dat o výrobku
	Programming Development Manager

Tab 1	)	Maihăž	axii	noužívon	6	naimu
1 a. 2		Nejbezi	leji	pouzivan	e.	pojiny

Značení	Význam
PLM	Řízení životního cyklu výrobku
	Product Lifecycle Management
PPS	Výrobně plánovací systémy
	Production Planning Systems
PPC	-
	Production Planning and Control
PMS	-
	Production Management System
MRP II	-
	Manufacturing Resource Planning

Tab. 3Nejběžněji používané pojmy - pokračování

Schéma uspořádání dílčích CA systémů v komplexu CIM je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 4 Schéma uspořádání dílčích CA systémů v komplexu CIM

Využívání komplexních CAD/CAM/CAE systémů je vysoce efektivní, protože výrazně snižuje dobu vývoje výrobku i dobu jejich uvedení na trh. To si vyžaduje jiné organizační uspořádání

v podnicích, např. vytváření pracovních týmů, které zahrnují více profesí (špičkových technických, výrobních a marketingových pracovníků). Tímto způsobem je možné efektivně využívat moderní počítačové metody. Pracovní týmy jsou "on-line" propojené navzájem i s výrobním a montážním provozem, a tak je možné okamžitě získat zpětné informace o praktických realizacích jejich myšlenek.

**CAD** (*Computer Aided Design*) = počítačem podporovaný návrh.

Jedná se o konstrukční návrh nové součásti, kdy celá geometrie je interaktivním způsobem modelována a zobrazována ve skutečné reálné formě. Je to tedy souhrn prostředků pro vytváření geometrických modelů. Informace reprezentující geometrický model jsou uloženy v aplikačně sestavené databázi, která je základem pro další kroky v komplexním inženýrském řešení problému návrhu nového modelu.

Počítačová podpora návrhu a tvorby konstrukční dokumentace je interaktivní způsob geometrického modelování tvaru a rozměru navrhovaného produktu v uživatelsky přehledném prostředí. Geometrické modelování vyjadřuje počítačově matematický popis objektu, který se v prostředí CAD zhotovuje v rovině 2D způsobem modelování, jehož charakteristickým rysem je uzavřená lomená čára tvořící postupný profil modelu, nebo modelováním v 3D prostoru, při kterém má model identický tvar se zadáním.

Při vytváření jednotlivých modelů se konstruktér nejčastěji setkává s následujícími příkazy [25]:

- generování základních geometrických elementů např. body, přímky, kružnice atd.,
- příkazy pro manipulaci s objekty tj. posuv, rotace, zrcadlení, zkosení, prodlužení, změnu měřítka,
- příkazy pro spojování elementů do požadovaného objektu a další.

Výsledkem této práce jsou tedy modely, výkresy, sestavy, zjednodušeně CAD data, které tvoří důležitý faktor při integraci CAD systému s jinými CA systémy a aplikacemi pro jejich další využití např. import modelu do prostředí CAM.

**CAM** (*Computer Aided Manufacturing*) = počítačem podporovaná výroba.

CAM označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá geometrické a další informace vytvořené ve fázi návrhu v systému CAD. Představuje v užším pojetí automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni a zahrnuje i automatický sběr dat o skutečném stavu výrobního procesu, numericky řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatické sklady [43].

Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součásti. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd.. Po simulovaném prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součásti je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů.

Zvláštní kapitolou CAM systémů je programování výrobních robotů. Na rozdíl od NC strojů, výrobní roboti řeší transport zpracovávaného materiálu mezi jednotlivými výrobními operacemi, způsob uchopení na výrobních strojích, sestavování vyráběné součásti z jejich jednotlivých částí, přesun *do* a *z* meziskladu apod..

S programováním výrobních robotů souvisí následující moduly:

- CATS (Computer Aided Transport and Store) = počítačová podpora řízení dopravy a skladů,
- CAA (*Computer Aided and Assembly*) = počítačová podpora montáže výrobků,
- CARC (*Computer Aided Robot Control*) = počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů.

**CAE** (*Computer Aided Engineering*) = počítačem podporované inženýrství.

CAE systém se zabývá analýzou geometrických dat získaných v CAD návrhu. Umožňuje simulovat a studovat navržený objekt v extrémních pracovních podmínkách, pro které je tvořen. Následné chyby, které ovlivňují jeho funkci lze okamžitě eliminovat.

Součásti lze zkoumat nejen jako statické, ale je možné je takzvaně "rozpohybovat" a následně prověřovat jejich kinematiku, dynamiku, přestupy tepla apod. Některé systémy mohou využívat např. metodu konečných prvků [43].

**PPS** (*Production Planning Systems*) = výrobně plánovací systémy.

Jedná se o využití počítače pro celou paletu úloh plánování a řízení výroby. Úkolem je zabezpečit vlastní výrobu tak, aby byla optimální z kapacitního, ekonomického a z časového hlediska podle potřeb obchodních útvarů.

Systémy plánování a řízení výroby jsou v anglické a americké literatuře nejčastěji prezentovány pod označením:

- PPC (Production Planning and Control).
- MRP (Manufacturing Resource Planning).
- PMS (Production Management System).

Z porovnání PPS systémů vyplývá, že většina z nich je stále založena na principu MRP a málo se využívají jiné, modernější přístupy k řízení výroby (např. simulační metody, BOA, TOC, apod.) [28].

Dále lze vysledovat tři základní směry vývoje [28]:

- komplexní systémy PPS, obsahující všechny obvyklé moduly,
- malé systémy pouze se základními moduly pro malé firmy,
- systémy na podporu dílenského řízení.

Ve světě se důrazně prosazují grafické systémy pro podporu dílenského řízení. V současné době se dílenské plánování pomocí grafických plánovacích tabulí (GPT) doplňuje i o grafické BDE/MDE/BDV. Tyto systémy poskytují on-line grafické znázornění aktuální situace v dílně (stavy jednotlivých strojů), kapacitní a termínové plánování pomocí grafické plánovací tabule a rozsáhlé vyhodnocovací funkce (přehledy o provozu strojů a spotřebě materiálu, vyhodnocování zakázek, analýza silných a slabých stránek, vyhodnocení poruch, atd.). Rovněž nabízejí rozhraní k CAQ (počítačová podpora řízení kvality) systémům (např. pro kontrolu intervalů měření) a zpětnou vazbu na PPS systémy.

Zmíněné grafické systémy pro podporu dílenského řízení v propojení s DNC systémy a dílenskými informačními systémy tvoří účinnou řídící a podpůrnou koncepci. Toto propojení je na úrovni dílny, která se stává důležitým a nedílným článkem celého informačního řetězce podniku.

**CAPP** (*Computer Aided Process Planning*) = počítačová podpora návrhu a tvorby technické dokumentace.

Modul pracuje na základě konstrukční dokumentace, respektive CAD dat, při návrhu technologické dokumentace, včetně výběru strojů a zařízení pro výrobu. Výstupem mohou být různé formy technologické dokumentace (slovní, obrázkové a tabulkové technologické postupy), NC programy. CAPP tvoří důležité propojení mezi CAD/CAM systémy [25].

**CAPE** (Computer Aided Production Engineering)=*počítačová podpora výrobního inženýrství*. Také překládáno jako Počítačem podporované technologie výroby.

CAPE tvoří subsystém počítačové integrované výroby CIM. Zahrnuje počítačovou podporu všech činností spojených s výrobou součástky např. programování výrobní techniky, obslužných,

dopravních a skladovacích zařízení, měření, zkoušení a diagnostiku součástí. Díky tomuto systému lze dosáhnout zkrácení času uvedením výrobku na trh, zvýšení kvality a snížení nákladů výroby [25].

Systémy automatizované tvorby technologického postupu se snaží zodpovědět otázky typu:

- Jak nejlépe obrábět?
- Jaké metody, nástroje a stroje použít?
- Jak obrobit obrobek na co nejmenší počet upnutí?
- Jaké jsou nejvhodnější upínací přípravky?

Pro tvorbu technologického postupu se často využívají znalostní databáze, ve kterých jsou uloženy veškeré potřebné informace (podnikové metody a postupy, nástroje, přípravky, stroje, atd.). Systém automaticky provede návrh minimálního počtu upnutí s přihlédnutím ke geometrii obrobku a možnostem stroje, návrh vhodného nástroje včetně jeho upnutí, návrh optimálního postupu obrábění a bezkolizní vygenerování dráhy nástroje včetně optimálních posuvů a rychlostí. Uživatel má však většinou možnost ručního zásahu do provedených návrhů (např. korekce nástroje, apod.). Výsledkem je technologický postup, NC program, seznam použitých nástrojů, odhad nákladů a potřebného strojního času.

**CAQ** (*Computer Aided Quality*) = počítačová podpora řízení kvality výroby.

CAQ představuje nástroj, který vstupuje do procesu technické přípravy a vlastní výroby. Jde o zabezpečení kontroly výrobku a řízení kvality výroby. Mezi hlavní úkoly kontroly patří prověřování výrobních plánů, kontrola výrobní dokumentace, technická diagnostika výrobních zařízení a automatizovaná výstupní kontrola. Cílem je zvýšit kvalitu výrobku vlastního výrobního procesu a zkrátit zpětné působení vyhodnocených jakostních parametrů na výrobní a předvýrobní etapy.

## 1.3. Uplatnění CAD/CAM systémů v praxi





Hlavní uplatnění je v oblasti výroby forem, zápustek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojního průmyslu. Jedná se o výrobu komplexních obrobků, forem a zápustek, střižných nástrojů, dílů pro letecký průmysl, hlav válců, lopatek turbín a lopatkových kol apod.

Je třeba však zdůraznit, že se CAM systémy s cenovou a technologickou dostupností stále více uplatňují i při obrábění běžných součástí v jakémkoli strojním průmyslu. Zvláště pak toto uplatnění roste s narůstajícím počtem vyráběných kusů, kdy právě CAM systémy mohou efektivněji optimalizovat dráhy nástroje u sériové až hromadné výroby na rozdíl od dílenského programování. Zde se každá ušetřená sekunda strojního a vedlejšího času projeví na ekonomice obrábění.



Obr. 5 Součásti vyrobené s využitím CAD/CAM systémů – oblast letecký průmysl



Obr. 6 Součásti vyrobené s využitím CAD/CAM systémů – oblast automobilový průmysl

## 1.4. Rozdělení CAD/CAM systémů





Výklad

Rozdělení CAM systému je možné chápat podobně jako u CAD systémů. CAM systémy můžeme dělit podle několika kritérií. Hlediska dělení mohou být různá a to např.:

- dle velikosti systému. Velikosti systému je myšleno konkrétní využití dané aplikace (množství doplňků nadstaveb, obráběcích cyklů atd.),
- podle ceny,
- podle použití,
- podle rozšíření dle počtu licencí,
- podle propojení na ostatní CA systémy,
- podle podpory ze strany výrobce daného software,
- apod.

CAD/CAM systém jako počítačem podporovaný útvar v rámci CIM znamená, že tento systém zabezpečuje všechny činnosti a funkce spadající pod oba CA systémy, s propojením na přímé vazby na ostatní CA systémy.

Podle úrovně systémů a na základě ceny lze CAM systémy rozdělit na:

- malé CAM systémy,
- střední CAM systémy,
- velké CAM systémy.

Toto rozlišení je ovšem v poslední době dosti stíráno a nemá prakticky velký význam.

Na základě začlenění do skupin s přihlédnutím na provázanost dalších CA systémů, lze CAM systémy rozdělit také na:

- CAM systémy integrované v rámci komplexních CAD/CAM/CAE systémů,
- speciální CAM systémy respektive CAD/CAM systémy.

### 1.4.1. Školní a výukové CAD/CAM systémy

Některé CAM systémy lze pořídit v podobě studijní či školní aplikace, které slouží jako výukové verze a nedovolují využívat veškeré možnosti těchto systémů. Slouží většinou pro obecné seznámení s principem konstruování a postupu tvorby NC programu bez možnosti aplikace na danou obráběcí operaci. Omezením může být nemožnost ukládání souboru, tvorby NC kódu, nebo omezení některých funkcí, operačních úseků a operačních cyklů. Výukové CAM systémy mohou být ochuzeny o 3D frézování, případně o víceosé frézování, popřípadě hovoří-li se obecně o obrábění, tak o víceosé obrábění, které umožňuje na obecných tvarových plochách generovat a simulovat dráhy nástroje. Existují například plně funkční lokalizovatelné verze systému, avšak bez možnosti ukládaní a tisku, nebo s nemožností spuštění v plné produkční verzí. Zde dochází k nekompatibilitě mezi produkční a studijní verzí. Takové verze systému lze pořídit již v řádech několika stovek, či tisíc korun za jednu licenci.

Další samostatnou kapitolou jsou demo verze CAD/CAM systémů, které jsou dostupné zdarma. Společnou známkou těchto systému je absence generování NC kódu a dalších podstatných omezení.



## Kontrolní otázky

- 1. Co znamená zkratka PLM?
- 2. Co znamená zkratka CIM?
- 3. Co znamená zkratka CAE?
- 4. Co znamená zkratka PPS?
- 5. Co znamená zkratka CAPP?
- 6. Co znamená zkratka CAPE?
- 7. Co znamená zkratka CAQ?
- 8. Co znamená zkratka CAMA?
- 9. Uveď te základní rozdělení způsobu programování.
- 10. Vyjmenujte oblasti použití PLM.

## 2. POSTUP TVORBY VÝROBNÍHO POSTUPU V CAD/CAM SYSTÉMECH

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>Vysvětlit skladbu výrobního postupu sestav systému.</li> </ul>	ovaného v CAD/CAM Budete umět
Obecně sestavit výrobní postup v jakémkoli	i CAD/CAM systému.
• Popsat základní kroky při práci v CAD/CA	M systému.

Budete schopni:	
Odlišit rozlišnosti u různých softwarových produktů.	
<ul> <li>Obecně sestavit výrobní postup v CAD/CAM systému Mastercam.</li> </ul>	Budete schopni
Obecně sestavit výrobní postup v CAD/CAM systému EdgeCAM	



## **U**Výklad

Následující obrázek ukazuje hlavní kroky při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému.



Obr. 7 Hlavní kroky použití CAD/CAM systému

Myšlenkou procesu obrábění je postupné odebírání materiálu z obrobku do té doby, než se dosáhne výsledného tvaru navržené součásti. Toho lze dosáhnout pomocí vhodně zvoleného obráběcího postupu. Následující obrázek ukazuje postup (základní kroky) při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému. Pro doplnění obrázku je třeba zdůraznit, že v rámci jednotlivých cyklů obrábění se hojně využívá simulace a verifikace pro ověření zamýšleného výsledku jednotlivých úběrů materiálu. Systémy dovolují uživateli provést simulaci úběru materiálu, tak jak bude obrobek vypadat kdykoli během procesu obrábění / programování. Tím programátor získává cennou odezvu, díky níž může zvolit nejvhodnější postupy obrábění dané součásti.



### Obr. 8 Obecný postup při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému

Typickým pracovním postupem je odebírání velkého množství materiálu pomocí hrubovacího nástroje (velký průměr frézy apod.) na počátku výrobního procesu. To se označuje jako hrubování. Dále následují obráběcí cykly s postupně menším úběrem nástroje (axiální a radiální hloubkou řezu.

To se děje do té doby, až na obrobku zůstane rovnoměrný zbylý materiál. Jedná se o dohrubování nebo předdokončování.

Dále následují dokončovací strategie obrábění. Během nich je zbylý materiál z obrobku stejnoměrně odebírán malým nástrojem. Každým pohybem je odebráno konstantní množství materiálu, až je dosaženo cílového tvaru součásti (dokončování).

Mezi poslední obráběcí strategií je pak patří odebrání tzv. zbytkového materiálu, nazývané také doobrobení, nebo cykly srážení hran, zarovnání čel ploch apod.

Při obrábění zbytkového materiálu se jedná nejčastěji o odstranění materiálů zbylého v rozích obrobku, jež nemohl být odebrán z důvodů velkého průměru frézy, nebo špatného přístupu nástroje.

Při tvorbě technologického postupu v CAD/CAM systému lze od sebe oddělit dvě části:

- Geometrickou část ta se vztahuje na tvorbu a úpravu součásti (modelu), nebo její import z jiného CAD systému, kde byla konstruována.
- Technologická část ta se vztahuje přímo na sestavování pracovního postupu.

Toto "oddělení" závisí na použitém CAD/CAM systému. Např. EdgeCAM tyto dvě části striktně odděluje, kdy SE programátor přepíná mezi prostředím CAD a prostředím CAM. Naopak Mastercam využívá jednotného prostředí bez nutnosti přepínání.

Základní obecné úkony při tvorbě pracovního postupu v geometrické části (v CAD modulu):

- úprava přenosem poškozených dat,
- úprava nepřesností vzniklých při zadávání tvaru,
- určení líce a rubu obráběných ploch,
- vhodná orientace a návaznost geometrických prvků obráběného tvaru → pro odstranění zbytečných přejezdů nástroje,
- úprava digitálního modelu z hlediska technologie obrábění např. definování dělící roviny, doplnění technologických přídavků na upnutí atd.,
- orientace modelu v pracovním prostoru (v souřadném systému),
- definice polotovaru,
- definice upínacích elementů,
- umístění modelu obrobku do modelu polotovaru definování přídavků na obrábění,
- definice vazby souřadného systému stroje a souřadného systému obrobku respektive polotovaru,
- vhodné využití pracovního prostoru stroje s ohledem na upínací elementy,
- odměřit geometrii modelu za účelem definování technologie obrábění.

Základní obecné úkony při tvorbě pracovního postupu v technologické části (v CAM modulu) jsou:

- volba a nastavení stroje (volba postprocesoru),
- volba materiálu polotovaru,
- definice nulového bodu obrobku,
- volba způsobu upnutí (upínky, svěrák, sklíčidlo apod.),
- definování operačních cyklů obrábění s potřebnými parametry včetně volby řezných nástrojů a držáků s definováním jejich parametrů a řezných podmínek,
- simulace a verifikace obrábění a následná korekce nastavení,
- vygenerování zvoleným postprocesorem NC program
- vytvoření průvodní dokumentace (návodky, seřizovací listu nástrojů, list jednotlivých operačních cyklů, apod.),
- možné další odladění NC programu v simulačním softwaru,
- odladění NC programu na obráběcím stroji.

Práce v CAM systému tedy spočívá v řazení jednotlivých úkonů a instrukcí do stromové struktury, tak jak mají ve skutečnosti následovat. Jednotlivé položky jsou zaznamenány do stromu instrukcí. Jedná se např. o tyto instrukce:

- pohyb nástroje do výměny,
- pohyb nástroje do reference,
- volba nástroje,
- zapnutí/vypnutí vřetene,
- volba typu chlazení,
- uzavření/otevření sklíčidla,
- zařazení a rušení nástrojových korekcí,
- vložení obráběcích cyklů,
- vložení rychloposuvů a strojních posuvů,
- vložení prodlevy,
- rotace stolu/nástrojové hlavy,
- pohyb koníku a pinoly,
- vložení komentáře,
- vložení cyklu posuvu tyče,
- volba upínek,
- nastavení lapače obrobku a volba dalších strojních funkcí a apod.

Všechny tyto instrukce je možné upravovat, kopírovat, vkládat, rušit (mazat), přesouvat, tak jako v jiných běžně používaných softwarech. Je možné je také jednotlivě simulovat.

### Poznámka

CAM systém obvykle nabízí jen aktuální instrukce (jedná se většinou o různé strojní funkce) Tento výběr jednotlivých instrukcí je závislý na předem zvoleném postprocesoru.

Existují CAM systémy, ve kterých se postprocesor vybírá až před generováním NC kódu (Např. Esprit). U těchto systémů jsou pak dostupné jen ty instrukce, které jsou realizovatelné na konkrétním CNC obráběcím stroji s daným řídícím systémem.



Obr. 9 Ukázka jednotlivých instrukcí ve stromové struktuře v systému EdgeCAM



Obr. 10 Ukázka jednotlivých instrukcí v systému Mastercam a Kovoprog

## 2.1. Základní kroky při tvorbě obráběcího postupu v CAD/CAM systému Mastercam



Práce v jakémkoli CAD/CAM systému je dosti podobná. Existuji však jisté odlišnosti a zákonitosti, které je nutné pochopit.

Následující shrnutí může ukazovat na odlišnosti při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému Mastercam. Jsou to tyto kroky:

- Načtení modelu (2D náčrt, solid model), a jeho ustavení polohovat model,
  - Posunutí modelu do počátku (není nutné, je možné to realizovat v rámci definování drah nástroje).
  - Definování T-roviny obráběcí roviny pro dráhy nástrojů, které se definují v obráběcím postupu, (Pro nejběžnější frézovací aplikace na 3–osé vertikální frézce VMC, nepoužívat WCS přiřazený k Půdorysu, ale použit T-rovinu Půdorys.)
  - Definovat C-roviny roviny používané při tvorbě a úpravách grafiky.
- Načtení polotovaru, upínacích elementů a jejich polohování.
- Volba typu obrábění *Typ stroje / frézka/ soustruh* 
  - vytvoření obráběcího postupu zadání: jména postupu, řídící systém stroj (postprocesor), nastavení stoje,
  - o nastavení úložiště pomocných souborů,
  - o nastavení nástrojů,
  - o nastavení polotovaru a bezpečnostní zóny,
  - o nastavení druhu obráběného materiálu,
  - o a další nastavení.
- Vložení dráhy nástrojů (cyklu obrábění):
  - o výběr geometrie, která bude obrobena,
  - o nastavení chráněné a omezující geometrie,
  - o volba nástroje,
  - o volba držáku nástroje,
  - o volba strategie obrábění a dalších podmínek obrábění,
  - o nastavení hloubek obrábění,
  - o nastavení parametrů napojení drah nástroje,
  - o nastavení rovin (souřadného systému, rovin nástroje),
  - o nastavení řízení os,
  - o doplnit další parametry a činnosti obrábění (chlazení, přídavné texty v NC kódu apod).
- Simulace a verifikace obrábění.
- Vytvoření NC kódu.
- Vyhotovení návodky seřizovacího listu.

## 2.2. Základní kroky při tvorbě obráběcího postupu v CAD/CAM systému EdgeCAM



### Čas ke studiu: 10 min



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

Popsat základní kroky při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému EdgeCAM.

Vyjádřit odlišnosti při tvorbě pracovního postupu od jiných CAD/CAM systémů.



### Výklad

Následující shrnutí může ukazovat na odlišnosti při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému EdgeCAM. Jsou to tyto kroky:

### V režimu design:

- Výběr prostředí (soustružení / frézování),
- Výběr režimu (průměrový / polo průměrový),
- Konfigurační profil (soustružnický profil / frézovací profil / drátořez. profil),
- Načtení modelu (2D náčrt, solid model),
- Polohovat model, popř. i polotovar (příkaz polohovat pro soustružení),
- Načtení obrobku a upínacích elementů,
  - o případně vytvoření polotovaru, upínek (geometrie-Polotovar/Upínka),
- Nastavení druhu obráběného materiálu,
  - o buď Určením profilu soustružení (příkaz: Soustružnické útvary) pro soustružení,
  - nebo Určením typických tvarů (příkaz: Určení typických tvarů) pro soustružení ze solidu.

### V režimu obrábění:

- Zavedení obráběcího postupu zadání: jméno postupu, řídící systém stroj (postprocesor), zakázka, programátor, tolerance, pracovní rovinu (osová zx), atd.:
  - o buď zvolit nástroj a pokračovat soustružnickými cykly (nabídka: Soustružnické cykly),
  - o nebo zvolit nabídku operací (nabídka: Operace).
- Doplnit činnosti:
  - pohyb rychloposuvem,
  - o pohybu nástroje do výměny,
  - pohyb do reference.
- Simulace obrábění.
- Vytvoření NC kódu.
- Vyhotovení seřizovacího listu.

CAM systém EdgeCAM rozlišuje nabídky obráběcích cyklů na Operace a Cykly,

Důvodem tohoto rozdělení je zjednodušení práce. Uživatel může postupovat dvěma cestami, které dospějí ke stejnému cíli.



### Poznámka

Pojem "Operace" v EdgeCAM se liší od známé definice operace v obecném dělení technologického postupu – kde je např. operace soustružení, operace frézování, apod.

### Rozdíly mezi názvoslovím Operace a Cykly v EdgeCAM

Pojem Operace jsou zde spojením několika jednotlivých obráběcích cyklů a instrukcí.

Po výběru z menu **Operace** systém vyžaduje výběr obráběné geometrie a pozice pomocných bodů (např. startovací bod). Následně se zobrazí dialogové okno vybraného operačního úseku, do kterého se zadají potřebné hodnoty a volby.

- EdgeCAM sám použije definované obráběcí cykly pro operaci a zároveň k nim přidá další nezbytné instrukce-úseky (Pohyb do výměny, Zapnutí/Vynutí chlazení, volba nástroje z databáze, korekce atd.).
- Nabídka operace je vhodná pro začínající programátory.

Po výběru v menu **cykly** je postup opačný. Nejprve jsou zadány parametry dialogu zvoleného obráběcího cyklu a následně je až vybrána geometrie pro obrobení.

Pokud se nepoužívají operace, pak se musí jednotlivé instrukce zadávat postupně. Z tohoto důvodu se nabídka menu Operace doporučuje spíše pro začátečníky. Nabídka menu operace sjednocuje cyklus obrábění s doplňujícími úseky (volba nástroje, volba korekcí, zapnutí vřetene apod.) do jednoho příkazu.

Volba z menu Operace v sobě zahrnuje tyto instrukce:

- Volby nástroje,
- Volba otáček, •
- Volba chlazení, •
- Vlastní obrábění obráběcí cyklus (úsek), •
- Zastavení vřetene (stop otáček), •
- Stop chlazení, •
- Odjezd nástroje do výměny, •
- a možné další.



### Kontrolní otázka

- 1. Napište hlavní kroky použití CAD/CAM systémů.
- 2. Napište obecný postup (základní kroky) při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému.
- 3. Co znamená operace a cyklus v názvosloví EdgeCAM?
- 4. Co nazýváme instrukcí v EdgeCAMu?

Jaké instrukce zahrnuje volba z menu Operace v systému EdgeCAM?



### Úkol k řešení

Načrtněte obecný postup při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému.

## 3. IMPORT GEOMETRICKÝCH DAT DO PROSTŘEDÍ CAM

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

<ul> <li>Budete umět:</li> <li>Vysvětlit základní zákonitosti importu a polohování geometrie součásti v CAD/CAM systému.</li> </ul>	Budete umět
Budete schopni:	
<ul> <li>Importovat geometrii polotovaru do CAD/CAM systému.</li> </ul>	Dudata ash suni
<ul> <li>Importovat geometrii upínek do CAD/CAM systému.</li> </ul>	Budete schophi
• Správně polohovat obráběnou součást pro následné obrobení.	

Tato kapitola popisuje úpravu a polohování vložených geometrických dat (modelu součásti, polotovaru, upínek a další geometrie). Kapitola je doplněna o řešené příklady a úkoly k samostatnému řešení.





V úvodu tvorby pracovního postupu, tak jak již bylo pospáno, v předcházející kapitole 2, programátor buď vytvoří (nakreslí) požadovanou geometrii, nebo ji importuje ze souboru.

Složitější geometrické tvary je výhodnější importovat do prostředí CAM z uživatelsky přívětivějších softwarů, jako jsou CAD systémy. Známé používané CAD systémy jsou například AutoCAD, Inventor, SolidWorks, Pro-Engineer, NX, CATIA (používaná u mnoha firem pracujících v automobilovém průmyslu) a další.

Po ukončení práce na tvorbě součásti předá konstruktér geometrická data pro obrábění technologovi - programátorovi. Pojem ukončení práce na tvorbě konstrukce součásti však nemusí být striktní. Práce na konstrukci např. sestavy, v CAD systému může být do určité míry souběžná s prací technologickou v práci CAM.

Předání geometrických dat může být uskutečněno mnoha způsoby, např. sdílením dat, elektronickou poštou, předáním na elektronickém nosiči apod..

Příkladem předání dat pomocí mailu je převzetí zakázky (opracování dílů) firmou, jež se zaměřuje jen na výrobu. Tyto společnosti využívají převážně CAMovskou část CAD/CAM systému, tedy technologickou část. S výjimkou různých úprav obráběné geometrie a tvorby pomocné geometrie. Geometrii součásti tedy přebírají od svých dodavatelů formou zakázky. Komunikace mezi konstruktérem a technologem se pak realizuje pomocí elektronické pošty, nebo pomocí rychle se rozvíjejících se metod videokonferencí apod..

Další možností vytvoření geometrie součásti (jednotlivých geometrických prvků představující součást, jednotlivých ploch či solid modelu) je přímo v CAM systému. Výhodou je odstranění případných chyb při importu součásti z jiného softwaru.

Z průzkumů vyplívá, že jen malá část firem tvoří konstrukční návrh nové součásti a pracovní postup výroby v témže CAD/CAM systému, přestože tento způsob přináší mnohé výhody.



### Poznámka

Geometrická data nemusí představovat jen často zmiňovaný 3D model součásti. Mohou to být například také různé geometrické útvary (úsečky, kružnice, oblouky, křivky), plochy, profily, obrysy a kontury součásti, apod..

Následně jsou uvedeny hlavní zásady při importu geometrických do prostředí CAM.

- Při otvírání již vytvořeného souboru např. modelu součásti je vhodné zvolení typu souboru příslušného zdroje, tj. typu souboru, ve kterém byla geometrická data vytvořena.
- V případě některých chybových hlášení typu: "soubory nejsou podporovány", nezoufejte, v systémovém nastavení lze provést nápravu.

Mnohdy se vyskytne případ, kdy tyto geometrická data nelze načíst do CAM systému. To už je ale záležitostí konkrétního používaného systému a systému, ve kterém byla data vytvořena. Přenos dat mezi různými softwary je neustále vyvíjen a vylepšován. V dnešní době je na něj kladen velký důraz.

Oblast hledání:	📙 2_FORMA 🔹	G 🤌 📂 🛄 🗸		Náhled
Název položky	*	Datum změny	Т	
FORMA.NO	)F	1.9.2008 14:00	Sc	
🔁 FORMA		4.8.2008 15:38	A	
👌 FORMA		1.9.2008 10:52	Sc	
FORMA.vn		1.9.2008 14:00	Sc	
FORMA_SE	F Uložil: Mara	1.9.2008 14:03	Li	
FORMA_TF	Velikost: 601 KB	1.9.2008 13:45	D	
	·			
•	III		•	při importu lze
				každý soubor
Název bonu:	FORMA		•	ruzne nastavit
souboru:	Všechny soubory (*.*)		•	7/
Soubory typu: Složky:	C:\USERS\MARA\DESKTOP\MODE	LY\2_FORMA	•	
		[	Nastavení	

Obr. 11 Nastavení importu v Mastercam



Importujte model součásti s názvem Deska s tvarem.sldprt ze SolodWorks do CAD/CAM systému Mastercam X5.

Ověřte možnost, zda načtený solid model SolidWorks bude jako solid model bez historie svého vzniku, nebo včetně historie. Při načtení nastavte import křivek hran modelu.

#### 3.1. Umístění objektů do vhodné polohy



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



#### Po prostudování této podkapitoly budete umět: Cíl

vytvořit model dílce a vhodně ho umístit, nebo importovat dílec a vhodně ho umístit do polohy pro jeho následné obrábění (při 30sé frézování).



## Výklad

Po importování objektů do modulu CAM sytému je nutné umístit objekt, popř. objekty do vhodné polohy. K tomu slouží příkazy Transformace jako je: posun, rotace, apod.

Při práci v Mastercam lze využít dynamické polohování (příkaz: Transformace/Transformace dvnamický). Při tomto příkazu se postupuje od ikonek od zleva doprava.

V EdgeCamu je možné využít také příkaz: Záměna souřadnic (záměna rovin), díky které velice jednoduše lze polohovat objekt. Tento příkaz je výhodný pro polohování 2D geometrie součásti.

Záměna so	ouřadnic 🔀
Základní	
Zaměnit	XY→ZX ▼
	OK Storno Nápověda

**Obr. 12** Záměna souřadnic - EdgeCAM

Při práci se solid modely je výhodné v jakémkoli CAD/CAM systému využívat speciální příkazy pro polohování modelu pro soustružení a pro frézování.



Posunutí modelu do počátku - MasterCAM **Obr. 13** 

Následně je vybrán bod, podle kterého bude posunut model. Při posunutí modelu se nemusí vybírat plochy.

Příkaz lze také najít v EdgeCAMu: *Modely/Polohovat pro soustružení*, nebo *Modely/Polohovat pro frézování*. Při použití příkazu *Polohovat pro soustružení* se označí rotační plocha (válec) a rovina kolmá na osu z (např. čelo). Dojde ke správné orientaci modelu podle osy z.

Souřadnicový systém NC /CNC strojů určuje norma ČSN ISO 841 (ON 20 0604). Je dán popisem os a pohybů, jež vychází:

- z pravotočivého pravoúhlého souřadného systému,
- pravidla pravé ruky, (konečky prstů ukazují kladný smysl os),
- osa Z je osou hlavního vřetene.





V CAD/CAM systému MasterCAM a EdgeCAM a i v jiných je barevné značení os následující.

Červená	X
Zelená	у
Modrá	z



Poznámka

Až po správném zapolohování dílce je vhodné vytvořit polotovar.

### 3.1.1. Polohování obráběné geometrie pro frézování

Při polohování modelu pro frézování je důležité dodržet polohu modelu součásti tak, aby osa z směřovala do vřetene frézky, tedy aby osa z směřovala stejným směrem jako osa rotačního nástroje – frézy. Ostatní osy (x a y) představují osy stolu frézky. Orientace modelu součásti pak tedy dodržuje i vhodnou polohu součásti na stole obráběcího stroje. Následující obrázek ukazuje příklad polohování součásti – krytu. Je zde vidět i vytvořený polotovar zaznačen růžovou barvou.



Obr. 15 Orientace os pro polohování modelu pro frézování

Následující obrázek ukazuje umístění modelu součásti, typu příruba, do vhodné polohy pro frézování drážek a vrtání otvorů z čela.



Obr. 16 Umístění modelu do výchozí polohy pro frézování



Načtěte součást "Model U1.step (nebo formáty IGS,  $x_b$ )" (Model kovací zápustky) do CAM systému Mastercam a přesuňte ho do počátku souřadného systému a vhodně ji orientujte.

Odevzdejte vyřešený úkol ve formátu U1\_příjmení.EMCX-5.



Obr. 17 Znázorněný výsledek přesunu do počátku a vhodné orientace pro obrábění.

### 3.1.2. Import upínacích přípravků

Dalším důležitým aspektem je import upínacích částí a přípravků (upínek). Bez vytvoření konkrétní grafiky upínacích přípravků, tedy s reálnými rozměry, by CAM systém simuloval jen obrábění s polotovarem, což neumožňuje zabránění případných kolizí držáku a nástroje s upínacím zařízením, přípravky a strojem.

### Vytvoření modelů strojního svěráku

Z C X

Na následujícím obrázku je zobrazen svěrák používaný u stroje PC Mill 155 na katedře obrábění a montáže VŠB-TU Ostrava.



Obr. 18 Strojní svěrák RÖHM 721UH

Pro modelování upínacích přípravků může být použit jakýkoli CAD systém, nebo CAD/CAM systém. Před vytvořením vlastních modelů upínacích přípravků je vhodné vytvořit i model pracovního stolu frézky (soubor k nalezení v opoře s názvem **"Stůl.ipt"**), sloužící k uchycení modelovaných přípravků.

Z ↓ ▼\_\_\_\_X



Model stolu frézky (soubor, Stůl.ipt"), je na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

Vytvoření modelů svěráku spočívá ve 4 fázích, je nutné svěrák modelovat jako sestavu s oddělenými čelistmi. To proto, aby se pak rozevření čelisti nastavilo na konkrétní dílec.

- 1. Výběr parametrů z technické dokumentace.
- 2. Modelování
  - o pevné čelisti,
  - o posuvné čelisti,
  - o upínacích elementů svěráku.
- 3. Vytvoření sestavy těla svěráku.
- 4. Úprava sestavy v partmodeláři.

Je nutné si dát pozor na přesnost konstrukce. Zvláště pak nepřesně konstruované čelisti svěráku mohou způsobit reálné kolize na stroji.



Obr. 20 Posuvná čelist svěráku

Upínání svěráku je tvořeno modely šroubu, pružnou podložkou a T-profilem se závitem. Tyto prvky se nepodílí přímo na obráběcím procesu a jen stěží mohou způsobit kolize s nástrojem. Důvod jejich začlenění do modelu svěráku je to, že umožňují jednoduše připevnit pevnou čelist ke stolu bez nutnosti tvorby rovin, které by tvořily vazbu.



### Obr. 21 Upínání svěráku pomocí upínky

Sestava (soubor "Tělo svěráku.aim") zahrnuje pevnou čelist, pracovní stůl a upínání svěráku. Tuto sestavu lze společně s posuvnou čelistí (soubor "Posuvná čelist.ipt") vkládat a do CAD/CAM systému.



Obr. 22 Tělo svěráku se stolem frézky



Sestavu strojního svěráku (soubor "Tělo svěráku.aim") lze nalézt na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

K usnadnění budoucího polohování svěráku v CAM systému lze využít nadstavba EdgeCAMU - Partmodelář. Tato úprava slouží pro variantu vkládání modelu pomocí tzv. makro jazyka.

Aby byly modely z Inventoru použitelné pro Partmodelář, exportují se do formátu Parasolid. Tím vzniknou soubory **"Posuvná čelist.x\_b"** a **"Tělo svěráku. x\_b"**. V Partmodeláři se oba soubory označí jako upínky pomocí funkce *Upínky*. To je podstatné pro budoucí ověřování v CAM. V případě kontaktu takto označené geometrie s nástrojem program nahlásí chybu.

Konečným výsledkem CAD návrhu svěráku jsou soubory uložené z Partmodeláře "Posuvná čelist. pmod" a "Tělo svěráku. pmod".



Modely strojního svěráku (soubory "Posuvná čelist. pmod" a "Tělo svěráku. pmod".) lze nalézt na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

### Vytvoření modelu upínky pro vložení do prostředí CAM

Upínka se skládá z vymodelování jednotlivých nenormalizovaných částí, vložení normalizovaných součásti z knihovny obsahové centra (kruhová podložka a šroub) a seskupení jednotlivých elementů do sestavy "Upínka.aim". Pro jednoduché vkládání upínek byla vytvořena sestava upínek a pracovního stolu "Upínky se stolem.aim", viz. následující obrázek. Tato sestava je výsledným souborem CAD návrhu a bude s ním pracovat v dalších krocích.



Obr. 23 Sestava upínek a pracovního stolu

Veškeré vazby upínek lze libovolně upravit a tím pokrýt rozmanité uživatelské nároky. Čtvercové matice mají přednastavené vazby v T-drážkách tak, aby se mohly pohybovat v osách drážek. Rameno každé z upínek je upevněno v ose šroubu při teoreticky nejvyšší možné poloze (prakticky v takové výšce nemůže být, protože závit šroubu upínky již není zašroubován v závitu matici), tím se dosáhne dostatečné výškové rezervy nástroje nad upínkou při skutečném frézování. Pro snadnější polohování upínek a polotovaru jsou zkonstruovány roviny ramen a praocvního stolu umožňující uživateli připevnění upínky za obrobek několika kliknutími myši.



CD-ROM

Modely sestav (**"Upínka.aim"** a sestava upínek a pracovního stolu **"Upínky se stolem.aim"**) lze nalézt na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

Na elearnigovém portálu lze nalézt i další typy upínek.



### Kontrolní otázka

- 1. Které tvary je výhodnější importovat do prostředí CAM z uživatelsky přívětivějších softwarů, jako jsou CAD systémy?
- 2. Jak se uskutečňuje předání dat mezi konstruktérem a technologem programátorem?
- 3. Co mohou geometrické data kromě 3D modelu také představovat?
- 4. Jakými příkazy se načtený model vhodně orientuje?
- 5. Co určuje souřadnicový systém NC /CNC strojů?
- 6. Čím je dán souřadnicový systém NC /CNC strojů?
- 7. Z čeho vychází souřadnicový systém NC /CNC strojů?
- 8. Jaké je barevné značení os v CAD/CAM systémech?
- 9. Jak má svěřovat osa z?
- 10. Co znamená načtení upínek a jaký to má význam?

## Úkol k řešení

Importujte model součásti pro frézování (*Kryt.sldprt*) a vhodně ho zapolohujte na stůl frézky.

Pro "upnutí" modelu na stůl frézky použijte:

- a) strojní svěrák,
- b) upínky,
- c) strojní svěrák se stolem frézky,
- d) upínky se stolem frézky.



### Korespondenční úkol č.2

Importujte model součásti pro frézování (*Kryt.sldprt*) a vhodně ho zapolohujte na stůl frézky v programu Mastercam.

Pro "upnutí" modelu na stůl frézky použijte:

- a) strojní svěrák,
- b) upínky.

Odevzdejte vyřešený úkol ve formátu: U2a\_příjmení.EMCX-5 U2b\_příjmení.EMCX-5
# 4. NASTAVENÍ POČÁTEČNÍCH PODMÍNEK OBRÁBĚNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>Vysvětlit základní zákonitosti nastavování počátečních podmínek v CAD/CAM systému.</li> </ul>	<b>P</b> udoto umŏt
• Vysvětlit a popsat vztažné body CNC stroje pro frézování.	Budete umet
<ul> <li>Vysvětlit základní zákonitosti při nastavování obráběcího postupu v CAD/CAM systému.</li> </ul>	

Budete schopni:	
<ul> <li>Nastavit nulový bod obrobku.</li> </ul>	
• Nastavit volbu stroje s volbou postprocesoru.	Budete schopni
Nastavit obráběný materiál.	
• Nastavit polotovar.	





Tato kapitola popisuje nastavení počátečních podmínek obrábění – kapitola vysvětluje tvorbu nulového bodu obrobku a nastavení dalších souřadných bodů obrábění, nastavení a volbu modelu, polotovaru, postprocesoru a dalších vstupních podmínek obrábění.

Nastavení počátečních podmínek obrábění v sobě obecně zahrnuje tyto stěžejní úkony: (reprezentované např. v Mastercamu):

- nastavení nulového bodu obrobku,
- zavedení obráběcího postupu:
  - o nastavení stroje postprocesoru,
  - o nastavení druhu obráběného materiálu,
  - o nastavení geometrie polotovaru vytvoření polotovaru.

V závislosti na CAM systému se tyto úkony mohou zadávat v jiných souvislostech. Pro EdgeCAM je nastavení geometrie polotovaru a nastavení druhu obráběného materiálu se v EdgeCAMu volí v prostředí CAD. Při zavedení postupu se v EdgeCAM zadá:

- jméno postupu,
- řídící systém stroj (postprocesor),
- zakázka,
- programátor,
- tolerance, pracovní rovinu (xy pro frézování, osová zx pro soustružení), atd.

## 4.1. Vztažné body CNC obráběcího stroje



### Čas ke studiu: 1 hod



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- Vysvětlit vztažné body CNC obráběcího stroje.
- Správně rozmístit vztažné body CNC obráběcího stroje.



## Výklad

Vztažné body CNC obráběcího stroje jsou:

- nulový bod obrobku W,
- referenční bod R,
- nulový bod stroje M,
- nulový bod nástroje F (nulový bod nosiče nástroje),
- dorazový bod A,
- výchozí bod programu C.

Nulový bod obrobku W je bod, ve kterém je umístěn počátek souřadného systému ze kterého se vychází při programování. Lze ho libovolně měnit. Nejčastější umístění nulového bodu obrobku při frézování je na nejvyšším místě (popř. v rohu, v ose nálitku apod.) obráběné součásti, nebo na polotovaru.

Referenční bod R je dán výrobcem stroje. Je v pracovním prostoru stroje. Určuje maximální možnou vzdálenost od nulového bodu stroje a je dan koncovými spínači v jednotlivých osách. Po po najetí do referenčního bodu obráběcí stroj rozpozná svou polohu - "rozpozná, kde je". Vzdálenost referenční bod - nulová bod stroje je uložena v tabulce strojních konstant. Bez najetí referenčního bodu nemůže stroj v režimu absolutního zadání souřadnic pracovat.

Nulový bod stroje M a referenční bod stroje jsou pevně dané výrobcem obráběcího stroje. Nelze je tedy měnit. Jsou také nastaveny v postprocesoru. Referenční bod stroje se nastavuje vzhledem k absolutní nule stroje (nulový bod stroje). Do referenčního bodu najíždí nástroj při zadání funkce vjezd do reference, což je nutné při tzv. ztrátě souřadného systému. K tomu může dojít při havarijním zastavení stroje, nebo např. při výpadku elektrického proudu. Vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a referenčním bodem určuje pracovní prostor stroje. Reference se tedy nachází v maximálním rozměru pracovní části stroje.

Nulový bod nástroje F je bod na upínací (dosedací) ploše nosiče nástroje (například konec vřetena v ose vřetena). V nulovém bodě nástroje F má nástroj nulové rozměry, proto je nutné skutečnou dráhu nástroje korigovat. K tomuto bodu se vztahují korekce nástroje.

Dorazový bod A je bod, na který dosedá součást v upínači (např.v tříčelisťovém sklíčidle)

Výchozí bod programu C je počátečním bodem programu (výchozí pozicí nástroje). Lze ho libovolně s ohledem na pracovní prostoj stroje určit. Stanovuje se tak, aby mohla být prováděna bez omezení výměna součásti nebo nástroje, případně mohla být provedena kontrola součásti.

Následující obrázek ukazuje smluvené značení vztažných bodů NC/CNC obráběcího stroje.



Obr. 24 Značení vztažných bodů NC/ CNC obráběcího stroje



Obr. 25 Vztažné body a orientace os při frézování



Obr. 26 Orientace souřadného systému svislé a vodorovné frézky

## 4.2. Nastavení nulového bodu obrobku

# Ø

## Čas ke studiu: 45 min



### Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- Vysvětlit, co je to nulový bod obrobku,
- Nastavit importovaný model součásti do vhodné polohy,
- Nastavit nulový bod obrobku.



## Výklad

•

Následující obrázek ukazuje umístění nulového bodu obrobku pro frézování dané součásti. Pro toto umístění se v CAD/CAM systémech používají různé způsoby:

- V CAD/CAM systému Mastercam se využívají funkce práce s rovinami (Mastercam), kde se volí rovina nástroje a její počátek a další konstrukční roviny.
- V CAD/CAM systému EdgeCAM se orientuje model v prostředí CAM s počátkem, který vyjadřuje nulový bod obrobku pomocí příkazu tvorby nové roviny CPL.
- V CAD/CAM systému SolidCAM se využívá speciálního menu "Nulový bod", které obnáší pokročilé nástroje pro zavedení, přesuny a další správu nulových bodů.

Na Obr. 27 je znázorněn postup při nastavení nové roviny obrábění s nastavením nulového bodu obrobku na součásti vhodné pro indexované obrábění.



Obr. 27 Tvorba nové roviny obrábění s nastavením nulového bodu – Mastercam [ 44 ]

Nová rovina se přidá do seznamu rovin a pohledů, včetně souřadnic jejího počátku vzhledem k původnímu počátku.

/běr	
2	
Název	Počátek (v souřadnicích zobraz
PÛDORYS	X0. Y0. Z0.
NÁRYS	X0. Y0. Z0.
ZADNÍ	X0. Y0. Z0.
SPODNÍ	X0. Y0. Z0.
PRAVÝ BOKORYS	X0. Y0. Z0.
LEVÝ BOKORYS	X0. Y0. Z0.
ISO	X0. Y0. Z0.
TOP	X0. Y0. Z0.
FRONT	X0. Y0. Z0.
BACK	X0. Y0. Z0.
BOTTOM	X0. Y0. Z0.
RIGHT SIDE	X0. Y0. Z0.
LEFT SIDE	X0. Y0. Z0.
SIKMA	X312. Y115.38843876 Z7.8586

Obr. 28 Seznam rovin v daném souboru - Mastercam [44]

Je důležité upozornit, že při obrábění dílce, nebo více dílců najednou, může být využito více nulových bodů, v závislosti na složitosti dílce a způsobu obrábění. Například pro indexované obrábění se používá několik nulových bodů pro jednotlivé dílce, nebo jejích různé strany (plochy).

Následující Obr. 29 ukazuje sloupový upínací přípravek (věž) s jednotlivými obráběnými díly a jejich nulovými body. Každý díl na přípravku má svůj vlastní nulový bod obrobku. Velká řada programátorů preferuje tento způsob zadání nulových bodů obrobků.



Obr. 29 Zobrazení více nulových bodů při indexovaném obrábění více dílů najednou [2]

Druhou možností je využití jednoho (centrálního) souřadného systému pro celé obrábění, viz Obr. 30. Použitelnost obou způsobů závisí na osobní preferenci programátora.



Obr. 30 Zobrazení jednoho (centrálního) nulového bodu při indexovaném obrábění více dílů najednou [2]



Obr. 31 Zobrazení jednoho (centrálního) nulového bodu při obrábění jednoho dílu [2]



Obr. 32 Umístění modelu do výchozí polohy pro frézování se zobrazeným nulovým bodem obrobku

Při 2,5 a 305 m obrábění dílce upnutého ve strojním svěráku (jak ukazuje předchozí obrázek) operátor stroje využívá přesunu nulového bodu z polohy nulového bodu stroje (M) do polohy nulového bodu obrobku (W<sub>1</sub>) zvoleného např. na rohu pevné čelisti svěráku. Toto přesunutí využívá pro obrábění více dílců ve svěráku, který je ponechán stále na stejném místě.

Následující obrázek ukazuje posunutí nulového bodu (M) na hranu pevné čelisti svěráku  $(W_1)$  a další posunutí na hranu obrobku, nebo polotovaru  $(W_2)$ . Tyto dvě fáze přesunutí provádí operátor stroje.



Obr. 33 Posunutí nulového bodu (M) na hranu pevné čelisti svěráku (W<sub>1</sub>) a následné posunutí na hranu obrobku (W<sub>2</sub>)

Dalším vztažným bodem CNC obráběcího stroje, který lze libovolně měnit (kromě nulového bodu obrobku - W, který je možné v CAM systému volit) je bod výměny nástroje. Ten se volí s ohledem na rozměry obráběné součásti a pracovního prostoru stroje. Navíc je nutné přihlédnout ke kinematice obráběcího stroje s daným typem výměny nástroje. S oblibou se zadává se stejnou pozicí jako referenční bod stroje.

Toto nastavení v EdgeCAMu lze provézt v záhlaví instrukcí obráběcího postupu při nastavení parametrů obráběcího postupu –výměna, viz Obr. 34.

Parametry obráběcího	postupu	x
Základní Reference	Výměna Údaje zakázky	
X výměny	250	
Y výměny	250	
Z výměny	120	
	OK Stomo Nápo	věda

#### Obr. 34 Nastavení stroje s možnosti zadání souřadnic bodu výměny nástrojů při frézování - EdgeCAM

Nastavení souřadnic bodu výchozí polohy nástroje se provede přímo v kartě cyklu obrábění – Parametry napojení - výchozí/ref.body, viz Obr. 35.

Vysokorychlostní obrábění ploch - Optimalizované hrubování	
🦞 🗊 🔚 🏭 🗐	
Typ dráhy nástroje       Nástroje       Nástroje       Parametry obrábění       Zaříznutí       Strmé/ Mělké       Parametry popiení       Výchosí / Ref. body       Filtr / Tolerance oblouku       Roviny (WCS)       Chlazení       Přípravený text       Různé hodnoly       Rízení os       Neprováděná výměna nástroje       Rizení rotačních os	Výchozí poloha         × 250.0         Y 250.0         Z 250.0         Výchozí poloha         X 250.0         Z 250.0         Z 250.0         Výchozí poloha         Z 250.0         Výchozí poloha         Najetí         X 0.0         Y 0.0         V 0.0
Rychlý náhled nastavení	Absolutně     Absolutně
Nástoj 25. FLAT ENDMILL A Průmě nástroje 25. Polomě hrany 0. Posuv 610.8 E	Přírůstkově Ze stroje

Obr. 35 Zadání souřadnic bodu výměny nástrojů při frézování - Mastercam

#### Pojmy k zapamatování

#### Vztažné body CNC obráběcího stroje.

Nulové a další vztažné body na CNC strojích patří mezi základní znalosti o programování CNC strojů atd..



## Další zdroje

Informace o této problematice by měly být uvedeny v jakékoliv literatuře o programování CNC obráběcích strojů. Např. jsou uvedeny Štula M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 120 s. Praha 2006. ISBN 80-7300-207-8.



## Řešený příklad 4.1

Vytvořte polotovar typu výpalek přímo v CAD/CAM systému MasterCAM X5.

# 4.3. Zavedení obráběcího postupu v a nastavení počátečních podmínek frézování





## Výklad

Zavedení obráběcího postupu v Mastercamu lze provézt dle následujícího postupu. Nejprve se příkazem "Typ stroje/výchozí" zavede obráběcí postup, viz Obr. 36.



Obr. 36 Nastevení typu stroje - Mastercam

Po té se vytvoři obráběcí postup, viz. následující obrázek.



Obr. 37 Vytvořený obráběcí postup

Obrábecí postup-1	Vlastnosti obráběcího postupu			
	ſ	Soubory	Nastavení ná	stroje Nastav
Nastavení hástroje		Název	skupiny	Obrábec í pos
Bezpečnostní zóna		Složka	NC progr.	C:\Users\MA
		Komer	ntář skupiny	

Obr. 38 Úprava vytvořeného obráběcího postupu

Úpravou je možno docílit volby parametrů pro nastavení počátečních podmínek obrábění:

1) Změna zvoleného obráběcího stroje, tedy postprocesoru.





2) Úprava druhu obráběného materiálu.

Materiál	
ALUMINUM mm - 2024	Úprava Vybrat

#### Obr. 40 Úprava druhu obráběného materiálu

3) Nastavení geometrie a pozice polotovaru.



Použít strom stroje

Obr. 41 Nastavení geometrie a pozice polotovaru

#### Způsoby vytvoření polotovaru pro následné obrábění

Obecně lze vytvořit polotovar těmito způsoby:

- a) import polotovaru, upínacích přípravků, či upínek z CAD/CAM systému,
- b) nakreslení polotovaru, upínacích přípravků, či upínek přímo v systému CAM,
- c) vytvořením tzv. automatického polotovaru,
- d) vytvoření polotovaru z již vytvořené dráhy nástroje,
- e) použití modelu polotovaru ze simulace obrábění.

## 4.4. Vložení upínacích elementů do Mastercam



Čas ke studiu: 0,5 hod

## 4.4.1. Vložení strojního svěráku do Mastercam

Existují dvě možnosti vložení svěráku, a to pomocí "Soubor/Vložení do souboru" a pomocí "transformace" zapolohovat svěrák k obrobku, nebo pomocí makra.

Sestava svěráku se vloží pomocí "Soubor/Vložení do souboru".

Pro lepší efektivitu práce, ale hlavně pro další simulaci obrábění se strojem je vhodné všechny díly upínky (svěráku) převést do stejné hladiny. To lze funkci "Analýza" příkaz "Vlastnosti prvků" lze změnit číslo hladiny i barvu. Tlačítkem "Na celý výběr" se provede aplikování změn na obě součásti a stačí jen potvrdit.

Následně je v řešeném příkladu popsána první varianta vložení strojního svěráku.

Řešený příklad 4.2

Vložte model svěráku RÖHM 721 UH do CAM systému Mastercam a vhodně ho zapolohujte k modelu součásti Kryt.sldprt.

K vložení svěráku RÖHM 721 UH do CAM systému se využije model svěráku uvedený na stránkách opory, případně na CD.

### 4.4.1. Vložení upínek do Mastercam

K vložení mechanického upínače do CAM systému se využije CAD návrh. Jedná se o sestavu mechanického upínače, který je nutný vymodelovat dle skutečné předlohy v jakémkoli CAM systému, nebo přímo v CAM systému.

Stejně jako v předchozí podkapitole se bude mechanický upínač vkládat pomocí "Soubor/Vložení do souboru". Dříve než se upínač vloží, mělo by se rozhodnout, jak bude obrobek upnut. Zda bude upnutý nad stolem, nebo ležící na stole. Z tohoto důvodu byl vytvořen jednoduchý výkres L profilu pevného dorazu (podpůrný soubor: *Kap4-VÝKRES L-PROFILU UPÍNAČE.pdf*), ze kterého studenti zjistí základní parametry upínače. Na základě těchto parametrů se budou schopni rozhodnout, jaký způsob upnutí zvolit.



**CD-ROM** 

Modely mechanického upínače pro stroj EMCO PC MILL 155 (*mechanický upínač pro PC Mill 155.zip*) včetně pracovního stolu frézky EMCO PC Mill 155, lze nalézt na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

Na elearnigovém portálu lze nalézt i další typy upínek.

# Kešený příklad 4.3

Vložte upínky do CAM systému Mastercam a vhodně je zapolohujte k modelu součásti Tvarnik.sldprt.

K vložení upínek do CAM systému se využije sestavu upínek (sestava upínek se stolem frézky PCMill 155.iam) uvedenou na stránkách opory, případně na CD. Stůl frézky je možné vymazat.

## 4.5. Vložení modelu svěráku do systému EdgeCAM



Obě části svěráku (sobory **"Tělo svěráku.aim"** a **"Posuvná čelist.ipt"**) lze postupně vložit do EdgeCAMU pomocí *Soubor/ Vložit/ Model*. Vložené části svěráku se poté pracně zapolohují k polotovaru. Jelikož se tyto zdlouhavé úkony opakují při jakémkoliv použití nového obrobku, přichází na řadu zefektivnění - **makro**.

Makro je posloupnost několika operací nadefinovaná za účelem zefektivnění a zautomatizování často aplikovaných postupů. Obsahuje základní logické funkce, pomocí kterých lze definovat své vlastní postupy a tím některé stále se opakující operace zautomatizovat.

#### 4.5.1. Tvorba makra svěráku

Protože nelze vytvářet makra ve studentské verzi EdgeCAMu, byl použit instalační balík "EdgeCAM freeware". Toto softwarové řešení je volně přístupné na internetových stránkách výrobce a dá se libovolně upravovat. Instalace softwaru zahrnuje složku **"Parametric vice**" obsahující parametrické makro upínacích přípravků **"Automatic Vice.pci**" a pomocné CAD modely. Aby mohl být svěrák RÖHM 721 UH úspěšně vkládán výše zmíněným makrem, je nutné udělat několik úprav spočívajících ve 4 fázích:

- 1. Zkopírování CAD návrhu.
- 2. Přepsání pomocných modelů:
  - o aktualizace modelu,
  - o polohování.
- 3. Úprava zdrojového kódu:
  - o přepsání dialogů,
  - o změna adresáře,
  - o promazání nadbytečného kódu,
  - přejmenování makra.
- 4. Odstranění původních modelů.

ad 1) Modely z CAD návrhu "Tělo svěráku. pmod" a "Posuvná čelist. pmod" se zkopírují do složky "Parametric vice", složka se přejmenuje na "Parametrický svěrák". Zkopírované sobory se použijí v následujícím kroku.

ad 2) V EdgeCAMU se otevře pomocný model makra - tělo svěráku "Vice body. epf". Pomocí příkazu *Modely/ Aktualizovat model* se přepíše stávající geometrie modelem "Tělo svěráku. pmod". Stejným postupem se nahradil pomocný model čelisti svěráku "Vice jaw.epf" modelem "Posuvná čelist. pmod".

Následuje polohování *Modely/ Polohovat pro frézování* nebo *Posun* jednotlivých modelů tak, aby se souřadný systém nacházel v identickém místě jako u modelů před aktualizací. Tímto místem je střed horní hrany čelistí.

ad 3) Zdrojový kód makra "Automatic Vice. pci" je zobrazen a upravován pomocí Poznámkového bloku nebo jiného textového editoru.

Úprava spočívá v přepsání dialogů (dialogy jsou přeloženy do češtiny a upraveny tak, aby uživatele srozumitelně vedly krok po kroku), prostřednictvím kterých makro komunikuje s uživateli.

Nastavení pracovního adresáře bylo upraveno, aby makro bylo možné spouštět z libovolného umístění (podmínkou je přesun vždy celé složky, nikoliv pouze souboru makra).

Kód nevztahující se k RÖHM 721 UH byl smazán. Makro bylo uloženo pod názvem "Parametrický svěrák".pci.

Pozn. Samostatný zdrojový kód nelze přímo využít, je potřeba ho nechat přímo provádět tzv. interpretem – EdgeCAM.

ad 4) Nepotřebné soubory původních upínek se odstraní.

Výstupem je parametrické makro svěráku RÖHM 721 UH. Soubory potřebné pro správné fungování, případnou editaci, jsou znázorněny na Obr. 42.

Název položky	Тур	Velikost
Parametrický svěrák	Soubor PCI	3 kB
💼 posuvná čelist	Dokument model	45 kB
💼 tělo svěráku	Dokument model	412 kB
🚳 Thumbs	Data Base File	8 kB
🔮 vice body	Edgecam Part	390 kB
🔮 vice jaw	Edgecam Part	106 kB

Obr. 42 Soubory makra strojního svěráku RÖHM 721 UH

# Kešený příklad 4.4

Vložte upínací element (model svěráku RÖHM 721 UH) do EdgeCAMu pomocí makra "Parametrický svěrák.pci "a vhodně ho zapolohujte vzhledem k obrobku Kryt.sldprt

## 4.6. Vložení upínacích elementů do systému Edgecam



Čas ke studiu: 20 min

Vložení upínacích elementů se řídí základními kroky v EdgeCAMu, vyjma fáze vložení obrobku. Obrobek se vkládá do sestavy upínek již v CAD softwaru. Naopak sestava upínek **"upínky se stolem. aim"** zahrnující obrobek se pomocí příkazu *Soubor/ Vložit/ Model* importuje do prostředí CAM. Zde se označí upínky se stolem jako geometrie, která se nesmí obrábět *Geometrie/ Polotovar/ Upínka*.



Obr. 43 Vložené upínky společně s obrobkem



Modely jednoduchých upínek (*Modely upínek pro EMCO PC Mill 155.zip*) včetně pracovního stolu frézky EMCO PC Mill 155, lze nalézt na e-learningovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

Na elearningovém portálu lze nalézt i další typy upínek.



#### Poznámka

Některé CAM systémy, např. SolidCAM, umožňují propracovanou práci s vazbami. Proto při aplikaci těchto systému není nutné používat CAD systémy, ve kterých se upínací elementy polohují k obrobku a následně vkládají do CAM.

#### Simulace obrábění se zobrazením stroje a verifikace obrábění

Hlavní důvod zavedení upínacích přípravků do CAM systémů je dobře patrný na následujících obrázcích. Včasné odhalení kolizí před samotnou výrobou vrátí obratem uživateli námahu a náklady, které věnoval k aplikaci upínačů při procesu ověřování.



Obr. 44 Automatické hlášení (červeně znázorněné) kolize nástroje s upínačem -Mastercam



Obr. 45 Automatické hlášení (červeně znázorněné) kolize nástroje s čelistmi svěráku - EdgeCAM



Obr. 46 Automatické hlášení (červeně znázorněné) kolize nástroje s upínkami -EdgeCAM



**Obr. 47** Simulace obrábění na stroji včetně vložených upínek - EdgeCAM



## Kontrolní otázka

- 1. Které stěžejní úkony "Nastavení počátečních podmínek obrábění" v sobě obecně zahrnuje CAM systém?
- 2. Co je to nulový bod obrobku?
- 3. Kde se nejčastěji umísťuje nulový bod obrobku?
- 4. Jak se značí nulový bod obrobku?
- 5. Jak se značí nulový bod stroje?
- 6. Jak se značí referenční bod?
- 7. Jak se značí nulový bod nástroje?
- 8. Jak se značí výchozí bod programu?
- 9. Jakým způsobem lze vytvořit polotovar?
- 10. Co je myšleno pojmem počáteční podmínky a které to jsou?
- 11. Jakým způsobem se vkládá svěrák do Mastercam?
- 12. Co nazýváme upínacím elementem?
- 13. Co zabezpečuje simulace upínacích elementů?



## Úkol k řešení

- 1. Vložte upínací elementy do systému Mastercam při frézování dílce a následně ověřte v simulaci stroje, zdali dochází ke kolizi těchto elementů s nástrojem nebo upínačem.
- 2. Vložte upínací elementy do systému EdgeCAM při frézování dílce a následně ověřte ve verifikaci, zdali dochází ke kolizi těchto elementů s nástrojem nebo upínačem.

# 5. TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ TVAROVÝCH PLOCH

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• Vysvětlit základní způsoby obrábění tvarových ploch.	
<ul> <li>Vysvětlit rozdíl mezi 3 osým a víceosým frézováním tvarových ploch.</li> </ul>	Budete umět
• Vysvětlit pojem simultánní obrábění.	

#### **Budete schopni:**

•	Popsat a vysvětlit kinematiku 30sé frézování.	Budete schopni
٠	Popsat a vysvětlit kinematiku víceosého osé frézování.	



## Čas ke studiu: 20 min



Před nástupem NC a CNC obráběcích strojů se využívalo pro obrobení tvarové plochy tyto způsoby:

- Využitím tvarových řezných nástrojů (fréz).
- Použitím sdružených posuvů na konvenčních frézkách. (kontrola dodržení tvaru při tomto způsobu je nejčastěji přímo na stroji kontrolována přiložením tvarové šablony)
- Obrábění tvarových ploch kopírovacím způsobem (využití kopírovacího zařízení) na konvenčních frézkách

Zmiňované způsoby se využívají pro obrobení jednodušších tvarů součásti, kde není zapotřebí pohyb nástroje současně ve 3 osách. Jestliže jsou plochy komplikovanější, přichází k úvaze jen využití CNC obráběcích strojů se současným pohybem alespoň ve 3 osách.

Obecné metody frézování tvarové plochy lze rozdělit na:

- 30sé frézování tvarových ploch.
- Víceosé frézování tvarových ploch.

Tvarovou plochou je v kontextu této výukové opory myšlena plocha na následujícím obrázku, kde je znázorněna vnější tvarová část a vpravo pak tvarová dutina, označovaná také otevřená tvarová kapsa.



#### Obr. 48 Obecná tvarová plocha

Následně budou popsány jen nejběžnější a progresivní metody výroby tvarových ploch. Tedy pomocí 30sého a víceosého frézování na CNC frézovacích centrech.

## 5.1. 3osé frézování tvarových ploch

Ø

Čas ke studiu: 20 min

Frézování 30sé je běžným způsobem CNC obrábění tvarových ploch. Nástroj se může pohybovat současně ve třech směrech. Tuto lze provádět na tzv. tříosých CNC obráběcích strojích – tříosých frézovacích centrech. Následující obrázek ukazuje příklady obrábění kulovou frézou s naznačením směru posuvu nástroje.



Obr. 49 Typické příklady obrábění tvaru kulovou frézou [29]



Obr. 50 Obrábění 3osé [58]

Typickým pracovním postupem při frézování forem je odebírání velkého množství materiálu pomocí nástroje o velkém průměru na počátku výrobního procesu (hrubování). Dále následují obráběcí cykly s postupně nástroji menších průměrů, při kterých je z obrobku odebíráno stále menší množství materiálu. To se děje do té doby, kdy na obrobku zůstane rovnoměrný zbylý materiál (konstantní přídavek na obrobení). Jedná se o dohrubování, zbytkové hrubování, polodokončování nebo předdokončování. Dále následují dokončovací strategie obrábění, během nichž je tento stejnoměrně zbylý materiál odebírán z obrobku až k dosažení cílového tvaru součásti. Poslední etapou obráběcího postupu je odebrání tzv. zbytkového materiálu, nazývané také doobrobení. Jedná se nejčastěji o odstranění materiálů zbylého v rozích, který nemohl být odebrán z důvodů velkého průměru frézy, nebo špatného přístupu nástroje.

Pro zajištění plynulého obrábění a výsledné kvality obrobeného povrchu je nutné při hrubování, předdokončování a dokončování odebírat stále stejnou tloušťku materiálu, viz následující obrázek.



Obr. 51 Zajištění stálé tloušťky odebíraného materiálu

Při obrábění tvarové plochy kulovou nebo stopkovou frézou s rádiusem v rohu, dochází vlivem velikosti šířky řezu (kroku přejezdů), rádiusu nástroje a zakřivení povrchu, ke vzniku výstupků na obrobeném povrchu viz. následující obrázek.



Obr. 53 Obrábění tvarové plochy kulovou frézou a stopkovou frézou s rádiusem v rohu

## 5.2. Víceosé frézování tvarových ploch



Čas ke studiu: 20 min

Frézování víceosé zahrnuje technologii frézování s použitím více jak tří os. V obecném podvědomí známé jako obrábění více jak 30sách současně, avšak pro definici víceosého obrábění současný pohyb ve zmiňovaných osách není podmínkou [2]. Nejběžněji označovanou touto technologií je 50sé frézování, ale může být jim také frézování 40sé. Tuto lze provádět na tzv. víceosých CNC obráběcích strojích – víceosých frézovacích centrech. Existují také případy víceosého obrábění s použitím 90s a byly dokonce postaveny obráběcí stroje s více jak 1000sami [2].

50sé frézování je velice progresivní technologie CNC obrábění tvarových ploch. Při 50sém plynulém frézování se nástroj může pohybovat současně v pěti osách. Je možné obrábět plochu s jakoukoli orientací. To lze realizovat plynulým natáčením vřeteníku, natáčením obrobku, nebo rozdělením natáčení mezi vřeteník a obrobek. Obrábění pomocí souvislých (plynulých nebo také kontinuálních) 50s umožňuje současný pohyb lineárních i rotačních os obráběcího stroje.

Kinematikou víceosých strojů se rozumí definice pohybu jednotlivých částí obráběcího stroje. Lineární pohyby se realizují podle os X, Y, Z. U víceosého frézování se k těmto osám přidávají pohyby rotačních os A, B, C. Podle kinematiky stroje získáváme v NC programu kromě lineárních os X, Y, Z ještě rotační osy A, B, C. Zápis 50sé dráhy do NC programu vypadá následovně, např. jeden blok NC programu [ 69 ]: 55 L X-17.838 Y-3.196 Z-2.810 B-15.098 C-58.923. Kde ve významové části slova (za x, y, z) jsou zapsány souřadnice bodu pohybu nástroje a za B a C jsou úhly natočení rotačních os.

V praxi se lze setkat s celou řadou kinematických konfigurací uspořádání lineárních a rotačních os na stroji, viz následující obrázek.

Základní rozdělení konstrukce víceosých obráběcích strojů z hlediska rozdělení pohybu mezi obrobkem-stolem a vřetenem-nástrojem, je v praxi označována:

- Stůl-stůl; Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby dvojitým otočným stolem. Primární otočný stůl nese sekundární.
- Hlava-stůl; Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby stolem, který nese obrobek a vřeteníkem s naklápějícím nástrojem.
- Hlava-hlava; Dochází k pohybu obráběcí hlavy stroje (vřeteníku) v úhlu azimutu a elevaci. Obrobek je stacionární.



Obr. 54 Příklady typického uspořádání víceosých obráběcích strojů [2]

50sým simultánním frézováním, lze docílit kvalitnějšího obrobení tvarového dílce při využití efektivního rádiusu nástroje, znázorněno na Obr. 55. Touto metodou se docílí lepší drsnost povrchu, zvýší se přesnost obrobené plochy a v neposlední řadě se zkracuje celkový čas obrábění.

50sé simultánní frézování umožňuje pro nejvhodnější obrábění stopkovou frézou s rádiusem v rohu kontinuálně regulovat naklápění nástroje s respektováním obráběného povrchu. Šířka řezu nástroje je generována pro specifickou výšku výstupků (drsnosti ve směru kolmém na posuv) s ohledem na co nejnižší hustotu jednotlivých drah nástroje. Standardní procedury pro 30sé frézování jsou pak nahrazovány mnohem dokonalejšími speciálními moduly CAM systémů pro 50sé frézování, které dosahují vysoké kvality povrchu, použitím nejvhodnější strategie obrábění.







Obr. 56 50sé frézování zakřiveného povrchu stopkovou frézou s rádiusem v rohu



Pojem simultánní obrábění.

Vysokou produktivitu lze dosáhnout použitím nejvhodnějšího sklonu osy nástroje vůči obráběnému povrchu pro daný sklon obráběného povrchu. V současnosti nejsou navrhované změny polohy osy nástroje v praxi rozšířeny, a to i přes svoje nesporné výhody. Výrobci CAM softwarů sice

umožňují aplikovat náklony os, vřeten a stolů, ale neuvádí přesný postup a konkrétní hodnoty těchto náklonů pro dosažení co nejefektivnějšího obrábění.



### Kontrolní otázka

- 1. Jaké způsoby obrobení tvarových ploch se využívaly před nástupem NC a CNC obráběcích strojů?
- 2. Jak lze rozdělit obecné metody frézování tvarových ploch na CNC obráběcích strojích?
- 3. Jakou tloušťku materiálu (přídavek) je nutné odebírat pro zajištění plynulého obrábění a výsledné kvality obrobeného povrchu při hrubování, předdokončování a dokončování?
- 4. Jak je v praxi označováno základní rozdělení konstrukce víceosých obráběcích strojů z hlediska rozdělení pohybu mezi obrobkem-stolem a vřetenem-nástrojem?
- 5. Co znamená simultánní obrábění?
- 6. Lze metodou 50sého simultánního obrábění docílit lepší drsnost povrchu, než při 30sém obrábění?

## 6. ROZDĚLENÍ A POPIS ZÁKLADNÍCH STRATEGIÍ 2,50SÉHO A 30SÉHO FRÉZOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

<ul><li>Budete umět:</li><li>Vysvětlit základní zákonitosti 2,5 a 3 osého frézování.</li></ul>	Budete umět
<ul><li>Budete schopni:</li><li>Popsat základní rozdělení strategií 2,50sého a 30sého obrábění.</li></ul>	Budete schopni



Čas ke studiu: 20 minut



## Výklad

Tato kapitola se věnuje volbě a uplatnění základních strategiía 2,5 a 30sého frézování.

Rozdělení frézovacích strategií, operačních úseků a nabídek obráběcích cyklů v CAM systémech není obecně definováno. Lze však uvézt alespoň základní používané názvosloví v CAM systémech:

Při 2,50sém obrábění se nástroj se pohybuje ve dvou osách (např. X a Y), zatímco zbývající osa (např. *z*-ová osa) zůstává pevná – nepohyblivá.

### Obráběcí cykly pro 2,50sé frézování:

- hrubování,
- frézování rovinných ploch a čelních ploch,
- frézováni profilu, kontury a osazení (ofsetování, paralelní frézování),
- frézování kapes,
- dokončování rovinných ploch,
- obrábění děr,
- vrtání po obvodě,
- předvrtání otvorů pro zanoření frézy,
- frézování sražení,
- frézování drážek,
- frézování textu,
- gravirování,
- hrubování odvrtáváním,
- ruční frézování,
- 2,50sé zbytkové frézování,
- zapichovací frézování, apod.

Při 30sém obrábění se nástroj může pohybovat současně ve všech třech směrech. Možné rozdělení jednotlivých obráběcích cyklů pro 30sé frézování.

#### Obráběcí cykly pro 3osé frézování:

- hrubování (ve vrstvách),
- dokončování,
- řádkování,
- frézování na konstantní drsnost,
- frézování v z výškách,
- okružní frézování, spirální frézování,
- průmětné frézování (frézování průmětu, frézování projekcí),
- frézování podle řídící křivky,
- frézování textu,
- frézování zbytkového materiálu,
- tužkové frézování obrábění perem obrábění rohů,
- frézování drážek,
- kapsování děr,
- 30sé vrtání na ploše,
- frézování závitů,
- apod.

Dráhy nástrojů se generují dle geometrie obrobku, proto změna této geometrie (v CAM systému, nebo v externím CAD softwaru) vyvolá změnu celého obráběcího postupu – to v případě, že uživatel propojení zachoval.



Vytvořte vhodné strategie 2,50sého frézování prizmatických ploch součásti krytu v systému Mastercam. Načtěte model součásti *Kryt.sldprt*. Použijte strategie hrubování, frézování rovinných ploch, frézováni, kontury a obrábění děr.



### Další zdroje

Problematika základních cyklů 2,50sého frézování je popsána ve skriptu:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.

## Kontrolní otázka

- 1. Napište alespoň 6 obráběcích cyklů (strategií) pro 2,50sé frézování.
- 2. Napište alespoň 5 obráběcích cyklů (strategií) pro 30sé frézování.

## 7. ROZDĚLENÍ A POPIS ZÁKLADNÍCH STRATEGIÍ VÍCEOSÉHO FRÉZOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
Vyjmenovat základní rozdělení víceosého frézování.	
Rozdíly v pojmech víceosé obrábění a víceosé frézování.	Budete umět
• Popsat a definovat pojmy 50sé obrábění a víceosé obrábění.	
• Popsat co je to indexování.	

Budete schopni:	
<ul> <li>Popsat výhody a nevýhody 5osého obrábění.</li> </ul>	Budete schopni
<ul> <li>Vyjmenovat základní obráběcí cykly 5osého obrábění.</li> </ul>	

Tato kapitola se věnuje volbě a uplatnění základních strategií víceosého frézování.





Jak již bylo řečeno, frézování víceosé zahrnuje technologii frézování s použitím více jak tří os. Nejběžněji označovanou touto technologií je 50sé frézování, ale může být jim také frézování 40sé. Tuto technologii lze provádět na tzv. víceosých CNC obráběcích strojích – víceosých frézovacích centrech.

Při 40sém obrábění je pohyb nástroje proti 30sému navíc doplněn např. otočným stolem nebo náklonem nástroje.

Při 50sém obrábění se nástroj může pohybovat současně v pěti osách. Je možné obrábět plochu s jakoukoli orientací. To lze realizovat plynulým natáčením vřeteníku, natáčením obrobku, nebo rozdělením natáčení mezi vřeteník a obrobek.

### Základní výhody 5osého frézování:

- možnost komplexního obrobení dílu,
- snížení času výroby,
- možnost opracování dílců mnohem efektivněji (na menší počet upnutí obrobku snížení možnosti chyby při seřizování),
- možnost použití kratších nástrojů pro docílení produktivnějšího obrábění a zvýšení trvanlivosti nástrojů,
- zlepšení funkčních vlastností obrobeného povrchu (parametrů drsnosti povrchu, mikrotvrdosti, zpevnění povrchové vrstvy, atd.) díky obrábění mimo osový střed nástroje,
- zvýšení přesnosti výroby,
- možnost využití vyšších řezných a posuvových rychlostí.

#### Při využití 5osého plynulého frézování lze zmiňované výhody dále doplnit o:

- možnost obrobení velmi složitých tvarů,
- odstranění v procesu výroby operace s nekonvenčními technologiemi,
- možnost naklonění nástroje pro předcházení kolizí mezi nástrojem, držákem nástroje a obrobkem,
- možnost naklonění nástroje pro docílení lepšího přístupu k obráběné ploše snížení vyložení nástroje (zásadní zejména pro obrábění hlubokých částí forem a zápustek),
- možnost naklonění nástroje pro zvýšení kvality obrobeného povrchu a přesnosti a zvýšení trvanlivosti nástroje,
- možnost tvorby konstantního průřezu třísky,
- použití mnohem efektivnějších strategií v porovnání s 30sým frézováním.

#### Nevýhody použití 5osého plynulého frézování lze shrnout do těchto bodů:

- vyšší pořizovací náklady (cena obráběcího centra, vybavení stroje, CAD/CAM systém, postprocesor, atd.)
- vyšší nároky na programátora a obsluhu stroje,
- problematická vizualizace a větší možnost kolizí,
- vyšší náklady na opravu stroje a jeho příslušenství při možné kolizi.

Je důležité se zmínit o tzv. indexování. Je mnoho různých typů obráběcích center, které mohou současně obrábět např. ve třech osách a v dalších dvou osách dochází jen k polohování součásti mimo samotný řez. Při 30sém frézování používá obráběcí stroj tři lineární osy. Při 50sém polohovém frézování jsou přidány další dvě rotační osy. To je často označováno jako 3+2 obrábění. Obrábění 3+2 odkazuje na tři lineární osy, které jsou ovládány současně a dvě osy rotační, pomocí kterých lze vřeteník přesunout na novou pozici a pak teprve obrábět. Poté, co je vřeteník v nové pozici, provádí se klasické 30sé frézování, viz Obr. 57. Tento typ obrábění může pohybovat pouze lineární osou nebo osou rotační (nelze tedy provádět oba pohyby zároveň).

Mnoho součástí je vyráběno touto metodou, tzv. indexování, avšak pro typ výroby forem a zápustek není indexace efektivní. Tato metoda je výhodná pro hrubovací fáze výrobního postupu. Pro dosažení větší tuhosti je doporučováno při hrubování zablokovat rotační osy. Dvě rotační osy jsou nejprve nastaveny do požadovaných poloh a následně zablokovány, pak tedy dochází ke klasickému 30sému frézování. Zablokováním rotačních os lze dosáhnut vyšší tuhosti než při 50sém simultánním frézování. Proto metoda indexování při hrubování je považována za přesnější, než simultánní frézování ve více osách.

Z hlediska kinematiky je možné úhlové osy A a B možné realizovat buď natáčením vřeteníku, nebo natáčením obrobku, anebo rozdělením kinematiky mezi nástrojový a obrobkový systém. Realizace dvouosého natáčení vřeteníku je účelná hlavně u strojů s velmi rozměrnými, nebo protáhlými obrobky, jejichž umístění na otočném a sklopném stole není dost dobře reálné.

Pro HSC aplikace (vysokorychlostní a vysokoposuvové) je žádoucí naklápět integrované vřeteno jako celek, nikoli přivádět pohyb k vřetenu přes naklápěcí kuželové převody. Gyroskopické efekty HSC vřeten a požadavky rychlého odstraňování třísek spíše hovoří pro dvouosé natáčení obrobku upnutého na otočném stole [ 57 ]. Velmi je také rozšířena koncepce otočného stolu uloženého ve sklopné "kolébce", která je využitelná v kombinaci s vertikálním i horizontálním vřetenem.

#### Obráběcí cykly pro víceosé frézování:

- 4osé rotační,
- 5osé obvodové,
- 50sé dokončovací,
- 50sé frézování plochy,
- 50sé vrtání na ploše,
- 50sé frézování drážek 50sé drážkování na ploše,
- 50sé frézování po křivce, a další.



# Obr. 57 Příklad obrábění dílu s různých úhlů bez nutnosti přepínání při tzv. indexování [2]

V současné době jsou dva směry vývoje 50sého programování. Prvním směrem směřují přímo výrobci CAD/CAM systémů, kteří vlastními silami vyvíjí své moduly 50sého plynulého obrábění (DP Technology/Estprit, Delcam/PowerMILL, Open MIND/HyperMILL, Sescoi/WorkNC). Druhým směrem je 50sé plynulé obrábění vyvíjené společnosti Module Works. Společnost Module Works poskytuje 50sé plynulé obrábění pro mnoho předních společností, distribuující CAM softwarové systémy. (Zdroj CIMDATA uvádí, že je to 10 z 20 společností). Mezi nimi je např. SolidCAM, Mastercam, EdgeCAM, GibbsCAM, Cimatron, Peps a další. Modul 50sého obrábění jsou zmiňovanými společnostmi převzaty a implementovány do svého prostředí.

Následně jsou uvedeny obráběcí cykly implementované systémem Mastercam od společnosti Module Works. Je to tedy také výčet cyklů se kterými se uživatel setká i u dalších hojně využívaných a zmiňovaných CAM systémů.

Klasické (běžně užívané) obráběcí cykly:

- po křivce,
- bokem frézy,
- podél pružných řádků,
- víceplošné,
- frézování kanálů,
- rotační.









Rychlé a účinné 5-tiosé vrtání.

Výkonná víceosá hrubovací strategie výrazně

zkracuje obráběcí čas.



Obrábění podle řídící křivky.



5-tiosé pružné řádky má uplatnění tam, kde je vhodné, aby dráhy nástroje kopírovaly přirozený tvar součásti



Tangenciální obrábění vice ploch udržuje v záběru

celou řeznou částí pro kvalitní povrch.



Mastercam umožňuje širokou škálu pohybů nástroje: jednosměrný, obousměrný a vyhlazený pohyb po šroubovicí.

4-osé programování rotačních dílců umožňují 4-osé rotační obrábění. speciální strategie pro obrábění stěn na rotačních dílcích.

#### Obr. 58 Nabídky strategií víceosého obrábění v Mastercam [ 50 ]



Obr. 59 50sé obráběcí cykly v Mastercamu

Pro obrábění drátového modelu se využívají strategie:

- frézování přechodu mezi křivkami,
- rovnoběžné s násobnými křivkami,
- záběry podle křivky,
- promítnutí křivek.



#### Obr. 60 50sé obráběcí cykly při užití drátových modelů v Mastercamu

Pro obrábění solid modelu tělesa, nebo ploch se využívají strategie:

- rovnoběžně s plochami,
- rovnoběžné záběry,
- přechod mezi dvěma plochami,
- trojúhelníková síť.



Rovnoběžně s plochami Rovnoběžné záběry Přechod me

Přechod mezi 2 plochami

Trojúhelníková síť

### Obr. 61 50sé obráběcí cykly při užití solid modelů v Mastercamu

Pro obrábění děr se využívají strategie:

- díry,
- kruhové frézování.



#### Obr. 62 50sé obráběcí cykly pro díry a kruhové frézování v Mastercamu

Dalšími cykly 50sého obrábění jsou cykly vytvořené pro obrábění konkrétních dílců, např. pro obrábění výfukových kanálů, forem pneumatik, oběžných a rozváděcích kol, a dalších aplikací vyditelných v následujícím obrázku.



Obr. 63 50sé obráběcí cykly speciálních aplikací v Mastercamu

Důležitou částí při programování je využití konverze 30sé dráhy nástroje na 50sou. Jedná se o převod 30sého cyklu obrábění na cyklus 50sý. Odlazený 30sý cyklus se snadným způsobem konvertuje na 50sý. Při konverzi se doplní zejména údaje, které převádí 30sou dráhu nástroje na 50sou. Jedná se zejména o nastavení řízení osy nástroje (nastavení náklonů nástroje, nebo obrobku) a nastavení kolizí).



Obr. 64 Volba převodu 3osého frézoování do 5osého v aplikací v Mastercamu



## Kontrolní otázka

- 1. Napište základní výhody 50sého frézování.
- 2. Napište rozšíření výhod při využití plynulého 50sého frézování.
- 3. Napište nevýhody 50sého frézování.
- 4. Co znamená indexování?
- 5. Vyjmenujte obráběcí cykly pro víceosé frézování.
- 6. Co jsou to 50sé obráběcí cykly pro obrábění konkrétních dílců?
- 7. Co znamená konverze do 5 os?

## 8. STRATEGIE 2,50SÉHO HRUBOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• Vysvětlit základní nastavení 2,50sého hrubování.	Budoto umăt
Vysvětlit základní možnosti 2,50sého hrubování.	Dudete uniet
• Vysvětlit rozdíly v zadávaných rovinách a hloubkách obrábění.	

#### **Budete schopni:**

- Volit vhodnou strategii 2,50sého hrubování na danou součást. Budete schopni
- Volit roviny a hloubky obrábění (najížděcí, přejížděcí, odměřovací).



**Ú** Výklad

Kapitola se věnuje jednotlivým strategiím obrábění, jejich vytvořením v návazností na jejich použití. Kapitola je doplněna o praktická cvičení a úkoly k samostatnému řešení.

Při 2,50sém obrábění se může nástroj pohybovat ve dvou směrech současně (např. x a y) a pohyb v další ose (např. z) je omezen jen na nastavení pevné úrovně. Následně budou popsány základní strategie 2.5 frézování.



Obr. 65 Simulace 2,50sého frézování

Frézování 2,50sé je vhodné pro obrábění prizmatických součástí, které lze definovat vytažením křivky ve směru osy Z. Prizmatická součást obsahuje kolmé stěny, může být obrobena tak,

že se nástroj pohybuje v určité Z – úrovni a provádí pohyby v rovině XY, poté přejde na další úroveň Z, kde opět provádí pohyby, atd.

Při tomto obrábění se mohou obrábět součásti, které jsou definovány pouze 2D křivkami. 3D geometrie součásti sice může být přítomna, není však nutná.

## 8.1. Základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů

Mezi základní zadávané údaje v operačních listech patří:

- zadání nebo úprava řezných podmínek, které systém sám navolil z databáze,
- způsob frézování: sousledné, nesousledné, kombinované (řádkování),
- nastavení úhlu pohybu nástroje,
- nastavení různých strategií frézování,
- určení hloubek,
- nastavení přejezdů,
- najetí do záběru (úhel, délka, poloměr, procento posuvu, atd.),
- vyjetí ze záběru (úhel, délka, poloměr, procento posuvu, atd.),
- prodleva otáček vřetene, atd.

Je důležité upřesnit následující obrázek, který ukazuje způsoby a pojmy frézování. Hloubka řezu a<sub>p</sub> by měla být uváděná jako radiální hloubka řezu. Šířka řezu a<sub>e</sub> by měla být uváděná jako radiální hloubka řezu. Pak by nedocházelo k záměnám např. při obrábění na vodorovné frézce.



Obr. 66 Základní způsoby a pojmy frézování [ 38 ]

Následující obrázky ukazují způsoby určení rovin a hloubek obrábění a základní zákonitosti u systému Mastercam a EdgeCAM.

V systému Mastercam se určení rovin a hloubek provede v daném cyklu obrábění v záložce *Parametry napojení*, viz Obr. 67. Zde jsou zobrazeny dvě varianty v závislosti na použité strategii.

Hloubkové parametry lze zadávat absolutně, nebo přírůstkově zadáním konkrétní hodnoty. U solid modelu lze vycházet z horního, nebo spodního okraje útvaru.



# Obr. 67 Způsoby určení rovin a hloubek v Mastercam (vlevo strategie obrábění kapes, vpravo strategie hrubování)

Určení hloubek v systému EdgeCAM ukazuje Obr. 68 a Obr. 69.



Obr. 68 Způsoby určení hloubek EdgeCAM

- **Přejíždění** absolutní hodnota, ve které (nebo nad kterou) nehrozí kolize nástroje a obrobku (upínek) při rychloposuvu nástroje.
- Odměřovací rovina absolutní hodnota, která udává polohu, od které se začíná obrábět (výchozí rovina).
- **Najíždění** přírůstková hodnota měřená od *odměřovací roviny*. Udává polohu roviny, do které nástroj vyjíždí mezi záběry.
- Cílová hloubka přírůstková hodnota měřená od *odměřovací roviny*. Udává např. hloubku otvoru.

U objemových modelů - solidů a z nich odvozených obráběcích útvarů, jsou úrovně pro přejíždění, odměřování a cílové hloubky odvozeny asociativně od obráběného útvaru. Hodnoty (jako přírůstek) jsou vztaženy k vršku a hloubce označeného útvaru.
U drátového a plošného modelu se zadávají absolutní souřadnice pro přejížděcí a odměřovací úroveň. Cílová hloubka je vztažena od odměřovací úrovně.

	Operace - frézovat l	hrubováním		🔳 🗵
	Základní Údaje pro ná	ástroj Výšky/Hloubky	1	
I	Přejížděcí g	5.0	2	
I	Odměřovací (	0.0	•	
I	Cílová hloubka 🛛 🕻	0.0	-	
I	Hloubka záběrů 🛛	5		<b>H</b>
I				
I				

Obr. 69 Příklad určení hloubek pro hrubováním



Při obrábění objemových a plošných modelů mohou zůstat parametry pro odměřovací úroveň a cílovou hloubku nevyplněny (prázdné). Jejich hodnoty se pak odvodí od obráběného modelu.

#### Strategie 2,5osého hrubování

Hrubování slouží k ucelenému vyhrubování materiálu. Probíhá postupnými záběry v ose Z (v Z - vrstvách), přičemž dráhy nástroje v záběrech se odvodí od tvaru obráběné oblasti nebo polotovaru.

Zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu je většinou solid model. Lze také vybírat různé kombinace dutin a nálitků.



Obr. 70 Příklad dráhy nástroje – hrubování 2,50sé

Pro hrubování součásti prizmatického typu lze v Mastercamu volit i nabídku v tzv. 3 osých strategiích *Dráhy nástrojů/ Vysokorychlostní obrábění ploch*. Systém provede klasické vyhrubování součásti ve 2 osách. Mastercam také rozpozná tvar součásti – např. kapsu a není nutné aplikovat speciální strategii obrábění kapsy.

Následující obrázek ukazuje 2,50sé hrubování kapsy příkazem *Dráhy nástrojů/ Vysokorychlostní obrábění ploch* v systému Mastercam. Je zde vidět zavrtání nástroje po spirále. Vpravo nahoře je zobrazeno nastavení způsobu zaříznutí nástroje do materiálu.



Obr. 71 Příklad dráhy nástroje pro hrubování 2,50sé v Mastercamu

#### Strategie zapichovací frézování

Tato hrubovací strategie je používána tam, kde obráběcí proces klade nároky převyšující rámec běžného frézování. Obrábění se provádí zapichováním při využití vhodného nástroje, kde nástroj vykonává sérii vrtacích pohybů (pohybem v Z-ové a nikoliv v X-ové nebo Y-ové ose) v pravidelně uspořádané síti bodů. Nástroj tedy vykonává sérii překrývajících se pohybů, které se podobají vrtání a postupně odstraňuje válcové objemy materiálu. Zapichování osou nástroje vyžaduje speciální nástroje.



Obr. 72 Zapichovací frézování [ 38 ]



#### Poznámka

Tato hrubovací strategie je označovaná v 30sém obrábění jako Svislé hrubování, nebo BORE JET, či vrtací hrubování.

Výhodou tohoto způsobu je působení sil řezání převážně v axiálním směru (tedy v ose nástroje). Velikost úběru je malá z důvodu menších posuvů na zub a z důvodu nutných předdokončovacíh operačních úseků.

#### Strategie frézování kapes

Jedná se o speciální strategii pro obrábění kapes. Frézování kapes je další strategií, která může být také považována za hrubovací strategií. Zvláště proto, že v jednom operačním cyklu dojte k vyhrubování a také dokončení příslušné kapsy, nebo kapes. Tedy cyklus kapsování v sobě většinou obsahuje funkčnost kapsování i profilování. Lze provést kapsování - hrubování a profilování dokončování v jedné nabídce operačního úseku.

Kvalitní CAD/CAM systémy obsahují různé cykly frézování kapes (dutin) a umožňují frézovat kapsy do plného materiálu, zužované kapsy, otevřené, nebo kapsy slepé. Ať už se jedná o jednoduché kapsy čtvercového tvaru nebo kapsy komplexní s nepravidelnými hranicemi a s velkým počtem ostrůvků a výstupků. Umožňují také použití celé řady způsobů nájezdů a výjezdů nástroje z materiálu.

Zbytkový materiál po hrubování může být automaticky odebrán při dokončování, aniž by se zadalo, kolik materiálu se má při dokončování odebrat.

Nejčastější způsoby frézování kapes (dutin) [43]:

- jednosměrné (one way),
- cik cak,
- směrem do středu (CONCENTRIC IN),
- směrem ze středu (CONCENTRIC OUT).

V Mastercamu lze nalézt tuto nabídku v *Dráhy nástrojů/ Hrubování ploch/ Kapsy…*, případně moderní a efektivní Hrubování v nabídce *Dráhy nástrojů/ Vysokorychlostní obrábění ploch* 

Strategie frézování kapes na součásti prizmatického typu ukazuje obrázek



Obr. 73 Strategie frézování kapes v systému Mastercam



Pojmy k zapamatování

**Pojem** je kapsa



## Další zdroje

Více o strategii frézování kapes lze nalézt ve skriptu:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání.* VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.



## Kontrolní otázka

- 1. Jaké jsou základní zadávané údaje v operačních listech?
- 2. Vyjmenujte základní názvy rovin.
- 3. Co znamená obrábění kapes?
- 4. Co je to zapichovací frézování?
- 5. Co nazýváme prizmatickým dílcem (součástí)?



Aplikujte dvě strategie hrubování na model součásti Kryt.sldprt. Použijte strategie kapsy a hrubování (Dráhy nástrojů/ Hrubování ploch/ Kapsy..., a Dráhy nástrojů/ Vysokorychlostní obrábění ploch).

## 9. STRATEGIE 3OSÉHO HRUBOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
Vysvětlit základní nastavení 30sého frézování.	Budoto umŏt
Vysvětlit základní volby 30sého frézování.	Duuete uniet
Vysvětlit pojem zbytkové hrubování.	

<b>Budete</b>	scho	pni:

- Teoreticky aplikovat jednotlivé strategie 30sého hrubování na daný tvarový dílec. Budete schopni
- Vytvořit strategie 30sého hrubování zadané tvarové součásti.



**Výklad** 

Tato kapitola se věnuje jednotlivým strategiím 30sého hrubování, jejich vytvořením v návazností na jejich použití. Kapitola je doplněna o praktická cvičení a úkoly k samostatnému řešení.

Frézování 30sé je běžným způsobem CNC obrábění tvarových ploch. Nástroj se může pohybovat současně ve třech směrech. 30sé obrábění je vhodné pro součásti se složitými a zakřivenými plochami. Jak už bylo zmíněno v kap. 5 Technologie frézování tvarových ploch, typickým pracovním postupem při frézování tvarových ploch je odebírání velkého množství materiálu pomocí nástroje o velkém průměru na počátku výrobního procesu. Jedná se o hrubování, viz Obr. 51 Zajištění stálé tloušťky odebíraného materiálu.

Je důležité upozornit, že pro hrubování tvarových ploch se využívá 2,50sého a 30sého hrubování. Není vhodné využívat víceosé hrubování a to z pohledu tuhosti soustavy stroj-nástrojobrobek-přípravek. Hrubování je tedy náročné na tuhost systému. 30sé frézovací centra jsou tužší, než víceosé frézovací centra. To je dáno jejich konstrukcí a kinematikou.

Hrubování umožňuje obrábět vícenásobné plošné a solid modely nebo kombinace obou těchto typů. Strategie 30sého hrubování se liší dle nabídek jednotlivých CAM systémů, např. v Mastercam lze najít tyto možnosti:

- hrubování Z průřezy (po vrstevnici)
- řádkování,
- paprskově,
- projekce,
- pružné řádky,
- kontury,
- zbytkové, identifikuje a obrobí oblasti, které mohou být obrobeny menším nástrojem.
- kapsy,
- odvrtávání (Plunge milling) umožňuje obrábět ve směru osy Z s uživatelsky dostupnými nastaveními.

Typickým postupem obrábění je v počátku výběr strategie hrubování, poté zbytkového hrubování, následně předdokončování a pak dokončování. Následně se blížící povrch výslednému tvaru detailně dokončí pomocí různých metod zbytkového obrábění, případně s využitím obrábění v určité oblasti - regionu.

Hrubování lze provádět rovnoběžnými nebo radiálními záběry s komplexním nastavením zavrtání pro obrábění pozitivních a negativních tvarů. Je možné automatické obrábění čelních ploch a rozpoznání kritických hloubek, kde se obrobí materiál i na těch čelních plochách, jejichž výšky nejsou shodné se Z průřezy u standardního hrubování a odstraní se tak přebytečný materiál. Tvorba předvrtání dutin a automatické najetí do těchto bodů při hrubování zefektivňuje obrábění [ 50 ].



Automatické zbytkové hrubování menším



nástroiem.

Automatické hrubování výstupků v kritických hloubkách.

Metody pro zavrtávání do dutin.

#### **Obr. 74** Možnosti hrubování v Mastercam [ 50 ]

V nabídce "Dráhy nástrojů/ Vysokorychlostní obrábění ploch" Mastercamu lze nalézt tyto strategie:

- hrubování, •
- koncentrické hrubování,
- optimalizované hrubování,
- a možnost tzv. zbytkového hrubování.



#### Poznámka

Nabídka "Vysokorychlostní obrábění ploch" Mastercamu je zavádějícím pojmem. Nesouvisí s technologií vysokorychlostního obrábění (HSC), avšak nabízené cykly v sobě zahrnují vylepšení a funkce pro použití technologie HCS (např. trochoidní obrábění), které byly vytvořeny pro získání produktivního frézování tvarově složitých součástí.

Následující obrázek ukazuje možnosti použití jednotlivých strategií hrubování v Mastercamu.



Obr. 75 Jednotlivé strategie 3osého hrubování

V praxi se volí ta strategie, která obrobí součást efektněji, proto je třeba na daném dílci vyzkoušet i více strategií a nespokojit se s prvním nabídnutým obrobením. Využitelnost jednotlivých strategií je ukázána na řešených příkladech této opory.

Některé CAM systémy rozlišují strategie dle typu modelu-dílce. Např. jestliže se jedná o plochy, nebo solid model.

Následně jsou stručně popsány vybrané strategie 30sého frézování používané obecně v kterémkoli CAM systému.

#### Strategie hrubování Z průřezy - po vrstevnici

Tato základní hrubovací strategie je také označovaná jako Hrubování s konstantní hodnotou Z, nebo Horizontální hrubování.

Materiál je odebírán v horizontálních úrovních. Tento typ obrábění je velice účinný při odebírání velkých objemů materiálu na strmých oblastech a typicky se provádí nástrojem o velkém průměru před spuštěním předdokončovacích nebo dokončovacích operací. Při určení regionu pro bezpečné obrábění se bere do úvahy geometrie součásti i obrobku.

Lze vybrat různé tvary obráběcích drah: lineární (paralelní, tam i zpět), ofset obrobku (spirálový tvar uvnitř obrobku a součásti) a ofset součásti (spirálový tvar vně obrobku a součásti). Na následujících obrázcích jsou znázorněny dráhy v jedné Z-tové úrovně.



Obr. 76 Hrubování po vrstevnici - horizontální hrubování – lineární [29]



Obr. 77 Hrubování po vrstevnici - horizontální hrubování – ofset obrobku (kapsování) [ 29 ]



Obr. 78 Hrubování po vrstevnici - horizontální hrubování – ofset součásti (čelní obrábění) [ 29 ]

#### Strategie odvrtávání - zapichování osou nástroje

Tato hrubovací strategie je také označovaná jako Svislé hrubování, nebo BORE JET, či vrtací hrubování. Je to velmi efektivní hrubovací strategie frézování, používána pro úběr velkého objemu materiálu. Obrábění se provádí zapichováním při využití vhodného nástroje. Nástroj vykonává sérii vrtacích pohybů (pohybem v Z-ové a nikoliv v X-ové nebo Y-ové ose) v pravidelně uspořádané síti bodů. Nástroj tedy vykonává sérii překrývajících se pohybů, které se podobají vrtání. Postupně tak odstraňuje válcové objemy materiálu.



Poznámka

Zapichování osou nástroje je velmi produktivní strategií a vyžaduje speciální nástroje.



Obr. 79 Zapichování osou nástroje [29]

#### Strategie konturové hrubování

Lze se setkat také s názvoslovím *Konturové hrubování*. Konturové hrubování je hrubovací stratege určená pro efektivní odstranění velkého objemu materiálu. Série ekvidistantních drah v zadaných Z úrovních jsou generovány tak, aby docházelo k odstranění maximálního množství materiálu bez přerušení řezu.



Obr. 80 Konturové hrubování [70]

Hloubka řezu je automaticky upravována s ohledem na vodorovné rovinné plochy. Je podporováno zavrtání po šroubovici, rampování i nájezd podél tvaru. Dráhy nástroje jsou vyhlazené pomocí oblouků, což umožňuje použití vyšších posuvů a prodlužuje životnost nástroje.

#### Strategie lineární hrubování

Další strategií je lineární hrubování. Je to hrubovací strategie určená k odstranění velkého objemu materiálu malým nástrojem s minimálním stranovým překrytím nástroje. Obráběcí stroj vykonává převážně přímkový pohyb, a proto je možné realizovat mezní řezné podmínky, které by byly v konturovém hrubování nedosažitelné. V takovém případě je NC-program kratší a přehlednější [70]. Vhodným nastavením směru drah nástroje lze využít vyšší dynamiky jedné z os stroje, nebo kombinaci os. Podrobné přizpůsobení této strategie je obdobné jako u konturového hrubování včetně adaptibility kroku v ose z [70].



Obr. 81 Lineární hrubování [70]

#### Použití tzv. "mezizáběrů" u hrubovacích strategií

Existují také různé vylepšení dané strategie operačního cyklu, např. funkce mezizáběrů, (systém SurfCAM to označuje jako funkce SRM (step reduction milling) pro zajištění efektivní obrábění kontury po "z" kroku, který je mezikrokem předchozího obrábění. Tzn. nástroj provádí obrábění tvaru v "z" krocích s vyhlazováním po předchozím obráběním o poloviční krok, nebo o přesně daný krok, viz následující obrázek.



Obr. 82 Nastavení mezizáběrů – Mastercam

Strategie hrubování musí zajistit vyhnutí se ostrým přechodům pomocí oblouku mezi přechody jednotlivých řezů a mezi hloubkami v ose z. Musí zajistit generování rádiusů místo ostrých rohů.

### 9.1. Strategie zbytkového hrubování



Čas ke studiu: 10 min

Hrubování (30sé hrubování) je zvažované také s pojmem zbytkové hrubování. Zbytkové hrubování se používá pro odebrání zbytkového materiálu, který na obrobku zůstal po předchozím hrubování. Volí se menší průměr nástroje než u předchozího cyklu.

Zbytkové hrubování odebírá zbytkový materiál po předchozích hrubovacích operacích z míst, do kterých se předchozí velký nástroj nevešel. Pro stanovení tvaru a velikosti zbytkového materiálu po hrubování se využívá 3D zbytkový materiál vypočtený z porovnání aktuálního stavu obrobení s konečným tvarem. Tedy tyto neobrobené oblasti jsou určeny porovnáním součásti a obrobku, který zůstal po předchozím obrábění. To umožňuje minimalizovat neproduktivní pohyby nástroje, při nichž není v záběru. U obrábění velkých součástí pak tato strategie umožňuje použití více hrubovacích operací s různými nástroji. Zbytkové hrubování lze také použít pro obrábění z tvarových polotovarů, jako jsou např. odlitky, výkovky atd. Obrábění probíhá např. v konstantních Z-ových úrovních, nebo vrtacími pohyby.



Obr. 83 Strategie zbytkového hrubování [70]



Obr. 84 Strategie zbytkového hrubování (dohrubovací strategie) - horizontální dohrubování [29]



Obr. 85 Strategie zbytkového hrubování (dohrubovací strategie) - svislé dohrubování [ 29 ]

Následující obrázek ukazuje možnosti nastavení volby zbylého materiálu po předchozí strategii 30sého frézování, např. v Mastercamu



Obr. 86 Strategie zbytkového hrubování– nastavení zbylého materiálu z předchozích operačních cyklů



Použijte vhodné strategie hrubování pro případ 30sého hrubování tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Importujte model součásti s názvem Tvarnik.sldprt ze SolidWorks do CAD/CAM systému Mastercam X5.



Obr. 87 Model tvárníku pro volbu cyklů 3osého hrubování se zobrazením polotovaru (čárkovaně)



## Kontrolní otázka

- 1. Jaké strategie 30sého hrubování lze nalézt v Mastercam?
- 2. Co znamená zbytkové hrubování?
- 3. Co je nutné u strategie zbytkového obrábění zadat?
- 4. Co nazýváme mezizáběry?

## 10. STRATEGIE 3OSÉHO PŘEDDOKONČOVÁNÍ A DOKONČOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>Vysvětlit základní rozdíly ve stavbě výrobního postupu s přihlédnutím ke způsobu předdokončování a dokončování.</li> </ul>	Rudoto umŏt
• Popsat nastavení a volby 30sého dokončování při frézování.	Budete uniet
<ul> <li>Popsat rozdíly v jednotlivých strategiích 3osého předdokončování a dokončování.</li> </ul>	

Budete schopni:	
<ul> <li>Teoreticky aplikovat jednotlivé strategie 3osého předdokončování a dokončování na daný tvarový dílec.</li> </ul>	Budete schopni
<ul> <li>Vytvořit strategie 3osé předdokončování a dokončovacího obrábění na zadané tvarové součásti.</li> </ul>	





## Výklad

Tato kapitola se věnuje jednotlivým strategiím dokončování, jejich vytvořením v návazností na jejich použití. Kapitola je doplněna o praktická cvičení a úkoly k samostatnému řešení.

Strategie 30sého předdokončování (někdy také označovaného jako polodokočování) a dokončování se liší dle nabídek jednotlivých CAM systémů, obecně lze uvést tyto možnosti:

- Z průřezy (konstant z) rovnoběžné řezy tvarem v jednotlivých Z úrovních.
- **Řádkování** dráhy jsou vzájemně rovnoběžné ve směrech XY, ve směru Z pak kopírují obráběný tvar, strategie použitelná většinou na mělké plochy.
- **Drsnost** pro dokončení strmých a mělkých oblastí s definicí výsledného povrchu obrobku.
- **Vodorovné oblasti** (obrábění rovin) na vodorovné rovinné oblasti tvaru se aplikují ekvidistantní dráhy odvozené z hranice oblasti.
- **Spirálně** dráha nástroje je ve tvaru spirály, která začíná na nejvyšší, nebo nejnižší hloubce obrábění.
- **Paprskově** dráhy se sbíhají do středového bodu s možností vynechání blízké oblasti kolem středu, kde by jinak docházelo k přílišnému zahuštění drah.
- Hybridní.
- **Podle řídících křivek** (mezi křivky) zohledňuje tvar obráběného modelu pro definici tvaru drah nástrojů vyhlazeného dokončování.

Následující obrázek Obr. 88 shrnuje používané strategie předdokončování v systému Mastercam. Obr. 89 ukazuje možnosti použití vybraných strategií na konkrétních obráběných dílech.



Obr. 88 Strategie dokončování (z leva: drsnost, vodorovné oblasti, spirálně, z průřezy, řádkování, paprskově, hybridní, podle řídících křivek) v Mastercam



Flexibilní rovnoběžné a radiální obrábění.

Dokončování Z průřezy.



3D "projekční" obrábění zohledňuje křivky a hrany na modelech pro vyhlazené obrábění.



"Neomezené tužkové frézování" obrábí celý model po ucelených zónách.

Obr. 89 Ukázky možnosti dokončování v Mastercam [ 50 ]

#### Strategie Z průřezy

Strategie je také označována jako Konstant Z, nebo Dokončování po vrstevnici, nebo Horizontální dokončování. Dráhy vycházejí z rovnoběžných řezů dle tvaru dílce v jednotlivých Z úrovních. Tato strategie je výhodná pro předdokončování a dokončování strmých tvarů. Typicky se používá na součásti obsahující velké vertikální oblasti, ve kterých by strategie řádkování nepřinesla uspokojivé výsledky. Pomocí limitních úhlů lze omezit aplikování této strategie pouze na strmé plochy a na obrobení zbylých ploch pak použít jinou- vhodnější strategii. Typická je kombinace právě se strategií řádkování. Obě strategie se pak hladce propojují na hranici mezního sklonu tvaru. Dokončování pak bývá velice často ještě doplněno o strategie zbytkového dokončování, uvedeného v následující kapitole 11.



Obr. 90 Dokončovací strategie Z průřezy [70]

#### Strategie řádkování

Řádkování je jedna z nejčastěji používaných dokončovacích strategií. Typicky se tato strategie používá pro dokončování mělkých (plochých) tvarů. Strategie je velice účinná a nejčastěji se používá tehdy, když je součást relativně mírně zakřivená - rovinná. Jednotlivé dráhy jsou vzájemně rovnoběžné ve směrech XY, ve směru Z pak kopírují obráběný tvar, tj výškově se řídí konturami geometrie součásti. Směr drah i jejich horizontální rozestupy lze libovolně volit.

Pro dokončení celé tvarové plochy lze také použít tzv. dokončení do kříže. Povrch je obráběn kolmo na předchozí dráhy, avšak pouze na tu část tvaru, která v předchozím kroku nezískala potřebnou drsnost [70].



Obr. 91 Dokončovací strategie řádkování [70], [29]

#### Strategie vodorovné oblasti (obrábění rovin)

Obrábění rovin je strategie, která dokáže rozpoznat všechny vodorovné rovinné oblasti tvaru a pokrýt je ekvidistantními drahami odvozenými z hranice oblasti. Dráhy jsou plně vyhlazené, stejně jako u hrubovacích strategiích. Obdobně jsou aplikovány i způsoby zavrtání (po šroubovici, rampováním) a vyhlazení drah přejezdů nástroje. Uživatel má možnost obrobit tyto rovinné oblasti na libovolný počet úběrů [2].





#### Strategie spirálně

Spirální strategie dokončování se užívá pro dokončování regionů, které obsahují přibližně kruhové tvary, tedy pro součásti tvaru kulového vrchlíku. Dráha nástroje je ve tvaru spirály, která začíná na nejvyšší, nebo nejnižší hloubce obrábění.







### **CD-ROM**

Animaci strategie spirálního frézování lze nalézt na e-learningovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře pod názvem 10-Strategie spirální dokončování Mastercam.pdf.

#### Strategie paprsky

Tato strategie je také označována jako radiální obrábění. Paprsková strategie je způsob obrábění pro součásti hvězdicovitého nebo kruhového charakteru. Všechny dráhy se rozbíhají ze středového bodu s možností vynechání blízké oblasti kolem středu, kde by docházelo k přílišnému zahuštění drah. Lze volit velikost průměru a posunutí středu. Tato strategie je ideální pro použití na tvary, které jsou tvořeny mělkými zakřivenými plochami, a na kruhovité oblasti splňující podmínku kontaktního úhlu s nástrojem v rozmezí  $0^{\circ} - 40^{\circ}$ . Dobrých výsledků í se dosahuje při obrábění tvarů optických

ploch.



Obr. 94 Dokončovací strategie Paprskově [70], [71]

#### Strategie obrábění podle řídících křivek - mezi křivky

Tato strategie umožňuje obrábět mezi dvěma uživatelem definovanými křivkami. Křivky mohou být otevřené nebo uzavřené. Lze volit, zda má obrábění probíhat rovnoběžně nebo kolmo na zvolené křivky. Vytvořená dráha bude tvořit postupné přechody od jedné křivky ke druhé v závislosti na geometrickém tvaru obou křivek. Vzniknou tak dráhy nástroje, kterými lze účinně dokončovat složité tvary.

Obrábění mezi křivkami generuje dráhu nástroje na základě hranic tvarů a směrových profilů. Dráhy probíhají přes plochu souběžně s tvarem a ve směru odvozeném od průběhu okolních hranic. Každá dráha má ohled na tvar předcházející dráhy a přejímá některé charakteristiky dráhy následující, čímž dochází k plynulým změnám ve tvaru drah.

Obrábění mezi křivkami je vhodnou dokončovací strategií dosahující kvalitního povrchu a vysoké produktivity na mírně proměnlivých podélných tvarech se zakřiveným profilem [70].



Obr. 95 Dokončovací strategie mezi křivky [70], [29]

Podobnou strategií je strategie obrábění po křivce. Tato strategie je vhodná pro obrábění izolovaných oblastí nebo útvarů. Touto strategií probíhá obrábění podél křivky. Je nutné určit jeden nebo více obráběcích regionů, směr a tvar obrábění. Nástroj současně sleduje region a kontury součásti, která se nachází pod ním.



Obr. 96 Dokončovací strategie po křivce [71], [29]

#### Strategie paralelního dokončování strmých oblastí

Tato strategie se používá pro obrábění strmých oblastí. Jsou to oblasti, které jsou definovány určitým úhlem vůči vertikále. Tato strategie se typicky používá tehdy, když zůstane po provedení dokončování na strmých oblastech zvýšená drsnost ve směru kolmém na posuv (tzv. řádky). Úhel obrábění je nastaven tak, aby byl vždy kolmý ke strmým oblastem. Díky tomu pak fréza zanechá co nejmenší řádky.



Obr. 97 Strategie paralelního dokončování strmých oblastí [71], [29]

#### Strategie rohový offset – obdoba stratege Z průřezy

Další možnou strategií je Rohový offset (užívaná v SolidCAMu). Tato strategie je podobná strategii Z průřezy (Konstantní krok). Tato strategie vytvoří dráhu nástroje s ohledem na ostré kouty tak, aby pohyb nástroje probíhal souběžně s kouty. Může se tak postupně přiblížit do obtížně obrobitelné oblasti bez rizika výrazné změny řezných podmínek, jako je přílišná velikost úhlu styku nástroje s materiálem (v praxi označována jako opásání nástroje) a množství odebíraného materiálu. Nastavení rozdílné šířky řezu (kroku nástroje) dle zakřivení povrchu je efektivní pro obrábění komplexních a složitých tvarů.



Obr. 98 Dokončovací strategie Rohový offset [70]

#### Rozpoznání zakřivení obráběných ploch

Je důležité, aby systém sám rozpoznal zakřivení ploch. Dle tohoto rozpoznání pak uživatel vhodně aplikuje dokončovací strategie.



#### Praktické použití

Lze efektně využít na strmější plochy jinou strategii, než na plochy mělké. Např. zadání úhlu rozptylu: od 42° do 90° použij strategii Z průřezy a na plochy se strmostí od 0° do 42° použij strategii řádkování, viz. Obr. 99.

Úhel		
Od	0.0	
Do	42.0	
Hloubka Z		
🔲 Použité Z hlou	bky Určení limitu	
Minimální	0.0	
Maximální	0.0	
Pouze oblas	t kontaktu nástroji 👻	

Obr. 99 Aplikace strategie dle strmosti ploch - Mastercam



Použijte vhodné strategie předdokončování a dokončování pro případ 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Pokračujte ve tvorbě obráběcího postupu na řešeném příkladu č.9.1.



- 1. Co znamená předdokončování?
- 2. Co nazýváme strategií z průřezy?
- 3. Popište strategii paprsky.
- 4. Popište strategii podle řídících křivek mezi křivky.

## 11. STRATEGIE 3OSÉHO A VÍCEOSÉHO ZBYTKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• Vysvětlit pojem zbytkové obrábění.	Budete umět
• Popsat nastavení a volby 30sého zbytkového obrábění.	
Budete schopni:	
• Volit vhodné strategie zbytkového obrábění na zadanou součást a	Budete schopni





**V**ýklad

Tato kapitola se věnuje jednotlivým strategiím 30sého zbytkového obrábění, jejich vytvořením v návazností na jejich použití. Kapitola je doplněna o praktická cvičení a úkoly k samostatnému řešení.

Zbytkové obrábění je poslední etapou obráběcího postupu. Nazývá se také doobrobení. Jedná se nejčastěji o odstranění materiálů zbylého v rozích, který nemohl být odebrán z důvodů velkého průměru frézy, nebo špatného přístupu nástroje. Dále jsou tyto strategie vhodné pro odstranění zbylého materiálu po řádkování kulovou frézou na rovinných plochách součásti. Zde se jedná o to, aby byly tyto části doobrobeny čelem stopkové válcové frézy.

Strategie 30sého zbytkového obrábění se rozlišují dle nabídek jednotlivých CAM systémů, např. lze najít tyto možnosti:

- zbytkové obrábění rovin,
- tužkové obrábění (obrábění perem),
- koutové obrábění,
- zbytkové dokončení.

Po odebrání největšího množství materiálu v nejkratším čase se tentýž nástroj (použitý v předchozím cyklu) využije pro obrobení vypočítaného zbytkového materiálu a to při zjemnění kroků a zmenšení "schodů" na obrobku. Avšak již vykonává objížděním kontur v konstantních "Z" rovinách, nikoliv odebíráním materiálu z celého obrobku, protože okolní materiál byl již odstraněn.

Při použití menšího průměru frézy dojde k obrobení jen těch částí, které nemohly být z důvodu velkého průměru frézy, nebo špatného přístupu nástroje obrobeny. Nástroj neprovede kontinuální obrobení celého povrchu modelu, ale jen těch částí, které zůstali neobrobeny. Tím se podstatně zkrátí strojní čas na výrobu dané součásti. Celý cyklus obrábění je tak výrazně kratší, než kdyby za stejných nastaveních (stejná šířka a hloubka řezu) proběhla hrubovací, či dokončovací úsek v celku.

Některé systémy dovedou vyhledat zbytkový materiál automaticky a navrhnou sami nejvýhodnější volbu strategie doobrobení. Jiné dokáží vyhledat tzv. zbytkové křivky, na které si operátor sám aplikuje funkci doobrobení materiálu.

Následující Obr. 100 a Obr. 101 ukazují dráhy nástroje vybraných strategií zbytkového obrábění.



Obr. 100 Obrábění zbytkového materiálu v rozích součásti



Obr. 101 Zbytkové obrábění zaoblení rohů [29]

#### Strategie zbytkového obrábění rovin

Strategie zbytkového obrábění rovin obrábí povrch rovinných oblastí. To znamená oblastí, které jsou definovány určitým mezním úhlem vůči horizontále. Typicky se používá při zbytkovém obrábění oblastí, které zůstaly neobrobené po provedení řádkování (horizontálního hrubování nebo horizontálního dokončování) [29].



Obr. 102 Zbytkové obrábění rovin [29]

Na rovinných oblastech obrobených předchozím dokončováním (většinou strategií řádkování) zůstala větší drsnost povrchu po použití kulové frézy, viz následující Obr. 103.



Obr. 103 Zhoršená drsnost povrchu po dokončování strategií řádkování kulovou frézou

Je nutné si uvědomit, že pro zbytkové dokončení těchto rovinných ploch je vhodné využít stopkové válcové frézy s ostrým rohem (R=0). Jestliže však rovinné plochy nebudou kolmé k ose z (osa vřetene), tj normála plochy není totožná s osou z, je nutné použít víceosé obrábění.

#### Strategie tužkového obrábění

Tato strategie je také označovaná jako obrábění perem. Pomocí strategie Tužkového obrábění lze vytvářet dráhy nástroje podél vnitřních rohů a koutů s malým zaoblením. Systém automaticky zajišťuje doobrobení (dobírání, čištění) koutů a dokončování rádiusů. Používá se pro tvorbu začišťovacích drah nástroje, nebo také po hrubovacích a dohrubovacích strategií. Nástroj se pohybuje podél vnitřních zaobleních (rádiusů) a rohů geometrie součásti. Tužkové obrábění se používá tam, kde je třeba odebrat materiál z rohů, do kterých se nevešel nástroj při předchozím obrábění. CAM systém

nalezne všechny rohy, splňující podmínku dvojí tečnosti pro daný nástroj a vypočítá dráhu tak, aby byly obrobeny právě tyto oblasti.

Strategie je ideální pro případy, kdy vnitřní rádius rohu je stejný, jako rádius nástroje [70].

V systému Mastercam je nutné dát pozor na to, že nástroj nemusí projet celou požadovanou dráhu (při požadavku jednoho průchodu). Pokud je však dovoleno rozšíření do stran, dráha se vygeneruje.



Obr. 104 a) vynechaná oblast při jednom průchodu b) obrobení celé části při rozšíření několika průchody

Vynechané místo vzniká tehdy, když je zvolen nástroj se stejným, nebo menší zaoblením, než je zaoblení ve vynechaném místě. Nástroj zde nemá současně kontakt s boční stěnou a s plochou dna (dva dotykové body). Úhel mezi sousedními plochami dno-přechodový rádius a přechodový rádiusboční stěna je 180°, protože navazují tečně. Pro tužkové obrábění musí být úhel mezi řídícími plochami menší než 160°, což tečné napojení uvedených ploch nesplňuje.

Pokud je volen větší průměr nástroje, který i zde u dna bude mít současně kontakt s boční stěnou a zároveň i se dnem, docílí se jednoho průchodu nástroje.



Obr. 105 Dutina zápustky - jeden průchod nástroje při strategii tužkového obrábění v Mastecam



Obr. 106 Strategie tužkového obrábění – jeden průchod nástroje



Obr. 107 Strategie tužkového obrábění – více průchodů nástroje

#### Strategie koutového obrábění

Koutové obrábění je rozšířením funkčnosti strategie tužkového obrábění. Uživatel má možnost zadat počet a velikost bočních kroků, které mají být provedeny při obrábění daných koutů na tvaru. To je velmi užitečné v případech, kdy nástroj z předchozího úseku nebyl schopen obrobit vnitřní kouty na správný rádius zaoblení mezi plochami. U tohoto cyklu nástroj postupuje z vnějšku směrem dovnitř koutu, čímž je dosaženo lepší kvality povrchu [70].



Obr. 108 Koutové obrábění [70]

#### Strategie zbytkového dokončování

Při tužkovém či koutovém obrábění vertikálních nebo strmých koutů může dojít k záběru jak rádiusu nástroje, tak jeho válcové části, což výrazně zhoršuje řezné podmínky. Proto je k dispozici strategie *zbytkového dokončování*, která tyto strmé kouty rozliší a aplikuje na ně jinou strategii, podobnou *konstant z* obrábění, kdy nástroj postupuje shora dolů podél téměř vodorovných řezů (ve skutečnosti řezů kolmých ke sklonu koutu). Na mělké části je pak aplikována strategie vycházející z *koutového obrábění*. To vše lze provádět v rámci jednoho operačního úseku [70].



Obr. 109 Strategie Zbytkového dokončování



Použijte vhodné strategie zbytkového dokončování pro případ 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Pokračujte ve tvorbě obráběcího postupu na řešeném příkladu č.10.1.



#### Korespondenční úkol č.3

Zpracujte řídící program v CAM systému Mastrcam včetně, ověření v režimu simulace a verifikace pro 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Načtěte model *Tvárník.sldprt* Odevzdejte vyřešený úkol ve formátu: U3 příjmení.EMCX-5

Při tvorbě dejte pozor zejména na (časté chyby studentů):

- správná sekvence operačních úseků včetně pojmenování,
- neupravené řezné podmínky (posuv, řezná rychlost),
- dlouhé vyložení nástroje,
- opomenutí na konci práce přečíslování nástrojů,
- chybějící stražení hrany (rovinné plochy srazit kuželovou frézou).



#### Kontrolní otázka

- 1. Co znamená pojem doobrobení?
- 2. Které strategie zbytkového dokončování znáte?
- 3. Popište strategii tužkového obrábění.



#### Úkol k řešení

Navrhněte sled operačních úseků pro zbytkové dokončování modelu Tvárníku.

## 12. STANOVENÍ ŘEZNÝCH PARAMETRŮ V NÁVAZNOSTI NA DRSNOST POVRCHU PŘI KOPÍROVACÍM FRÉZOVÁNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>Popsat různé způsoby výpočtu stěžejních parametrů drsností povrchu.</li> </ul>	
<ul> <li>Popsat volbu postupu obrábění s přihlédnutím ke struktuře povrchu.</li> </ul>	Budete umět
• Faktory působící v procesu obrábění.	
• Vztah řezných parametrů k drsnosti povrchu.	
<ul> <li>Popsat strukturu povrchu v závislosti na charakteristických hodnotách obrábění.</li> </ul>	

Budete schopni:	
<ul> <li>Nastavit vhodné parametry řezných podmínek v CAM systému pro výslednou drsnost obrobeného povrchu.</li> </ul>	Rudete schonni
• Využít vhodného výpočtu pro stanovení drsnosti povrchu.	Budete schopin
<ul> <li>Využít vhodné volby nastavení CAM systému pro docílení zadané drsnosti povrchu.</li> </ul>	

## Čas ke studiu: 2 hodiny



# Tato kapitola uvádí způsoby výpočtu a nastavení jednotlivých řezných parametrů při dokončovacím obrábění a stanovení drsnosti povrchu při kopírovacím frézování. Je zde věnována pozornost výpočtu teoretické drsnosti frézovaného povrchu.

Konstruktér při svém řešení konstrukčního návrhu formuje požadavky na konečný stav výrobku, na jeho rozměr, tvar a drsnost povrchu. Při tom má na zřeteli, že žádným způsobem obrábění se nedocílí ideální obráběná plocha a ideální požadované hodnoty stavu obrobku. Při obrábění se musí vždy počítat s určitou nepřesností, která je definována odchylkami rozměrů, tvaru, vzájemné polohy a drsnosti povrchu.

Geometrické odchylky skutečného povrchu od ideálního můžeme v rovině kolmé na směr obrábění klasifikovat do třech kategorií [4]:

- odchylky makrogeometrické,
- odchylky mikrogeometrické,
- vlnitost povrchu.

Podle rozdělení (DIN 4760) jsou úchylky rozděleny do několika tzv. řádů od největších po nejmenší [ 10 ].

- $\check{R}\acute{a}d \ l \acute{u}chylka tvaru příčina vzniku \rightarrow přesností stroje, chybné upnutí, prohnutí, opotřebení.$
- $\check{R}\dot{a}d\ 2$  vlnitost příčina vzniku chvění, nesprávné upnutí nástroje, apod.
- $\check{R}\acute{a}d$  3 drsnost periodický profil příčina vzniku  $\rightarrow$  tvar nástroje, řezné podmínky.
- $\check{R}\acute{a}d4$  drsnost aperiodický, náhodný profil příčina vzniku  $\rightarrow$  mechanismus vzniku nového povrchu, přetváření materiálu, apod..
- $\check{R}\acute{a}d 5$  textura příčina vzniku  $\rightarrow$  krystalické pochody, chemické účinky, koroze.
- $\check{R}\acute{a}d 6$  mřížková stavba hmoty příčina vzniku  $\rightarrow$  fyzikální a chemické pochody, napětí.

*Řád 1 až 4* – celkový profil – příčina vzniku  $\rightarrow$  spojení řádů 1 až 4.

Některé prameny odvozují přiřazení úchylek a jejich specifikací podle poměru rozteče a celkové výšky tvarové úchylky [ 10 ]:

- úchylky tvaru: poměr rozteče nerovnosti k jejich celkové výšce je větší než 1000:1,
- vlnitost: poměr 1000:1 až 100:1. Klasifikace jako mikrogeometrie, nebo makrogeometrie,
- drsnost: poměr 150:1 až 5:1.

Jakost povrchu funkčních ploch se klasifikuje (dle ČSN EN ISO 4287) pomocí parametrů struktury povrchu, které se člení na tři základní části:

- parametry vypočtené ze základního profilu (P-parametry),
- parametry vypočtené z profilu drsnosti (R-parametry),
- parametry vypočtené z profilu vlnitosti (W-parametry).

#### 12.1. Mikrogeometrie povrchu obráběného frézováním

Při frézování je obrobený povrch tvořený stopami po jednotlivých řezných klínech nástroje. Mikrogeometrie frézovaného povrchu je ovlivněna kinematikou, konstrukcí nástroje a podmínkami tvorby třísky na jednotlivých řezných klínech. Mikrogeometrie se v podstatě u třískového obrábění klasifikuje velikostí podélné drsnosti a příčné drsnosti povrchu.

Podélná drsnost povrchu je teoreticky dána kopírováním drsnosti řezné hrany a prakticky tvořená třením hřbetu nástroje a obráběné plochy se vznikem nárůstku.

Příčná drsnost vzniká kopírováním zaobleného řezného klínu na obrobený povrch s určitou plastickou deformací a opotřebováním poloměru zaoblení nástroje.

Teoretický tvar drsnosti slouží jen na základní orientaci v tvorbě povrchů a nemá prakticky velký význam, protože drsnost povrchu je ovlivněna řadou faktorů působících v procesu obrábění, např. [4]:

- plastická deformace v oblasti tvoření třísky,
- dynamické jevy kmitání vznikající v technologické soustavě,
- tvorba výronků na vedlejší řezné hraně,
- tření hřbetu řezného klínu o obrobenou plochu.

a) plastická deformace v oblasti tvoření třísky - Před řezným klínem nástroje se vytváří v důsledku adhezních sil mezi řezným a obráběným materiálem druhotná plasticky deformovaná vrstva kovu, která je pevně fixována na řezný klín. Tvoří se tzv. zabrzděná vrstva. Část zabrzděné vrstvy neodchází při řezání se vznikající třískou, ale zůstává spojena s materiálem nástroje a dává tak základ pro tvorbu nárůstku a jevů s utvářením nárůstku souvisejících. Vlivem této zabrzděné vrstvy se zvětší poloměr zaoblení hrany řezného klínu a řezná hrana se plasticky předsune. Nárůstek na řezné hraně zvětšuje svůj objem, tím prodlužuje řezný klín a zvětšuje se hloubka odebíraného materiálu. Po dosažení určitého objemu se trhá a odděluje od řezného klínu. Části nárůstku zůstávají na obrobeném povrchu a tím ovlivňují jeho mikrogeometrii.

**b) dynamické jevy, kmitání vznikající v technologické soustavě** - Při kmitání dochází k vychylování řezného klínu od teoretické dráhy nástroje. Kmitání má také vliv na oddělování nárůstku a jeho přilnutí na obrobený povrch.

c) tvorba výronků na vedlejší řezné hraně - Při přechodu řezného klínu po obrobeném povrchu v důsledku plastických deformací vznikají tzv. výronky, které jsou orientované podél vedlejší řezné hrany. Tento jev mění výrazně teoretickou drsnost povrchu a zvyšuje výstupky nerovností. Tvorba výronků vede také ke specifickému opotřebení řezného klínu. Na vedlejší řezné hraně se vytváří jeden nebo více žlábků, které jsou vzájemně posunuty o posuv. Po jejich vytvoření dochází k dodatečnému zahlazování stop po hlavní řezné hraně nástroje, čímž se drsnost povrchu zmenšuje [4].

d) tření hřbetu řezného klínu o obrobenou plochu - Vliv tření hřbetu řezného klínu se nejvíce projevuje kopírováním nerovností na obrobený povrch. V důsledku intenzivního tření hřbetní plochy o obrobek se kov setkávající se hřbetem brzdí na nerovnostech hřbetní plochy. Vytvářejí se zde mikronárůstky, které odtrhávají a deformují hřbetní plochu.

Z matematických odvození a z experimentálních ověření byly dokázané následující úvahy [4]:

hloubka řezu – nemá podstatný vliv na drsnost povrchu.

**posuv** – se zvětšujícím se posuvem drsnost povrchu roste (platí jen v určitém rozsahu). Platí jak při sousledném, tak nesousledném frézování.

**řezná rychlost** – se zvyšováním řezné rychlosti klesá nerovnost obrobeného povrchu. Rozhodující význam má teplota řezání, která (s jistým přiblížením, platí jen v určitém rozsahu) lineárně stoupá se zvětšující se řeznou rychlostí. Teplota řezání má vliv na pevnost materiálu a jeho plasticitu [52].

**počet zubů a průměr frézy** – se zvětšujícím se počtem zubů a průměrem frézy drsnost povrchu klesá.

kinematika frézování - velký význam pro tvorbu mikrogeometrie frézovaných povrchů má skutečnost, ve které části záběrové křivky (cykloidy) řezný klín aktivně působí na obráběný povrch. Rozdílný charakter drsnosti vyplývá ze zakřivení záběrové křivky v aktivním úseku záběru zubu a překrytí drah jednotlivých bodů při sousledném a nesousledném frézování. Drsnost povrchu při nesousledném frézování bude mít větší rozestup a nižší prohlubně vrcholků nerovností. Naopak tomu bude při sousledném frézování.

**mechanika tvorby třísky** - je závislá na způsobu frézování. Při nesousledném frézování válcovou frézou se hloubka odřezávané třísky zvětšuje od nuly do maxima, při sousledném je tomu naopak. Vzniká tu problém tzv. minimální tloušťky třísky. Řezná hrana nástroje s poloměrem zaoblení *r* odřezává souvislou třísku až když tloušťka odřezávané vrstvy je větší jak poloměr zaoblení *r*. U nesousledného frézování obráběný materiál na začátku záběru pod řezným klínem podklouzává, potom se před ním hrne, potom v části řeže a dále pak znovu podklouzává, hrne, řeže atd.. Čisté řezání nastává až když je splněna podmínka minimální tloušťky třísky. Popsané neustálé proměny v zóně řezání, kdy tloušťka odřezávané vrstvy je menší než poloměr zaoblení, mají za následek zvýšení drsnosti povrchu. U sousledného frézování se naopak odřezává už načatá tříska, při tloušťce odřezávané vrstvy menší než poloměr zaoblení, výhodněji a čistěji, čím se dosahuje menší drsnosti

povrchu. V průběhu záběru zubů se mění také hloubka odebírané třísky, což má za následek rozdílné překrytí jednotlivých zubů, a čímž se také mění v šířce frézované vrstvy charakter a hodnota drsnosti povrchu.

**otupení** – vlivem poloměru zaoblení řezných klínů se projevuje závislost drsnosti frézovaného povrchu na velikosti otupení frézy. Na začátku frézování, kdy je fréza ostrá má drsnost povrchu největší hodnoty. Postupně s opotřebením nástroje se drsnost zmenšuje. Při dalším otupení frézy se znovu drsnost povrchu zvyšuje.

Nesmíme zapomenout i na další faktory, které vstupují do procesu obrábění a ovlivňují hodnoty drsnosti povrchu, je to například přesnost řezných hran nástroje, problematika odchodu a hromadění třísek v místě řezu atd..

## 12.2. Volba postupu obrábění s přihlédnutím ke struktuře povrchu

Před zahájením obrábění musí být s ohledem na volbu postupu a stanovení parametrů obrábění zodpovězena celá řada otázek [1].

- Jestliže, byl již stanoven postup obrábění, je vhodný k tomu, aby mohly být splněny požadavky na jakost obrobené plochy? Existuje lepší, nebo vhodnější postup, případně - jsou známa nějaká, procesem obrábění daná omezení? Lze tento proces realizovat na strojích, které jsou k dispozici? (stav a přesnost stroje, příkon, rozsah otáček a posuvů) Jsou k dispozici vhodné řezné nástroje.
- Postačí údaje o jakosti povrchu k tomu, aby byl bezpečně zvolen vhodný proces obrábění? Jsou již definované všechny plochy, které mají být obrobeny? Je nutné dostatečně doplnit parametry, jako jsou údaje o určité vlnitosti, nebo o určitém nosném podílu obráběné plochy?
- Jak má být postupováno v případě, že žádné charakteristické hodnoty pro obráběnou plochu nebyly předepsány? Vyžaduje následující proces obrábění nebo ošetření obrobku určitá zadání charakteristických hodnot povrchu? Mají předepsané charakteristické hodnoty povrchu, s ohledem na požadované tolerance rozměrů a tvarů, vůbec smysl?
- Jsou data pro popis obráběné plochy s ohledem na kontrolu jakosti úplná? Jsou všechny potřebné informace přístupné? Kde by se ve výkresem stanoveném tolerančním poli měly nacházet mezní hodnoty výrobních tolerancí?
- Kterými operacemi a operačními úseky lze dosáhnout požadovaného výsledku obrábění? Je nutné provést hrubování, obrábění na čisto, nebo jemné obrábění na čisto? Může se vynechat broušení? Existují řešení, která jsou z hlediska nákladů vhodnější a jsou všechny informace o novějších metodách obrábění a nástrojích dostupná?
- Jak se chová materiál obrobku při obrábění? Které všeobecně platné normy lze použít? Je zvolený materiál obrobku vhodný k tomu, aby mohla být dodržena požadovaná jakost obrobené plochy? Jak ovlivňují různé řezné podmínky výsledky obrábění a výkonnost procesu? Jak se projeví použití procesní kapaliny? Je obrobek správně upnut na stroji?
- Jsou vyřešeny všechny otázky týkající se nástrojů v souvislosti obrábění a požadovaným výsledkem práce? Byla určena doba trvanlivosti břitu s přihlédnutím ke způsobu obrábění? Není vyložení nástroje zbytečně velké? Jsou všechny nástroje v řádném stavu?
- Je celý systém, sestávající se z obrobku, stroje, nástroje a přípravku, dostatečně staticky a dynamicky tuhý?

## 12.3. Struktura povrchu v závislosti na charakteristických hodnotách obrábění

Každý druh řezného nástroje zanechává na obráběném povrchu více či méně výrazné stopy. Vzhled obrobené plochy je určován použitým procesem obrábění a směrem, ve kterém nástroj řezal. V průběhu doby se změnily dosud obvyklé poměry mezi procesem obrábění a stavem obrobeného povrchu. Příčinou je pokračující vývoj řezných nástrojů a obráběcích strojů. V dnešní době lze

soustružením a frézováním vytvářet plochy dokonalé jakosti, čehož bylo v dřívějších dobách možné dosáhnout pouze broušením. To také znamená, že se změnily souvislosti mezi jakostí obrobené plochy a výrobními náklady.

Teoreticky dosaženou jakost obrobeného povrchu lze pro všechny procesy frézování a soustružení vypočítat. Výsledek výpočtu je výchozím bodem pro určení, jaké jakosti povrchu může být za ideálních podmínek dosaženo. Skutečný výsledek je ovlivňován velkým počtem faktorů, které se v procesu obrábění vyskytují. Mimo tyto následně uvedené faktory působí na jakost obrobeného povrchu statická a dynamická tuhost celého systému [1].

#### Rozhodující faktory ve vztahu k řeznému nástroji:

- stabilita,
- vyložení,
- geometrie břitu,
- materiál obrobku,
- opotřebení břitu nástroje,
- řezné podmínky,
- utváření třísky,
- teplota břitu při obrábění.

#### Rozhodující faktory, vztahující se k obráběcímu stroji:

- stabilita,
- prostředí obrábění,
- procesní kapalina,
- technický stav,
- příkon a tuhost.

#### Rozhodující faktory, vztahující se k obrobku:

- stabilita,
- druh materiálu, způsob tepelného zpracování, zpevňování, atd.,
- konstrukce,
- upnutí,
- charakter polotovaru (přídavky na obrábění, ostřiny, licí a kovací kůra, atd.),
- předcházející proces obrábění,
- tolerance rozměrů a tvarů,
- jakost obrobeného povrchu.

### 12.4. Napěťové a deformační stavy povrchu

V oblasti povrchové vrstvy obrobku vznikají jako projev použité technologie obrábění zbytkové napětí. Zůstávají a působí zde stále, bez vnějšího zatížení i po uplynutí výrobního procesu.

## 12.5. Zpevnění a zbytková napětí v povrchové vrstvě při obrábění

V důsledku plastické deformace se mění mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobku jako jsou tvrdost, pevnost, houževnatost. Zpevnění obrobeného povrchu je nejčastěji charakterizováno mikrotvrdostí na povrchu  $HV_{Ms}$ , hloubkou zpevněné vrstvy  $h_z$  a stupněm zpevnění  $\varphi$  povrchové vrstvy obrobku.

Zbytková napětí mohou vzniknout pod obrobeným povrchem, jen jestli dojde v povrchové vrstvě k plastické deformaci.

#### 12.6. Funkčnost obrobeného povrchu

Funkčností obrobeného povrchu můžeme chápat jako schopnost plnit funkce, pro které byl povrch v předpokládaných podmínkách a za předpokládaných okolností vyrobený. Aby mohl obrobený povrch plnit požadovanou funkci, musí být vyrobený tak, aby odolával defektům. Defekt je stav povrchu charakterizující ukončení jeho schopnosti plnit požadovanou funkci. Nejčastějšími vnějšími projevy defektu jsou [4]:

- opotřebení,
- koroze,
- deformace a odtlačení,
- lomy a trhliny.

Zpevněná vrstva obrobeného povrchu vytváří předpoklady pro zlepšení její funkčnosti. Zvýšená tvrdost zvětšuje odolnost povrchu proti opotřebení a tím také přispívá k prodloužení životnosti strojních součástí.

Významný faktor, který zasahuje do funkčnosti obrobených ploch je mikrogeometrie obrobených ploch. V oblasti mikrogeometrie vznikají často zárodky únavových lomů. Drsnost povrchu je vázána na rozměrovou přesnost uložení a závisí také na pevnosti lisovaných spojeni. Drsnost povrchu má velký význam pro funkčnost povrchu, z toho důvodu zkoumání závislosti drsnosti povrchu na naklonění frézy přináší rozšíření poznatků v oblasti funkčnosti obrobených ploch.

#### 12.7. Teoretická drsnost frézovaného povrchu

Tato kapitola popisuje způsoby výpočtu teoretické drsnosti povrchu při kopírovacím frézování.

V případě kopírovacího frézování při použití kopírovacího nástroje (kulové frézy) je možné vytvořit analogii se známým vztahem pro soustružení. Poloměr hrotu nástroje je možné nahradit poloměrem polokulové části kopírovací frézy R. Ve směru posuvu je drsnost povrchu dána velikostí posuvu na zub  $f_z$  a ve směru kolmém na posuv šířkou řezu  $a_e$  (krokem frézy  $b_r$ ). Podélná drsnost povrchu je teoreticky dána kopírováním drsnosti řezné hrany a prakticky tvořená třením hřbetu nástroje a obráběné plochy se vznikem nárůstku. Příčná drsnost vzniká kopírováním zaobleného řezného klínu na obrobený povrch s určitou plastickou deformací a opotřebováním poloměru zaoblení nástroje.



Obr. 110 Model teoretického vzniku frézovaného povrchu



#### Obr. 113 Příčný a podélný profil povrchu

Následně jsou uvedeny zjednodušené rovnice pro výpočet podélné a příčné drsnosti povrchu parametru *Rz* tj. největší výšky profilu nerovnosti, viz Obr. 114.

Podélná drsnost:

$$Rz \approx \frac{f_z^2}{8 \cdot R} \tag{12.1}$$

kde:	Rz	je největší výška nerovností profilu [mm],
	R	je poloměr frézy [mm],
	$f_z$	je posuv na zub [mm].

#### Příčná drsnost:

$$Rz \approx \frac{a_e^2}{8 \cdot R} \tag{12.2}$$

kde: Rz je největší výška nerovnosti profilu [mm],

*R* je poloměr frézy [mm],

*a<sub>e</sub>* je šířka řezu při frézování [mm].





Dále je uveden přesnější vztah výpočtu teoretické nejvyšší výšky nerovnosti profilu při kopírovacím frézování ve směru příčném, tedy ve směru kolmém na posuv:

$$Rz = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - a_e^2}{4}}$$

$$kde: Rz \qquad je největší výška nerovnosti profilu [mm],$$

$$d \qquad je průměr frézy [mm],$$

$$a_e \qquad je šířka řezu [mm].$$
(12.3)

Pro výpočet šířky řezu  $a_e$  (kroku frézy  $b_r$ ) při obrábění kopírovací frézou platí následující vztahy, které lze jednoduše odvodit z Obr. 114.

$$a_{e} = 2 \cdot \sqrt{a_{p}} \cdot (d \cdot a_{p}) \qquad [mm]$$

$$(12.4)$$

$$a_{e} = 2 \cdot \sqrt{d \cdot Rz \cdot Rz^{2}} \qquad [mm] \qquad (12.5)$$

kde:  $a_e$  je šířka řezu [mm],

- *Rz* je největší výška nerovností profilu [mm],
- *d* je průměr frézy [mm],
- $a_p$  je hloubka řezu [mm].

Drsnost povrchu se však dá hodnotit různými parametry. Teoreticky se nejčastěji vypočítává nejvyšší výška nerovností  $R_z$  (v některých publikacích označovaných u kopírovacího frézování jako parametr  $R_{th}$ ). Parametr  $R_z$  však nebývá uváděný na výkrese součásti. Parametr, který je nejčastěji požadován konstruktérem, a který je uveden na výkrese je průměrná aritmetická odchylka drsnosti povrchu Ra. Existují empirický vztahy (12.6) a (12.7) podle kterých lze vypočítat Ra pomocí parametru  $R_z$ , nebo  $R_z$  pomocí Ra.

$$Ra = \frac{Rz}{3 \div 5}$$
[mm]
(12.6)
  
kde: Ra
  
Rz
  
je průměrná aritmetická odchylka [µm],
  
je největší výška nerovností profilu [µm],
  
3 ÷ 5
je interval zohledňující technologickou metodu.
  
Rz = 3,8 ÷ 5 · Ra<sup>0,97</sup>
(12.7)
  
kde: Rz
  
ie největší výška profilu [µm]

kde:	Rz	je největší výška profilu [μm],
	Ra	je průměrná aritmetická odchylka [µm],
	3,8 ÷ 5	je interval zohledňující technologickou metodu.

Uvedené vztahy (12.6) a (12.7) jsou určeny v širokém rozsahu, protože volba hodnot z určitého intervalu v dané rovnici závisí zejména na způsobu obrábění. Pro případ kopírovacího frézování neznáme přesnou hodnotu z tohoto intervalu, proto je následně uveden zkrácený postup odvození přesného vztahu pro výpočet průměrné aritmetické odchylky drsnosti povrchu *Ra* pro frézování kulovou frézou. Podrobnější výpočet je uveden v literatuře [ 35 ].



Obr. 115 Vznik teoretické příčné drsnosti na rovině

Odvození rovnice z obr. Obr. 115 pro výpočet průměrné aritmetické odchylky drsnosti povrchu při frézováním kulovou frézou je [35]:

$$Ra = \frac{R^2}{a_e} \left\{ arc2 \left[ \arccos\left(\frac{1}{2}\cos \arcsin\frac{a_e}{2 \cdot R} + \frac{R}{a_e}arc \arcsin\frac{a_e}{2 \cdot R}\right) \right] - \sin 2 \left[ \arccos\left(\frac{1}{2}\cos \arcsin\frac{a_e}{2 \cdot R} + \frac{R}{a_e}arc \arcsin\frac{a_e}{2 \cdot R}\right) \right] \right\} \cdot 1000 \quad [\mu \text{m}] \quad (12.8)$$

kde: *Ra* je průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu [μm],

*R* je poloměr frézy [mm],

 $a_e$  je šířka řezu [mm].

Pomocí rovnice (12.8) lze přímo z konstrukčních a technologických parametrů vypočítat průměrnou aritmetickou odchylku Ra pro příčnou drsnost frézování vodorovné plochy kopírovací frézou. Jestliže se v rovnici (12.8) nahradí šířka řezu  $a_e$  posuvem na zub  $f_z$ , je výsledkem rovnice pro výpočet podélné drsnosti povrchu (drsnosti ve směru posuvu):

$$Ra = \frac{R^2}{f_z} \left\{ \operatorname{arc2} \left[ \operatorname{arccs} \left( \frac{1}{2} \cos \operatorname{arcsin} \frac{f_z}{2 \cdot R} + \frac{R}{f_z} \operatorname{arc} \operatorname{arcsin} \frac{f_z}{2 \cdot R} \right) \right] - \sin 2 \left[ \operatorname{arccs} \left( \frac{1}{2} \cos \operatorname{arcsin} \frac{f_z}{2 \cdot R} + \frac{R}{f_z} \operatorname{arc} \operatorname{arcsin} \frac{f_z}{2 \cdot R} \right) \right] \right\} \cdot 1000 \quad [\mu \text{m}] \quad (12.9)$$

kde: Ra je průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu [µm], R je poloměr frézy [mm],  $f_z$  je posuv na zub [mm].

Pro frézování na šikmé rovinné ploše je ve vztahu (12.9) na místo kroku  $a_e$  hodnota  $a'_{e}$ , která je upravena o úhel nakloněné roviny  $\alpha$  [35].
$$a'_{e} = \frac{a_{e}}{\cos \alpha} \qquad [mm] \tag{12.10}$$

kde:  $a_e$  je šířka řezu [mm],  $\alpha$  je úhel sklonu obráběné plochy.

Další způsob výpočtu teoretické drsnosti povrchu můžeme nalézt v normě ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288, dle které se největší výška profilu *Rz* vypočte jako součet výšky největšího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky [24].

$$R_{z} = \frac{D}{2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{a_{e}}{4 \cdot R^{2}}} \right)$$
 [mm] (12.11)

kde: Rz je největší výška profilu [mm],

- *R* je poloměr frézy [mm],
- *D* je průměr frézy [mm],
- $a_e$  je šířka řezu [mm].

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra, dle ČSN EN ISO 4287, představuje aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z(x) v rozsahu základní délky. Vypočítá se z následujícího vztahu [24]:

$$Ra = \frac{10^3 \cdot R^2 \cdot (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{a_e}$$
 [mm] (12.12)

kde: Ra je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [mm],

*R* je poloměr frézy [mm],

 $a_e$  je šířka řezu [mm],

 $\alpha_A$  je úhel [°], uvedený v následujícím vztahu.

$$\alpha_{A} = \arccos\left[\frac{R}{a_{e}}\left(\arcsin\frac{a_{e}}{2\cdot R} + \frac{a_{e}}{4\cdot R^{2}}\sqrt{4\cdot R^{2} - a_{e}^{2}}\right)\right]$$
<sup>[°]</sup>
<sup>(12.13)</sup>

kde:  $\alpha_A$ 

*R* je poloměr frézy [mm],

 $a_e$  je šířka řezu [mm].

je úhel [°],

Teoretický tvar povrchu se mění vlivem mnoha faktorů působících v procesu obrábění.

Uvedené vztahy pro výpočet průměrné aritmetické hodnoty drsnosti povrchu v příčném i podélném směru při kopírovacím frézováním je možné zařadit do počítačové podpory optimalizace technologických parametrů. Rovnice mohou být využity pro simulaci vzniku teoretické drsnosti obráběného povrchu a jako základ rozšíření poznatku o simulaci vzniku reálných povrchů.

Zajímavé je porovnání zmíněných postupů teoretických výpočtů drsnosti povrchu při kopírovacím frézování. Porovnáním relativně přesnějších vztahů pro výpočet parametru *Ra* (12.6 a 12.8) dospějeme k závěru, že tyto výpočty dle těchto vztahů jsou si rovny. Tedy porovnáme-li známý jednoduchý empirický vztah (12.6) { $Ra = \frac{1}{4} Rz$ }, podle kterého se dá vypočítat parametr *Ra* pomocí parametru *Rz* spočteného z rovnice (12.2) { $R_z \approx a_e^2 / 8 \cdot R$ } s relativně přesným vztahem (12.8). (Odvození rovnice je patrné z Obr. 115. Podrobnější výpočet je uveden v literatuře [ 35 ]). Dospějeme k závěru, že pro výpočet průměrné aritmetické odchylky drsnosti povrchu *Ra* při frézování kulovou frézou si vystačíme s jednoduchým empirickým vztahem. Odchylky výpočtu drsnosti u těchto vzorců se pohybují v rozmezí 0,005 až 0,17 μm pro drsnosti *Ra* 0,2 až 6,3 μm. Z toho plyne, že tento zjednodušený empirický vztah je dostatečný pro běžný výpočet teoretické drsnosti povrchu.

Následující tabulka uvádí dosahující drsnosti povrchu a hospodárné přesnosti při frézování [23].

Druh frézování	Drsnost povrchu Ra v [µm]	Hospodárná přesnost IT
Hrubé	6,3 ÷ 25	IT 7 · 14
Polohrubé	1,6 ÷ 6,3	11 / - 14
Jemné	0,8 ÷ 1,6	IT 6 ÷ IT 7
Válcovou frézou	3,2	IT 9 ÷ 10
Jemné čelní	3,2 (1,6)	IT 8
Velmi jemné čelní	1,6 (0,8)	IT 7

Tab. 4Drsnosti povrchu a hospodárná přesnost při frézováni [ 23 ]



# Kontrolní otázka

- 1. Jak se tvoří příčná a jak podélná drsnost povrchu při tvarovém frézování kulovou frézou?
- 2. Co je parametr Ra?
- 3. Co je parametr Rz?
- 4. Co je parametr Rq?
- 5. Geometrické odchylky skutečného povrchu od ideálního můžeme v rovině kolmé na směr obrábění klasifikovat do třech kategorií, kterých?
- 6. Jakost povrchu funkčních ploch se klasifikuje (dle ČSN EN ISO 4287) pomocí parametrů struktury povrchu, které se člení na tři základní části. Vypište je.
- 7. Vypište faktory ovlivňující drsnost povrchu působících v procesu obrábění.
- 8. Co je to funkčnost obrobeného povrchu?
- 9. Napište zjednodušenou rovnici pro výpočet podélné drsnosti povrchu pro Rz.



Uveď te zjednodušené rovnice výpočtu podélné a příčné drsnosti.

# 13. ZÁVĚREČNÉ FÁZE VÝROBNÍHO POSTUPU V CAM SYSTÉMU

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• Popsat závěrečné fáze výrobního postupu v CAM systému.	Rudata umăt
Popsat a vysvětlit co je to postprocesing.	Budete uniet
• Vysvětlit a popsat co je to průvodní dokumentace.	

Budete schopni:	
• Vygenerovat NC program pro řízení NC/CNC obráběcího stroje.	Budete schopni
• Vyhotovit průvodní dokumentaci k NC programu.	



# Čas ke studiu: 1 hodina



Tato kapitola popisuje závěrečné fáze výrobního postupu v CAM systému, jako je: vytvoření NC programu pro řízení obráběcího stroje a tvorba průvodní dokumentace. Dále pak kapitola popisuje problematiku postprocesingu.

# 13.1. Tvorba NC programu

Tvorba NC programu je úzce spojena s problematikou postprocesorů. Tzv. postprocesing je překlad vygenerovaných drah nástroje do řeči srozumitelné příslušnému řídícímu systému obráběcího stroje. Ve světě i u nás je mnoho řídících systémů, včetně jejich nejrůznějších variant. Požadavky na postprocesing tedy vycházejí vždy od konkrétně použitého stroje a jeho řídícího systému.

Procesor vygeneruje APT nebo, CL data (*Cutter Location Data*) - "jakýsi program" pro řízení "ideálního" NC stroje.

**CL data** je třeba přizpůsobit technickým možnostem a formálnímu tvaru zadávaného programu pro konkrétní dvojici řídící systém a stroj.

**Postprocesor** přeloží vygenerované CL DATA (tedy již vygenerované dráhy nástroje) do řeči srozumitelné příslušnému řídícímu systému obráběcího stroje



NC program



Po dokončení tvorby všech obráběcích cyklů a po bezkolizové simulace obrábění se vygeneruje pouhým stisknutím příslušné ikony NC kód. Pro vytvoření NC kódu použije CAM systém generátor NC kódu, který převede vytvořený technologický postup do instrukcí daného stroje a řídícího systému. Generátor NC kódu zapíše instrukce do ASCII textového souboru. Tento soubor je možné ještě před odesláním do stroje upravovat. K úpravě tohoto souboru je možné využít speciálních NC editor dodávaný např. s balíčkem produktů CAM, nebo volně dostupných free programů. Je možné také využít běžně využívaný a dostupný program, který je na každém počítači –poznámkový blok.



# **CD-ROM**

Příklad vytvořeného NC programu je zobrazen v příloze č.4 – *NC program-3osé frézování tvárníku.txt* 



Pojem 1 je postprocesing

Pojem 2 je NC program.



### Zajímavost k tématu

Výběr postprocesoru "překladatele" pro daný řídící systém CNC stroje se u některých CAM systémů provede ještě před samotnou tvorbou postupu obrábění (např. u EdgeCAM, MasterCAM, SolidCAM). U jiných CAM systémů se výběr provede těsně před generováním NC kódu (např. Esprit, PowerMill).

Výběr postprocesoru před tvorbou postupu obrábění má své výhody. CAM systém v tomto případě nabízí při tvorbě postupu jen ty instrukce, které podporuje zvolený postprocesor a tedy daný řídící systém daného obráběcího stroje.

V Mastercamu se volba postprocesoru, provede na začátku tvorby technologie po zvolení typu stroje. V případě potřeby je možné tato nastavení změnit.

Výběr postrocesoru se v EdgeCAMu provede ihned po přechodu z design do technologie. Změna postprocesoru v průběhu tvorby obrábění je možná, ale jen omezeně. EdgeCAM pak nabízí jen příbuzné postprocesory. Obejít toto omezení lze při založení nového obráběcího postupu do kterého se pak zkopírují již vytvořené instrukce (operace a cykly).



# Další zdroje

Problematika postprocesingu, rozdělení a vytváření postprocesorů a tvorby NC programu je podrobněji popsána ve skriptu:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.

# 13.2. Tvorba průvodní dokumentace

Tzv. průvodní dokumentaci (označovanou také v mnoha CAM systémech jako návodka) lze vytvořit přímo ve využívaném CAM systému. Průvodní dokumentace slouží operátorovi CNC stroje pro získání důležitých informací a pro lepší orientace ve vytvořeném NC programu. Tato dokumentace je určena také pro sledování stavu zakázek, materiálů, nástrojů apod., dále pak pro obchodní a

dodavatelské subjekty, kteří se chtějí nějakým způsobem podílet na vytvořeném pracovním postupu (sledovat stav zakázky, odsouhlasit vytvořený pracovní postup apod.).

V průvodní dokumentaci lze nalézt např. tyto informace:

- kdo NC program vytvořil,
- kdo vytvořil model součásti,
- kdo schválil zakázku,
- popis zakázky,
- použité nástroje (popis nástrojů, pozice, vyložení),
- čas obrábění (strojní čas, čas rychloposuvu, časy výměn nástrojů),
- ustavení obrobku,
- materiál obrobku,
- použité jednotlivé úseky obrábění strategie s možným grafickým náhledem,
- kde jsou jednotlivé soubory umístěny a pod jakým názvem (NC program, CAM soubor, model, polotovar)
- apod.

Průvodní dokumentaci lze vytisknout a předat operátorovi NC, nebo ji (v případě partnerských subjektů) poslat, např. mailem. Výhodou je, že tito partneři nemusí vlastnit licence CAM systému, protože průvodní dokumentaci lze uložit do běžně spustitelných souborů (\*pdf, \*txt, \*htm apod.).

V systému Mastercamu lze průvodní dokumentaci (označované také seřizovací listy) vytvořit ve formátu \*pdf, \*htm, nebo tabulky Excelu.

Průvodní dokumentaci lze v Mastecamu vytvořit pomocí výběru *Seřizovací list* … při pravém kliknutí myší na záhlaví stromové struktury postupu. Otevře se okno pro zadání potřebných údajů a volbu příslušných náhledů. Dále pak se otevře speciální modul (Prohlížeč ActiveReports), který slouží pro nahlížení návodky, nebo pro následné uložení do souboru \*pdf, \*htm, nebo tabulky Excelu.

Následující obrázek ukazuje zadávací okno při tvorbě průvodní dokumentace v Mastercam. Kliknutím na ikonku fotoaparátu lze vytvořit jednotlivé náhledy operačních cyklů.

ie e	rizovací list			23
	Základní informac	e		
	Projekt	cvičení	•	×
	Zákazník	student	• •	×
	Programoval	Sadilek	•	×
	Kreslil	Cimr	•	×
	Revize	Kr	•	×
	Poznámka 1	upínání	mezi upinky 👻	×
	Poznámka 2	druha p	oznamka 🔹	×
	Poznámka 3	ponech	at řezné podmínky 👻	×
	Barevně     Aktuální grafic     zobrazení na ploš     zachyceno po stis	ské je bude sku OK.	Pohled na operaci WCS operací Trovin operací Izometricky relativně k WCS operací Izometricky (GLOBÁLNÍ)	×
	Šablona zprávy (S	itisk nëte I MM   s	"2 pro nový výběr) etup sheet (mil)	
	1ôi		<ul> <li>×</li> </ul>	?

#### Obr. 117 Tvorba průvodní dokumentace (seřizovacího listu) v Mastercam



**CD-ROM** 

Ukázka vytvořené průvodní dokumentace (seřizovacího listu - návodky) v CAM

systému Mastercam pro 30sé frézování tvárníku je uvedena v příloze č. 2 Seřizovací list 30sého frézování tvárníku.pdf Lze také vytvořit jednodušší podobu ve formátu txt. To je také jedna z možností tvorby průvodní dokumentace - vytvoření výpisu jednotlivých instrukcí do textového souboru.

Ukázka vytvořeného výpisu instrukcí je uvedena v příloze č. 3 Výpis instrukcí pro 3osého frézování tvárníku.

Průvodní dokumentaci v Mastercamu lze vytvořit několika způsoby: buď přímo v Mastercamu, nebo nadstavbami vytvořenými uživateli a dostupnými na www stránkách softwaru Mastercam, nebo na fóru Mastercam.

Systém EdgeCAM nabízí speciální moduly pro tvorbu průvodní dokumentace: Manažer zakázek a Asistent zakázek, které jsou přímo určeny pro práci se zakázkami.



# Další zdroje

Tvorba průvodní dokumentace a diskuze nad jejím obsahem je také popsána v dalších oporách autora:

SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.

SADÍLEK, M. *Týmová cvičení z předmětu CAD/CAM systémy v obrábění*. VŠB – TU Ostrava, 2011, 39 s., 9 příloh. Dostupné na: http://www.346.vsb.cz/studijni\_literatura.html.



### Korespondenční úkol č.4

Zpracujte průvodní dokumentaci - *Seřizovací list* vygenerováním z Mastercamu pro 30sé obrábění tvarové plochy – tvárníku.

Odevzdejte vyřešený úkol ve formátu U4\_seřizovací list\_příjmení.pdf



# Kontrolní otázka

- 1. K čemu slouží průvodní dokumentace?
- 2. Co nazýváme výpisem instrukcí?
- 3. Co je to postprocesing?
- 4. Co obsahuje průvodní dokumentace?



Vytvořte výpis instrukcí pro 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.



# **CD-ROM**

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu

# **LITERATURA**

- [1] AB Sandvik Coromant. Příručka obrábění Kniha pro praktiky. 1. vyd.. Praha, 1997. 980 s.
   ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] APRO, K. Secrets of 5-Axis Machining, Industrial Press, Inc. 989 Avenue of the Americas, New York, NY 10018, First Printing, August, 2008, pp. 172. ISBN 978-0-8311-3375-7.
- [3] AB Sandvik Coromant. Produktivní obrábění kovů. Švédsko, 1997. 300 s.
- [4] BÁTORA, B.; VASILKO, K.. Obrobené povrchy technologická dedičnosť, funkčnosť. Trenčín: Trenčianská univerzita, 2000. s 183, ISBN 80-88914-19-1.
- [5] BITERMAN, M.; SANDSTROM D. *Curvilinear Tool-Path Method for Pocket Machining*. Journal of Manufacturing science and Engineering. November, 2003, Vol. 125. s 709-714.
- [6] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. Drsnost povrchu. Praha, 1989. L13-B2-IV-41/22881.
- [7] CIMR, I. Prezentace společnosti SolidVision, s.r.o. Konference ERIN 2009, VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [8] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu. (01 4450). Praha: Český normalizační institut Praha. 1999.
- [9] DP Technology Corp. Graphics and Machining Processor. ESPRIT, USA, 1993.
- [10] DVOŘÁK, R. *Metrologie geometrických vlastností povrchu: Úvod do problematiky*. Strojírenská technologie, 2005, roč. X, č. 1, s.7-10.
- [11] FORNŮSEK, T. CAD/CAM/CIM systémy: Od pomocníků k virtuální továrně. *Technik*, duben 2004.
- [12] GREY, P.; BENDI, S.; ISMAIL, F.; RAO, N.; MORPHY G. Comparison of 5-axis Finis Machining of Hydroforming Die Inserts. Advanced Manufacturing Technology, 2001. Springer-Verlag London Limited.
- [13] HATALA, M. Simulácia technologických procesov. 1. vyd. Prešov : FVT TU, 2007. 85 s. ISBN 978-80-8073-756-6.
- [14] HATALA, M.; ČEP, R. Výběr vhodného řezného materiálu. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava. Ostrava : VŠB-TU, 2006. vol. 52, no. 1 (2006), p. 23-28. ISSN 1210-0471.
- [15] HILDER, T. *CNC-mozek stroje*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č.5, s. 38-39. ISSN 1212-2572.

- [16] HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění 1. část.* Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno 2003, VUT Brno. 138 s.
- [17] JANDEČKA, K.; KOŽMÍN P. Aspekty využívání nových typů interpolací v programování NC strojů. Strojírenská technologie, roč. VIII, č. 4, prosinec 2003, s. 16-19.
- [18] JANDEČKA, K.; ČESÁNEK, J.; KOŽMÍN, P.: Programování NC strojů. Plzeň, ZČU 2000.
- [19] JANÍČEK, L. Ekonomická prospěšnost nasazení CA-technologií. MM průmyslové spektrum,
   č.3 březen 2000, str. 12 -13.
- [20] JASPAR, J. Nové hvězdy mezi frézami pro nástrojárny a výrobce forem: MM Průmyslové spektrum, 2003, č.5, s. 46. ISSN 1212-2572.
- [21] Katalog firmy Pramet Tools. *Nástroje pro kopírovací frézování, die & mould making tools*, Pramet Tools, 2004.
- [22] KELLER, P. Prezentace přednášek 2.část [online]. Liberec: Katedra výrobních systémů TU Liberec, FS, 2005 [cit.2007-19-5].Skripta elektronická.Programování a řízení CNC strojů. Dostupné z www: <a href="http://www.kvs.vslib.cz/">http://www.kvs.vslib.cz/</a>
- [23] KOCMAN, K. Speciální technologie obrábění. Vysoké učení technické v Brně, 2004. 127 s. ISBN 80-214-2562-8.
- [24] KOVÁŘ, J. *Ovlivnění kvality a jakosti obrobené plochy při frézování*. MM Průmyslové spektrum, 2004, č.4, s. 30 32. ISSN 1212-2572.
- [25] KOŽMÍN, P. *Kdy nasadit NC technologie a CAM řešení*. Příspěvek na semináři pořádaný na KTO s firmou Expert&Partner. Plzeň, ZČU únor 2001.
- [26] KURIC, I.; KOŠTURIAK J.; JANÁČ, A.; PETERKA J.; MARCINČIK J. Počítačom podporované systémy v strojárstve. Edis Žilina, Žilinská univerzita v Žilině, 2002. 351 s. ISBN 80-7100-948-2.
- [27] MÁDL, J. Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění. Praha: ČVUT Praha, 1988. 57 s.
- [28] MANLING F. *Současný stav a trendy v oblasti CAx techniky*, WEB časopis "Počítačom podporované systémy v strojárstve", srpen 2000.
- [29] MecSoft Corporation RhinoCAM. Začínáme s RhinoCAMem, uživatelská příručka. 150 s. 2005.
- [ 30 ] MIKO, Edward. Investigation into the Surface Finis in Milling using a Ball Nose End Mill. Advances in Manufacturing science and technology, 2001, vol. 25 No. 3. Polish Academy of Sciences, s. 71-86, ISSN 0137-4478.
- [31] MRKVICA, I., UHLÁŘ, V. Matematic Model of the Milling Head First Contact. Technologické inženierstvo, 2/2007, s. 49-51. ISSN 1336-5967.

- [ 32 ] NESLUŠAN, M.: Vybrané aspekty kmitania pri obrábaní. Medzinárodná vedecká konferencia pri príležitosti 55 rokov Fakulty strojníckej VŠB Ostrava, 7.-9.9 2005, ISBN 80-248-0895-1, str.23.
- [ 33 ] NESLUŠAN, M. CZÁN, A. ŽUPREL, U: Analyse of Heat Distribution when Grinding of Titanium Alloy VT 9 and its Relation to Residual Stresses, STROJNIŠKI VESTNIK Journal of Mechanical Engineering, ISSN 0039-2480, vol.48 2002 no.10, Ljubljana SLOVENIJA, str 557-564.
- [34] NOVÁK, Z. Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. MM Průmyslové spektrum, 2004, č.11, s. 68, 69. ISSN 1212-2572.
- [35] PANTHERACE. *EdgeCAM* [online]. 2007 [cit. 15.dubna 2007]. URL < http://www.edgecam.cz >.
- [36] PETERKA, J. Nový přístup výpočtu střední aritmetické odchylky drsnosti obrobeného povrchu při kopírovacím frézováním: Strojírenská technologie, 2004, roč. IX, č.2, s. 28-32.
- [ 37 ] PETERKA J.; KURIC, I.. CAD/CAM systémy významný prvok integrovanej výroby. časopis Infoware, č.8/98, Bratislava, 1998, s. 24-27.
- [38] PRAMET Tools, s.r.o..*Příručka obrábění*, 2004. Oddělení marketingu, pracoviště DTP 12/2003.
- [39] ŘEZNÍČEK, L.; FINK M. *EdgeCAM Základy programování CNC obráběcích strojů a sbírka řešených příkladů*. SPŠ a SOU Trutnov, 2005.
- [40] SADÍLEK, M. Zvyšování efektivnosti obrábění s využitím CAD/CAM systému autoreferát disertační práce. Ostrava: VŠB TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 42 s. ISBN 80–248–0867-6.
- [41] SADÍLEK, M. Zvyšování efektivnosti obrábění s využitím CAD/CAM systému. disertační práce. Ostrava: Fakulta strojní, VŠB Technická univerzita Ostrava, 123 s, 23 příloh.
- [42] SADÍLEK, M. *Vyspělé strategie ve 3D frézování*, MM Průmyslové spektrum, 2004, č.12, s. 46,47. ISSN 1212-2572.
- [43] SADÍLEK, M. CAM systémy v obrábění I. II. doplněné vydání. VŠB TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-5.
- [44] SADÍLEK, M.; KOSÁŘ, F. Řešené praktické příklady v CAM systému MasterCAM, Studijní materiály pro studijní obor Strojírenská technologie Fakulty strojní, 2011, s.154.
- [45] SLÁMA, J. Moderní metody měření na obráběcích strojích. MM Průmyslové spektrum, 2003,
   č.5, s. 33. ISSN 1212-2572.
- [46] SOLIDCAM. Zaškolovací kurz k modulu Frézování Soustružení, SolidCAM + SolidWorks, 2007, s 232.

- [47] SONETECH s.r.o. Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje EdgeCAM -Soustružení – EdgeCAM intelligent manufacturing. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
- [48] SONETECH s.r.o. Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje EdgeCAM -Frézování – EdgeCAM intelligent manufacturing. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
- [49] SONETECH s.r.o..*Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje EdgeCAM Začínáme s EdgeCAM EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 48 stran, pdf dokument, 2005.
- [50] SONETECH s.r.o.. Frézování Mastercam X2, 16 s., pdf. dokument, 2008.
- [51] ŠTĚDRÝ, J. *Směry vývoje CNC řízení po roce 2000 v praxi*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č.5, s. 36-37. ISSN 1212-2572.
- [ 52 ] VASILKO, K. *Technológia dokončovania povrchov*. Prešov, 2004. 116 s. ISBN 80-7073-124-1.
- [53] URBAN, J. *Řídící systém a výroba forem a nástrojů technologií HSC*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č.12, s. 44-45. ISSN 1212-2572.
- [54] ZAJAC, J. ONDIRKOVÁ, J. JURKO, J. Technológia zmeny tvaru, FVT Prešov, 2003, str. 165, ISBN 80-8073-065-2.
- [55] ZAJAC,J. Technológia zmeny tvaru pre externé štúdium. FVT so sídlom v Prešove 2004, s. 71, ISBN 80-8073-161-6.
- [56] ZELENÝ, J. Nástup HSC technologií do průmyslové praxe. MM Průmyslové spektrum, 2000,
   č.6, s. 22-23. ISBN 80-85986-19-1.
- [57] ZELENÝ, J. *Vliv HSC technologií na stavbu obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum, 2000, č.6, s. 24-27. ISBN 80-85986-19-1.
- [58] ZELENÝ, J. Numerically controllers machine tools and accessories. 1999, 165 s. Vydavatelství ČVUT.
- [59] http://www.dptechnology.com. stránka výrobce CAD/CAM systému Esprit.
- [60] http://www.edgecam.com stránka výrobce CAD/CAM systému EdgeCAM.
- [61] http://www.mecsoft.com stránka výrobce CAD/CAM systému RhinoCAM.
- [62] http://www.rhinocam.cz stránka výrobce CAD/CAM systému RhinoCAM.
- [ 63 ] http://www.orlicko.cz/pm/ncspeed/NCspeed\_WorkNC/Hlavni\_stranka\_NCspeed\_WorkNC.ht m - informace o optimalizačním softwaru NC speed.
- [64] http://link.springer.de Informační servis nakladatelství Springer Verlag.
- [65] http://www.formtec Firemní stránky společnosti Formtec.

- [66] http://www.cgtech.com Firemní stránky společnosti CGTech.
- [ 67 ] http://www.ugs.cz/default.aspx?section=31&server=1&article=1035 Firemní stránky společnosti Siemens Product Lifecycle Management Software (CZ) s.r.o..
- [ 68 ] http://cs.wikipedia.org/wiki/PLM elektronická encyklopedie, PLM- Product Lifecycle Management. [ cit. 4. března 2010].
- [69] http://www.frezovani-5os.cz webové stránky o víceosém obrábění, [cit. 2010-7-10].
- [70] SolidCAM [online]. 2009 [cit. 2010-05-02]. HSM obráběcí strategie. Dostupné z <u>WWW</u>:<http://www.solidcam.cz/article.asp?nDepartmentID=7&nArticleID= 92&n LanguageID=1>.
- [71] http://www.rhinocam.cz stránka výrobce CAD/CAM systému RhinoCAM.
- [72] Siemens [online]. 2012 [cit. 2012-08-20] http://www.cnc4you.siemens.com/cms/website.php?id=/en/cnc-fachthemen/news/shopturn-baxis.htm

# KLÍČ K ŘEŠENÍ PŘÍKLADŮ



# Klíč k řešení otázek kapitoly 1

- O 1.1 Product lifecycle management je proces řízení kompletního životního cyklu výrobku od jeho vzniku (konceptu) přes návrh konstrukci, výrobu, servis až po jeho vyřazení. PLM zahrnuje lidské zdroje, data, procesy a obchodní systémy a poskytuje páteřní informaci o výrobku pro firemní společnosti a jejich podniky. Je základním prvkem efektivní tvorby a používání globální inovační sítě.
- O 1.2 CIM (Computer Integrated Manufacturing) = výroba integrovaná počítačem.

Tento systém zahrnuje řízení celého výrobního podniku. Využívá ve všech fázích výroby počítačovou podporu. Jeho funkcí je zastřešit všechny předchozí moduly od CAD přes CAM, CAE a koordinovat tok informací od myšlenky po vlastní realizaci. Jedná se o nasazení informační technologie do všech činností výrobní a inženýrské praxe, od návrhu a tvorby výrobku, až po jeho expedici [43].

O 1.3 CAE (Computer Aided Engineering) = počítačem podporované inženýrství.

CAE systém se zabývá analýzou geometrických dat získaných v CAD návrhu. Umožňuje simulovat a studovat navržený objekt v extrémních pracovních podmínkách, pro které je tvořen. Následné chyby, které ovlivňují jeho funkci lze okamžitě eliminovat.

O 1.4 *PPS (Production Planning Systems) = výrobně plánovací systémy.* 

Jedná se o využití počítače pro celou paletu úloh plánování a řízení výroby. Úkolem je zabezpečit vlastní výrobu tak, aby byla optimální z kapacitního, ekonomického a z časového hlediska podle potřeb obchodních útvarů.

O 1.5 *CAPP (Computer Aided Process Planning) = počítačová podpora návrhu a tvorby technické dokumentace.* 

Modul pracuje na základě konstrukční dokumentace, respektive CAD dat, při návrhu technologické dokumentace, včetně výběru strojů a zařízení pro výrobu. Výstupem mohou být různé formy technologické dokumentace (slovní, obrázkové a tabulkové technologické postupy), NC programy. CAPP tvoří důležité propojení mezi CAD/CAM systémy.

O 1.6 *CAPE (Computer Aided Production Engineering)=počítačová podpora výrobního inženýrství. Také překládáno jako Počítačem podporované technologie výroby.* 

CAPE tvoří subsystém počítačové integrované výroby CIM. Zahrnuje počítačovou podporu všech činností spojených s výrobou součástky např. programování výrobní techniky, obslužných, dopravních a skladovacích zařízení, měření, zkoušení a diagnostiku součástí. Díky tomuto systému lze dosáhnout zkrácení času uvedením výrobku na trh, zvýšení kvality a snížení nákladů výroby.

O 1.7 CAQ (Computer Aided Quality) = počítačová podpora řízení kvality výroby.

CAQ představuje nástroj, který vstupuje do procesu technické přípravy a vlastní výroby. Jde o zabezpečení kontroly výrobku a řízení kvality výroby. Mezi hlavní úkoly kontroly patří prověřování výrobních plánů, kontrola výrobní dokumentace, technická diagnostika výrobních zařízení a automatizovaná výstupní kontrola. Cílem je zvýšit kvalitu výrobku vlastního výrobního procesu a zkrátit zpětné působení vyhodnocených jakostních parametrů na výrobní a předvýrobní etapy.

- O 1.8 Počítačová podpora údržby technických zařízení
- Online programování přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP Shop

Floor Programing).

- Offline tvorba NC programu mimo řídící systém:
- o ručně (psaní pomocí ISO/DIN kódu),
- o pomocí CAM systému.
- O 1.10
- systémové inženýrství System Engineering (SE),
  - management výrobku a jejich portfolia Product and Portfolio Management (PPM),
  - návrh a design výrobku Product Design (Cax),
  - řízení výrobního procesu Manufacturing Process Management (MPM),
  - řízení výrobních dat Product Data Management (PDM).

# Klíč k řešení otázek kapitoly 2

O 2.1 Práce v systému CAD.

Práce v systému CAM – vytvoření obráběcího postupu.

Simulace obrábění.

Generování NC programu.

O 2.2 Import obráběné geometrie.

Nastavení počátečních podmínek obrábění.

Hrubovací cykly obrábění.

Cykly zbytkového hrubovacího obrábění.

Předdokončovací cykly obrábění.

Dokončovací cykly obrábění.

Cykly obrábění zbytkového materiálu.

Cykly srážení hran apod.

Generování NC kódu pro řízení CNC obráběcího stroje.

O 2.3 Pojem Operace jsou zde spojením několika jednotlivých obráběcích cyklů a instrukcí.

Po výběru z menu Operace systém vyžaduje výběr obráběné geometrie a pozice pomocných bodů (např. startovací bod). Následně se zobrazí dialogové okno vybraného operačního úseku, do kterého se zadají potřebné hodnoty a volby.

Po výběru v menu cykly je postup opačný. Nejprve jsou zadány parametry dialogu zvoleného obráběcího cyklu a následně je až vybrána geometrie pro obrobení.

- O 2.4 Jednotlivé úkony daného úseku obrábění.
- O 2.5 Volby nástroje.
  - Volba otáček.
  - Volba chlazení.
  - Vlastní obrábění obráběcí cyklus (úsek).
  - Zastavení vřetene (stop otáček).

- Stop chlazení.
- Odjezd nástroje do výměny.



# Klíč k řešení otázek kapitoly 3

- O 3.1 Modely složitých tvarových součástí a komponentů automobilového, leteckého, potravinářského, energetického a zdravotnického průmyslu (modely forem, zápustek, lopatky, oběžné a rozváděcí kola a další tvarově a rozměrově komplikovaných komponentů).
- O 3.2 Předání geometrických dat může být uskutečněno mnoha způsoby, např. sdílením dat, elektronickou poštou, předáním na elektronickém nosiči apod..
- O 3.3 Geometrická data nemusí představovat jen často zmiňovaný 3D model součásti. Mohou to být například také různé geometrické útvary (úsečky, kružnice, oblouky, křivky), plochy, profily, obrysy a kontury součásti, apod..
- O 3.4 Příkazy typu transformace.
- O 3.5 Norma ČSN ISO 841 (ON 20 0604).
- O 3.6 Je dán popisem os a pohybů.
- O 3.7 z pravotočivého pravoúhlého souřadného systému,
  - pravidla pravé ruky, (konečky prstů ukazují kladný smysl os),
  - osa Z je osou hlavního vřetene.
- O 3.8 Červená x

Zelená y Modrá z

- O 3.9 Tak, aby osa z směřovala do vřetene frézky, tedy aby osa z směřovala stejným směrem jako osa rotačního nástroje frézy.
- O 3.10 Bez vytvoření konkrétní grafiky upínacích přípravků, tedy s reálnými rozměry, by CAM systém simuloval jen obrábění s polotovarem, což neumožňuje zabránění případných kolizí držáku a nástroje s upínacím zařízením, přípravky a strojem.



# Klíč k řešení příkladu č.3.1

Importujte model součásti s názvem Deska s tvarem.sldprt ze SolodWorks do CAD/CAM systému Mastercam X5. Ověřte možnost, zda načtený solid model SolidWorks bude jako solid model bez historie svého vzniku, nebo včetně historie. Při načtení nastavte import křivek hran modelu.

Načtení historie umožňuje přímo v Mastercamu upravovat solid model změnou vlastností modelu.



Obr. 118 Nabídka volby načtení modelu

První způsob, kdy je načten model jako těleso (případně s vygenerováním hran) bez historie tvorby modelu je na následujícím Obr. 119.



**Obr. 119** Model načten bez historie

Druhý způsob importu modelu součásti je použití importu historie tvorby modelu, umožňuje v Mastercamu jednoduše upravovat model pomocí změn parametrů. Nutnou podmínkou je však instalace SolidWorksu.



Obr. 120 Model součásti načten s historií



Obr. 121 Model součásti načten s historií se zobrazením historie ve stromě instrukcí

Následující obrázek ukazuje editaci hloubky vytažení tvaru kapsy při využití načtení modelu s historií.

Vytáhnout	Tenkostěnn	á)				A	
Nézou	Tenkostenn	.0				ES.	
Nazev	Vysi	unout2			K		
C Operace	vytažení —	Úkos		////			$\sim$
O Vytv	ořit	🗌 Úkos			/ 1	FH 🕅	
Odří:	znout	Vnější				$\mathcal{C}$	H
💿 Přida	at výčnělek	Úhel: 5.0					CH.
Spojit	operace			ð			
_ _ Vzdáler	nost/směr vyta	ižení		J	~		
💿 Vyta	žení na určer	iou délku		X	X		15
Vzd	álenost:	6.5		$\sim$	1		-
⊖ Vyta	žení skrz vše			VI SOL		18	
🔿 Vyta	žení do bodu			1		//V	
⊖ Vek	tor:	0, 0, 1				/</td <td></td>	
Vybrat	znovu			1		Y	/
🗌 Oříz	nout po určito	u plochu(y)				/	
🗌 Otoč	ćit směr						
📃 Oba	směry	📃 Zkosit oba					
		/    🗶	2				
			?				
	¥		?				
etězec vyta	ažení		2				
etězec vyta Vytáhnout	ažení Tenkostěnný		3				
etězec vyta Vytáhnout Název	ažení Tenkostěnný Vysunou	AT	3				
etězec vytá Vytáhnout Název	ažení Tenkostěnný Vysunou vytažení	۸۱				•	
etězec vytá Vytáhnout Název Operace v © Vytvoř	nžení Tenkostěnný Vysunou ytažení it	at1					
etězec vyta Vytáhnout Název Operace v Ovtvoř Odřízn	ažení Tenkostěnný Vysunou ytažení it nout	at1 Úkos Úkos Vnější					
etězec vyta Vytáhnout Název Operace v O Vytvoř O dřízr Přidat	sžení Tenkostěnný Vysunou ytažení it nout výčnělek	#1         Ukos           Úkos         Vnější           Úhot:         0.0					
etězec vytě Vytáhnout Název Operace v Otvoří Odřízr Přídat Spojit c	AŽENÍ Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek iperace	at1 Úkos Úkos Vnější Úhet: 0.0					A
etězec vytř Vytáhnout Název Operace v Otytvoř Odřízr Přidat Spojit c	zžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it nout výčnělek uperace str/směr vytažen	x1           Úkos           Úkos           Úhet:           0.0					Ð
etězec vytá Vytáhnout Název Operace v Ovytvoř Odřízr Přidat Spojit c Vzdáleno Ovytaž	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it nout výčnělek operace str/směr vytažen ení na určenou st	At1 Úkos Úkos Vnější Úhet: 0.0 Í Jélku					Ð
etőzec vyto Vytáhnout Název Operace v Odřízr Přídat Spojit c Vzdálenc Vzdálenc	AŽENÍ Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek vyčenělek vyčenělek str/směr vytažen ení na určenou enost	At1 Ukos Ukos Vhējší Úhet: 0.0 j jélku 20.0					
etőzec vyto Vytáhnout Název Operace v Odřízr Přídat Spojit c Vzdálenc Vzdálenc Vytaž Vzdál Vytaž	výtažení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek výčnělek výčnělek výčnělek výčnělek výčnělek výtažení ení na určenou ení st. vše ení st. vše ení do hořu	#1         Ukos           Ükos         Vrnējší           Ühet:         0.0           Jélku         20.0					
etőzec vyte Vytáhnout Název Operace v Ottriz Odřízr Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vytaž Vytaž	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek výčnělek vperace st/směr vytažen ení na učenou ení st. zvše ení skz vše ení do bodu r.	#1         Ukos           Ükos         Ukos           Ühet:         0.0           Úhet:         0.0					
etőzec vyto Vytáhnout Název Operace v Othriat Odřízr Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek vyčnělek vperace st/směr vytažen ení na určenou ení strz vše ení do bodu r: novu	#1         Ukos           Ükos         Ukos           Ühet:         0.0           Úhet:         0.0					
etőzec vyta Vytáhnout Název Operace v Otytvoř Odřízr Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vzdál Vytaž Vytaž Vytaž	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek vyčnělek vperace ení na určenou enost: ení skrz vše ení do bodu r. novu pu too určinov ol	#1         Úkos           Úkos         Úkos           Úhet:         0.0           Úhet:         0.0           Jálku         20.0           Jo, 1         0.0					
etőzec vyta Vytáhnout Název Operace v Ottvoi Odfizr Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vzdál Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž	AŽENÍ Tenkostěnný Vysunou ytažení it iout výčnělek uperace st/směr vytažer ení na určenou u enost: aní skrz vše ení do bodu r. in ovu po určitou pl směr	#1         Úkos           Úkos         Úkos           Úkos         Úkos           Úhel:         0.0           Jéliku         20.0           J. 0, 1         Jochu(y)					
etőzec vyto Vytáhnout Název Operace v Othriat Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Othriat Otočit Dočít	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek perace ení su učenou u enost: ení do bodu r: novu pu učitou pl směr měty	#1         Ukos           Ükos         Ükos           Ühei:         0.0           Úhei:         0.0           Jálku         20.0           Jochu(y)         Zkosit oba					
etőzec vyto Vytáhnout Název Operace v Othriat Přídat Spojit c Vzdáleno Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž Vytaž	xžení Tenkostěnný Vysunou vytažení it iout výčnělek perace ení stu vše ení stu vše ení stu vše ení sku vše ení sku vše iní ku vůčnou pl směr měty i	#1         Ukos           Ükos         Ükos           Ükos         Ukos           Ühei:         0.0           John         0.0           John         0.0					

Obr. 122 Úprava vytažení tvaru dutiny při modelu načteném s historií



# Klíč k řešení otázek kapitoly 4

- O 4.1 nastavení nulového bodu obrobku,
  - zavedení obráběcího postupu:
    - o nastavení stroje postprocesoru,
    - nastavení druhu obráběného materiálu,
    - o nastavení geometrie polotovaru vytvoření polotovaru.
- O 4.2 Je jeden ze vztažných bodů CNC obráběcího stroje. Je bod, ve kterém je umístěn počátek souřadného systému ze kterého se vychází při programování. Možné ho libovolně umístit.
- O 4.3 Nejčastější umístění nulového bodu obrobku při frézování je na nejvyšším místě (popř. v rohu, v ose nálitku apod.) obráběné součásti, nebo na polotovaru.

- O 4.4 W
- O 4.5 M
- O 4.6 R
- O 4.7 F
- O 4.8 C
- O 4.9 a) import polotovaru, upínacích přípravků, či upínek z CAD/CAM systému,
  - b) nakreslení polotovaru, upínacích přípravků, či upínek přímo v systému CAM,
  - c) vytvořením tzv. automatického polotovaru,
  - d) vytvoření polotovaru z již vytvořené dráhy nástroje,
  - e) použití modelu polotovaru ze simulace obrábění.
- O 4.10 Nastavení počátečních podmínek obrábění v sobě zahrnuje tvorbu nulového bodu obrobku a nastavení dalších souřadných bodů obrábění, nastavení a volbu modelu, polotovaru, postprocesoru a dalších vstupních podmínek obrábění.
- O 4.11 Existují dvě možnosti vložení svěráku, a to pomocí "Soubor/Vložení do souboru" a pomocí "transformace" zapolohovat svěrák k obrobku, nebo pomocí makra.
- O 4.12 Upínky, svěrák, sklíčidlo pro umístění na stůl frézky, dělící přístroj, speciální přípravek a další.
- O 4.13 Včasné odhalení kolizí před samotnou výrobou vrátí obratem uživateli námahu a náklady, které věnoval k aplikaci upínačů při procesu ověřování.



# Klíč k řešení příkladu č.4.1

Vytvořte polotovar typu výpalek.

Vytvořte ho přímo v CAD/CAM systému MasterCAM X5.

Tento typ polotovaru lze vytvořit buď v jiném CAD systému a pak ho načíst jako polotovar, nebo ho lze vytvořit přímo v Mastercamu. K obvodovým hranám vygenerujeme do nové hladiny ekvidistantní prvky posunuté jak v rovině XY tak i v Z. V závislosti na žádaném rozměru polotovaru.



Obr. 123 Vyráběná součást



Obr. 124 Volba ekvidistanty

Následně se provede výběr obvodové hrany, jež tvoří prvek pro vytvoření ekvidistanty.



**Obr. 125** 

Výběr obvodové hrany

Následuji nastavení vzdálenosti od hrany.



Obr. 126 Nastavení vzdálenosti v rovině

Z takto vygenerované hranice polotovaru v rovině vytáhneme tloušťku polotovaru nejlépe do nové hladiny. Vybereme obvodový řetězec polotovaru, viz Obr. 127.

Tělesa Transformace Typ stroj	e Řetězení 🔀	
🚹 Vytažením		
🔝 Potecí 🐴	② 2D ○ 3D	

Obr. 127 Volba vytažení profilu

Následuje hodnota vytažení. Tedy zadání vzdálenosti vytažení a případně i směru. Tím se získá model polotovaru.



Obr. 128 Volba vytažení profilu

Následuje již přiřazení nově vytvořené geometrie polotovaru. Ve správci operací zvolíme typ polotovaru a po kliknutí na šipku ukážeme na model polotovaru a potvrdíme výběr.

Správce operací		
Dráhy nástrojů Tělesa Art	7 4	
🔥 🏑 T. T. 🔳 🖉 G1 Te		
	Vlastnosti obráběcího postupu	×
Machine Group-1	Soubory Nastavení nástroje Nastavení polotovaru Bezpečno	
G <u>II</u> Vlastnosti - F3_HH-530-D	∠Zobrazení polotovaru	
Nastavení nástroje		
Bezpečnostní zóna		<del>4</del> 9
	Tvar	
	◯ Hranol 💿 Těleso 🔓	A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR O
	Válec Soubor	
	Osy	
	®x ⊖y ⊖z	

Obr. 129 Přiřazení nově vytvořené geometrie polotovaru

Pokud chceme mít polotovar průhledný, vypneme hladinu, do které jsme provedli "vytažení".

 Správce	hladin		
Číslo	ViditeInost	Název	# prvků
1	×	hrany	55
2	X	model	1
3	X	polotovar hrany	13
4		polotovar model	1
C	Vypnutí h	ladiny	

Obr. 130 Přiřazení nově vytvořené geometrie polotovaru



# Klíč k řešení příkladu č.4.2

Vložte model svěráku RÖHM 721 UH do CAM systému Mastercam a vhodně ho zapolohujte k modelu součásti Kryt.sldprt.

K vložení svěráku RÖHM 721 UH do CAM systému se využije model svěráku uvedený na stránkách opory, případně na CD.

#### Postup vložení svěráku do Mastercamu:

#### 1. Vložení sestavy svěráku

Sestava svěráku se vloží pomocí "Soubor/Vložení do souboru".

#### 2. Změna hladiny svěráku.

Po vložení svěráku je každá čelist (pevná i posuvná) v jiné hladině. Pro další kroky je efektivnější obě čelisti převést do stejné hladiny. Vyberou se obě čelisti a ve funkci "*Analýza*" příkaz "*Vlastnosti prvků*" lze změnit číslo hladiny i barvu. Tlačítkem "*Na celý výběr*" se provede aplikování změn na obě součásti a stačí jen potvrdit.

#### 3. Zapolohování svěráku

K zapolohování svěráku se použije funkce *"transformace"* příkaz *"posunutí"*. Nejdříve se přesune celý svěrák tak, aby pevná čelist doléhala k obrobku a pak se přesune pohyblivá čelist na obrobek. Mastercam dokáže najít polovinu hrany obrobku i dané čelisti. To umožní upnout obrobek přesně ve středu upínací plochy svěráku.



Obr. 131 Transformace pevné čelisti k obrobku.



Obr. 132 Transformace posuvné čelisti k obrobku



Obr. 133 Upnutý obrobek ve svěráku

#### 4. Nastavení obráběcích operací

Pomocí funkce "dráhy nástrojů" lze zvolit potřebné operační úseky.

#### 5. Nastavení simulace stroje

Nastavení simulace stoje se provádí ještě před samotným spuštěním simulace ve funkci "*simulace stroje"* v příkazu "*nastavení spuštění simulace"*.

#### 6. Simulace stroje

Po správném nastavení by měla simulace zobrazovat případné kolize a upozorňovat na ně chybovým hlášením a zčervenáním kolizních součástí.



Klíč k řešení příkladu č.4.3

Vložte upínky do CAM systému Mastercam a vhodně je zapolohujte k modelu součásti tvarnik.sldprt.

K vložení upínek do CAM systému se využije sestavu upínek (Sestava upínek se stolem frézky PCMill 155.iam) uvedenou na stránkách opory, případně na CD. Stůl frézky je možné vymazat.

#### Postup vložení mechanického upínače do CAM systému:

#### 1. Vložení sestavy upínače

Zvolená sestava upínače se vloží pomocí "Soubor/Vložení do souboru".

#### 2. Změna hladiny upínače

Po vložení upínače je každá část stejně jako u svěráku v jiné hladině. Oproti svěráku má ale upínač více částí a vybírat části po jedné je zbytečně zdlouhavé a neefektivní, proto se doporučuje vybírat prvky upínače pomocí pole. Změna hladiny se provede stejně jako u svěráku ve funkci "*Analýza*" příkaz "*Vlastnosti prvků*".

#### 3. Zapolohování upínače

K zapolohování upínače se použije stejně jako u svěráku funkce *"transformace"* příkaz *"posunutí"*. Jako první se k obrobku přesune pevný doraz (Obr. 134) a poté se přesune posuvný (upínací) doraz (Obr. 135). Na rozdíl od svěráku může upínač upnout i strany obrobku, které jsou osazené. K tomu je potřeba přesunout jednu posuvnou kostku společně se šrouby a vodícími tyčemi.



Obr. 134 Transformace pevného dorazu.



Obr. 135 Transformace posuvného dorazu



### Obr. 136 Upnutý tvárník pomocí vloženého upínače

Následující obrázky ukazují možnosti upínání osazených tvarů polotovaru daným upínačem.



Obr. 137 Transformace posuvné kostky



#### Obr. 138 Upnutý osazený obrobek pomocí upínače

#### 4. Nastavení obráběcích operací

Pomocí funkce "dráhy nástrojů" se zvolí potřebné obráběcí operace.

#### 5. Nastavení simulace stroje

Nastavení simulace stoje se provádí ještě před samotným spuštěním simulace ve funkci "*simulace stroje"* v příkazu "*nastavení spuštění simulace"*.

#### 6. Simulace stroje

Po správném nastavení by měla simulace zobrazovat případné kolize a upozorňovat na ně chybovým hlášením a zčervenáním kolizních součástí.

Na nastavení simulace stroje závisí, jestli se zobrazí případné kolize, či ne, proto je toto nastavení velice důležité. Do nastavení simulace se dostane pomocí funkce *"simulace stroje"* příkaz *"nastavení spuštění simulace"*. Po tomto spuštění se objeví okno Simulace obrábění, viz Obr. 139.

		Náhled
🖏 ЕМСС	D PC MILL 155 🛛 💌	
Obrobek -		
Obrobek	Žádný 💌	
Pozice	Automaticky	
Unínač		
Žádný	~	
Polotovar		
Nepoužít	polotovar 🗸	
Tolerance	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Tolerance	simulace 0.3	
Přídavek	pro kontrolu kolizí obrobku 0	
Různé		Barvy a klávesové zkratky
Autosta	art	Použít nastavení Mastercam

Obr. 139 Okno simulace obrábění se zobrazeným strojem - Mastercam

V okně simulace obrábění se nastavují čtyři parametry, a to stroj, obrobek, upínač a polotovar. Nejlepší způsob nastavení upínače a obrobku se jeví jako nastavení z jiné hladiny. Tento způsob zajišťuje správné zobrazení kolizí a to jak barevnou změnou kolizních součástí, tak chybovým hlášením. Další parametry se ponechají beze změny.

V nastavení stroje je na výběr široká škála strojů. Vyberte např. stroj EMCO PC MILL 155.

#### Poznámka

Po instalaci je však nutné simulátor stroje EMCO PC MILL 155 do Mastercamu načíst.

Adresářová cesta pro uložení simulátoru stroje na zvolené PC je:

C:\Users\Public\Documents\shared mcamx5\ModuleWorks\MachSim

Je nutné pak v adresáři ModuleWokrs založit novou složku se stejným názvem jako název stroje a např: EMCO PC MILL 155, zde nahrajte soubory uložené v souboru:

Simulátor stroje emco pc mill 155-Mastercam.zip

V tomto adresáři jsou pak budou jednotlivé části stroje ve formátu \*stl.



#### Pozor na odlišnost

Pozor je to jen simulátor stroje, ten nesouvisí s postrprocesorem. V CAM systému Mastercam je to tedy zvlášť. Avšak firma ModulWorsk produkující simulátory obráběcích strojů je schopna dodat a spojit tyto aspekty dohromady (postprocesor + simulátor).



# **CD-ROM**

Simulátor stroje EMCO PC MILL 155 (*Simulátor stroje emco pc mill 155-Mastercam.zip*) lze nalézt na e-learnigovém portálu, nebo na CD-ROMu připojeného k této učební opoře.

Po výběru všech parametrů se může spustit simulace. V tomto režimu je ještě potřeba v příkazu *"vlastnosti simulace"* nastavit určité parametry. Tyto parametry jsou zobrazeny na Obr. 140.

Dedesíalou azetanení	2001azeni sinulace uran nastroje
Pouninky zastavení Při výměně nástr	
Při změně operace	Všechny operace
pokud je relativni vyska k obrol	oku vetsi nez
Upozoméní V Keline žástí streje	. Nashada kadest as
	✓ Koize's materialem
Různé	
🔽 Umožnit kontrolu kolizí částí str	oje při simulaci odebírání materiálu
Simulace	
Kolize částí stroje	dostupné
Folerance kolize	0.500000
Kontrola kolizí mezi pohyby	nedostupné
Zobrazené systémové jednotky	Metrické

Obr. 140 Vlastnosti simulace stroje

Následující Obr. 141 a Obr. 142 ukazují hlášenou kolizi nástroje s upínačem (automaticky zobrazeno červeně), při nastavení obrobku a upínače z jiné hladiny.) To vše je za předpokladu správné volby nastavení uživatelsky vytvořeného simulátoru stroje (v tomto případě EMCO PC Mill 155).



Obr. 141 Kolize upínače s nástrojem - Mastercam



Obr. 142 Hlášení kolize mezi nástrojem a upínačem



# Klíč k řešení příkladu č.4.4

Vložte upínací element (model svěráku) do EdgeCAMu pomocí makra.

Před i po vložení svěráku s využitím makraje nutné dodržet základní kroky v EdgeCAMU. Specifické kroky pro aplikaci makra daného upínacího přípravku jsou uvedené níže.

#### Kroky pro použití makra:

- 1. Vytvoření upínacích bodů:
  - a) pro zarovnání polotovaru na střed svěráku,
  - b) pro zarovnání polotovaru k hraně svěráku.
- 2. Vložení parametrického svěráku pomocí makra.

ad 1) Upínací body slouží k sestavení polotovaru do svěráku. Je třeba si uvědomit, že za tyto body bude polotovar umístěn na střed horní hrany svěráku.

Existují základní dva způsoby upnutí polotovaru do svěráku:

ad a) Jednodušší, ale v praxi ne tak využívanou možností, je zapolohování polotovaru do osy svěráku, tzn. na střed hrany čelisti. Využívá se především pro symetrické součásti.

Jak na to? Na středu hrany polotovaru se vytvoří 2 body, za které bude polotovar upnut v čelistech. Tvorbu prvního bodu pro pevnou čelist popisuje Obr. 143.

	Úplné zadává	iní souřadnic	<b>x</b>
	Zápis PIZ5	i	<< Zkrácené
	x	Absolutní 🛛 👻	Zadávat souřadnice pro
	Y	Absolutní 🔹	Pracovni UPL     Základní svotém
	IZ 5	Přírůstkový 🔻	
	<ul> <li>Souradny sj</li> <li>Kartézs</li> </ul>	ystem ký 🔘 Polární	🔘 S rotační osou
	Polární	Re	otační osa+úhel
	Rádius 🗌	Os	a 🗛 🔻
	Úhel	Úh	
	ОК	Pokračov	rat Storno
Usečka : 468 : Vrstvaž	0: Půlící bod		

Obr. 143 Zadávání souřadnic upínacího bodu

Pomocí příkazu *Bod/ Referenční počátek* se vybere střed hrany, která bude umístěna v pevné čelisti. Prostřednictvím zadávání souřadnic lze definovat hloubku upnutí, což je realizováno pomocí z-souřadnice. V příkladu na obrázku bude upínací bod vytvořen 5 mm nad spodní hranou. Takto zhotovený bod je zobrazen na Obr. 144.



Obr. 144 Vzniklý upínací bod

Podobným způsobem vznikne bod na druhé straně polotovaru pro posuvnou čelist. Rozteč těchto bodů v ose x definuje rozevření čelistí.



#### Poznámka

Rozevření čelistí je doporučeno definovat v ose x, proto se upínací body umisťují v této ose. Platí to i pro druhý způsob polohování.

ad b) V praxi se využívá zarovnání hrany polotovaru s podélnou hranou svěráku. Vhodné pro opakovatelnost programu bez nutnosti strojního seřizování nulového bodu obrobku. Pomocí příkazu *Bod/ Referenční počátek* se vybere roh hrany polotovaru, která má být zarovnána s podélnou hranou svěráku. Y-hodnota od tohoto rohu je rovna vždy polovině šířky čelistí (45mm), z-hodnota definuje hloubku upnutí ve svěráku obdobně jako u předchozího příkladu (5mm) varianty a).

	Úplné zadává	ání souřadnic	×
	Záp <u>i</u> s PIY4	45125	<< Z <u>k</u> rácené
	×	Absolutní 🔹	Zadávat souřadnice pro
	I <u>Y</u> 45	Přírůstkový 🔻	Pracovni <u>L</u> PL Základní sustém
	I <u>Z</u> 5 ⊸Souřadnú s	Přírůstkový 🔻	C Zakiagini system
	<ul> <li>Souradny s</li> <li>Kartézs</li> </ul>	ský 🔘 Polární	🔘 S rotační oso <u>u</u>
	Polární	Rol	tační osa+úhel
	<u>R</u> ádius	Os <u>a</u>	
	<u> </u>	<u>P</u> okračova	at <u>S</u> torno
*1/2 Úsečka : 64 : polotovar: Začáteční	bod		

Obr. 145 Zadávání souřadnic upínacího bodu

Vzniklý bod je zobrazen na Obr. 146. Obdobným způsobem se vytvoří i druhý upínací bod na protější straně.



Obr. 146 Vzniklý upínací bod

Po zhotovení upínacích bodů je vhodné **projekt uložit**, aby se zabránilo ztrátě vytvořených informací při špatném zapolohování.

ad 2) Makro lze spustit v režimu design i technologie pomocí *Makra/ Spustit PCI*. Po vybrání makra se objeví dialogové okno s přednastaveným typem svěráku a osou vložení čelistí.

Vyber typ a osu vložení	<b>X</b>
Základní	
Typ svěráku	
Osa rozevření čelistí	
	OK Stomo

Obr. 147 Dialogové okno pro vložení strojního svěráku

Po potvrzení volby následuje výzva k vybrání bodů upnutí. První bod určuje místo vložení středu pevné čelisti, druhý stanovuje vložení posuvné čelisti.



Obr. 148 Import pevné čelisti svěráku

Po vybrání obou bodů se automaticky načte parametrický svěrák. Obr. 149 zobrazuje zarovnání polotovaru na střed čelisti. Obr. 150 znázorňuje umístění polotovaru k hraně svěráku.



Obr. 149 Zapolohování polotovaru na střed čelistí



Obr. 150 Zapolohování polotovaru k hraně čelisti



# Klíč k řešení

- O 5.1
- Využitím tvarových řezných nástrojů (fréz).
  - Použitím sdružených posuvů na konvenčních frézkách. (kontrola dodržení tvaru při tomto způsobu je nejčastěji přímo na stroji kontrolována přiložením tvarové šablony)
- Obrábění tvarových ploch kopírovacím způsobem (využití kopírovacího zařízení) na konvenčních frézkách
- O 5.2 *3osé frézování tvarových ploch.* 
  - Víceosé frézování tvarových ploch.
- O 5.3 Stále stejnou tloušťku materiálu.
- *Stůl-stůl*.
  - Hlava-stůl.
  - Hlava-hlava.
- O 5.5 Plynulé obrábění v 5ti osách. Při 5osém plynulém frézování se nástroj může pohybovat současně v pěti osách. Je možné obrábět plochu s jakoukoli orientací.
- O 5.6 Ano.



O 6.1

O 6.2

## Klíč k řešení otázek kapitoly 6

- Hrubování,
- frézování rovinných ploch a čelních ploch,
- frézováni profilu, kontury a osazení (ofsetování, paralelní frézování),
- frézování kapes,
- dokončování rovinných ploch,
- obrábění děr,
- vrtání po obvodě,
- předvrtání otvorů pro zanoření frézy,
- frézování sražení,
- frézování drážek,
- frézování textu,
- gravirování,
- hrubování odvrtáváním,
- ruční frézování,
- 2,50sé zbytkové frézování,
- zapichovací frézování, apod.
- Hrubování (ve vrstvách),
- dokončování,
  - řádkování,
  - frézování na konstantní drsnost,
  - frézování v z výškách,
  - okružní frézování, spirální frézování,
  - průmětné frézování (frézování průmětu, frézování projekcí),
  - frézování podle řídící křivky,

- frézování textu,
- frézování zbytkového materiálu,
- tužkové frézování obrábění perem obrábění rohů,
- frézování drážek,
- kapsování děr,
- 3osé vrtání na ploše,
- frézování závitů,
- apod.

•

•



### Klíč k řešení otázek kapitoly 7

O 7.1

- Možnost komplexního obrobení dílu,
- snížení času výroby,
- možnost opracování dílců mnohem efektivněji (na menší počet upnutí obrobku snížení možnosti chyby při seřizování),
- možnost použití kratších nástrojů pro docílení produktivnějšího obrábění a zvýšení trvanlivosti nástrojů,
- *zlepšení funkčních vlastností obrobeného povrchu (parametrů drsnosti povrchu, mikrotvrdosti, zpevnění povrchové vrstvy, atd.) díky obrábění mimo osový střed nástroje,*
- zvýšení přesnosti výroby,
- možnost využití vyšších řezných a posuvových rychlostí.
- Možnost obrobení velmi složitých tvarů,

O 7.2

- odstranění v procesu výroby operace s nekonvenčními technologiemi,
- možnost naklonění nástroje pro předcházení kolizí mezi nástrojem, držákem nástroje a obrobkem,
- možnost naklonění nástroje pro docílení lepšího přístupu k obráběné ploše snížení vyložení nástroje (zásadní zejména pro obrábění hlubokých částí forem a zápustek),
- možnost naklonění nástroje pro zvýšení kvality obrobeného povrchu a přesnosti a zvýšení trvanlivosti nástroje,
- možnost tvorby konstantního průřezu třísky,
- použití mnohem efektivnějších strategií v porovnání s 30sým frézováním.
- Vyšší pořizovací náklady (cena obráběcího centra, vybavení stroje, CAD/CAM systém postprocesor, atd.)
  - systém, postprocesor, atd.)
    vyšší nároky na programátora a obsluhu stroje,
  - problematická vizualizace a větší možnost kolizí,
  - vyšší náklady na opravu stroje a jeho příslušenství při možné kolizi.
- O 7.4 Při tomto mohou stroje současně obrábět např. ve třech osách a v dalších dvou osách dochází jen k polohování součásti mimo samotný řez.
- *4osé rotační*,
  - 5osé obvodové,
  - 5osé dokončovací,
  - 5osé frézování plochy,
  - 50sé vrtání na ploše,
  - 50sé frézování drážek 50sé drážkování na ploše,
  - 50sé frézování po křivce, a další.
- O 7.6 Jedná se o speciální cyklu např. pro obrábění výfukových kanálů, forem pneumatik, oběžných a rozváděcích kol, a dalších.

O 7.7 Jedná se o převod 3osého cyklu obrábění na cyklus 5osý. Odlazený 3 osý cyklus se snadným způsobem konvertuje na 5osý.



08.1

# Klíč k řešení otázek kapitoly 8

- Zadání nebo úprava řezných podmínek, které systém sám navolil z databáze,
- způsob frézování: sousledné, nesousledné, kombinované (řádkování),
- nastavení úhlu pohybu nástroje,
- nastavení různých strategií frézování,
- určení hloubek,
- nastavení přejezdů,
- najetí do záběru (úhel, délka, poloměr, procento posuvu, atd.),
- vyjetí ze záběru (úhel, délka, poloměr, procento posuvu, atd.),
- prodleva otáček vřetene, atd.
- O 8.2 Přejíždění,
  - odměřovací rovina
  - najíždění
  - cílová hloubka.
- O 8.3 Obrábění dutin (tvarových, prizmatických.
- O 8.4 Obrábění se provádí zapichováním při využití vhodného nástroje, kde nástroj vykonává sérii vrtacích pohybů (pohybem v Z-ové a nikoliv v X-ové nebo Y-ové ose) v pravidelně uspořádané síti bodů.
- O 8.5 Takový díl bez složitých tvarových částí. Tento díl je možné obrobit v režimu 2,50sém obrábění.



O 9.1

### Klíč k řešení otázek kapitoly 9

- hrubování Z průřezy (po vrstevnici)
- řádkování,
- paprskově,
- projekce,
- pružné řádky,
- *kontury*,
- zbytkové, identifikuje a obrobí oblasti, které mohou být obrobeny menším nástrojem.
- kapsy,
- odvrtávání (Plunge milling) umožňuje obrábět ve směru osy Z s uživatelsky dostupnými nastaveními
- O 9.2 Zbytkové hrubování odebírá zbytkový materiál po předchozích hrubovacích operacích z míst, do kterých se předchozí velký nástroj nevešel. Pro stanovení tvaru a velikosti zbytkového materiálu po hrubování se využívá 3D zbytkový materiál vypočtený z porovnání aktuálního stavu obrobení s konečným tvarem.
- O 9.3 Ze kterých předchozích obráběcích cyklů se vypočte zbytkový materiál.
- O 9.4 "z" krok, který je mezikrokem předchozího obrábění. Tzn. nástroj provádí obrábění tvaru v "z" krocích s vyhlazováním po předchozím obráběním o poloviční krok, nebo o přesně daný krok.



*Použijte vhodné strategie hrubování pro případ 3osého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.* 

Importujte model součásti s názvem Tvárník.sldprt ze SolodWorks do CAD/CAM systému Mastercam X5.

### 1. Prvním obráběcím cyklem je volba hrubovací strategie

Vysokorychlostní obrábění ploch / hrubování/ optimalizované hrubování.



Obr. 151 Dráha nástroje hrubování tvárníku

#### 2. Druhým obráběcím cyklem je volba strategie zbytkového hrubování

Vysokorychlostní obrábění ploch / hrubování/ zbytkové hrubování.



Obr. 152 Dráha nástroje zbytkového hrubování tvárníku


Obr. 153 Výsledek verifikace po hrubování a zbytkovém hrubování tvárníku

Podrobně je příklad vyřešen v příloze č. 1 Postup práce v CAM systému Mastercam pro 30sé frézování tvárníku a v příloze č. 2 Seřizovací list 30sého frézování tvárníku.



- O 10.1 Cyklus obrábění který se vkládá mezi hrubování a dokončování.
- O 10.2 Strategie, kde dráhy vycházejí z rovnoběžných řezů tvarem v jednotlivých Z úrovních. Tato strategie je velmi vhodná pro předdokončování a dokončování strmých tvarů.
- O 10.3 Paprskové strategie je způsob obrábění pro součásti hvězdicovitého nebo kruhového charakteru. Všechny dráhy se rozbíhají ze středového bodu s možností vynechání blízké oblasti kolem středu, kde by jinak docházelo k přílišnému zahuštění drah.
- O 10.4 Tato strategie umožňuje obrábět mezi dvěma uživatelem definovanými křivkami. Křivky mohou být otevřené nebo uzavřené. Lze zvolí, zda má obrábění probíhat rovnoběžně nebo kolmo na zvolené křivky. Vytvořená dráha bude tvořit postupné přechody od jedné křivky ke druhé v závislosti na geometrickém tvaru obou křivek. Vznikne tak smíšená dráha, kterou lze účinně dokončovat složité tvary.



# Klíč k řešení příkladu č.10.1

Použijte vhodné strategie polodokončování a dokončování pro případ 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Pokračujte ve tvorbě obráběcího postupu na řešeném příkladu č.9.1

Po operačních úsecích hrubování následují tyto operační úseky:

## 3. Před-dokončení strmých ploch – strategií Z průřezy

Vysokorychlostní obrábění ploch / dokončení / Z průřezy.



Obr. 154 Dráha nástroje předdokončení strmých ploch tvárníku

## 4. Před-dokončení mělkých ploch – strategií řádkování

Vysokorychlostní obrábění ploch / dokončení / řádkování.



Obr. 155 Dráha nástroje předdokončení mělkých ploch tvárníku

## 5. Dokončení strmých ploch – strategií Z průřezy

Vysokorychlostní obrábění ploch / dokončení / Z průřezy.



Obr. 156 Dráha nástroje dokončení strmých ploch tvárníku



## 6 Dokončení mělkých ploch – strategií řádkováním

Vysokorychlostní obrábění ploch / dokončení / řádkování.

Obr. 157 Dráha nástroje dokončení mělkých ploch tvárníku



Obr. 158 Výsledek verifikace po dokončování tvárníku



# **CD-ROM**

Podrobně (včetně použitých nástrojů a zadaných parametrů obrábění) je příklad vyřešen v příloze č. 1 *Postup práce v CAM systému Mastercam pro 30sé frézování tvárníku.pdf* a v příloze č. 2 *Seřizovací list 30sého frézování tvárníku.pdf*.



# Klíč k řešení otázek kapitoly 11

- O 11.1 Zbytkové obrábění je poslední etapou obráběcího postupu. Jedná se nejčastěji o odstranění materiálů zbylého v rozích, který nemohl být odebrán z důvodů velkého průměru frézy, nebo špatného přístupu nástroje.
- 0 11.2 zbytkové obrábění rovin,
  - tužkové obrábění (obrábění perem),
  - koutové obrábění,
  - zbytkové dokončení
- O 11.3 Pomocí strategie Tužkového obrábění lze vytvářet dráhy podél vnitřních rohů a koutů s malým zaoblením. Systém automaticky zajišťuje doobrobení (dobírání, čištění) koutů a

dokončování rádiusů. Používá se pro tvorbu začišťovacích drah nástroje, nebo také po hrubovacích a dohrubovacích strategií. Nástroj se pohybuje podél vnitřních rádiusů a rohů geometrie součásti.



# Klíč k řešení příkladu č.11.1

Použijte vhodné strategie zbytkového dokončování pro případ 30sého obrábění tvarové plochy – tvárníku v CAD/CAM systému Mastercam.

Pokračujte ve tvorbě obráběcího postupu na řešeném příkladu č.10.1.

Po operačních úsecích dokončování následují tyto operační úseky:

## 7. Zbytkové dokončování

Dokončování ploch / zbytkové.



Obr. 159 Dráha nástroje pro zbytkové dokončování ploch tvárníku

## 8. Zbytkové dokončení koutů

Vysokorychlostní obrábění ploch / dokončení / Tužkové.



Obr. 160 Dráha nástroje pro zbytkové dokončování koutů tvárníku

## 9. Zarovnání čelní plochy

Pro obráběnou geometrii se vytvoří přímka na okraji horní plochy, pak se použije:

#### Dráha nástrojů/ kontury ...

(nástroj by běl mít větší poloměr než je šířka plochy)



Obr. 161 Simulace zarovnání čelní plochy tvárníku

Podrobně je příklad vyřešen v příloze č. 1 Postup práce v CAM systému Mastercam pro 30sé frézování tvárníku a v příloze č. 2 Seřizovací list 30sého frézování tvárníku.

Příklad dále pokračuje ještě operačními úseky strojního sražení hran tvárníku kuželovou a kulovou frézou.



- Ve směru posuvu je drsnost povrchu dána velikostí posuvu na zub  $f_z$  a ve směru kolmém na O 12.1 posuv šířkou řezu a<sub>e</sub> (krokem frézy b<sub>r</sub>).
- O 12.2 Ra střední aritmetická odchylka profilu.
- O 12.3 Rz maximální výška nerovností.
- 012.4 Rq – střední kvadratická odchylka profilu,
- Odchylky makrogeometrické, O 12.5
  - odchylky mikrogeometrické,
    - vlnitost povrchu.
- Parametry vypočtené ze základního profilu (P-parametry), O 12.6
  - parametry vypočtené z profilu drsnosti (R-parametry),
  - parametry vypočtené z profilu vlnitosti (W-parametry).
    - Plastická deformace v oblasti tvoření třísky,
- O 12.7 dvnamické jevy – kmitání vznikající v technologické soustavě,

- tvorba výronků na vedlejší řezné hraně,
- tření hřbetu řezného klínu o obrobenou plochu.
- O 12.8 Funkčností obrobeného povrchu můžeme chápat jako schopnost plnit funkce, pro které byl povrch v předpokládaných podmínkách a za předpokládaných okolností vyrobený.

O 12.9 
$$Rz \approx \frac{f_z^2}{8 \cdot R}$$



0 13.4

## Klíč k řešení otázek kapitoly 13

- O 13.1 Průvodní dokumentace slouží operátorovi CNC stroje pro získání důležitých informací a pro lepší orientace ve vytvořeném NC programu. Tato dokumentace je určena také pro sledování stavu zakázek, materiálů, nástrojů apod., dále pak pro obchodní a dodavatelské subjekty, kteří se chtějí nějakým způsobem podílet na vytvořeném pracovním postupu (sledovat stav zakázky, odsouhlasit vytvořený pracovní postup apod.).
- O 13.2 Jednodušší podoba seřizovacího listu (většinou ve formátu tx). Jedna z možností tvorby průvodní dokumentace vytvoření výpisu jednotlivých instrukcí do textového souboru. Zde jsou stručně vypsány jednotlivé operační úseky.
- O 13.3 Převedení vytvořeného technologického postupu do instrukcí daného stroje a řídícího systému.
  - Kdo NC program vytvořil,
  - kdo vytvořil model součásti,
  - kdo schválil zakázku,
  - popis zakázky,
  - použité nástroje (popis nástrojů, pozice, vyložení),
  - čas obrábění (strojní čas, čas rychloposuvu, časy výměn nástrojů),
  - ustavení obrobku,
  - materiál obrobku,
  - použité jednotlivé úseky obrábění strategie s možným grafickým náhledem,
  - kde jsou jednotlivé soubory umístěny a pod jakým názvem (NC program, CAM soubor, model, polotovar),
  - apod.

# SEZNAM PŘÍLOH A PODPŮRNÝCH SOUBORŮ OPORY

#### Přílohy:

- Příloha č.1 Postup práce v CAM systému Mastercam pro 3osé frézování tvárníku.pdf
- Příloha č.2 Seřizovací list 30sého frézování tvárníku.pdf
- Příloha č.3 Výpis instrukcí pro 30sé frézování tvárníku.txt
- Příloha č.4 NC program-3osé frézování tvárníku.NC

#### Modely součástí pro obrábění a zadané úkoly:

- Kryt.sldprt
- Tvárník.sldprt
- Model U1.step
- Model U1.igs
- Model U1.x\_b
- Deska s tvarem.sldprt

Všechny modely je možné stáhnout v souboru Modely součástí pro obrábění a zadané úkoly.zip

#### Animace:

- 1-hrubovaní 3osé-SolidCAM.pdf
- 2-hrubovaní 30sé+konverze do 5 os-SolidCAM.pdf
- 3-Animace-Import geometrických dat\_EdgeCAM.pdf
- 5-Animace strategie hrubování a zbytkového hrubování formy\_Mastercam.pdf
- 6-Animace-frézování závitů-EdgeCAM.pdf
- 6-Animace-okružní-frézování-kapsováni-děr EdgeCAM.pdf
- 7-Strategie 3osého dokončovacího frézování s převodem (konverzí) do 5os SolidCAM.pdf
- 8-Animace strategie 2,50sého hrubování a dokončování v EdgeCAM.PDF
- 9-Animace strategie optimalizované hrubování Mastercam.ppf
- 9-Strategie hrubování zápustky oblouk-Mastercam.pdf
- 9-Animace strategie hrubování a zbytkového hrubování krytu ložiska Mastercam pdf
- 10-Animace strategie spirální dokončování Mastercam.pdf
- 10-Animace strategie paprskovité dokončování formy Mastercam.pdf
- 10-Strategie dokončování na drsnost zápustky oblouk-Mastercam.pdf

#### Další podpůrné soubory:

- Základní způsoby programování CNC obráběcích strojů.ppsx
- Postup\_tvorby\_vyrobniho\_postupu\_v\_CADCAM\_sytemu\_EdgeCAM.ppsx
- Instalace softwarů+úvod.ppt
- Simulátor stroje emco pc mill 155-Mastercam.zip
- Mechanický upínač pro EMCO PC Mill 155.zip
- Modely upinek pro EMCO PC Mill 155.zip
- Parametrické sklíčidlo-Edgecam.zip
- Svěrák klasický-makro pro EdgeCAM.zip
- Svěrák RÖHM 721 UH pro EMCO PC MIll 155.zip
- Parametrický svěrák RÖHM 721 UH pro EMCO PC MIll 155-EdgeCAM.zip
- Kap4-Výkres L profilu upínače.pdf
- a další..