



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



POČÍTAČOVÁ PODPORA VÝROBY

Studijní opora

Marek Sadílek

Ostrava <2010|2011>



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Recenze: <Jméno recenzenta> [Poznámka: případně se tento řádek odstraní]

Název: Počítačová podpora výroby

Autor: Marek Sadílek

Vydání: první, 2011

Počet stran: 80

Náklad: 50

Studijní materiály pro studijní obor Strojírenská technologie Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu

Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147

Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Marek Sadílek

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2738-4

POKYNY KE STUDIU

Počítačová podpora výroby

Pro studium problematiky programování číslicově řízených obráběcích strojů, tedy počítačové podpory výroby, jste se obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa předmětu Základy třískového obrábění, Technologie obrábění a Obrábění a základů programování NC strojů.

Cílem učební opory

Cílem je seznámení se základními pojmy programování počítačem číslicově řízených obráběcích strojů se zaměřením na způsob programování s využitím CAD/CAM systémů, tedy systémů využívající počítačovou podporu výroby. Učební opora si klade také za cíl doplňovat a rozšiřovat informace k vyučovaným předmětům na katedře Obrábění a montáže, FS, VŠB – TU Ostrava “CAD/CAM systémy v obrábění, CAM systémy v obrábění II a Počítačová podpora v obrábění”.

Účelem této učební opory je shrnutí pojmů, obecných zákonitostí, postupů a informací týkajících se CAM systému. Účelem není naučit práci v konkrétním CAM systému, ale popsat jakým způsobem se obecně postupuje v jakémkoli CAM systému, co může technolog od jakéhokoli CAM systému očekávat a na co si má dát při práci pozor.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského, ale i magisterského studijního programu oboru strojírenská technologie. Může jej ovšem studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Opora je určena nejen pro studenty, kteří si zvolili předměty zaměřující se na problematiku programování číslicově řízených obráběcích strojů (CNC obráběcích strojů), ale také pro všechny zvědavé a nadšené strojaře prahnoucích po nových poznatcích v krásném a rychle rozvíjejícím se oboru počítačem podporované obrábění.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx 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 dovednosti, znalosti.



Výklad

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



Shrnutí pojmů

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.



Otázky

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



Úlohy k řešení

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



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek 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.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeje autor.

Marek Sadílek

OBSAH

1	UPLATNĚNÍ POČÍTAČOVÉ PODPORY V OBRÁBĚNÍ A JEJÍ STRUKTURA	8
1.1	Historie CAD/CAM systémů	9
1.2	Vývojové etapy CAD / CAM systémů	10
1.3	Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech	12
1.4	Rozdělení CAD/CAM systémů	15
2	ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	17
2.1	Skladba a obsah NC programu	18
2.1.1	Struktura programu	19
2.2	Ruční programování NC stroje	20
2.3	Automatické programování prostřednictvím CAM systému	22
3	VYTVOŘENÍ POLOTOVARU A UPÍNACÍCH ELEMENTŮ	23
4	2 OSÉ SOUSTRUŽENÍ V CAM SYSTÉMU	26
4.1	Pravoúhlé soustružení	29
4.2	Hrubovací soustružení	29
4.3	Soustružení na profil	30
4.4	Soustružení kapes	30
4.5	Soustružení zápichů	31
4.6	Soustružení závitů	33
4.7	Obrábění děr	34
4.8	Upichování	35
4.9	Zbytkové soustružení	37
5	2,5 OSÉ FRÉZOVÁNÍ V CAM SYSTÉMU	38
5.1	Základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů	40
5.2	Frézování rovinných a čelních ploch	42
5.3	Hrubování - frézování 2,5 D	44
5.4	Frézování profilu a osazení	45
5.5	Frézování kapes	46
5.5.1	Nejnovější metody obrábění kapes	49
5.6	Frézování sražení	51

5.7	Obrábění děr.....	52
5.8	Okružní frézování - kapsování děr	53
5.9	Frézování drážek	55
5.10	Frézování závitů	56
5.11	Frézování textu	57
5.12	Gravírování.....	58
5.13	Ruční frézování.....	59
5.14	Zapichovací frézování	60
5.15	Zbytkové obrábění 2.5 D	61
6	SIMULACE A VERIFIKACE PROCESU OBRÁBĚNÍ V CAM SYSTÉMU	62
7	POSTPROCESOR - POSTPROCESSING	69
7.1	Rozdělení postprocesorů	71
8	TVORBA PRŮVODNÍ DOKUMENTACE	72
9	ZÁVĚR.....	77
	LITERATURA	78

1 UPLATNĚNÍ POČÍTAČOVÉ PODPORY V OBRÁBĚNÍ A JEJÍ STRUKTURA



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- + historii CAD/CAM systémů,
- + vývojové etapy CAD/CAM systémů
- + popsat strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech,
- + nastínit směry počítačové podpory výroby.
- + popsat uplatnění počítačové podpory výroby ve strojírenství.
- + popsat základní postup výroby součástí od první myšlenky - nápadu až po konečný výrobek,
- + základní rozdělení CAD/CAM systémů.



Výklad

Neustálý tlak konkurence nutí konstruktéry a technology pracovat na nových řešeních a potýkat se s novými problémy. Zkrácení výrobních časů, zlepšení kvality, rychlá změna výrobního programu a jiné nutné změny, to jsou jen některé aspekty, které se musí řešit. Východiskem pro řešení složitých situací, které se velmi často v praxi objevují, je použití integrované výroby počítačem (CIM – Computer Integrated Manufacturing) a s ním související CAD/CAM systémy.

Nasazení počítačem řízených obráběcích strojů samo o sobě nestačí. Důležitá je kvalifikovaná obsluha stroje a osoba technologa programátora, který je schopen připravit kvalitní programy. Rychlost a kvalita zaškolení zmiňovaných pracovníků závisí také na zvoleném CAD/CAM systému. Ten by měl být uživatelsky nenáročný, přehledný, snadno ovladatelný a intuitivní.

V rámci všeobecných trendů v počítačově podporované výrobě (CIM) vyvstává úloha použít data o obrobku vytvořené v CAD systému i na automatické měření obrobků na souřadnicových měřicích strojích.

Některé CAM systémy nabízí při práci volbu role uživatele: začátečník, pokročilý, atd. Rovněž může pomoci pro snadnou a rychlou výuku průvodce obráběním.

Všeobecně se vývojoví pracovníci programující moduly CAM systémů se snaží zjednodušit a ulehčit práci programátorů CNC strojů vytvářením softwarů s uživatelsky jednoduchou a intuitivní obsluhou.

Mnoho velkých a malých firem, ale také i osob samostatně výdělečně činných se snaží v současné době zavést do výrobního procesu počítačem řízené obráběcí stroje. Nutnost tohoto kroku vysvětluje konkurenční prostředí. Produktivita, efektivnost, přesnost a rychlost výroby jsou rozhodující existenční faktory firmy.

Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojího průmyslu (hlavně kosmického, leteckého a automobilového). Tento známý fakt o použití je výsadou dřívější doby – doby počátku zavádění CNC systémů a CAM systémů. V dnešní době se CAD/CAM systémy uplatňují i v běžné strojírenské výrobě.

Nové technologie nasazované v oblasti obrábění (např. suché obrábění, HSC obrábění, tvrdé obrábění) popř. uplatnění nových pracovních cyklů u řezných nástrojů, si vyžaduje nasazení počítačem řízených číslicových strojů (CNC) do výroby. Uplatnění těchto strojů je jak v sériové - s možností doplnění manipulátorem obrobků a napojení na DNC síť, tak i v kusové výrobě, kde se především počítá s jejich pružností [16].

Se zpracováním technologie souvisí i realizace některých speciálních operací jako je hrubování složitých rotačních nebo nerotačních tvarů ve víceosém režimu obrábění. Řešená technologie je podmíněna možnostmi jednotlivých pracovišť NC strojů [12].

Výrobci CAD/CAM softwarů se také zaměřují a specializují na různé oblasti strojírenské výroby, např. na obrábění elektrod, obrábění v oblasti uměleckého řemesla a tvorby reliéfů, softwary pro řemeslníky pracující se dřevem, rytce, výrobce nábytku, zakázkovou výrobu, výrobce prstenů a šperků a dalších. (zástupcem umělecké specializace je např. MasterCAM X2 Art).

1.1 Historie CAD/CAM systémů

Historie a vývoj CAD/CAM systémů je poměrně nedávná. Je to dáno především tím, že CAD/CAM systémy jsou pevně svázané s vývojem počítačové techniky. Počátky CAD jsou datovány od poloviny 20. století, kdy vznikl geometrický jazyk ATP. Dalším významným vývojem je rok 1963, kdy byly presentovány výsledky vykreslení a manipulace grafických objektů na displeji, což lze považovat za počátek interakční počítačové grafiky.

První CAD/CAM systémy vznikaly pro oblast obrábění a v současnosti mají v této oblasti dominantní postavení. Zpočátku se používaly výhradně děrné pásy, nebo děrné štítky. Zavedení CNC systému obráběcích strojů zaznamenalo zvýšení produktivity a efektivnosti obráběcích procesů. CNC stroje se dnes využívají v hromadné, malosériové tak i v kusové výrobě. V dnešní době jsou CAD/CAM systémy nenahraditelným pomocníkem při generování NC kódu pro CNC obráběcí stroje.

1.2 Vývojové etapy CAD / CAM systémů

Pro rozvoj systémů počítačové podpory výrobního procesu existuje několik mezníků, ve kterých proběhl zásadní zvrát v technické i organizační koncepci výroby [15]:

- ✚ 1950 - prvopočátek kreslení – vynález světelného pera.
- ✚ 1952 - aplikace numericky řízených strojů.
- ✚ 1960 - řízení pomocí číslicového počítače.
- ✚ 1970 - vznik koncepce CNC a DNC strojů.
- ✚ 1980 - první realizace pružných výrobních buněk, uplatnění skupinové technologie, aplikace pružných výrobních systémů.
- ✚ 1990 - integrované CAD/CAM systémy, systémy pro plánování a řízení výrobního procesu, plné uplatnění filozofie CIM.

Prvopočátek kreslení na počítači je spojen s vynálezem světelného pera v roce 1950. Nakreslený obraz zůstával elektrostaticky zachycen na stínítku obrazovky, která sloužila zároveň jako paměť. Tohoto nápadu se ujala (jak to už bývá) armáda. Tento vynález našel praktické uplatnění u protivzdušné obrany - radarového systému SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) vyvinutý v MIT Lincoln labs. Tento počítačem vybavený stroj dokázal vypočítat budoucí trasu letounu, na základě dat vložených právě světelným perem. Byl zde použit tehdejší nejsilnější počítač světa. Myš byla zcela neznámá periferie do r. 1965 a tak se kreslilo světelným perem na obrazovku jako na digitální papír. Světelné pero později nahradil tablet.

Počítačem podporované systémy pro integrovanou podporu návrhu a podporu výroby součástí vznikly postupným slučováním CAD, CAM, CAPP modulů s rozvojem výpočetní techniky. Tento rozvoj souvisel především s vývojem grafických adapterů a hardwaru. Před jejich zavedením nebylo možné vytvářet grafickou podobu výkresové dokumentace, tvořit modely, nebo sestavy. Nebylo možné, tak jako je tomu dnes, tímto způsobem zjednodušit práci. Počítačová podpora byla soustředěna pouze do oblasti výpočtů. První počítače s možností interaktivního ovládání grafiky, byly vynalezeny na počátku 60. let minulého století, ve firmách General Motors, Lockheed, NASA a Bell Labs. Největšími distributory výpočetní techniky se potom staly společnosti IBM, DEC, Control Data a Texas Instruments[15].

V roce 1960 se mladý student, Ivan Sutherland, pracující jako asistent v MIT, rozhodl vypracovat svojí disertační práci zaměřenou na aplikaci počítačů v počítačové grafice a návrhu. Projektem byl kreslicí program dokončený v r. 1962 a nazýval se Sketchpad. Mnohými je označován za začátek historie CAD. Podobné aktivity v tomto oboru vyvíjela i firma General Motors ve spolupráci s IBM (DAC-1). V roce 1966 Sutherland vynalezl HMD (Head Mounted Display), jak název napovídá, jednalo se o prapředka virtuální reality. Toto období je charakteristické použitím velkých počítačů, vektorově zobrazujících terminálů a softwarem napsaným v assembleru velmi primitivním způsobem. Vlastnictví takového

zařízení bylo výsadou velkých automobilek a vývojových laboratoří. Širšímu použití bránila obrovská cena.

Nástup minipočítačů a hardwarová zlepšení zobrazovačů firmou Tektronix pomohly snížit cenu a akcelarovat rozšíření. Typický systém řady PDP-11 byl v roce 1970 složen z 16-ti bitového počítače s 8-16 kB hlavní paměti, diskem o velikosti 2,5-10 MB pro data a 11-ti palcovou obrazovkou. Kreslicí software se většinou omezoval na jednoduché 2-rozměrné úlohy. Operační systém si buď výrobce počítače napsal od začátku podle svého návrhu, nebo prostě zmodifikoval konkurenční produkt. O systém se dělili až 4 uživatelé. Cena se pohybovala od 100 tis. do 600 tis. \$. Grafika dlouho zůstávala vektorová. Nedalo se však hovořit o větší rychlosti práce oproti klasickému rýsování, například chtěl-li konstruktér smazat 1 čáru, pak musel smazat celou obrazovku a pak dlouho čekat, než se znovu všechno zpátky postupně vykreslí.

Použití rastrové grafiky jak je známa dnes se poprvé objevuje až koncem roku 1978. Obrazovky mají už poměrně dobré rozlišení 1024x1280 s 24bitovou hloubkou barev.

V tuto dobu se začínají hýbat ledy také v počítačové grafice, rodí se výpočetní algoritmy pro zobrazování skrytých ploch. Významným způsobem na zrodu klasické grafiky se podílela Univerzita ve státě Utah, přitahující budoucí zakladatele a manažery velkých firem jako je SGI, Adobe, atd. V roce 1979 je specifikován známý 3D průmyslový standard pro výměnu dat mezi konstrukčními systémy - IGES (Initial Graphic Exchange Specification), který je dodnes uznáván [15].

CAM systém se rodí jako mladší bratr CAD v sedmdesátých letech. Může být definován jako využití počítačových systémů pro přípravu a řízení operací ve výrobním procesu. V roce 1961 firma Boeing zavádí do výroby první číslicově řízený stroj (NC). Děrné pásky nebo štítky pro archivaci dat se používaly téměř bez výjimky. Občas se v útrobách řídící jednotky stroje ukrývala feritová paměť. Zavedení počítačem řízených obráběcích strojů (CNC) do výroby znamenalo zvýšení jejich flexibility a zkrácení doby využití na seřízení stroje. Přínosem takového stroje je minimální zmetkovitost při podstatně vyšší produktivitě práce. Hlavní uplatnění takovýchto strojů je v malosériové až kusové výrobě. Ve velkosériové a hromadné výrobě se z ekonomických důvodů používali a stále se používají váčkové automaty (např. výroba šroubů).

Během 70tých let minulého století bylo vyvinuto několik desítek systémů pro podporu návrhu. V průběhu jejich provozu se začaly projevovat zásadní odlišnosti v kvalitě provedení a flexibilitě, proto některé zanikly. Naopak ty systémy, které se dokázaly udržet, našly své využití i mimo oblast vývojových pracovišť.

Počátky 80tých let byly charakteristické nástupem velkých společností (např. Unix), které začaly produkovat náročné, velmi komplexní softwarové systémy na úkor starších systémů. Došlo také zásadnímu průlomu technologií podpory návrhu a výroby, především díky velkému rozvoji CNC řízených strojů, které začaly efektivně využívat CAD data z oblasti návrhu. Postupným prolínáním obou systémů vznikly první CAD/CAM systémy. Nejvýznamnější společností, která investovala peníze do rozvoje CAD/CAM systémů byla

společnost Computervision, která zaujímala dominantní postavení v leteckém a automobilovém průmyslu.

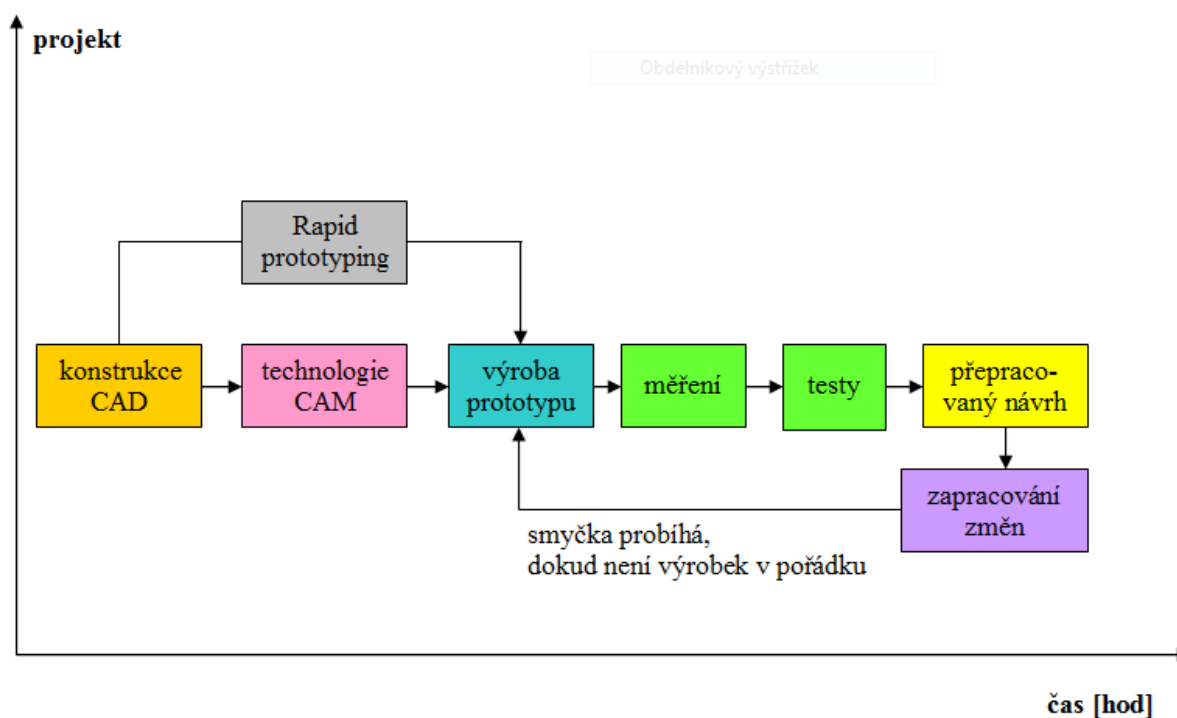
Začátkem 90. let minulého století vyrazila do popředí pětice společností produkujících výkonnostně a cenově blízké systémy pracující pod Unixem, čtyři americké (Electronic Data Systems, Unigraphics, Strategic Directions in Computing Research, Parametric Technology Corporation) a dvě francouzské (Marta Datavision, Dassault Systems) [15]. Tyto společnosti vyráběly systémy výhradě pro strojírenství, v oblasti velkých CAD/CAM systémů dominují dodnes.

Zajímavé je, že se program ještě nedávno (někde doposud) nahrával do stroje děrnou páskou. Důvodem nepoužívání disket anebo harddisků byla špatná spolehlivost těchto médií ve výrobních podmínkách. (prašnost, silná střídavá elektromagnetická pole, obsluha s nečistýma rukama vkládající disketu do mechaniky, apod.). Pro harddisk znamená také rychlou zkázu chvění a vibrace obráběcího stroje. Program na děrné pásce se stočil do ruličky, opatřil etiketou a uložil do prosklené skříňky sloužící jako archiv. Dnes jsou stroje stále více závislé na podnikové počítačové síti. Data se fyzicky vyskytují odděleně od stroje.

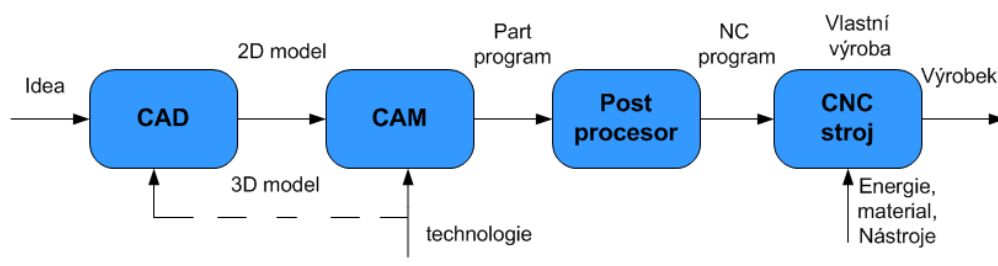
Hotový výrobek se musí rychle certifikovaným způsobem změřit a to v současné době řeší počítačem řízený tří souřadnicový měřicí stroj na přesné snímání prostorových souřadnic. Tento stroj přejímá přímo konstruktérova data v podobě průmyslového 3D standardu (nejčastěji IGES, VDA). Počítač vyhodnotí rozměrové odchylky proti modelu a obsluha obráběcího stroje na základě protokolu udělá korekci rozměrů. Stále více se zkracuje vzdálenost od okamžiku návrhu k hotovému výrobku.

1.3 Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech

Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech, lze chápat jako souhrn činností probíhajících na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku, od počáteční fáze návrhu, až po konečnou fázi výroby, jejímž výsledkem je konkrétní výrobek. Sled těchto činností je schematicky znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 1.1 Proces vývoje výrobku při použití CAD/ CAM systémů



Obrázek 1.2 - Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [14]

Idea je v podstatě myšlenka, která představuje nejvolnější možný vstup do systémů, bývá omezena rozměrovými a jinými požadavky na budoucí vyráběné součásti.

CAD (*Computer Aided Design*) = počítačem podporovaný návrh. Je modul pro počítačovou podporu konstruování. 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.

Myšlenka budoucího výrobku se přenesse do počítače (tzv. vymodelování součásti), k tomu se využije některý ze softwarů, tzv. CAD programy.

Tvorba modelů se uskutečňuje pomocí různých konstrukčních prvků (bod, přímka, kružnice atd.). Jednotlivým hranám je možné přiřadit různé atributy např. barvu, typ čár, text, kóty. Prostorové modely mohou být reprezentovány jako drátové, plošné, nebo objemové.

- + *drátový model* – je tvořen body, které jsou spojené v křivky,
- + *plošný geometrický model* – je určen vrcholy, hranami a stěnami,
- + *objemový (solid) model* – se skládá z geometrických těles zabírající určitý objem v prostoru.

Při vytváření jednotlivých modelů se konstruktér nejčastěji setkává s následujícími příklady [16]:

- + generování základních geometrických elementů např. body, přímky, kružnice atd.,
- + příkazy pro manipulaci s objekty tj. posuv, rotace, zrcadlení, zkosení, prodloužení, 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. Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd.. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. CAM modul pracuje s geometrickými útvary v rovině i prostoru (modely součástí). Výsledkem činnosti CAM modulu je partprogram.

Partprogram je program součásti, který vypracovává CAM modul. Je tvořen sledem příslušných adres obsahující kódový zápis geometrie a technologie součásti. Tento sled adres jednoznačně popisuje obráběcí postup, který se pomocí postprocesoru upravuje pro konkrétní obráběcí stroj. Při tvoření partprogramu je třeba vycházet z těchto údajů:

- + geometrie stroje (souřadný systém, orientace os, nulové body),
- + geometrie polotovaru (možnost kolize, umístění obrobku v souřadné soustavě stroje),
- + geometrie nástroje (rozměry, tvar, korekce dráhy nástroje a tvar obrobku),
- + geometrie výsledného obrobku (daná výkresem-modelem součástí),
- + technologické a řezné podmínky (procesní prostředí, řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, apod.),
- + ostatní podmínky důležité pro činnost obráběcího stroje (pozice nástrojů, korekcí atd.).

Postprocesor zpracovává informace z geometrického a technologického procesoru již s ohledem na konkrétní NC stroj a použitý řídicí systém. Přihlíží k pracovním možnostem stroje a určuje rozmístění pozic nástrojů zásobníku nebo revolverových hlav. Dráhy nástrojů se transformují do souřadného systému stroje. Dále jsou určovány konečné otáčky vřetene a rychlosti posuvu a je prováděn výstup řídicího programu na některém nositeli informací v kódu a formátu bloku, ve kterém pracuje řídicí systém CNC stroje.

NC program je soubor číselných informací odděleně popisujících činnost stroje. Program se skládá z bloků (vět), zapsaných v jednom řádku.

Vygenerovaný NC program se odešle na příslušný obráběcí stroj. Přenos na obráběcí stroj může být uskutečněn například:

- + pomocí sítí,
- + bezdrátovým přenosem,
- + fyzickým přenosem dat pomocí CD, flash disků apod. (Dříve se používaly děrné štítky, děrné pásky, magnetofonové pásky a diskety).

NC program se v řídicím systému stroje ještě znovu simuluje a tzv. odlazuje. Operátor NC stroje upne do příslušných nástrojových pozic nástroje, provede seřízení nástrojů a do tabulky korekcí zadá příslušné nástrojové korekce, připraví a upne polotovar. Dále pak následuje samotné obrábění.

1.4 Rozdělení CAD/CAM systémů

CAD/CAM systémy představují integraci mezi CA systémy. A to mezi CAD a CAM systémem. Pojem CAD/CAM systém můžeme chápat v těchto rovinách [23]:

- + CAD/CAM systém jako útvar v rámci podnikového CIM,
- + CAD/CAM jako technologie,
- + CAD/CAM jako software.

Rozdělení CAM systému je v podstatě podobné jako u systému CAD. CAM systémy můžeme dělit podle několika kritérií. Hlediska dělení mohou být různá a to např. podle ceny, podle použití nebo podle podpory ze strany výrobce daného software. CAM systémy mohou být rozlišovány dle velikosti systému. Velikosti systému myslíme konkrétní využití dané aplikace (množství doplňků nadstaveb, obráběcích operací atd.).

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.

Pod pojmem CAD/CAM lze chápat také technologii, která využívá počítače pro vykonávání určitých funkcí v předvýrobních etapách i v samotné výrobě. Tato technologie představuje maximální možnou integraci přípravných a výrobních procesů ve všech průmyslných činnostech. Vyvíjí se směrem k vyšší integraci předvýrobních a výrobních fází, které byly tradičně chápány jako oddělené činnosti výrobního podniku.

Třetí pojem pro většinu technické veřejnosti znamená nejvýznamnější představa o CAD/CAM systému jako o softwaru.

Všechny CAD/CAM systémy (ať jsou na jakémkoli stupni vývoji) mají společné tyto aspekty [23]:

-  počítačovou grafiku,
-  společnou databázi,
-  grafickou vizualizaci.

Společná databáze umožňuje tvorbu principu modulárnosti. To znamená, že každý CAD/CAM se skládá z několika samostatných modulů, přitom je možné využívat výsledky jiných modulů právě přes společnou databázi. Počet a rozsah modulů závisí na konkrétní úloze, která se řeší pomocí CAD/CAM systémů. V podstatě všechny CAD/CAM softwary mají několik základních modulů, které tvoří tzv. funkční minimum CAD/CAM systémů. K tomuto minimu je možné přidávat další moduly s různým zaměřením a účelem [23].

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

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

2 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Tato kapitola způsoby a rozdělení programování CNC obráběcích strojů.



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete znát

- + podstatu číslíkového řízení,
- + způsoby programování CNC obráběcích strojů,
- + dělení programování CNC obráběcích strojů.



Výklad

Technologie obrábění při zpracování NC programu se v principu neliší od konvenční technologie. Při zpracování NC technologie se vychází z obecných principů - postupnou volbou technologických operací (hrubovacích, dokončovacích) nebo úkonů v logickém sledu, se realizuje požadovaný technologický výsledek. NC technologie, na rozdíl od klasického pojetí, je zpravidla řešena na detailnější úrovni, proto se musí při zpracování NC technologie respektovat např. způsob frézování (sousledné, nesousledné, kombinované, atd.), dynamické nebo jiné charakteristiky NC stroje. Pro dosažení požadované přesnosti při realizaci dokončovacích operací se musí respektovat i geometrické parametry nástroje atd. Technolog - programátor proto musí k problému zpracování technologie přistupovat mnohem komplexněji [16].

Charakteristika číslíkového řízení spočívá v ovládání pracovních funkcí stroje. To je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Program součásti je zadán stroji ve formě alfanumerických znaků. Aby stroj porozuměl tomuto druhu zadání, jsou tyto informace ve zvoleném kódu přeneseny na nositeli informací nebo další možností je přenos řídicího programu z počítače přímo k řídicímu systému NC stroje tzv. DNC řízení.

Vytvoření programů je možné následujícími způsoby - literatura a praxe uvádí několik možných rozdělení:

- Online – programování přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP – *Shop Floor Programming*).
- Offline – tvorba NC programu mimo řídicí systém:
 - ručně (psaní pomocí ISO kódu),
 - pomocí CAM systému.

- ruční programování,
- automatizované.

- přímé psaní NC kódu,
- Programování v interaktivním prostředí – v dialogu,
- použitím geometrických programovacích jazyků,
- použitím CAM systému,
- použitím CAD/CAM systému.

Se zpracováním technologie souvisí i realizace některých speciálních operačních úseků, jako je hrubování složitých rotačních nebo nerotačních tvarů ve víceosém režimu obrábění. Řešená technologie je podmíněna možnostmi jednotlivých pracovišť NC strojů [13]. Každá z těchto technologií musí obsahovat hrubovací, polodokončovací a dokončovací operace. Protože NC stroje a NC obráběcí centra pracují podle NC programů, je nutné nejdříve tyto programy sestavit.

2.1 Skladba a obsah NC programu

Program je uspořádaný rozpis jednotlivých geometrických, technologických a případně pomocných informací v takové formě a posloupnosti, jak je vyžaduje software NC stroje. Program je zapsán pomocí jednotlivých bloků (vět) a je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti [12].

Program je nositelem informací a obsahuje údaje geometrické, technologické a pomocné.

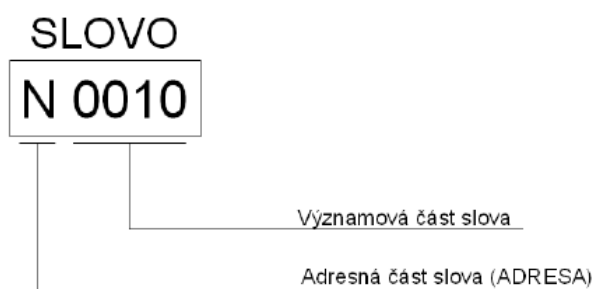
- ✚ Geometrické údaje popisují dráhy nástroje (úsečka, kruhový oblouk), které jsou dány rozměry a tvarem obráběné součásti a způsob pohybu nástroje (pracovní posuv, rychloposuv). V programu se dráhy nástroje uvádí v osách X, Z u soustruhů a X, Y, Z u frézek, případně i v dalších osách, ale to záleží dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku. Geometrické funkce se zapisují pomocí G funkcí, které stanovuje norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.
- ✚ Technologické údaje stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek, jako jsou: velikost posuvu, hloubka řezu, otáčky vřetena nebo řezná rychlost.
- ✚ Pomocné údaje jsou informace o pomocných funkcích, např. zapnutí (vypnutí) čerpadla procesní kapaliny, směr otáček vřetene atd.

2.1.1 Struktura programu

Každý blok (věta) se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být:

- ✚ *rozměrové* – má významovou část tvořenou fyzikální veličinou a představuje např. polohu v příslušné ose, velikost otáček vřetena, velikost posuvu, atd.
- ✚ *bezrozměrové* – podle významu se rozlišují na přípravné funkce, sdělují, jakým způsobem bude prováděn pohyb, a na pomocné funkce, které vyvolávají u určité činnosti stroje např. spuštění otáček.

SLOVO	SLOVO	SLOVO	SLOVO	SLOVO	SLOVO
N0010	G96	T1	D1	S150	M04



Obrázek 2.1 – Popis věty programu a jednoho slova v této větě

Struktura NC programu je tvořena jednotlivými skupinami řídicích bloků (věť) a jejich obsah je závislý na konkrétním řídicím systému a NC obráběcím stroji. [17]

2.2 Ruční programování NC stroje

Ruční způsob programování má využití především 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/DIN) 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 DIN/ISO je poměrně náročné a zdlouhavé. Pro tento způsob programování je třeba znát souřadnice uzlových bodů tvaru obrobku a obráběných kontur, mít znalosti G, M a dalších funkcí a všech jiných příkazů. Programování v ISO/DIN kódu je možné v kartézských (absolutní a přírůstkové programování) a polárních souřadnicích.

```
N10 G30 G17 X+0 Y+0 Z-15*
N20 G31 G90 X+100 Y+80 Z+0*
N30 T1 G17 S1000*
N40 G01 G90 X+35 Y+30 Z+1 G40 F300*
```

Obrázek 2.2 – Ukázka jednotlivých vět NC programu při ISO/DIN programování

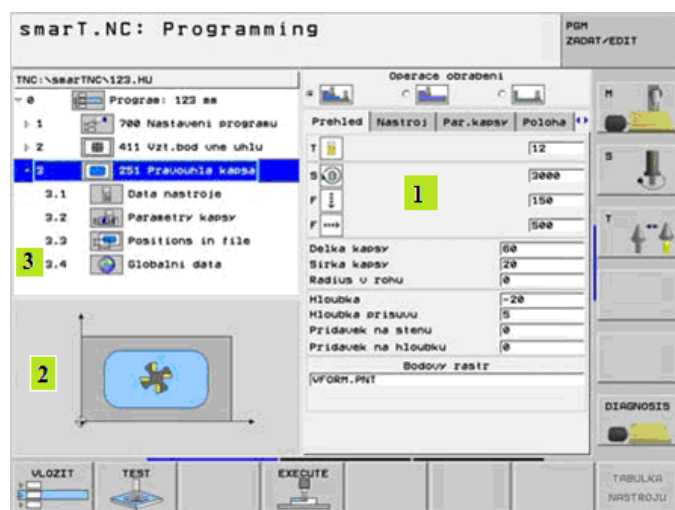
Programování v interaktivním prostředí – v dialogu, sestavení výrobního postupu u ovládacího pultu na ploše obrazovky

Jedná se o lehčí způsob programování než v ISO kódu za pomoci interaktivního rozhraní mezi programátorem a řídicím systémem, např. u řídicího systému Heidenhain tzv. „Dialog“ (Klartext). Určeno též pro 2D a 2.5D obrábění. Pro tento způsob psaní programu není potřebná znalost G kódu. Namísto toho se k programování používají speciální „softklávesy“. Všechny informace potřebné pro kompletní programovací blok si iTNC 530 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.

```
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0
3 L Y+50 X+95
4 FL AN+180 Y+80
5 FC DR- R10 CCY+80 CCX+75
```

Obrázek 2.3 - Popisný dialog Heidenhain

Řídicí systém Heidenhain nabízí také možnost programování pomocí tzv. Smart.NC, viz. Obrázek 2.4 – Ukázka programování pomocí Smart.NC. V tomto prostředí není zapotřebí znalost speciálních programovacích jazyků, ani G a M funkcí. Řídicí systém vede uživatele pomocí snadno srozumitelných otázek a pokynů.



Obrázek 2.4 – Ukázka programování pomocí Smart.NC [9]

Řídicí systém Sinumeric (od firmy Siemens) nabízí softwarové balíky ShopMill a ShopTurn. Pomocí těchto softwarů je možné pomocí dialogového programování vytvořit NC program bez znalosti zákonitostí tvorby NC programu pomocí G a M funkcí. Základní verze ShopMill je pro frézování a vrtání a ShopTurn pro soustružení. Jedná se o velice jednoduché programování na základě tvorby tzv. výrobního postupu, kde se vyplňují geometrické a technologické parametry jednotlivých tvarových elementů (např. vybrání, drážka, hrubovací cyklus- viz. Obrázek 2.5 - Programování hrubovacího cyklu - WINNC SINUMERIK 810 D / 840 D [30], apod.), který komunikuje s obsluhou přes technologicky orientované prostředí a symboly. Mimo jiné nabízí všechny možnosti obrábění i s měřicími cykly [16]. 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.

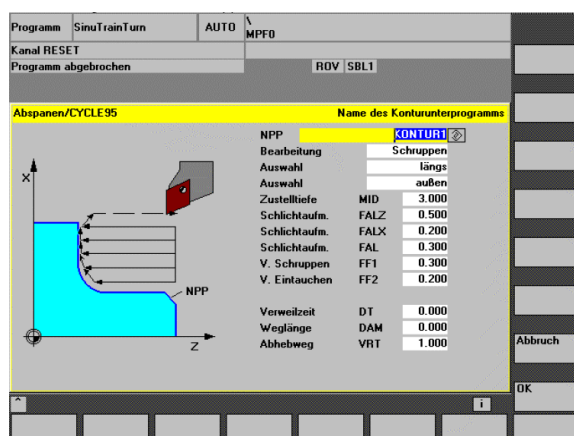
Pro dílenské programování nabízí řídicí systém Fanuc software Manual Guide i. Pomocí Manual Guide i lze velice snadno a rychle naprogramovat CNC na soustružení, frézování nebo kombinované obrábění. Manual Guide i představuje řízení s použitím cyklů se zjednodušeným operátorským rozhraním, určeným k programování cyklů. K dispozici jsou nejrůznější funkce, které usnadňují komunikaci. [5]



Zajímavost k tématu

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

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



Obrázek 2.5 - Programování hrubovacího cyklu - WINNC SINUMERIK 810 D / 840 D [30]

2.3 Automatické programování prostřednictvím CAM systému

Automatické programování se používá se tam, kde není možné použití ručního programování (z důvodu složitosti obráběného dílce) anebo tam kde ruční programování je velice zdoluhavé. Použití automatického programování závisí také na technických, ekonomických, ale i personálních možnostech firmy a na jejich strategických plánech do budoucna. Bližším popisem automatického programování se budou zabývat následující kapitoly.

3 VYTVOŘENÍ POLOTOVARU A UPÍNACÍCH ELEMENTŮ

Polotovar se dá chápat jako výchozí tvar pro následující obrábění. Základním principem je nakreslení polotovaru, či upínek, nebo pak jejich importování z CAD systému. Jednodušší tvary lze rychle nakreslit přímo v systému CAM, ale složitější tvary např. odlitky a výkovky je vhodné importovat z výkonnějšího CAD systému.



Otázky 3.1.

1. Proč vlastně je výhodné do obrábění začlenit polotovar a upínací elementy?

Vytvořit polotovar a upínací elementy lze těmito způsoby:

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

ad a) Při importu z CAD/CAM systému je výhodné sestavení databáze používaných upínacích elementů na daných obráběcích strojích, kde pak během několika kliknutí myši lze načíst upínací elementy pro konkrétní situaci. Import a ustavení do patřičné polohy lze automatizovat pomocí maker.



Obrázek 3.1 - Polotovar – import modelu

Pro kvalitní a rychlou práci je výhodné konstruovat upínací elementy parametrickým způsobem, kde lze velice jednoduše a rychle provést změnu velikosti těchto elementů.

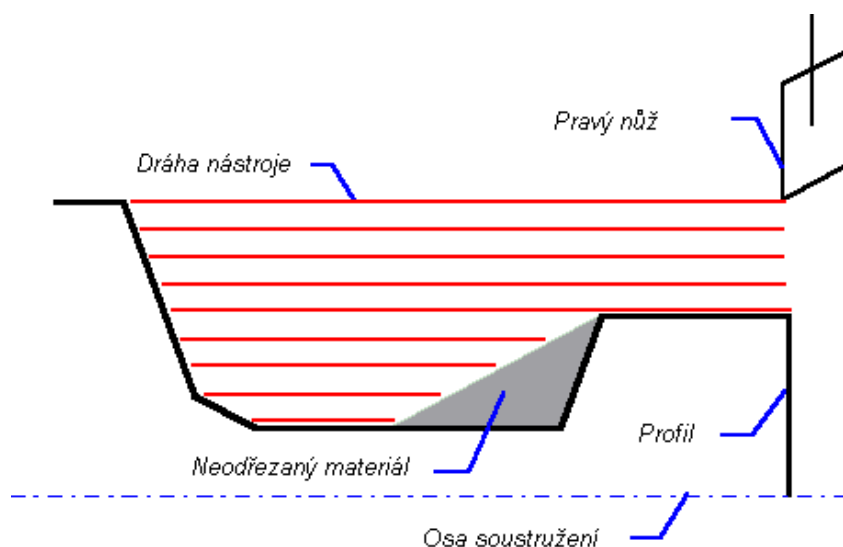
Praktické použití: Rozšířená volba importu polotovarů se používá hlavně při obrábění odlitků a výkovků.

ad b) Jednodušší tvary polotovaru, nebo upínacích elementů lze rychle nakreslit přímo v systému CAM.

ad c) Vytvořit polotovar, nebo upínací element lze velice jednoduchým způsobem automaticky, například jen zadáním přídavku na obrábění k soustruženému hřídeli, či k frézované ploše, určením polotovaru dvěma protilehlými body, atd.

ad d) Další způsob vytvoření polotovaru je pomocí již vytvořených drah nástroje. Tj. použití drah nástroje z předešlých operací. Tímto způsobem se dají při obrábění minimalizovat zbytečné pohyby nástroje naprázdno.

Soustružnické cykly mohou zanechat neodebraný materiál tam, kde to geometrie řezného nástroje nedovolí. Jak ukazuje následující příklad, pravý nůž může ponechat neodebraný materiál, který je pak odebrán levým nožem [32].



Obrázek 3.2 - Dráha nástroje vytvořená pravým nožem vybraná jako dynamický polotovar pro levý nůž [32]

U některých softwarů (např. EdgeCAM) existuje možnost použití tzv. dynamického polotovaru, který se může měnit v závislosti na změně předchozí dráhy nástroje. Tedy změna závislosti na změně předchozí dráhy nástroje.

ad e) V simulátoru obrábění lze vytvořit model polotovaru, kde po simulaci lze výsledek simulace - tedy obrobenou součást uložit do souboru např. s příponou stl. S tímto typem souboru lze dále výhodně pracovat.



Zajímavost k tématu

Model polotovaru lze pak následně využít jako polotovar např. pro obrobení druhé strany hřídele, nebo jako polotovar pro další operaci na jiném obráběcím stroji apod.



Klíč k řešení

1. Odpověď je snadná. Reálný polotovar a upínací elementy umožní odhalit případné kolize mezi nimi a nástrojem.

4 2 OSÉ SOUSTRUŽENÍ V CAM SYSTÉMU

Tato kapitola popisuje jednotlivé operační úseky - cykly použitelné při programování CNC soustruhů a soustružnických center.



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete umět popsat:

- + základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů,
- + základní nabídky - používané cykly při programování 2 - osém soustružení.



Výklad

Většina CAM systémů umí generovat dráhy nepoháněných i poháněných nástrojů při soustružení zadaných geometrických tvarů. Rozdělení soustružení v CAM systémech není obecně definováno. Lze však uvést alespoň základní možné rozdělení soustružení v CAM systémech:

- + 2 - osé soustružení,
- + 4 - osé soustružení - soustružení s druhou, popřípadě s i třetí nástrojovou hlavou
- + soustružení s poháněnými nástroji (s C, Y a B osou),
- + soustružení s využitím vedlejšího vřetene (popřípadě dalších vřeten).

Při klasickém 2-osém soustružení jsou používány soustruhy s řízením ve dvou osách (většinou ZX) s jednou nástrojovou hlavou.



Pojmy k zapamatování

Základní typy používaných nabídek obráběcích cyklů a operačních úseků pro 2-osé soustružení jsou:

- + pravoúhlé soustružení,
- + hrubovací soustružení,
- + soustružení na profil,
- + soustružení zápichů,
- + soustružení kapes,
- + soustružení závitů,
- + obrábění děr,
- + upichování,
- + zbytkové soustružení,
- + ruční vkládání pohybu nástroje.



Zajímavost k tématu

Není možné popsat podrobně všechny možné nabídky obráběcích cyklů u soustružení na moderních soustružnických centrech, proto jsou uvedené obráběcí cykly popsány pouze rámcově a některé zde nejsou vůbec. Např. EdgeCAM 12.5 má na výběr pro soustružení asi 25 možných nabídek strategií. Budete-li mít zájem o více informací, nahlédněte do manuálu příslušného CAM systému.

Jednotlivé softwary používají různé pojmenování zmiňovaných strategií, které však mohou znamenat totéž.

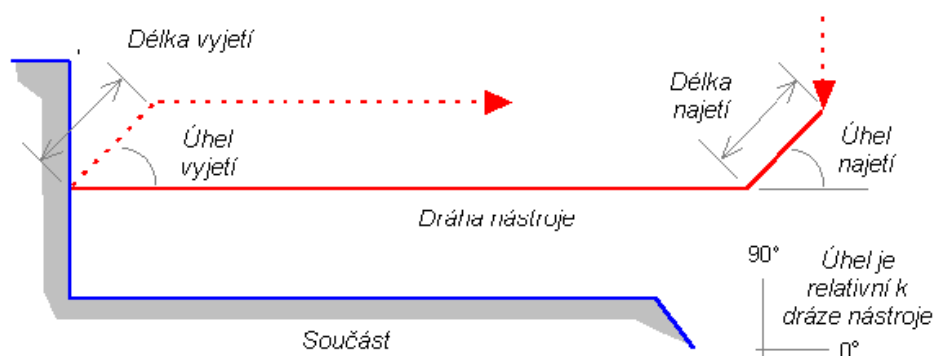
Všechny geometrické a technologické parametry lze dodatečně editovat a měnit. Systém dráhy nástroje automaticky přepočítá v případě změny např. nástroje, řezné destičky, změn řezných podmínek (průměrová korekce, délková korekce, řezná rychlost, velikost posuvu, chlazení, řízený bod-při výběru nástroje, (např. střed destičky, špička nože apod.)

Dráhy nástrojů, vytvořené dle zmiňovaných nabídek, mohou být editovány (zrcadleny, posunuty, rotovány, apod.)

Základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů

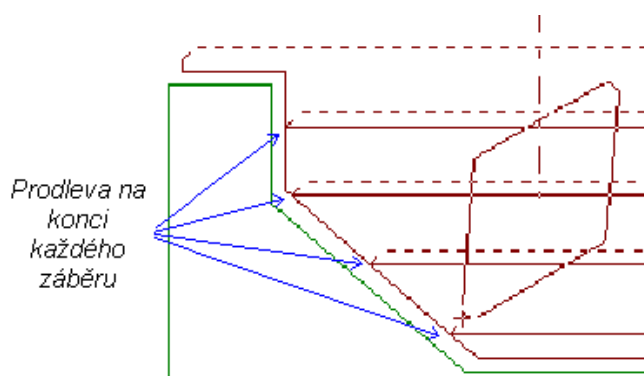
Mezi základní zadávané údaje v operačních listech jednotlivých používaných nabídek patří:

- ✚ zadání, nebo úprava řezných podmínek, které systém sám vybral z databáze,
- ✚ hloubka záběrů (hloubka záběrů v % řezné hrany, úbytek záběrů, nastavení neměnné hloubky záběru),
- ✚ najetí do záběru a vyjetí ze záběru (úhel, délka, poloměr apod.), viz. Obrázek 4.1 - Najetí a vyjetí nože ze záběru [32], Najetí a vyjetí nože ze záběru může být přidáno před počátek každého nájezdu a je vykonáváno pracovním posuvem. Zpětný pohyb je vykonáván rychloposuvem.



Obrázek 4.1 - Najetí a vyjetí nože ze záběru [32]

- ✚ prodleva otáček vřetene, viz. následující Obrázek 4.2 - Prodleva na konci každého záběru [32]: Při soustružení obrobků větších rozměru může dojít k nedokončení řezu při odjezdu nástroje rychloposuvem dříve, než dokončení otáčky vřetene. Tomu lze zabránit prodlevou na konci každého hrubovacího záběru.



Obrázek 4.2 - Prodleva na konci každého záběru [32]

- ✚ přejezdy mezi záběry, atd.



Zajímavost k tématu

V případech krátkých vzdáleností u přejezdů, odjezdů ze záběru, vyjetí apod. je výhodné je zadávat formou pracovního posuvu. Ne rychloposuvem! Při zadání rychloposuvu

je zbytečné a nežádoucí (z hlediska teorie přesunu hmoty), aby stroj akceleroval a brzdil na malé vzdálenosti.

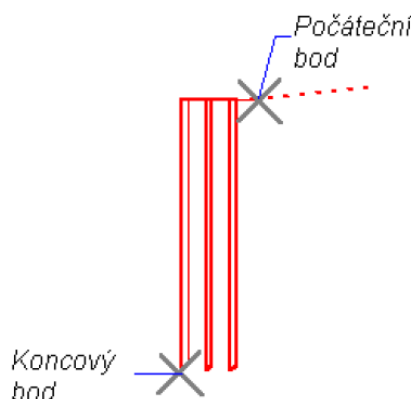
4.1 Pravoúhlé soustružení

Pravoúhlé soustružení znamená pravoúhlé soustružení v radiálním nebo axiálním směru.

Způsoby obrábění:

- ✚ čelní (podél osy X),
- ✚ podélné (podél osy Z),
- ✚ pod zadaným úhlem vůči ose Z.

Obrábět lze od koníka ke skličidlu nebo obráceně. Pro hrubování lze nastavit parametry tloušťky třísky, způsobů příjezdů/odjezdů, rozdílné posuvy včetně posuvu do vybrání, způsobů tzv. začistění, a to buď po každé třísce nebo po hrubování najednou. Tento cyklus obvykle vyžaduje zadání dvou protilehlých rohů obdélníkové oblasti.



Obrázek 4.3 - Způsob zadání místa úběru materiálu [32]

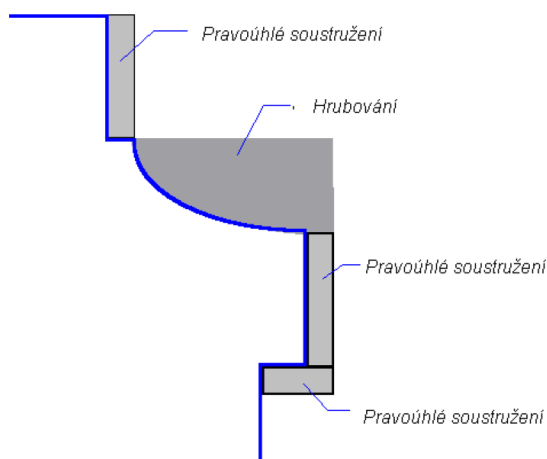


Zajímavost k tématu

Pravoúhlé soustružení může být také označeno jako obdélníkové cykly. V některých systémech označovaných také jako Hrubování, což je vlastně odebrání materiálu mezi polotovarem a dílcem s požadovanými přídávky.

4.2 Hrubovací soustružení

Hrubovací soustružení se používá k odebrání materiálu z nepravidelné oblasti obrobku, viz. Obrázek 4.4 - Hrubovací a pravoúhlé soustružení [32]. Tato nepravidelná oblast může být vytvořena např. jinou technologií: odléváním, kováním, nebo tepelnou úpravou. Hrubování lze ohraničovat souřadnicemi (X, Z), geometrickými prvky nebo oknem.

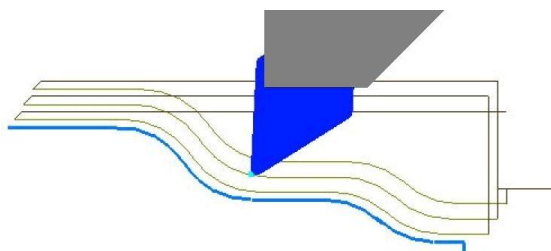


Obrázek 4.4 - Hrubovací a pravouhlé soustružení [32]

4.3 Soustružení na profil

Soustružení na profil znamená hrubování a dokončování profilu obrobku dle zadaného profilu (obrysu tvaru součásti).

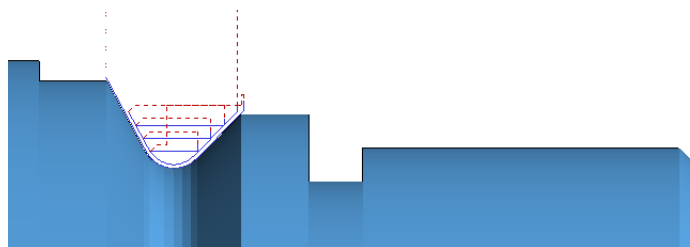
V některých systémech označovaných také jako **dokončování**, což je vlastně dokončení zvolené části dílce s přídatkem nebo načisto. Cyklus umožňuje obrobení tvaru podle zvoleného nástroje tak, že odebere materiál pouze tam, kde to dovoluje geometrie použitého nástroje. Dokončovat lze všemi tvary nožů včetně zapichovacích.



Obrázek 4.5 - Soustružení na profil - dráha nástroje [32]

4.4 Soustružení kapes

Soustružení kapes je speciální nabídka pro hrubování a dokončování tvaru kapsy. V některých systémech není k dispozici, a proto se pro soustružení různých tvarů kapes využije nabídka hrubování a následně dokončování, nebo soustružení profilu.



Obrázek 4.6 - Soustružení kapes - dráha nástroje

Pro vytváření jednoduchých zápichů nožem, jehož tvar odpovídá tvaru zápichu, není nutně využití přednastavených cyklů. Lze využít složení jednotlivých a jednoduchých pracovních pohybů doplněných prodlevy na dně zápichu a pohybů rychloposuvem mezi zápichy.

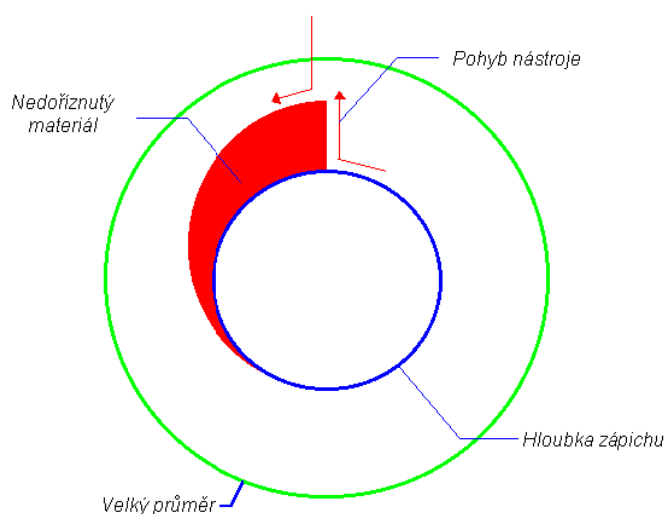


Zajímavost k tématu

Pokud jsou zápichy obráběny pod úhlem, doporučuje se volit pracovní posuv i pro pohyb zpět ze zápichu. Některé stroje neumožňují přímý pohyb (ve dvou osách současně) do zvoleného bodu rychloposuvem ➡ možnost kolize, viz. Obrázek 4.8 - Soustružení zápichů [32]

Velice důležité je nastavení prodlevy, viz. Obrázek 4.9 - Zabránění nedoříznutí materiálu – nutnost nastavení prodlevy [32], (např. v dialogovém okně operačního listu). Prodleva se zadává v sekundách, nebo otáčkách vřetene. Bez prodlevy může dojít k nedokončení řezu při odjezdu nástroje dříve, než dokončení otáčky vřetene. Tomu lze zabránit právě prodlevou, kdy vřeteno vykoná ještě několik otáček, než dojde k vyjetí nástroje z řezu.

Prodlevu lze nastavit v EdgeCAMu přímo v dialogovém panelu pro obrábění, nebo také v menu *Strojní funkce*.



Obrázek 4.9 - Zabránění nedoříznutí materiálu – nutnost nastavení prodlevy [32]

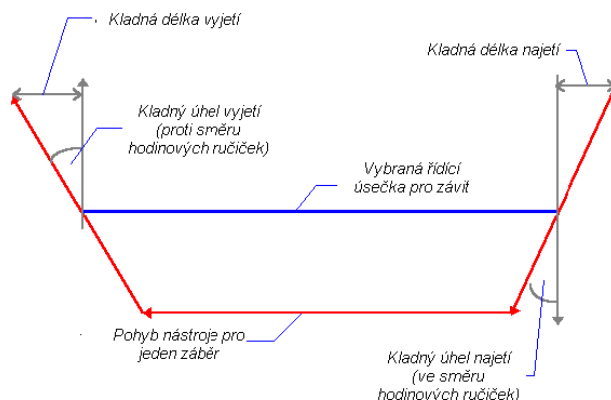
S ohledem na přesnost a jakost při zapichování s rozjížděním je důležité:

- ✚ vyvarovat se obrábění dvěma směry současně,
- ✚ nechtěné prohnutí nástroje odstranit vyjížděním z řezu.

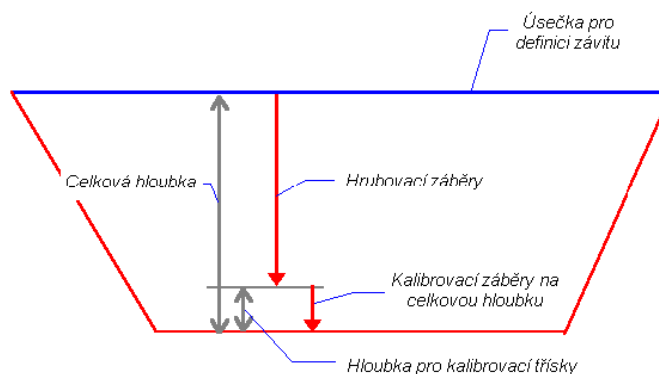
4.6 Soustružení závitů

Soustružení závitů umožňuje hrubovat i dokončovat různé typy vnějších i vnitřních závitů. Závit lze zhotovovat na válci i na kuželu. Lepší CAM systémy poskytují podporu pro řezání závitů jednochodých i vícechodých, s podporou výstupu do NC programu v pevných cyklech nebo v rozvinutém kódu.

Zadávanou geometrií pro zhotovení závitů je nejčastěji úsečka. Může jí být i profil, nebo zadání dvou bodů. Technologie soustružení závitů závitovým nožem je rozpracovaná do mnoha detailů.



Obrázek 4.10 - Výběr řídicí úsečky pro soustružení závitů [32]



Obrázek 4.11 - Definice hloubkových parametrů závitů [32]

Další zadávané parametry (neuvedené v předešlých obrázcích) při řezání závitů nožem:

- + faktor úbytku třísky,
- + hloubka záběru,
- + počet záběrů,
- + koncová tříska,
- + přídavek na první třísku,
- + počet kalibrovacích záběrů, a další.

4.7 Obrábění děr

Obrábění děr může představovat buď jen vrtání otvoru, nebo komplexní souhrn operačních úseků složených z navrtání otvoru, předvrtání, vrtání, zahloubení, vyhrubování a vystružování otvoru, či zhotovení závitu závitníkem. Tyto obráběcí cykly mohou být provedeny pevnými, ale i poháněnými nástroji a mohou být spojeny v jeden celek do jednoho operačního listu v němž jsou příslušné karty pro zadávání údajů jednotlivým operačním úsekům, viz. následující obrázky. Lze také navolit generování NC kódu do jednoho pevného cyklu nebo rozvinutého kódu.

Zadávanou geometrií pro vrtání u 2 osého soustružení je nejčastěji bod. Může jí být i útvar či obrys (*feature*).

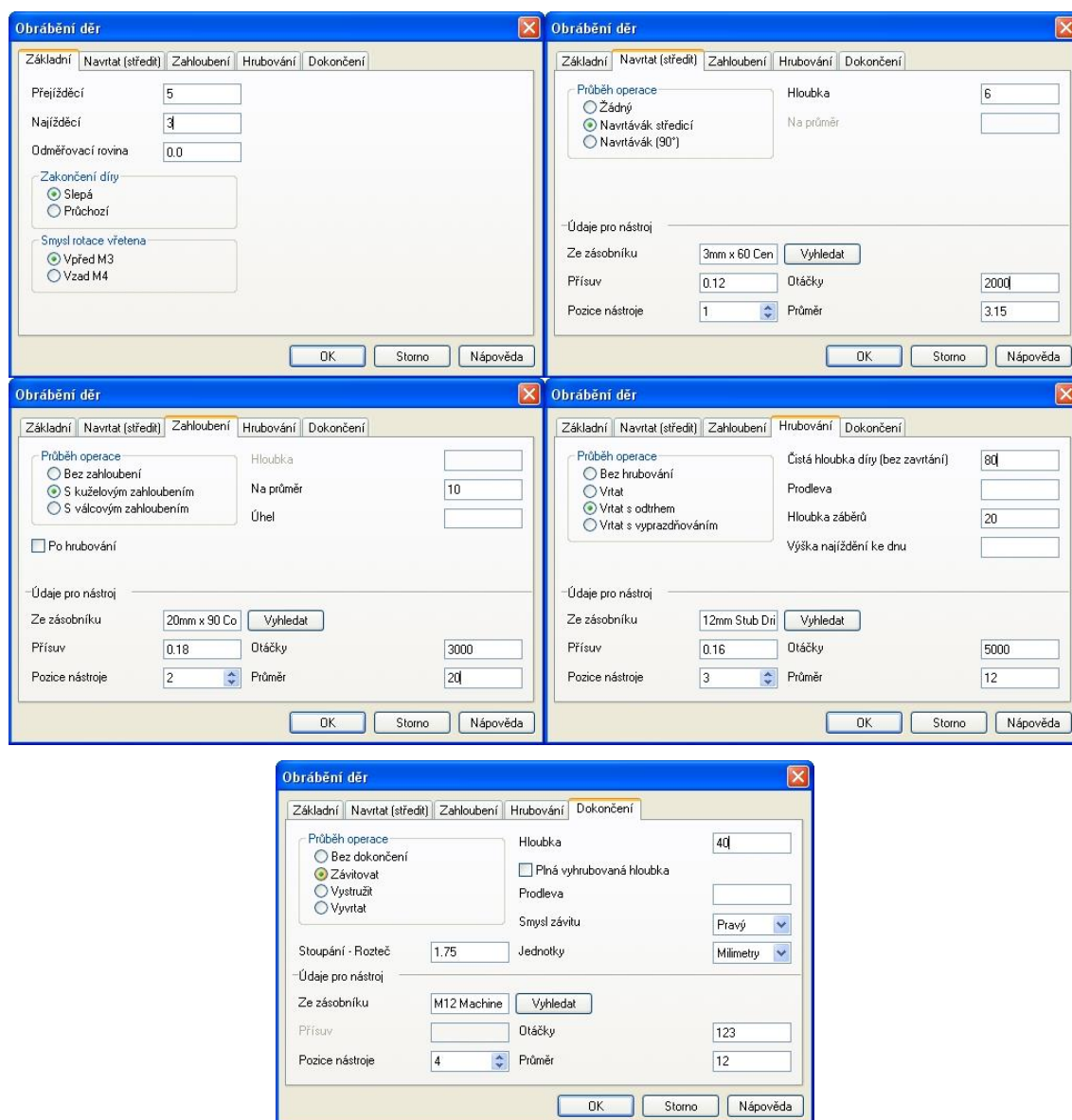


Zajímavost k tématu

Obrábění děr má většina CAM systémů velmi dobře zpracována. Na obrábění děr lze výhodně uplatňovat automatické obrábění tj. použití maker a speciálních funkcí a nadstaveb systému např. tzv. manažera strategií. Tyto funkce jsou vhodné pro typovou technologii.

Jestliže je vytvořen otvor v modelu včetně informací např. o závitu, zahloubení, toleranci apod., pak u některých CAM systémů se automaticky vyberou potřebné nástroje z databáze. Jestliže je však na modelu aktualizován průměr díry u operačního úseku vrtání s nástrojem se zásobníku, nástroj nebude aktualizován a EdgeCAM upozorní, že nesouhlasí průměr nástroje s průměrem otvoru.

Následující Obrázek 4.12 - Jednotlivé karty operačního listu - obrábění děr(EdgeCAM) ukazuje množství potřebných informací zadávaných v tomto cyklu.

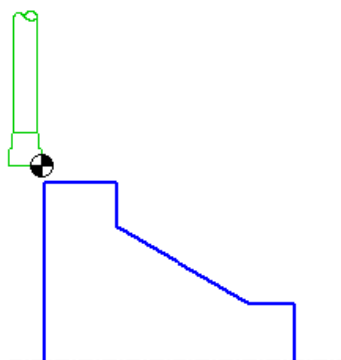


Obrázek 4.12 - Jednotlivé karty operačního listu - obrábění děr(EdgeCAM)

4.8 Upichování

Tato nabídka provede upíchnutí (oddělení) obrobku od polotovaru. Zadávanou geometrií pro upichování je nejčastěji úsečka. Může jí být i profil, nebo zadání dvou bodů.

Důležité je nastavení řídicího bodu nástroje. Řídicí bod může být zvolen tak, aby se vztahoval na zadní čelo upichované součásti (viz. následující obr.), nebo k čelu následující součásti viz. Obrázek 4.15 - Nastavení řídicího bodu nástroje k následující součásti (levý bod ostří). Toto nastavení ovlivňuje výslednou přesnost, protože zadaná tloušťka upichovacího nože nemusí odpovídat skutečnosti. (Např. zadaná tloušťka 5 mm, může být ve skutečnosti 4,9 mm.) Proto je nutné nastavit řídicí bod na tu stranu nástroje, která se bude vztahovat k čelu obrobku a která se požaduje za měřicí základnu.



Obrázek 4.13 - Nastavení řídicího bodu nástroje k zadnímu čelu (pravý bod ostří)



Řešený příklad

Vyřešte upíchnutí součásti tak, aby bylo bráno v úvahu to, že se bude ještě na upíchnutém - odděleném čele obrábět a zároveň řez bude na hotovo k následující součásti.

Další zadávané parametry při upichování jsou:

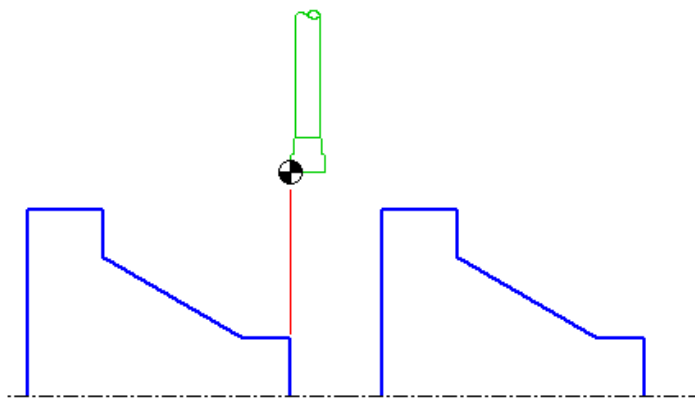
- + možnost sražení hrany,
- + přejezd přes osu,
- + průměr pro najetí nástroje, apod.

Obrázek 4.14 - Operační list upichování – EdgeCAM 11.75



Klíč k řešení

Nastaví se řídicí bod nástroje k následující součásti (levý bod ostří). viz. Obrázek 4.15 - Nastavení řídicího bodu nástroje k následující součásti (levý bod ostří)



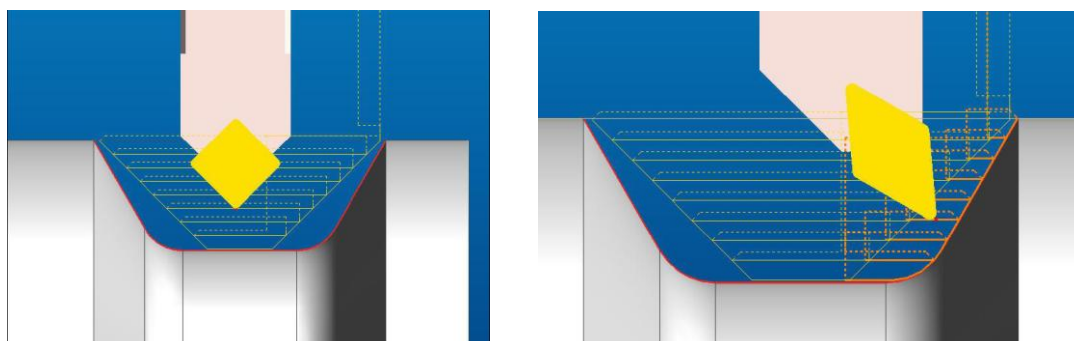
Obrázek 4.15 - Nastavení řídicího bodu nástroje k následující součásti (levý bod ostří)

4.9 Zbytkové soustružení

Tato nabídka provede úběr materiálu, který zbyl po předchozím obrábění. Zadávanou geometrií pro zbytkové soustružení (v EdgeCAMu označovaném jako zbytkové hrubování) je nejčastěji profil.

Jako polotovar se označí dráha předchozího hrubovacího cyklu. Systém napojí toho zbytkové soustružení na předchozí hrubovací cyklus.

Na následujícím obrázku v levé části je vidět dráha nástroje při hrubování a v pravé části následné zbytkové soustružení.



Obrázek 4.16 - Dráhy nástrojů hrubování/zbytkové soustružení



CD-ROM

Animace k jednotlivým obráběcím cyklům 2 osého soustružení si může student vyvolat z CD-ROMu nebo je může nalézt na e-learningovém portálu. V jednotlivých adresářích jsou uvedeny animace a další ukázkové soubory. Tyto doplňkové ukázkové soubory k animacím představují většinou model dílce a zpracovaný technologický postup v daném CAM systému. Student si tak může lehce vyzkoušet práci na tvorbě daného cyklu obrábění, nebo komplexní obrobení součásti.

5 2.5 OSÉ FRÉZOVÁNÍ V CAM SYSTÉMU

Tato kapitola popisuje jednotlivé operační úseky - cykly použitelné při programování CNC frézek a frézovacích center.



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete umět popsat:

- + základní rozdělení frézování při návaznosti na CAM systémy,
- + základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů při 2.5 - osém frézování,
- + základní nabídky - používané cykly při 2.5 - osém frézování.



Výklad

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

- + 2.5 osé frézování,
- + 3 osé frézování,
- + indexované frézování,
- + víceosé frézování:
 - + 4 osé frézování
 - + 5 osé plynulé (simultánní) frézování

Při 2.5 osém (2-1/2 osém) 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. Základní obráběcí cykly pro frézování 2,5 osé jsou:

- + frézování rovinných ploch a čelních ploch,
- + hrubování,
- + frézování 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,
- + gravírování,
- + hrubování odvrtáváním,
- + ruční frézování,
- + 2.5 osé zbytkové frézování,
- + zapichovací frézování,
- + apod.

V závislosti na typu zvoleného obráběcího cyklu, je nutné (před, nebo po vyplnění operačního listu) postupně vybrat:

- + obráběnou geometrii (body, úsečky, profily, kontury, plochy, solid modely apod.),
- + polotovar,
- + hranice obrábění,
- + pozice pomocných prvků (starty a konce cyklů apod.)
- + omezující prvky, apod.

Na povrchu obrobku lze vytvořit hranice obrábění, ve kterých se bude obrábět, nebo naopak ve kterých se obrábět nebude.

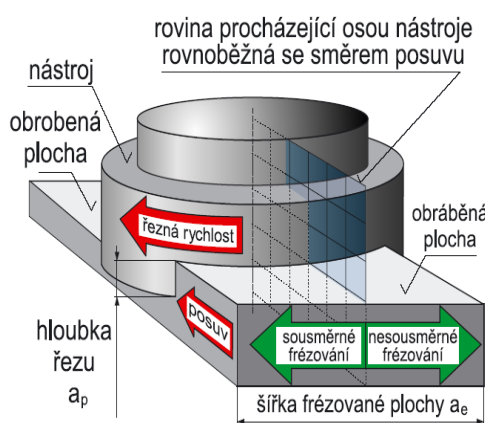
Obráběcím cyklům lze měnit pořadí, lze je editovat, vkládat nové cykly mezi již vytvořené, nebo mezi ně vkládat jednotlivé instrukce a příkazy. Dráhy nástrojů, vytvořené dle zmiňovaných nabídek obráběcích cyklů, mohou být editovány (zrcadleny, posunuty, rotovány, kopírovány do jiné hloubky, apod.)

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.

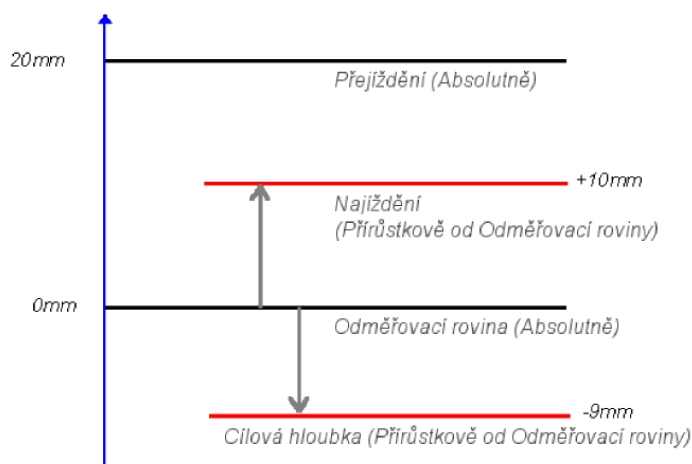
5.1 Základní zadávané údaje u jednotlivých obráběcích cyklů

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.



Obrázek 5.1 - Základní způsoby a názvosloví při frézování [24]



Obrázek 5.2 - Způsoby určení rovin a hloubek

Přejíždění – absolutní hodnota ve které (nebo nad kterou) nehrozí kolize nástroje a obrobku (upínek) při rychloposuvu nástroje.

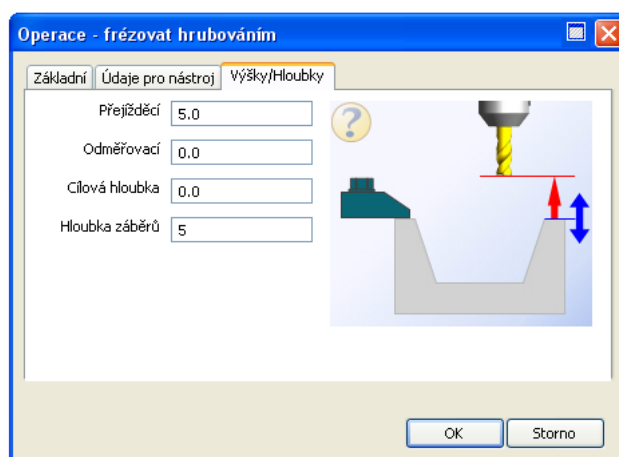
Odměřovací rovina – absolutní hodnota, která udává polohu od které se začíná obrábět (výchozí rovina)

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 hloubku díry.

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.



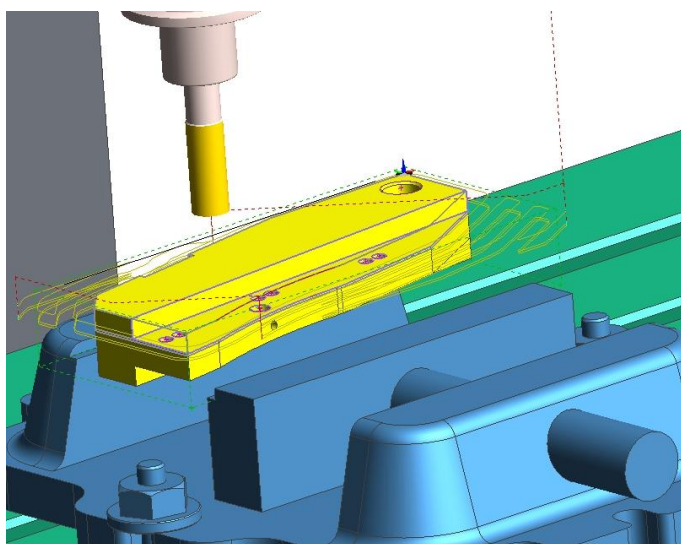
Obrázek 5.3 - Příklad - určení rovin a hloubek pro hrubování



Zajímavost k tématu

Poznámka: Způsob určení hloubek může být u různých obráběcích cyklů a CAM systémů rozdílný.

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.



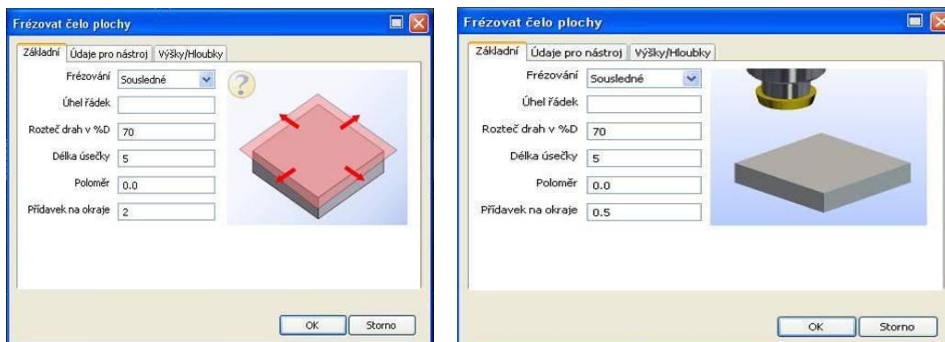
Obrázek 5.4 - Simulace 2.5 osého frézování

Frézování 2.5 osé 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.

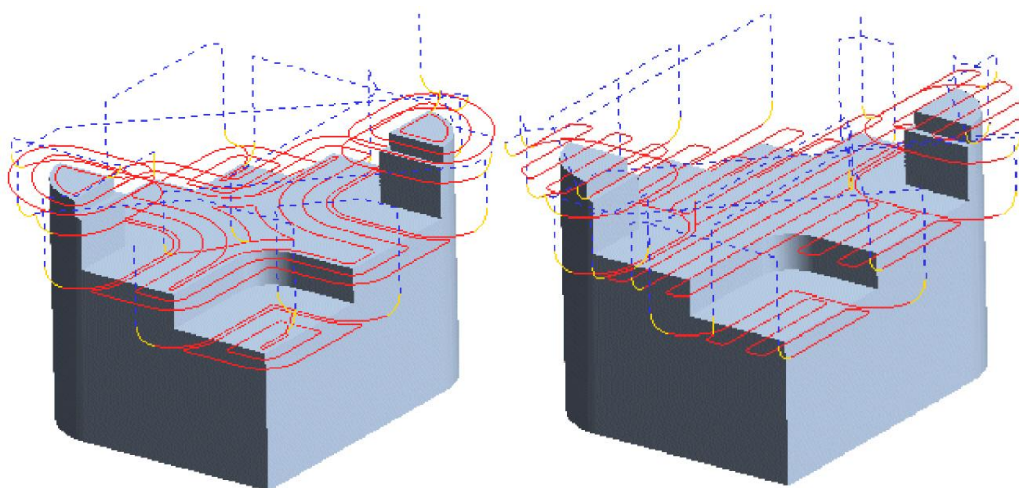
Při tomto obrábění se mohou obrábět součásti, které jsou definovány pouze 2D křivkami. 3D geometrie součásti sice může být přítomna, není však nutná.

5.2 Frézování rovinných a čelních ploch

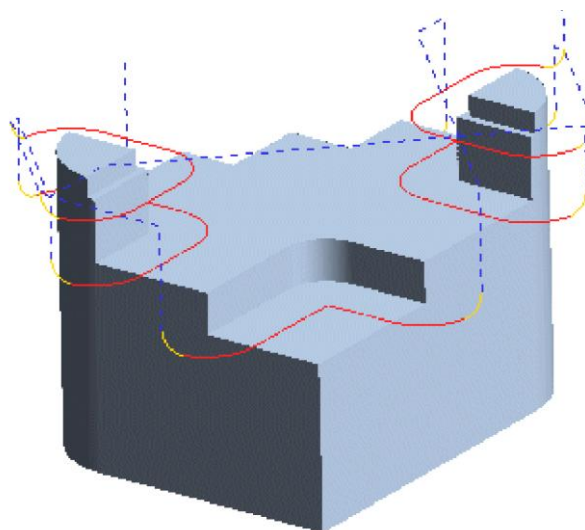
Frézování rovinných a čelních ploch se používá k odebrání materiálu z rovinné oblasti obrobku. Zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu mohou být plochy, profily, jednoduché 2D geometrie (např. obdélníky) apod.



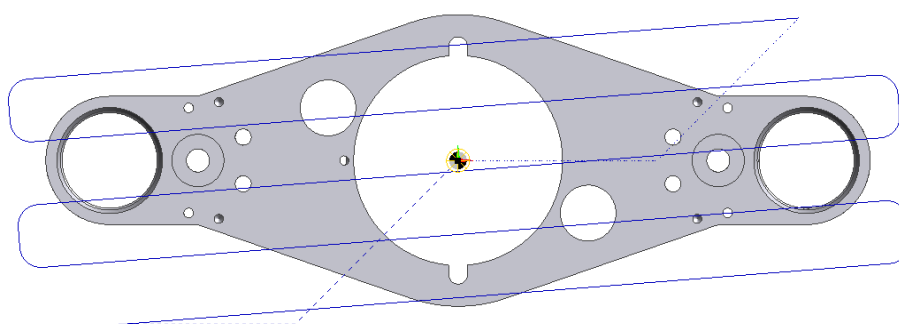
Obrázek 5.5 - Záložky operačního listu - frézování čelních ploch, EdgeCAM 11.75



Obrázek 5.6 - Dráha nástroje – koncentrická a řádkování [34]



Obrázek 5.7 - Dráha nástroje – obrábění jen detekovaných rovinných oblastí [34]

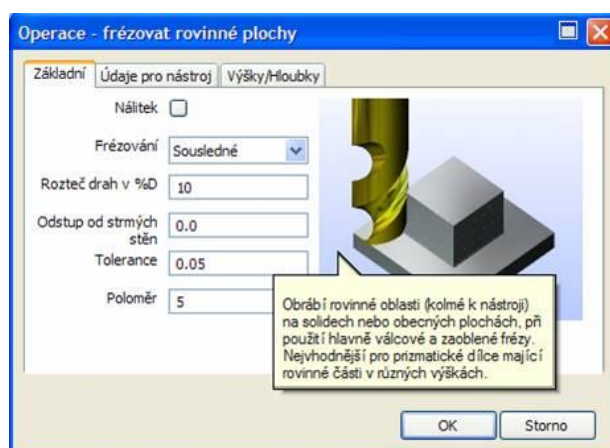


Obrázek 5.8 - Příklad dráhy nástroje - frézování rovinných a čelních ploch

Čelním frézováním lze také obrábět uzavřené regiony tak, jako by zcela obklopovaly materiál, který má být odebrán. To znamená, že nástroj může do tohoto regionu najet z vnějšku a vytvořit tak reverzní kapsu.

Základní zadávané údaje pro frézování rovinných a čelních ploch jsou:

- + frézování sousledné, nesousledné nebo jejich kombinace,
- + rozteč drah, vzdálenost dvou následujících drah (např. v procentech průměru nástroje),
- + odstup od strmých stěn, přídavek na boční plochy,
- + tolerance dráhy nástroje,
- + záběrové podmínky - poloměr kružnice, po které nástroj najíždí do záběru,
- + údaje pro nástroj (vybrání ze zásobníku nástrojů, možnost úpravy řezných parametrů a parametrů geometrie nástroje, apod.),
- + údaje o hloubce záběru a odměřovací rovině,
- + výška pro přejíždění nástroje, ve které se nástroj pohybuje bez nebezpečí kolize.



Obrázek 5.9 - Dialogové okno EdgeCAM - Frézování rovinné plochy – záložka základní



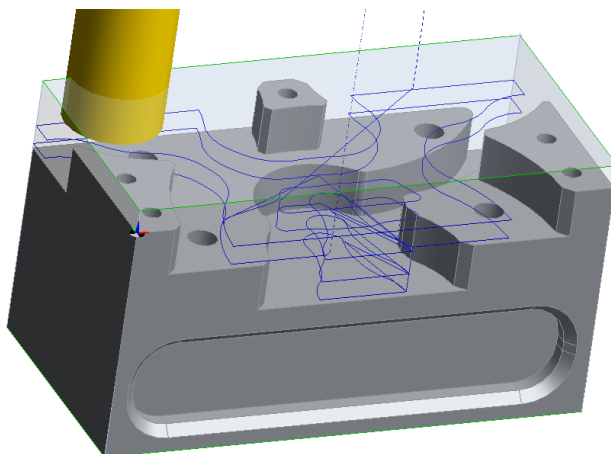
Zajímavost k tématu

Obráběná plocha u frézování čelních ploch je definována hranicemi, které tvoří pouze 2D křivky. Tyto hranice mohou být složeny z jednoho profilu, nebo z jednotlivých, na sebe napojených křivek. U některých CAM systémů mohou dělat problémy otevřené nebo vzájemně se překrývající hranice.

5.3 Hrubování - frézování 2,5 D

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.



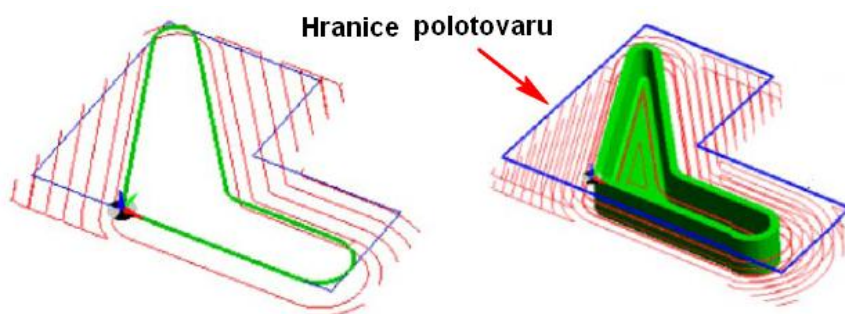
Obrázek 5.10 - Příklad dráhy nástroje – hrubování 2,5 D

5.4 Frézování profilu a osazení

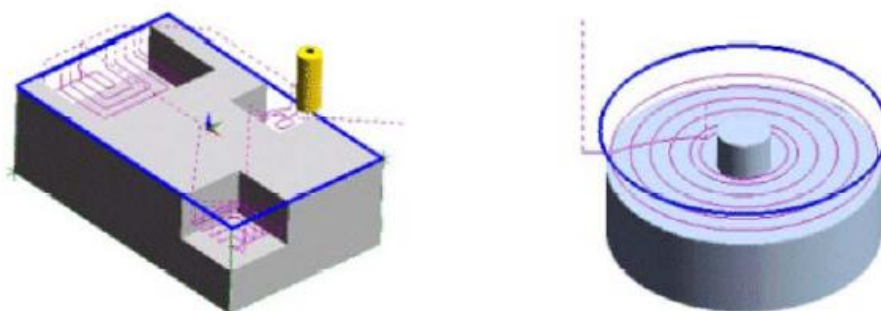
Použitím nabídky frézováním profilů a osazení lze obrábět otevřené a uzavřené regiony tak, že se nástroj pohybuje podél jedné strany jejich kontury (popř. středem). Lze specifikovat také ofsety těchto regionů, tzn. nástroj vykonává kolem těchto regionů více průchodů.

Zadávanou geometrií jsou obvykle profily, obrysy součástí a různé 2D geometrie (jednoduché i složité tvary v rovině) apod. Výběr je většinou dán tvarem kontury a uzavřenou 2D hranicí polotovaru. Po vybrání zmiňované geometrie většinou následuje výběr startovacího a koncového bodu.

Profilování se většinou používá jako dokončovací operační úsek např. po provedení kapesování nebo čelního frézování.



Obrázek 5.11 - Frézování profilu a osazení s vyznačením hranice polotovaru



Obrázek 5.12 - Frézování profilu a osazení

5.5 Frézování kapes

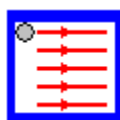
Kvalitní CAD/CAM systémy obsahují různé cykly frézování kapes (dutin) a umožňují frézovat kapsy do plného materiálu, zužované kapsy, nebo kapsy slepé. Ať už se jedná o jednoduché kapsy čtvercového tvaru nebo kapsy komplexní s nepravidelnými hranicemi a s velkým počtem ostrůvků a výstupků. Umožňují také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

Cyklus kapsování v sobě většinou obsahuje funkčnost kapsování i profilování. Lze provést kapsování - hrubování a profilování - dokončování v jedné nabídce operačního úseku.

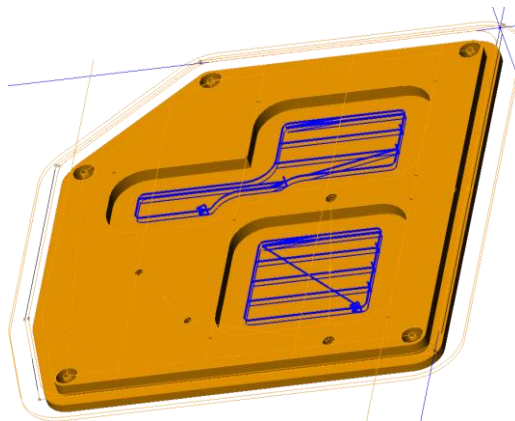
Zbytkový materiál po hrubování může být automaticky odebrán při dokončování, aniž by se zadalo, kolik materiálu se má při dokončování odebrat.

Nejčastější způsoby frézování kapes (dutin):

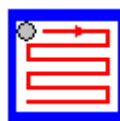
-  jednosměrné (one way),
-  cik – cak,
-  směrem do středu (CONCENTRIC IN),
-  směrem ze středu (CONCENTRIC OUT).



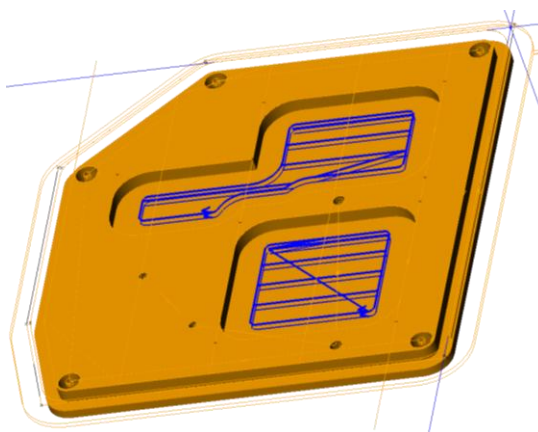
Jednosměrně (ONE WAY). Při této strategii se nástroj pohybuje po přímce. Úběr materiálu je vždy jen v jednom směru, to znamená, že zpětný pohyb nástroje se koná naprázdno. Tím lze zaručit preferované sousledné frézování. Na závěr cyklu lze navolit objetí kapsy po jejím obvodu pro odebrání zbylého materiálu na stěnách kapsy.



Obrázek 5.13 - Frézování kapes - dráha nástroje strategie one way



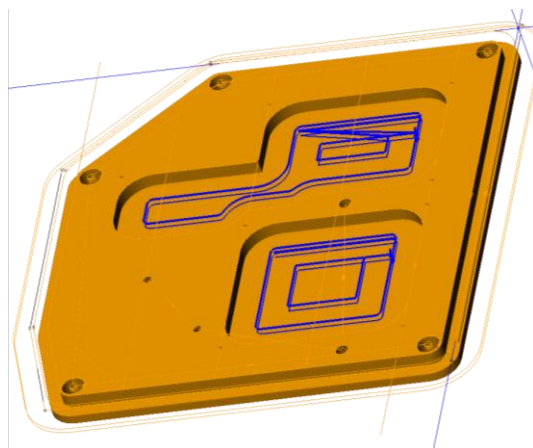
CIK – CAK. Při této strategii se nástroj pohybuje po přímce. Úběr materiálu je realizován v obou směrech pohybu nástroje. Nástroj při dokončení dráhy v jednom směru se posune do záběru o předem navolenou procentuální část svého průměru a vrací se zpět. Na závěr cyklu nástroj objede kapsu po jejím obvodě a odebere zbylý materiál.



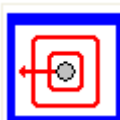
Obrázek 5.14 - Frézování kapes - dráha nástroje strategie CIK - CAK



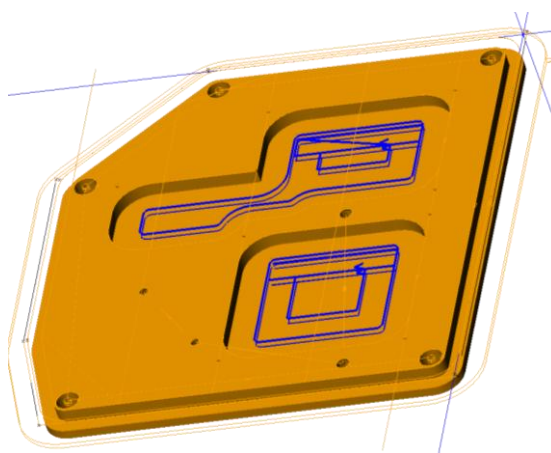
Směrem do středu (CONCENTRIC IN). Při této strategii se nástroj pohybuje od obvodu kapsy směrem do jejího středu. Dráha nástroje opisuje tvar kapsy.



Obrázek 5.15 - Frézování kapes - dráha nástroje strategie CONCENTRIC IN



Směrem ze středu směrem ven (CONCENTRIC OUT). Nástroj se pohybuje ze středu kapsy k jejímu obvodu. Dráha nástroje opisuje tvar kapsy.



Obrázek 5.16 - Frézování kapes - dráha nástroje strategie CONCENTRIC OUT

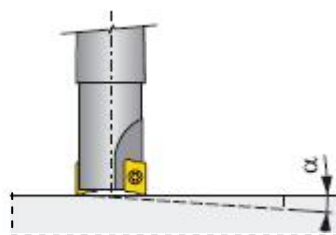


Zajímavost k tématu

Praktické použití: Strategie směrem ze středu je nejvýhodnější z hlediska odchodu třísky. Tříska odchází plynule → kladný vliv na trvanlivost břitu nástroje.

EdgeCAM nabídku frézování kapes nemá. Pro frézování kapes lze využít nabídku Frézovat profilováním.

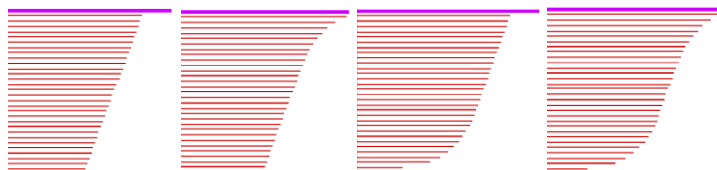
Při frézování kapes je důležité nastavit způsob zajiždění nástroje do materiálu. Výběr způsobu nájezdu do materiálu (pod úhlem, ve spirále apod.) závisí zejména na použitém nástroji a velikosti oblasti nájezdu.



Obrázek 5.17 - Zajiždění do materiálu pod úhlem

CAM systémy nabízí možnosti zadání definice úkosu boční stěny, viz. Obrázek 5.18 - Definice úkosu boční stěny. Lze nastavit parametry pro úkos boční stěny s horním nebo dolním zaoblením boční stěny. Je možno zadat např.:

- + úhel úkosu,
- + horní zaoblení od boku stěny,
- + zaoblení dna dutiny (kapsy) od boku stěny,
- + zadání vlastního tvaru (profilu) stěny dutiny.

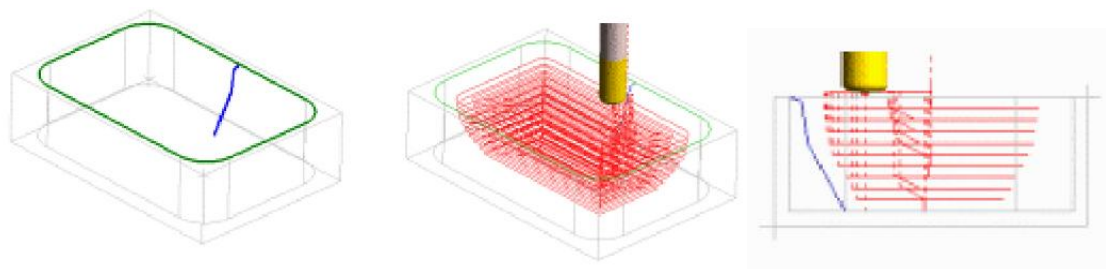


Obrázek 5.18 - Definice úkosu boční stěny dutiny



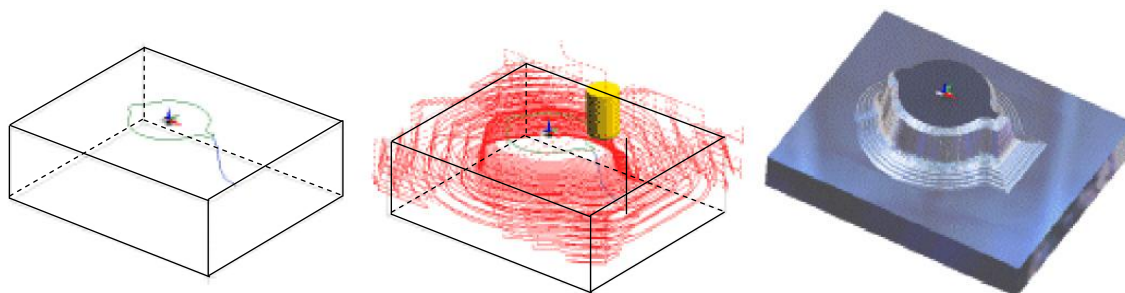
Pojmy k zapamatování

Při frézování kapes (dutin) lze v CAM systému zadat tvar (profil) dutiny, který bude aplikován na boční stěny. Tzn., není nutné mít zhotovený model s komplikovaným tvarem dutiny.



Obrázek 5.19 - Určení profilu dutiny (kapsy)

Stejným způsobem je možné také určit profil (tvar) nálitku, viz následující obrázek.



Obrázek 5.20 - Určení profilu nálitku (kapsy)



Zajímavost k tématu

Ve výzkumu zaměřeném na snižování strojního času dle lit. [26] bylo dosaženo u různých strategií obrábění kapes různých úspor strojního času. Z výsledků je patrné, že neexistuje nejvýhodnější strategie obrábění kapes pro různé tvary a druhy kapes. Je třeba najít pro různý tvar kapsy tuto nejvýhodnější strategii.

5.5.1 Nejnovější metody obrábění kapes

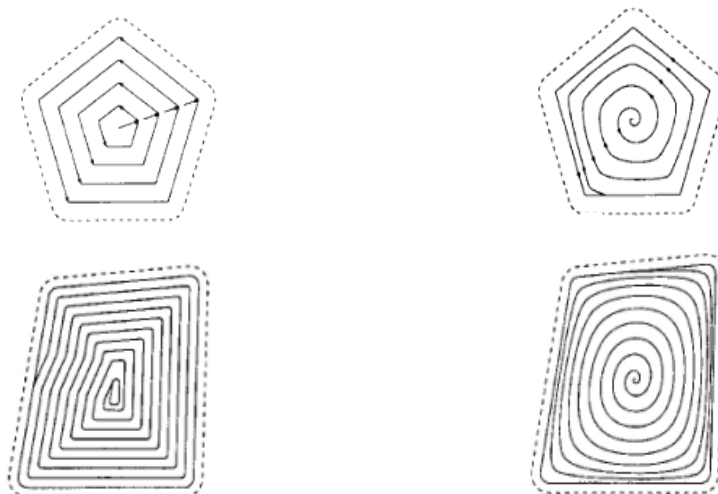
Nejnovější poznatky, týkající se problematiky frézování kapes pocházejí ze společnosti MATHEMATICS & COMPUTING TECHNOLOGY, THE BOEING COMPANY, SEATTLE [1]. Výzkum byl zaměřen na snížení strojního času při vysokorychlostním obrábění kapes.

Tento výzkum byl prováděn pro americký vesmírný program. V tomto průmyslovém odvětví je kladen důraz na obrábění lehkých a pevných slitin.

Klasická dráha nástroje je nahrazena přesně matematicky definovanou křivkou (spirálou), po které se nástroj při obrábění pohybuje. Tento experiment byl prováděn pro tří – osé obrábění kapes, viz. Obrázek 5.21 - Frézování kapes - nové metody obrábění kapes [1].

Obvyklá dráha nástroje

Spirálová dráha nástroje



Obrázek 5.21 - Frézování kapes - nové metody obrábění kapes [1]



Zajímavost k tématu

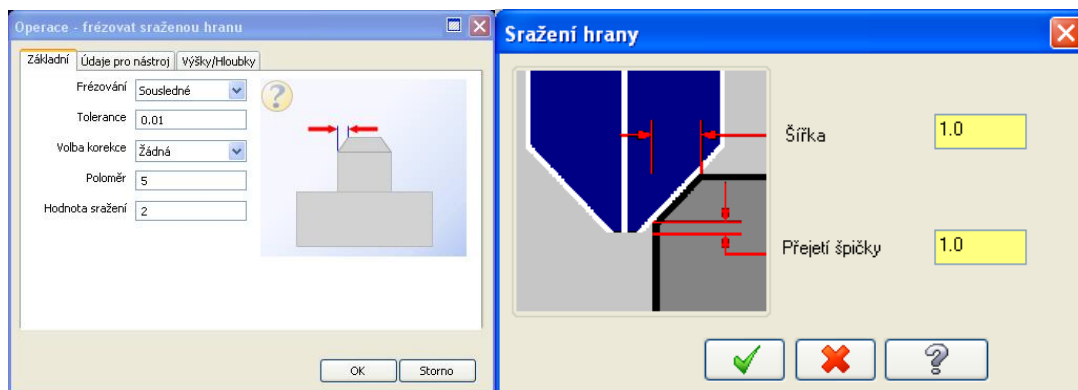
Při obrábění hliníkových slitin bylo zmiňovaným experimentem uspořeno až 30% strojního času. Dráhy nástroje při klasickém obrábění kapes a při využití spirálovité dráhy, jsou znázorněny na Obrázek 5.21 - Frézování kapes - nové metody obrábění kapes [1] a to pro dva tvary kapes. Přehled uspořených strojních časů naměřených při tomto experimentu, je uveden v následující tabulce.

Tab. 5.1 – Přehled uspořených strojních časů u prováděných experimentů se spirální dráhou nástroje [1]

Přehled uspořených strojních časů v [%] u prováděných experimentů se spirální dráhou nástroje			
Tvar kapsy	Délka kapsy [mm]	u průměru nástroje Ø 2,7 mm	u průměru nástroje Ø 25,4 mm
	67	11,5%	21%
	107	20,5%	23%
	404	16%	17%
	140	28,5%	15%
	295	14%	8%

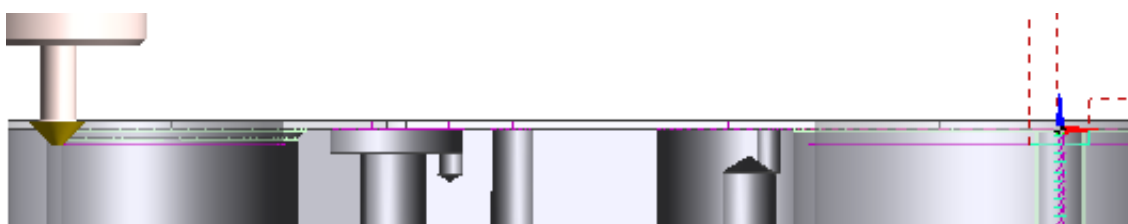
5.6 Frézování sražení

Nabídka frézování sražení (označované také jako ohraňování) slouží ke srážení hran na solid modelech. Zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu je většinou solid model.



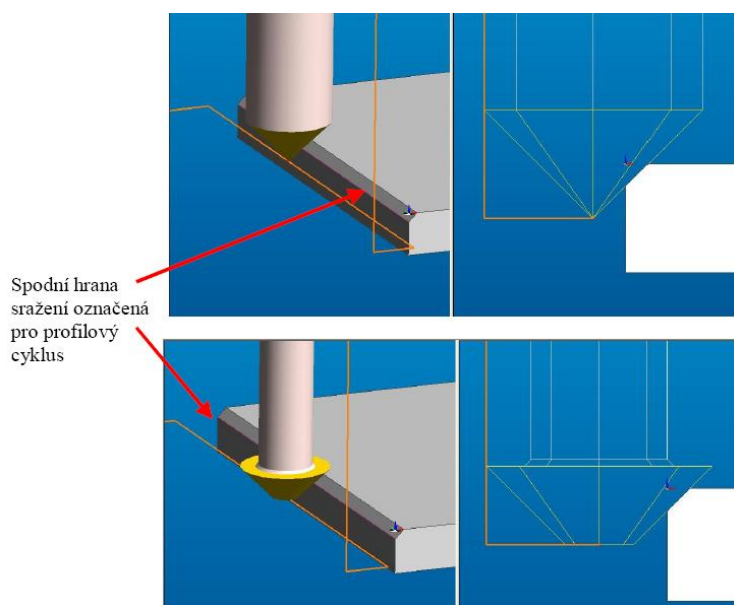
Obrázek 5.22 - Dialogové okno - frézování sražení – EdgeCAM, MasterCAM

Na výzvu EdgeCAM určení obráběné geometrie u nabídky *Frézovat sraženou hranu*, lze vybrat drátové profily, obecné plochy, solid nebo STL modely a na nich rozeznané obráběné útvary (dutiny, nálitky).

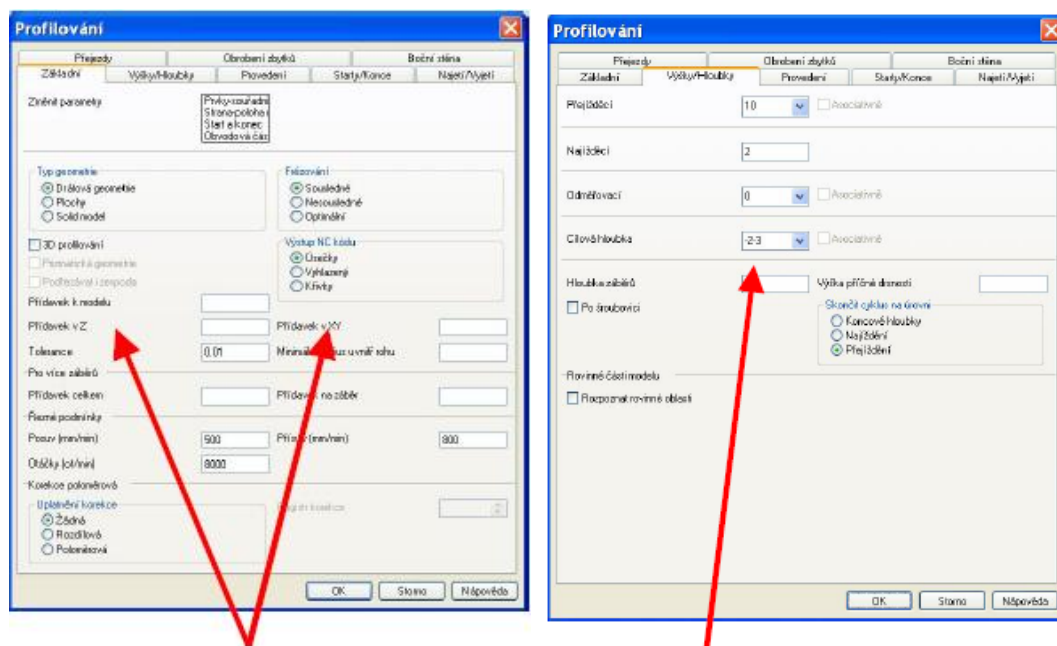


Obrázek 5.23 - Simulace frézování sražení

Frézovat sražení je možné také pomocí nabídky frézování profilů, viz následující obrázek.



Obrázek 5.24 - Srážení hran pomocí frézování profilů



Přidávky jsou nulové –
nazadávají se

-2 hodnota sražení
-3 hloubka nástroje pod sražením

Obrázek 5.25 - Profilování – sražení hran, EdgeCAM 11.75

5.7 Obrábění děr

Obrábění děr může představovat buď jen vrtání otvoru, nebo komplexní souhrn operačních úseků složených z navrtání otvoru, předvrtání, vrtání, zahloubení, vyhrubování a vystružování otvoru, či zhotovení závitu závitníkem. Tyto obráběcí cykly mohou být ve stromě instrukcí uvedeny jednotlivě, nebo mohou být spojeny v jeden celek do jednoho operačního listu, v němž jsou příslušné karty pro zadávání údajů jednotlivým operačním úsekům.

Zadávanou geometrií pro obrábění děr je nejčastěji bod, nebo skupina bodů. Může jí být i kružnice - útvar či obrys (feature).



Zajímavost k tématu

Obrábění děr má většina CAM systémů velmi dobře zpracována. Na obrábění děr lze výhodně uplatňovat automatické obrábění tj. použití maker a speciálních funkcí a nadstavbe systému např. tzv. manažera strategií. Tyto funkce jsou vhodné pro typovou technologii.

Jestliže je vytvořen otvor v modelu včetně informací např. o závitě, zahloubení, toleranci apod., pak u některých CAM systémů se automaticky vyberou potřebné nástroje z databáze. Jestliže je však na modelu aktualizován průměr díry u operačního úseku vrtání s nástrojem se zásobníku, nástroj nebude aktualizován a CAM systém upozorní, že nesouhlasí průměr nástroje s průměrem otvoru.

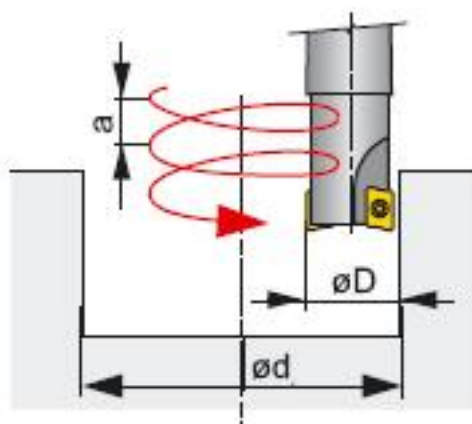
5.8 Okružní frézování - kaposání děr

Tato strategie je také označovaná jako kaposání děr. Používá pro tvorbu velkých děr frézováním místo vrtání. Nájezd může mít tvar šroubovice se zadaným úhlem nebo stoupáním. Po nájezdu ve šroubovici je postupně vytvářen vnější průměr díry spirálovým pohybem, následovaného kruhovým pohybem pro začištění stěn díry.



Obrázek 5.26 - Kaposání děr [19]

Frézování kruhovou interpolací se používá ke zvětšení průměru díry nebo obecně dutiny v obrobku. Kombinací se sestupným frézováním vzniká spirálová interpolace. V tomto případě se obrábí vnitřní povrch, a proto se jedná o frézování vnitřní kruhovou nebo spirálovou interpolací. Obdobným způsobem lze obrábět vnější válcové nebo i obecné plochy. V tomto případě se jedná o vnější interpolaci.



Obrázek 5.27 - Spirálová interpolace [24]

Při vnitřním okružním frézování se nástroj pohybuje do záběru ve směru radiálním (kolmo k ose rotace nástroje) a zároveň koná kruhový pohyb.

Velikost radiální hloubky řezu při vnitřní kruhové interpolaci se udává vztahem:

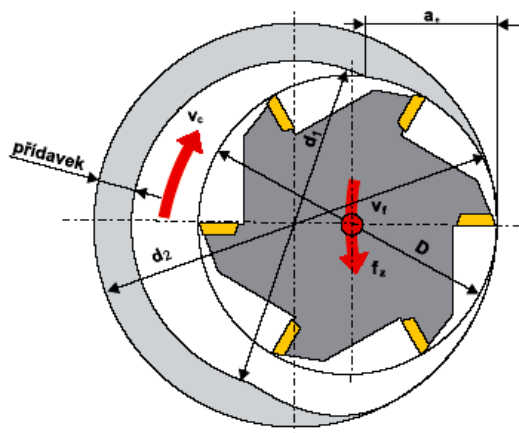
$$a_e = \frac{d_2^2 - d_1^2}{4 \cdot (d_2 - D)} \quad [\text{mm}] \quad (7.1)$$

Kde: a_e – je radiální hloubka řezu [mm],

d_2 – je výsledný průměr díry [mm],

d_1 – je výchozí průměr díry [mm],

D – je průměr frézy [mm].



Obrázek 5.28 - Radiální hloubka řezu při okružním frézování

Pro požadovanou střední tloušťku třísky h_m se stanoví posuv na zub nástroje f_z ze vztahu:

$$f_z = h_m \sqrt{\frac{D}{a_e}} \quad [\text{mm}] \quad (7.2)$$

Kde: a_e – je radiální hloubka řezu [mm],

h_m – je střední průřez třísky [mm],

D – je průměr frézy [mm].

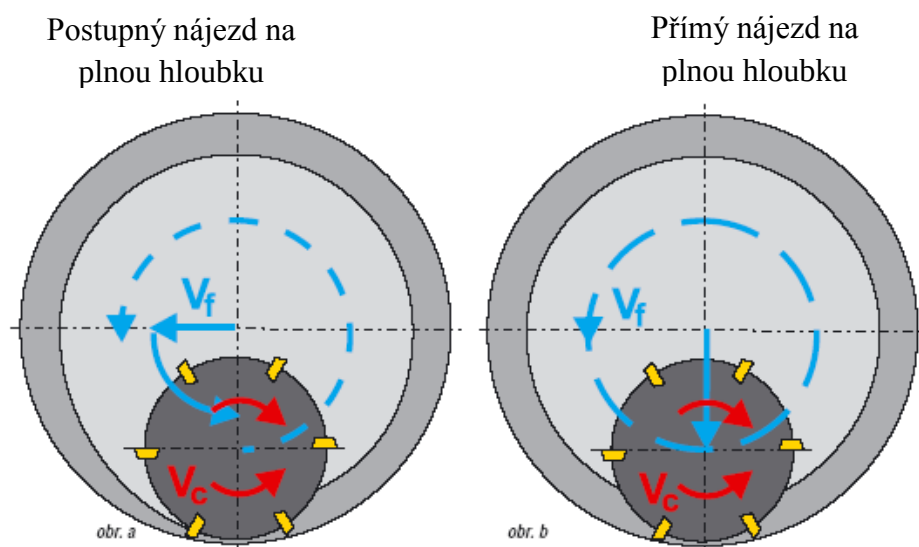
Nájezdy nástrojů lze měnit podle potřeby. Lze nastavit úhel nájezdu, popřípadě způsob nájezdu nástroje, které uvádí Obrázek 5.29 - Možné způsoby nájezdu nástroje při okružním frézování [24]

Při zvolení nájezdu přímého na plnou hloubku záběru, nástroj při obrábění otvoru nejdříve najede na plnou hloubku odebírané vrstvy materiálu a teprve potom začne vykonávat kruhový pohyb v ose díry. Tento způsob nájezdu nástroje lze volit při menších úběrech [24].



Zajímavost k tématu

Při zvolení přímého nájezdu na plnou hloubku záběru v radiálním směru je třeba při nájezdu nástroje do záběru snížit posuv i řeznou rychlost o 30 až 50 % pro zmírnění rázů, které mohou vyvolat vibrace zejména při větším vyložení nástroje.



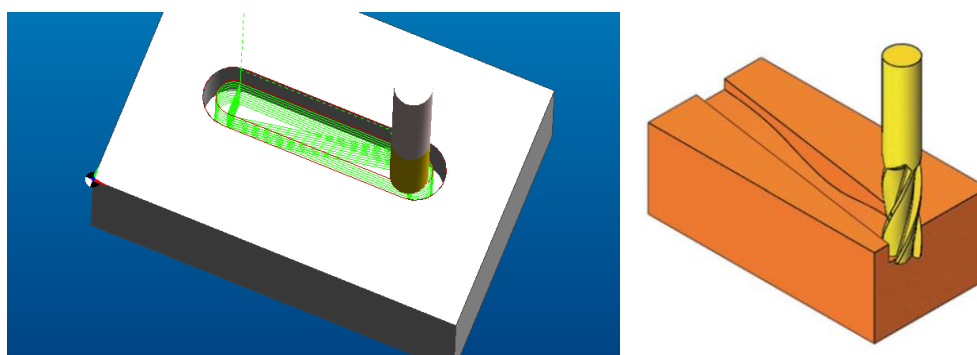
Obrázek 5.29 - Možné způsoby nájezdu nástroje při okružním frézování [24]

Z hlediska plynulého nárůstu zatížení nástroje je výhodnější postupný nájezd na plnou hloubku záběru. Při tomto způsobu nájezdu nástroje do záběru zabírají jednotlivé břity nástroje od nulové tloušťky až po maximální stanovenou tloušťku záběru nástroje. Nájezd do záběru je plynulý, a proto u tohoto způsobu obrábění nevznikají rázy. Pro větší úběr (tloušťku) odebíraného materiálu je tenhle způsob obrábění výhodnější.

Příznivé je při metodě okružního frézování použití čelní stopkové tzv. zvonové frézy, kdy nejprve dojde k úběru materiálu do plné hloubky řezu za použití kruhové interpolace ve spirále. Dále se kapsa (dutina) zvětší pomocí hladké kruhové interpolace. Interpolace se opakuje po určitém záběru třísky až do konečného rozměru obráběné dutiny.

5.9 Frézování drážek

Nabídka frézování drážek slouží k frézování drážek různého typu v rovině i v prostoru. Zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu je většinou geometrie pohybu středu nástroje, nebo solid model. Pro frézování drážek lze využít také nabídky *Frézování profilu (frézování kontury)*



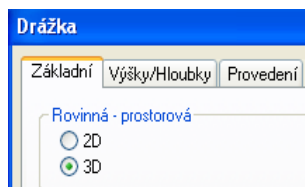
Obrázek 5.30 - Frézování drážek



Pojmy k zapamatování

Nabídka frézování drážek může být rozlišena u různých CAMů, jedna-li se o rovinu, či prostor.

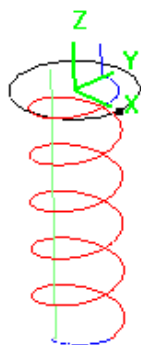
Výběr frézování 2D, nebo 3D drážky může být proveden v na jednom operačním listu (Např. v EdgeCAMu v záložce základní), viz. Obrázek 5.31 - Výběr frézování 2D a 3D drážky.



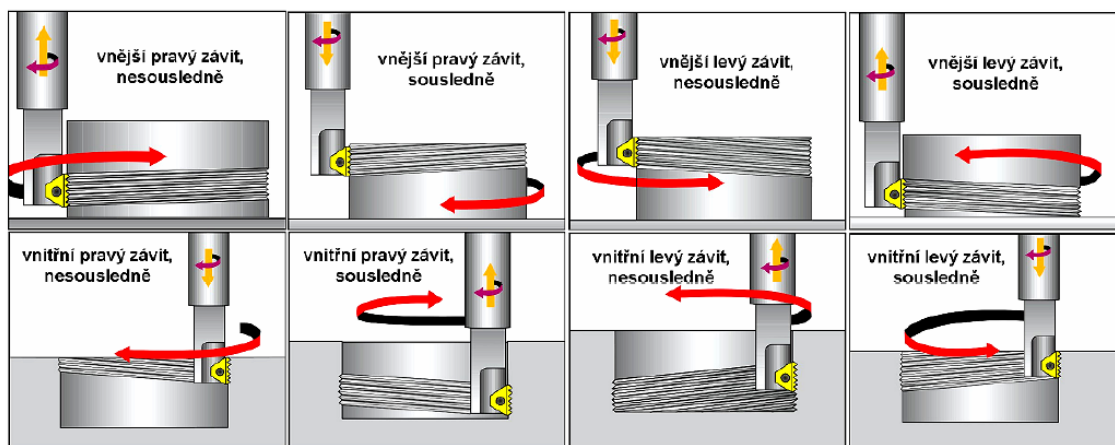
Obrázek 5.31 - Výběr frézování 2D a 3D drážky

5.10 Frézování závitů

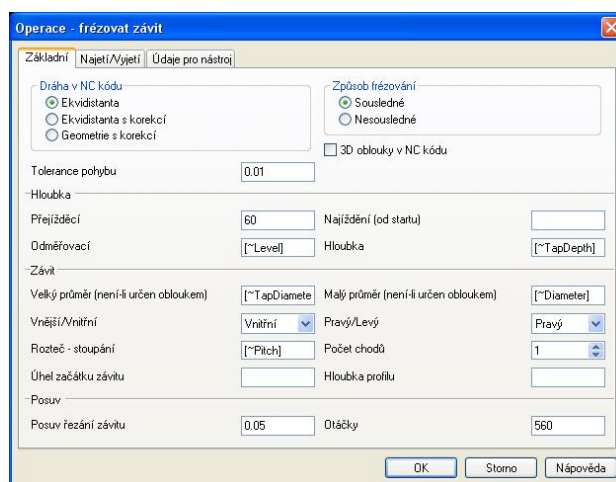
Tento obráběcí cyklus se používá pro řezání závitů pomocí závitové frézy. Stoupání závitu je součástí definice nástroje - závitové frézy. Lze frézovat vnitřní, vnější, pravý nebo levý závit. Závity mohou být vyřezány v jednom průchodu nebo ve více průchodech se zadanou hodnotou bočního kroku.



Obrázek 5.32 - Frézování závitů [19]



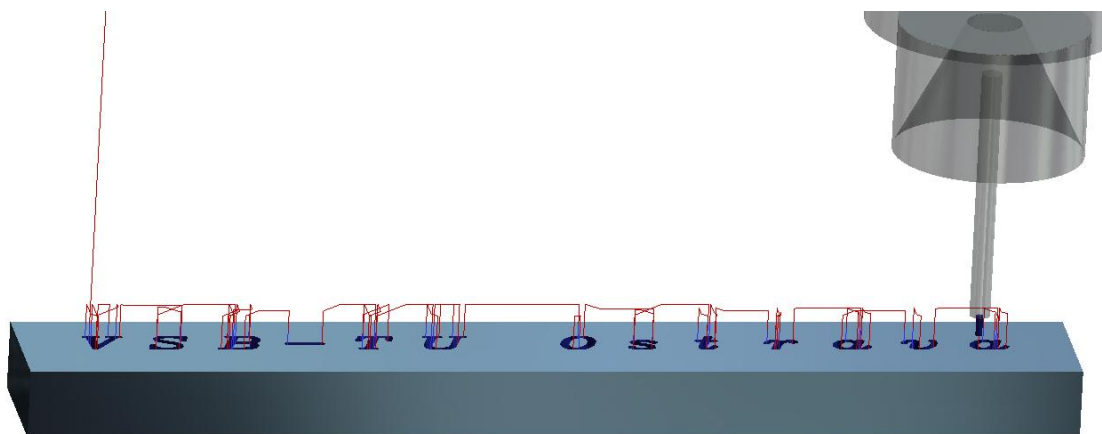
Obrázek 5.33 - Technologie frézování závitů



Obrázek 5.34 - Dialogové okno frézování závitů, EdgeCAM 11.75

5.11 Frézování textu

Používá se pro frézování textu, kde zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu je textový prvek. Textový prvek je možné vytvořit přímo v CAM systému volbou „vytvořit text“.



Obrázek 5.35 - Frézování textu

Text může být obroben různými druhy cyklů (koncentricky, řádkováním, nebo dráhou nástroje podle profilu).



Pojmy k zapamatování

Pozor na odlišnost: Obrábět lze pouze texty vytvořené příkazy pro tvorbu textového útvaru. Firemní loga ve formátu bitmapy nelze obrábět pomocí frézování textu.

Při frézování vystouplého textu lze zvolit tento postup:

- + definice (tvorba) textu v CAM systému,
- + definice hranice obrábění,
- + volba nabídky hrubování.



Zajímavost k tématu

Požadavek frézování přesně zadaného textu (importovaného z CAD modeláře) lze řešit také pomocí nabídek frézování kapes, nebo nabídky hrubování.

5.12 Gravírování

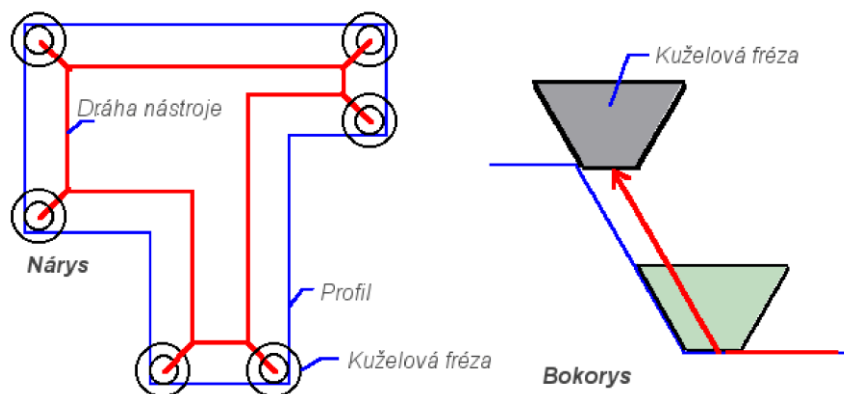
Gravírování se typicky používá pro zhotovení textu nebo loga na dokončeném modelu. Lze obrábět otevřené nebo uzavřené, 2D nebo 3D regiony. Tento typ obrábění je podobný obrábění po křivce, při kterém je křivka promítnuta na plochy součásti, ležící pod regionem jenž je obráběn.



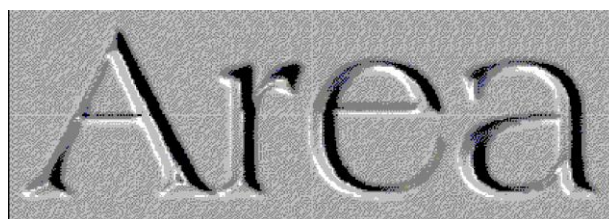
Pojmy k zapamatování

Pro gravírování se používá kuželový nástroj.

Následující obrázek ukazuje typickou dráhu nástroje při gravírování. V rozích nástroj vyjíždí nahoru, aby plně využil menšího průměru nástroje.



Obrázek 5.36 - Gravírování [33]



Obrázek 5.37 - Gravírování [33]

Pro gravírování existují různé předlohy v CAD/CAM systémech. Mnoho předloh pro gravírování je vytvořeno ve specializovaných systémech, které využívají více textových fontů, mají speciální funkce na úpravu textu nebo generování těchto předloh z naskenovaných podkladů. Z těchto specializovaných systémů je možné do CAM systému přenést vektorová data pomocí DXF souboru.

V EdgeCAMu je související nabídka *Ohraňování profilu*. Při této nabídce je podobná dráha nástroje jako u klasického frézování profilu. Rozdíl je ve způsobu obrábění vnitřních rohů, kdy nástroj vyjede až do roviny tvořícího profilu, aby využil menšího průměru nástroje a následně se vrátil do cílové hloubky.



Odměna a odpočinek

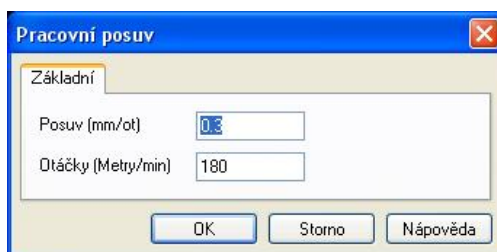
Gravírování je technologie, která nahrazuje ruční rytí. Vytváří nápis, logo, či ornament odebráním materiálu. Původní rytci pracovali s různě tvarovanými rydly a čakany a nápisy byly zvýrazňovány různými kovy, (například cínem, zlatem, stříbrem nebo mědí). Dříve rytci, kromě nápisů např. na náhrobní kameny, vytvářeli ornamenty, erby a ozdobné předměty. Později byla práce rytců směřována na výrobu informačních a reklamních tabulí, tiskařských štočků a různých razidel. V těchto oborech nachází uplatnění i moderní gravírování a pomalu tradiční způsoby výroby vytlačuje a nahrazuje.

Gravírování však nachází uplatnění ve všech oborech a firmách se signmakingovým (tj. vytvářejícím rozličné typy popisků, nápisů, symbolů, či ornamentů) pracovištěm.

5.13 Ruční frézování

Nabídka *Ruční frézování*, nebo také *Manuální frézování* slouží k jednoduchému a rychlému zadání místa obrábění, které je tvořeno jednoduchou geometrií. Většinou zde není možnost volby pokročilých nabídek (tedy bez nájezdů, výjezdu apod.).

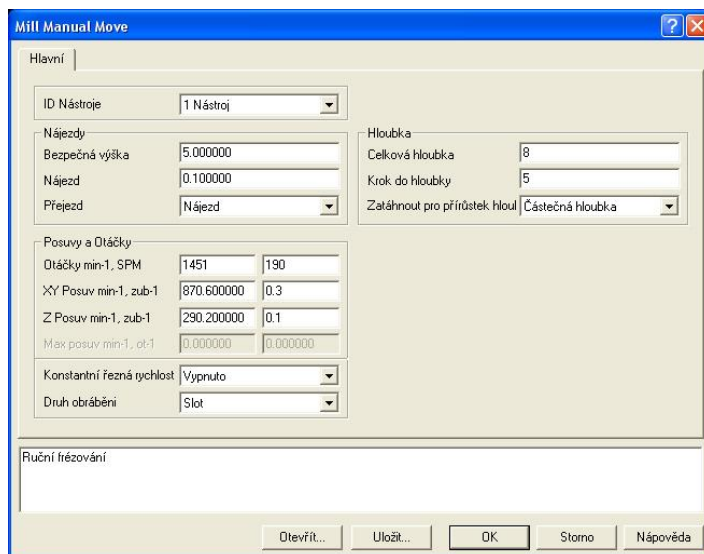
Úběr materiálu probíhá většinou jedním záběrem - tj. v jedné hloubce řezu. Zadávanou geometrií pro určení místa odebíraného materiálu je 2D geometrie (body, úsečky, kružnice, oblouky, apod.).



Obrázek 5.38 - Dialogové okno - Ruční frézování, EdgeCAM

V nabídce dialogového okna EdgeCAMu je možné zadávat jen tyto položky: pracovní posuv/rychloposuv, otáčky, posuv, výběr nástroje, apod. Tato volba je dostatečná pro rychlé a jednoduché zadání jednoduchého úběru, nebo krátkého přejezdu nástroje, kde se nevyžaduje přejezd rychloposuvem.

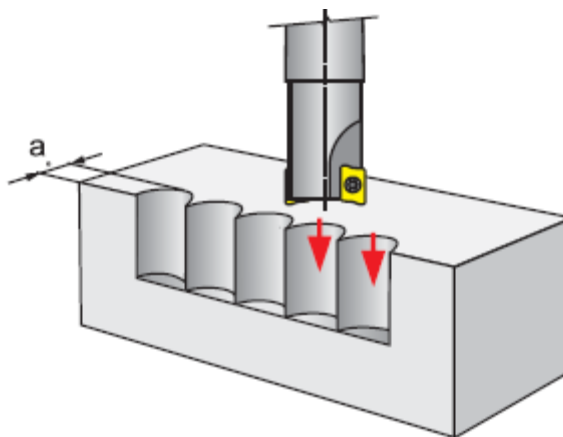
Např. v nabídce CAM systému Esprit je možné zadávat navíc nájezdy, přejezdy, atd. viz následující obr..



Obrázek 5.39 - Dialogové okno - Ruční frézování, Esprit

5.14 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.



Obrázek 5.40 - Zapichovací frézování [24]

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 předdokončovacích operačních úseků.

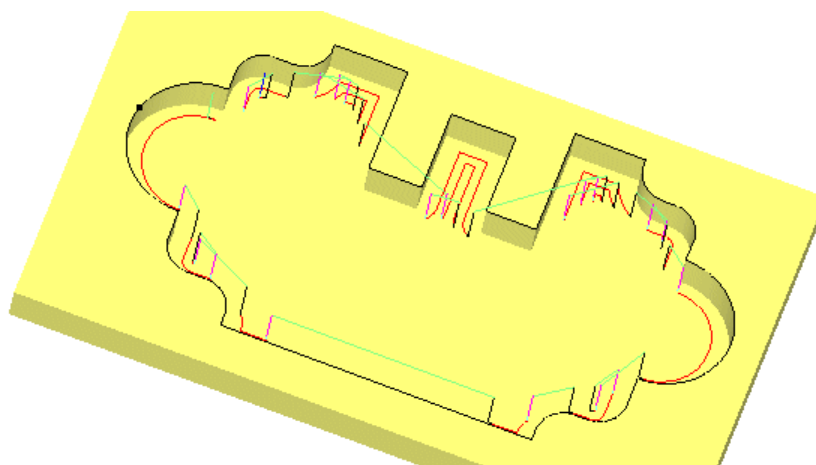


Zajímavost k tématu

Tato hrubovací strategie je označovaná v 3 osém obrábění jako Svislé hrubování, nebo BORE JET, nebo také vrtací hrubování.

5.15 Zbytkové obrábění 2.5 D

Tato strategie se používá pro odebrání zbytkového materiálu, který na obrobku zůstal po předchozím obrábění. Volí se menší průměr nástroje než u předchozího cyklu.



Obrázek 5.41 - 2.5 D zbytkové obrábění [19]



CD-ROM

Animace k jednotlivým obráběcím cyklům 2.5 osého frézování si může student vyvolat z CD-ROMu nebo je může nalézt na e-learningovém portálu. V jednotlivých adresářích jsou uvedeny animace a další ukázkové soubory. Tyto doplňkové ukázkové soubory k animacím představují většinou model dílce a zpracovaný technologický postup v daném CAM systému. Student si tak může lehce vyzkoušet práci na tvorbě daného cyklu obrábění, nebo komplexní obrobení součásti.

6 SIMULACE A VERIFIKACE PROCESU OBRÁBĚNÍ V CAM SYSTÉMU

Tato kapitola popisuje simulaci a verifikaci procesu obrábění, které umožňují CAM systémy.



Čas ke studiu: 1 hodina



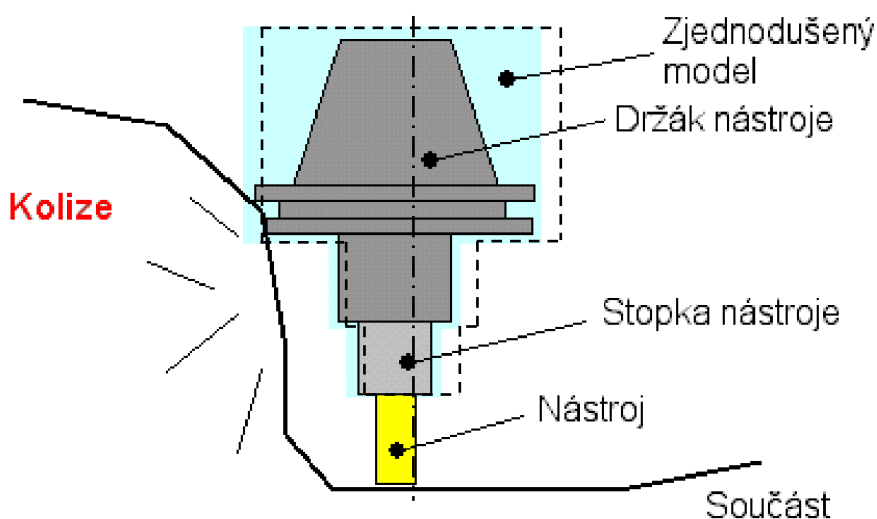
Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete umět popsat:

- + co je to simulace a verifikace,
- + k čemu slouží simulace a verifikace procesu obrábění,
- + možnosti simulace a verifikace,
- + konkrétní nastavení grafiky nástroje a držáku při simulaci v CAD/CAM systému EdgeCAM.



Výklad

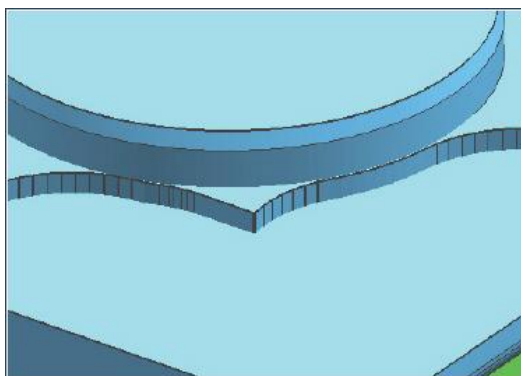
Další širokou oblastí CAM systémů, která ve značné míře přispívá ke zvyšování efektivnosti obrábění je kvalitní vizualizace a verifikace vytvořeného NC programu. Jednoduchá vizualizace a verifikace vytvořeného NC programu je již standardně vestavěna do většiny CAM systémů. Pomocí této verifikace lze kontrolovat kolizi nástroje s obrobkem nebo upínkami. Verifikace také analyzuje případný zbytkový materiál, nebo podřezání.



Obrázek 6.1 - Kolize držáku nástroje [33]

Některé CAM systémy dokáží simulovat a verifikovat kolize s materiálem a upínkami, nejen pro držák nástroje a vřeteno, ale i kompletní obráběcí stroj, včetně jeho plné geometrie a pohybů. Takové programy umožňují modelovat libovolné tvary nástroje, držáků, upínek,

svěráků apod. a ukládat je do knihoven. Pomocí speciálních modulů lze definovat rozměry a kinematiku konkrétního stroje, importovat jeho řídicí systém a provést simulaci a verifikaci pohybů stroje. Modelovaný obráběcí stroj je ovládán stejnými řídicími funkcemi, a proto se simulace stroje chová stejně jako reálný stroj v provozu. Tímto způsobem lze zvýšit spolehlivost obrábění a provést kontrolu funkcí stroje. Výhodou je prohloubení zkušeností programátorů a obsluhy bez vlastního použití stroje.



Obrázek 6.2 - Nedořezaný materiál - simulace v NX5

V případě výskytu kolizí, jsou hlášení o kolizích uspořádány a typově rozlišeny v samostatném okně. Některé simulátory např. AlfaCAM, SolidCAM umožňují nalezení odpovídajících symbolů kolizí na příslušných řádcích NC kódu. Přejít na kolizní řádek se pak odehraje prostým kliknutím na pozici v databázi kolizí.

Dalším důležitým krokem při simulaci výroby je možnost vytvoření partu (modelu součásti) po jednotlivých operacích a následně ho použít jako polotovár pro další operace, nebo jako obrys (future) pro další modelování.

Některé systémy umožňují simulaci uložit do komprimovaného *.exe souboru. Tento soubor lze pak spustit a prezentovat na jiném počítači bez instalované plné verze příslušného softwaru. Toto vylepšení umožňují např. SolidCAM. Některé systémy umožňují uložit simulaci do některého z formátů video souborů. Tyto videosekvence lze pak bez problémů prezentovat. To umožňuje např. EdgeCAM, kde se při této možnosti vybere příslušné komprimační zařízení a kvalita komprese.



Shrnutí pojmů 6.1. Možností simulace obrábění

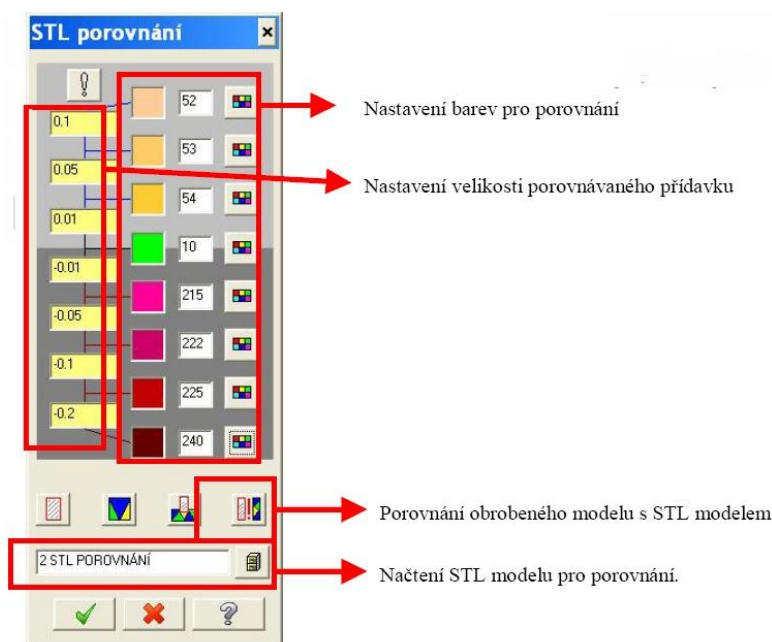
- + kontroluje kolize mezi nástrojem, stopkou nástroje, držákem nástroje včetně a obrobkem a upínkami,
- + analýza podřezání,
- + analýza geometrie a pohybů stroje,
- + vytvoření modelu součásti po jednotlivých operacích:
 - jako polotovar pro další operace,
 - jako obrys pro další modelování,
- + analýza velikosti zbytkového materiálu (přesnosti obrobeného povrchu),
- + porovnání obrobené součásti s modelem - možnost barevného a číselného zobrazení velikosti rozdílu,
- + provádění řezů na obrobeném tvaru
- + odměřování vzdáleností,
- + uspořádání a typově rozlišení kolizí,
- + možnost vytvoření obrysů (futures),
- + uložení simulace do video souborů a *.exe souboru, a další.

Simulace nástrojů a držáků v CAM systémech jsou nepostradatelnou součástí CAD/CAM systému. Umožňují virtuální pohled na průběh obrábění a zamezí tak případné kolizi držáku nástroje s obráběným materiálem nebo upínačem.

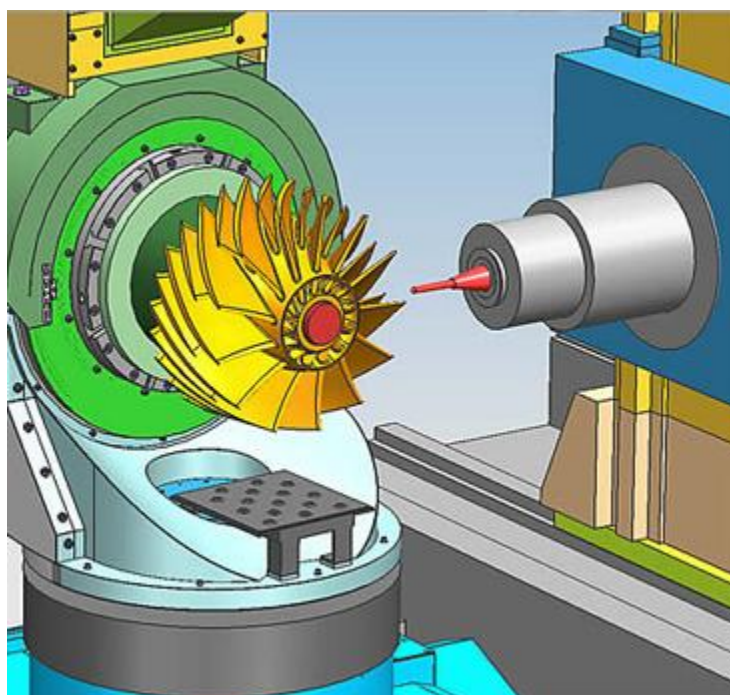


Zajímavost k tématu

Jedním z největších dodavatelů verifikací pro jednotlivé CAM moduly je firma MachineWorks se svým produktem CNC Simulation & Verification v 6.0. Ten využívá jako modul pro simulaci řada CAM systémů, např.: Catia, Climatron E, Edge CAM, Esprit, HyperMill, MasterCAM a jiné. Podobně jako řada jiných se i tento software skládá z jednotlivých modulů. Uživatel si může zvolit typ stupeň simulace. Mezi další programy pro vizualizaci výroby patří Vericut a Predator. U těchto systémů lze načíst G kód (ISO kód, dialog) a CAD/CAM systém vytvoří NC dráhu nástroje (APT, CL data) [10].



Obrázek 6.3 - Porovnání modelu s obrobkem (MasterCAM)



Obrázek 6.4 - Ukázka simulace obrábění v NX

V případě složitějších speciálních nástrojů (např. tvarové nástroje, frézy na ozubení, apod.) se nástroj vytvoří v CAD systému.

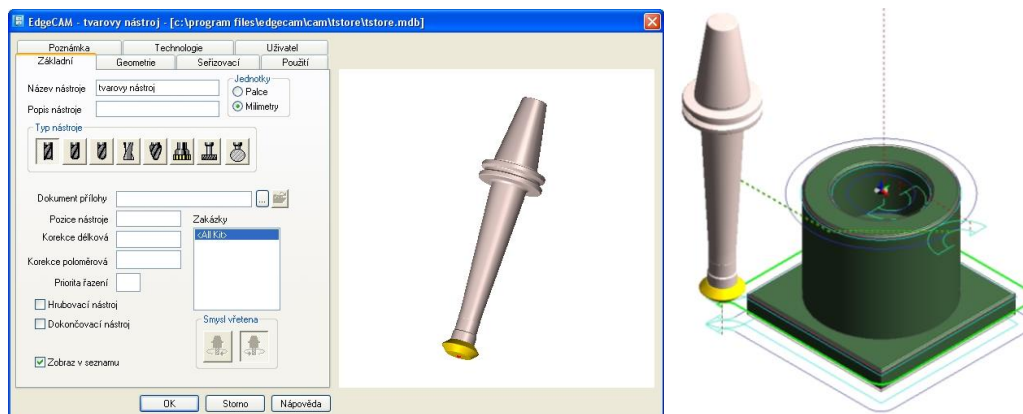


Zajímavost k tématu

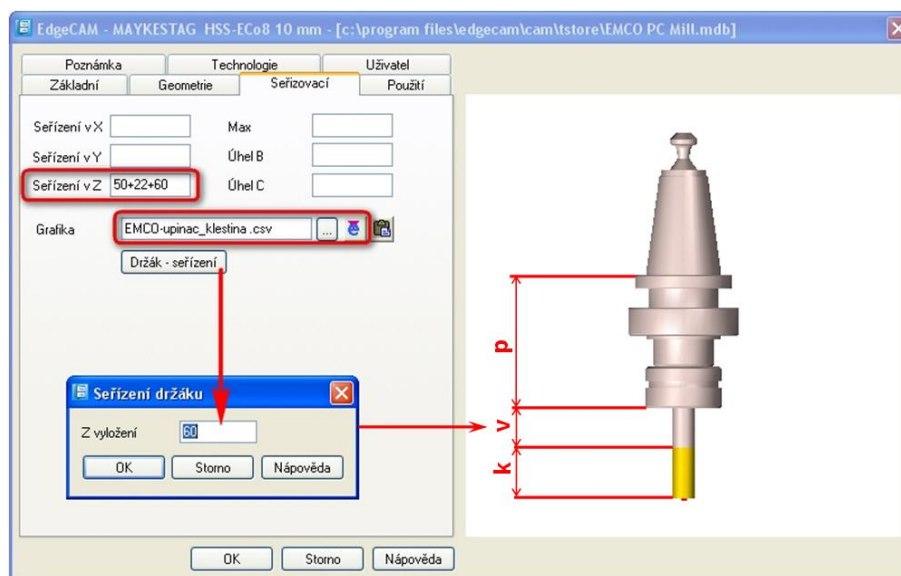
Někteří výrobci nástrojů a upínacích držáků spolupracují s výrobci CAM systémů, kde výsledkem jsou již vytvořené konkrétní databáze nástrojů a držáků dodávané spolu se softwarem CAM.

Většina CAM systémů umožňuje vlastní tvorbu konkrétní grafiky držáku nástroje. Držáky nástroje mohou být vytvořeny v CAD systému a následně vloženy do systému CAM. Dále je nutné provést sérii úkonů a úprav držáku (zvolení nové CPL roviny držáku, uložení umístění grafiky držáku, apod.) pro pozdější docílení bezproblémové simulace. Poté je držák uložen do databáze.

Tvorba grafiky nástroje a držáku lze využít hlavně pro simulaci speciálních tvarových nástrojů a upínačů.



Obrázek 6.5 - Tvorba nástroje na srážení hran a simulace srážení hrani



Obrázek 6.6 - Seřízení držáku – vyložení nástroje (EdgeCAM)

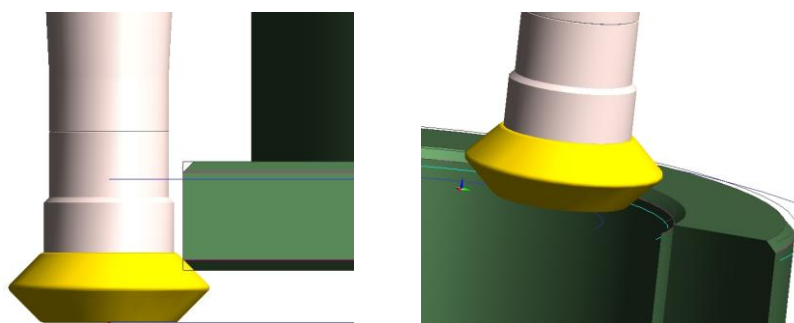
Hodnota označená jako „seřízení v Z“ se se určí ze vztahu:

$$Z = p + k + v \quad (8.1)$$

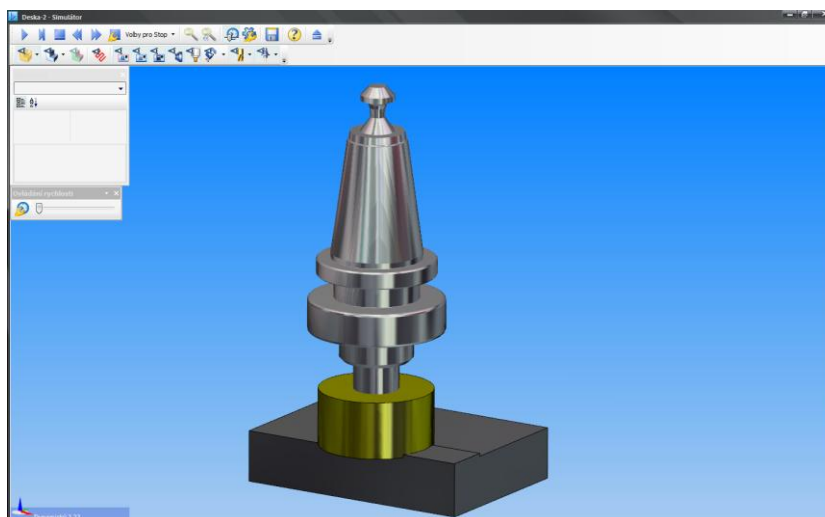
Kde: p je délka držáku,

k je délka řezné části,

v je délka vyložení.



Obrázek 6.7 - Simulace srážení hran nástrojem s prodlouženým držákem



Obrázek 6.8 - Náhled na simulaci obrábění v režimu ověření obrábění systému EdgeCAM

Simulátor ověření obrábění umožňuje pokročilejší simulaci a znázorňuje reálnější pohled na obrábění, kdy nástroj odebírá materiál. Běžně dostupné možnosti v modulu simulace jsou:

- + volby ovládání simulace (rychlosti, zastavení apod.),
- + volby pohledu,
- + různé možnosti zobrazení nástroje, držáku, obrobku a upínek,
- + volby zastavení simulace (na konci, při kolizi, při výměně nástroje, při otočení - indexaci stolu, při změně nástrojové hlavy, při úpravě upínek, při zadaných pohybech nástroje, apod.),
- + barevná indikace případné kolize nástroje nebo držáku s obrobkem,
- + volby nastavení vzhledu, tolerance přesnosti simulace,
- + zachycení snímků, videa animace,
- + nastavení řezu, atd.



Pojmy k zapamatování

Bez vytvoření konkrétní grafiky držáku nástroje, tedy s reálnými rozměry, by CAM systém simuloval jen nástroj s neodpovídajícími rozměry držáku, což neumožňuje zabránění případných kolizí držáku s obrobkem, upínacím zařízením, přípravky a strojem.



CD-ROM

Animace k simulacím procesu obrábění lze nalézt u jednotlivých obráběcích cyklů 2 osého soustružení a 2.5 osého frézování, které jsou uvedeny na CD-ROMu nebo je lze nalézt na e-learningovém portálu.

7 POSTPROCESOR - POSTPROCESSING

Tato kapitola popisuje problematiku postprocessingu - jedna z fází tvorby simulací a verifikací procesu obrábění, které umožňují CAM systémy.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete umět popsat:

- ✚ co je to postprocessing a postprocessor,
- ✚ k čemu slouží postprocessor,
- ✚ rozdělení a typy postprocesorů.



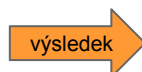
Výklad

Problematika postprocesorů je u CAM programů velmi důležitá. Co je vlastně postprocessing? Jednoduše řečeno, jde o překlad INC souborů (tedy již vygenerovaných drah nástroje) do řeči srozumitelné příslušnému řídicímu systému obráběcího stroje. Ve světě i u nás je mnoho řídicích systémů, včetně jejich nejrůznějších variant. Požadavky na postprocessing tedy vycházejí vždy od konkrétně použitého stroje.

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 řídicí systém a stroj.

Postprocessor přeloží vygenerované CL DATA (tedy již vygenerované dráhy nástroje) do řeči srozumitelné příslušnému řídicímu systému obráběcího stroje



NC program

Jinak řečeno, po dokončení tvorby všech obráběcích cyklů a po bezkolizové simulaci obrábění se vygeneruje NC kód. Toto se děje vyvoláním příslušné nabídky - *tvorby NC programu*, avšak za předpokladu, že je nastaven právě příslušný postprocesor. Pro vytvoření NC kódu použije CAM systém generátor NC kódu, který převede vytvořený technologický postup do instrukcí daného stroje a řídicího systému. Generátor NC kódu zapíše instrukce do

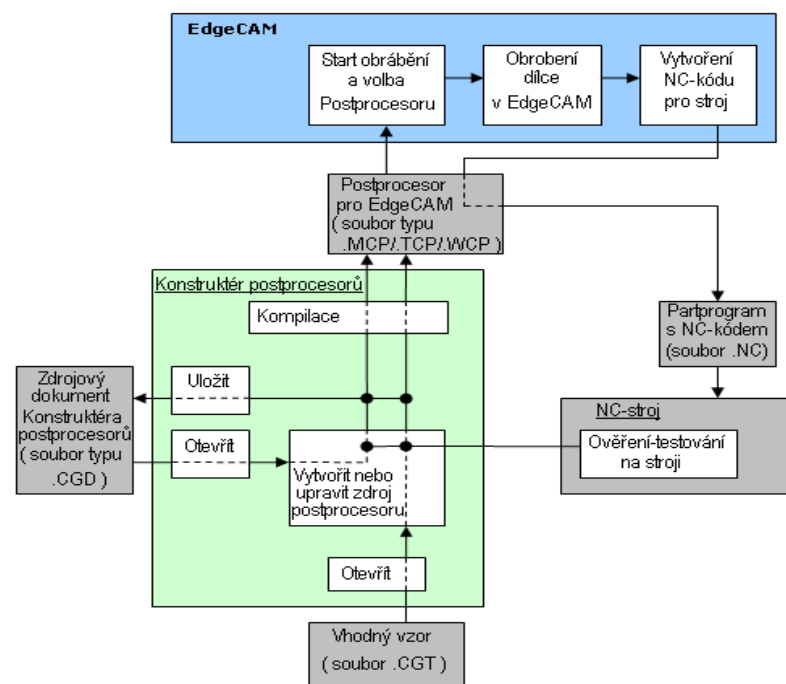
ASCII textového souboru. Tento soubor je možné ještě před odesláním do stroje upravovat. K úpravě se využije buď speciální NC editor dodávaný např. s balíčkem produktů CAM, nebo jednoduchý program, který je na každém počítači – např. poznámkový blok.

Uživatel má v podstatě tři způsoby jak postprocesor získat:

- + objednání postprocesoru „na míru“ u odborné firmy (většinou firmy distribuující CAM systém),
- + vyhledání v databázi existujících zákaznických postprocesorů CAM systému svého prodejce a porovnávání, který z nich v jeho podmínkách bude bezchybně pracovat,
- + Vytvoření vlastního postprocesoru (Např. pomocí speciálního modulu CAM systému tzv. konstruktéra postprocesoru).

Je mnoho řídicích systémů, včetně jejich nejrůznějších variant. Požadavky na postprocessing tedy vycházejí vždy od konkrétně použitého stroje. Důležitá je možnost postprocesory uživatelsky upravovat, konfigurovat, aby se jejich práce mohla přizpůsobit různým místním mutacím a zvyklostem.

Průběh tvorby postprocesoru pomocí EdgeCAMu a jeho vazeb je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 7.1 - Průběh vytvoření postprocesoru a jeho vazeb



Zajímavost k tématu

Výběr postprocesoru „překladače“ pro daný řídicí systém CNC stroje, na kterém se zhotoví daný výrobek, 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.

Výběr postprocesoru 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).

7.1 Rozdělení postprocesorů

Rozdělení postprocesorů lze charakterizovat podle více kritérií.

- + Podle počtu os pro které se generuje současný pohyb nástroje:
 - + jednoosé,
 - + dvouosé,
 - + trojosé, atd.
- + podle počtu řídicích systémů pro které se generuje NC program,
- + podle typu generovaných NC dat (diskrétní a “splinové” postprocesory).

Další možné rozdělení postprocesorů:

- + adaptivní,
- + neadaptivní,
- + parametrické,
- + neparametrické.

Programátor CNC stroje by měl být seznámen i s řízením posunových jednotek. Nelze optimálně nastavit pohony posunových jednotek komplexně pro všechny tvarové dílce. Řídicí systém umožňuje ovlivňovat chování pohonů díky uživatelskému nastavení. K tomu existuje celá řada technologických prostředků, např.

- + tolerance dodržení kontury,
- + spline interpolace,
- + kompresory,
- + objíždění rohů,
- + snižování kinematiky posuvů, apod.

Naskýtají se do jisté míry tři protichůdné požadavky – rychlost posuvu, přesnost kontury a kvalita povrchu. Programátor si musí být vědom, že se neustále pohybuje v pomyslném trojúhelníku těchto veličin.

8 TVORBA PRŮVODNÍ DOKUMENTACE

Tato kapitola popisuje problematiku tvorby průvodní dokumentace k NC programu, který řídí CNC obráběcí stroj.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování této hlavní kapitoly budete umět popsat:

- ✚ co je to průvodní dokumentace a k čemu slouží,
- ✚ co průvodní dokumentace obsahuje (jaké dokumenty a informace nese).

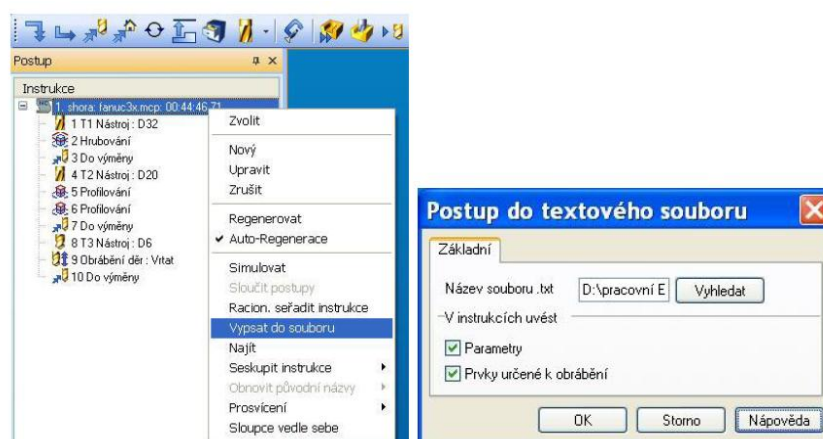


Výklad

CAM systémy nabízí tvorbu tzv. průvodní dokumentace. Tato dokumentace slouží operátorovi CNC stroje pro získání informací o řídicím programu vloženého do řídicího systému obráběcího stroje, dále pak pro lepší orientaci ve vytvořeném NC programu. Průvodní 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.).

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

Jednou z možností tvorby průvodní dokumentace je vytvoření výpisu jednotlivých instrukcí do textového souboru. Vytvořené instrukce lze vypsát do textového souboru, viz. následující obrázek.



Obrázek 8.1 - Získání výpisu instrukcí - EdgeCAM

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),
- + čas obrábění,
- + ustavení obrobku,
- + materiál obrobku,
- + použité strategie – možný grafický náhled,
- + kde jsou jednotlivé soubory umístěny a pod jakým názvem (NC program, CAM soubor, model, polotovár)
- + apod.



Zajímavost k tématu

EdgeCAM nabízí moduly: Manažer zakázek a Asistent zakázek, které jsou určeny pro práci se zakázkami.

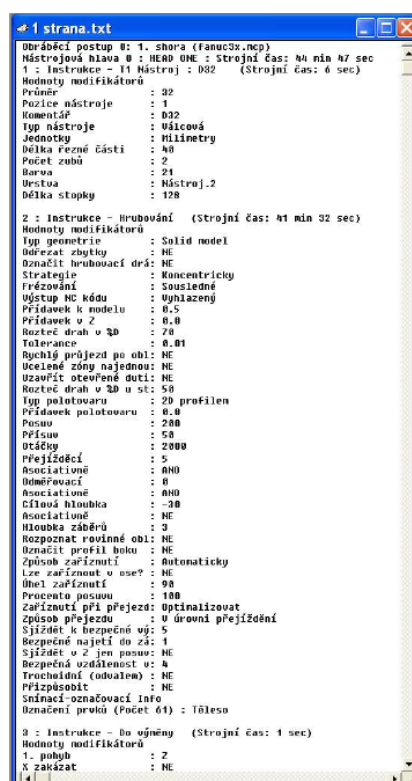
Mastercam

full MC- filename C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\FKOSAR.SONETECH\PLOCHA\FORMA.MCX
date 1.7.2008 7:31:14
MC- filename FORMA.MCX
file description Original Import File name = F:\MASTERCAM\MO-LN-1732.SLDPRT
Machine group Obráběcí postup-1
Group comment
Material STEEL mm - 440 STAINLESS - 400 BHN

op_type	comment	tl_nr	tl_name	tl_type	stock	Z-Stock	tol	filter	step_over	step_down	z_min	cycle time
HST-Contour		1	Freza pr.50 r6 SECO, SAP R/3 F 63240 , D 63236	Bull Mill	25	0	0,02			1	-108,96	00:19:44
HST-Contour		1	Freza pr.50 r6 SECO, SAP R/3 F 63240 , D 63236	Bull Mill	25	0	0,02			1	-108,96	00:19:44
Contour		2	Freza pr.63/43 Octomill SECO, SAP R/3 D 50747 F 50748	Chamfer Mill	0,5	0	0,03			2	-28	00:21:28
Contour		3	Freza pr.40 hlavicka super turbo SECO, SAP R/3 F 62310,D 46186	End Mill	-36,5	0	0,03				0	00:01:47
Contour		3	Freza pr.40 hlavicka super turbo SECO, SAP R/3 F 62310,D 46186	End Mill	0	0	0,03			4	-24	00:04:22
Contour		3	Freza pr.40 hlavicka super turbo SECO, SAP R/3 F 62310,D 46186	End Mill	0	0	0,03			4	-10	00:01:47
Contour		3	Freza pr.40 hlavicka super turbo SECO, SAP R/3 F 62310,D 46186	End Mill	0	0	0,03			4	-20	00:01:47

01:09:26

Obrázek 8.2 - Ukázka průvodní dokumentace - MasterCAM

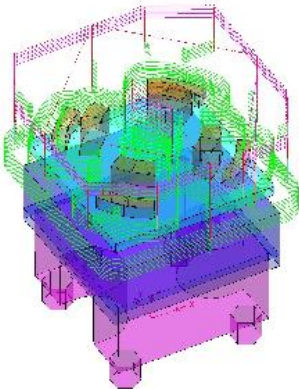


Obrázek 8.3 - Textový soubor výpisu instrukcí - EdgeCAM

Následují ukázky tzv. seřizovacích protokolů vytvořených v různých CAM systémech.

Zpracoval:	Bc. Hrušíák, Bc. Holeček					Zakázka:					Diplomová práce, Petr Holeček				
Datum:	21. červen 2006		Typ ŘS		TNC 530		Zákazník:					EM 13/8			
Součást:	Elektroda matrice CZ=0,40		Čas obrábění:		0: 30: 50		Název zakázky:								
Č. prg.	Typ	Nástroj	Průměr	Tip	Délka		Přídavek	Tolerance	Krok	Přejezd	Otáčky	Posuv	Najíždění	Čas	
					Břít	Dřík/ø									
14849501	Hrubování ofsetem	Rovná	10,	0,	26,	-	1,	0,02	4	106,	22280,	5015,	3510,	0: 1: 10	
14849601	Konstantní Z	Kulová	8,	4,	30,	-	0,	0,02	0,5	106,	49735,	11935,	8354,	0: 1: 7	
14849701	3D Ofset	Kulová	8,	4,	30,	-	0,	0,02	0,5	106,	49735,	11935,	8354,	0: 0: 18	
14849801	Konstantní Z	Kulová	8,	4,	30,	-	-0,225	0,02	0,1	106,	41780,	3340,	2338,	0: 13: 53	
14849901	3D Ofset	Kulová	8,	4,	30,	-	-0,225	0,02	0,04	106,	49735,	3980,	2786,	0: 7: 31	
148410001	Konstantní Z	Kulová	3,	1,5	18,	-	0,	0,02	0,2	106,	50000,	6000,	4200,	0: 3: 6	
148410101	Konstantní Z	Kulová	3,	1,5	18,	-	-0,225	0,02	0,2	106,	50000,	4500,	3150,	0: 3: 45	
						-									
						-									
Poznámky: Min. hladina obrábění Z = 63 !															

Obrázek 8.4 - Ukázka seřizovacího protokolu pro výrobu elektrody EM13/8 – HSC technologie – DelCAM

		Setup Sheet				
Diameter	Tip Radius					
12,	0,					
Length	30,					
Tool Type	Rovná					
Tool Number						
						
Toolpath Type	Hrubování ofsetem					
Stepover	9,					
Stepdown	0,9657					
Tolerance	0,1					
Thickness	1,					
Cutting Speed	800,					
Plunge Speed	600,					
RPM	2500,					
Cutting Time	0: 19: 21					
Boundary	-					
SafeZ	106,					
Toolpath X min	-36,3					
Toolpath X max	36,3		Date	06. èerven 2006	Toolpath ID/ TAP File	148495 (Viz kombinovaný NC soubor)
Toolpath Y min	-36,3		Project	Vandalismussicherung		
Toolpath Y max	36,3		Part	Matrice		
Toolpath Z min	63,		Description			
Toolpath Z max	106,		CAD Model	EM 13/8	Session File	Elektroda matrice CZ=0,40

Obrázek 8.5 - Ukázka seřizovacího protokolu pro výrobu elektrody EM13/8 – HSC technologie - DelCAM

Operation List of MO-LN-1732_SONE1.MCX	
Proj/Part No.:	Date : 07/01/08
Drawing No. :	Customer :
Prog. No. : 1	Programmer :
	
Tool type : T0101: specific tool type - Vrták pr.58 3D Walter, SAP R/3 V 41791, D 41792 Kód výrobce : Holder/Insert : / Vrták pr.58 3D Walter, SAP R/3 V 41791, D 41792 Setup length : Spindle RPM : 549 Feedrate UPR : 0.12 Poloměr rohu : 0 Délková korekce : 1 Tool chan. D.Z: 9.8425, 9.8425 Komentář : Lathe Drill	
	
Tool type : T0201: specific tool type - OD ROUGH RIGHT - 80 DEG. Kód výrobce : Holder/Insert : MWLN 2525M 08 / CNMG 12 04 08 Setup length : Spindle RPM : 550 Feedrate UPR : 0.5 Poloměr rohu : 0.8 Délková korekce : 1 Tool chan. D.Z: 9.8425, 9.8425 Komentář : Soustružení hrubováním	
	
Tool type : T0201: specific tool type - OD ROUGH RIGHT - 80 DEG. Kód výrobce : Holder/Insert : MWLN 2525M 08 / CNMG 12 04 08 Setup length : Spindle RPM : 130 Feedrate UPR : 0.35 Poloměr rohu : 0.8 Délková korekce : 1 Tool chan. D.Z: 9.8425, 9.8425 Komentář : Soustružení hrubováním	

Obrázek 8.6 - Nástrojový list – MasterCAM

MO-LN-1732_SONE1.NC
eMastercam.com
YOUR ONLINE MASTERCAM RESOURCE

ZÁKLADNÍ INFORMACE

Název souboru: C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\FKOSAR.SONETECH\PLOCHA\FORMA.MCX
 NC soubor: C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\FKOSAR.SONETECH\PLOCHA\MO-LN-1732_SONE1.NC
 Číslo programu: 0
 Datum: 07-01-08
 Název: Forma
 Popis operace: Frézování 1. strana
 Zákazník: SONETECH
 Programátor: FK
 Poznámka:

PART IMAGE

POLOTOVAR

Materiál: ALUMINUM mm - 2024

NÁSTROJE

NÁSTROJ	POPIS NÁSTROJE	DIA OFF (M) OFF (L)	LEN OFF (M)	DIAM (M)	C.RAD (M) RAD (L)	MIN Z
T1	FREZA PR.50/R6 SECO, SAP R/3 F 63240 , D 63236	D0	H1	50.000mm	6.000mm	Z-108.960mm
T2	FREZA PR.63/43 OCTOMILL SECO, SAP R/3 D 50747 F 50748	D2	H2	63.000mm	-	Z-28.000mm
T3	FREZA PR.40 HLAVICKA SUPER TURBO SECO, SAP R/3 F 62310,D 46186	D3	H3	40.000mm	-	Z-24.000mm

OPERATION LIST

T1	TOOL DESCRIPTION	CUTTING PARAMETERS	OPERATION INFO
 FREZA PR.50/R6 SECO, SAP R/3 F 63240 , D 63236	Tool Number: 1	Coolant: Flood	Max X: +76.45
	Diameter Offset: 0	Spindle: 1200 RPM	Min X: -76.54
	Length Offset: 1	Direction: CW	Max Y: +27.43
	Diameter: 50.000	Feed Rate: 1000. MM/MIN	Min Y: -27.43
	Corner Rad: 6.000	Plunge: 1000. MM/MIN	Max Z: +5.00
	Number of Flutes: 6	Control Comp: Computer / Left	Min Z: -108.96
	Overall Length: 160.000	Tip Comp: Tip	
	Flute Length: 150.000		
	Material: HSS		
OP 1: G54 M.FINISH HMM STOCK LEFT WALLS: 25. STOCK LEFT FLOORS: .5 SEKCE-3			
OP 2: G54 M.FINISH HMM STOCK LEFT WALLS: 25. STOCK LEFT FLOORS: .5 SEKCE-3			
ESTIMATED OPERATION TIME = 00 HOURS, 32 MINTUES, 00 SECONDS			
T2	TOOL DESCRIPTION	CUTTING PARAMETERS	OPERATION INFO
 FREZA PR.63/43 OCTOMILL SECO, SAP R/3 D 50747 F 50748	Tool Number: 2	Coolant: Off	Max X: +194.2
	Diameter Offset: 2	Spindle: 1159 RPM	Min X: -186.50
	Length Offset: 2	Direction: CW	Max Y: +139.47
	Diameter: 63.000	Feed Rate: 900. MM/MIN	Min Y: -139.48
	Corner Rad: 0.000	Plunge: 900. MM/MIN	Max Z: +100.00
	Number of Flutes: 4	Control Comp: Wear / Left	Min Z: -28.00
	Overall Length: 50.000	Tip Comp: Tip	
	Flute Length: 5.000		
	Material: HSS		
OP 3: G55 CONTOUR SEKCE-3			
ESTIMATED OPERATION TIME = 00 HOURS, 09 MINTUES, 09 SECONDS			

Obrázek 8.7 - Ukázka průvodní dokumentace – MasterCAM



Další zdroje

Další příklady průvodní dokumentace (postupového a nástrojového listu) jsou uvedeny ve studijní opoře "Týmová cvičení z CAD/CAM systémů v obrábění".

9 ZÁVĚR

V posledních letech prožívá rozkvět výroba modelů, forem, zápustek a jiných tvarově složitých součástí v různých odvětvích strojího průmyslu. K tomuto účelu jsou využívány nejmodernější numericky řízené CNC obráběcí stroje, ale i stroje starší výroby, u společností, které nemají takové možnosti na zavedení nejnovějších technologií.

V důsledku zvyšující se konkurence na našem i světovém trhu roste také potřeba zavádění moderních technologií do našich podniků. Tyto nové technologie nasazované v oblasti obrábění (např. elektroerozivní obrábění, obrábění laserem a vodním paprskem, suché obrábění, HSC obrábění) popř. uplatnění nových pracovních cyklů u řezných nástrojů, si vyžaduje nasazení počítačem řízené číslicové stroje na základě aplikace dostupných CAD/CAM systémů.

Vývojový pracovníci programující moduly CAM systémů se snaží zjednodušit a ulehčit práci programátorů CNC strojů vytvářením softwarů s uživatelsky jednoduchou a intuitivní obsluhou.

Je potřebné také sladit nároky konstruktéra a technologa. Praxe ukazuje, že při výrobě tak složitých dílů, jako jsou tvarové části forem, není vhodné hledat úsporu v kumulaci profesí pro oblast CAD a oblast CAM, tzn. zaměstnávat konstruktéra a programátora v jedné osobě, se nevyplácí. Tato skutečnost snižuje šanci být konkurenceschopným. Má-li být plně využíván kvalitní CAD/CAM software, pak záběr potřebných znalostí je velmi široký. Jedná se jak o znalosti v oblasti konstrukční, tak v oblasti programování a výroby. Tento obrovský záběr by byl schopen zvládnout jen mimořádně výjimečný jedinec.

Vyspělé CAD/CAM systémy umožňují použití nových technologií a postupů, kterými lze docílit zvýšení efektivnosti obrábění. Použitím vhodných strategií obrábění lze dosáhnout snížení času obrábění, zvýšené životnosti nástroje a v neposlední řadě zlepšení kvality obroběného povrchu. Různé strategie mohou také ovlivnit rozměrovou přesnost obrábění.



Zajímavost k tématu

V praxi se mohou vyskytovat určité problémy při práci s CAM systémy. Jsou to např.:

- ✚ nízká kvalita vstupních importovaných dat, jako jsou tzv. „nesešité modely“,
- ✚ komplikované určování dělicí plochy s ohledem na podřezy,
- ✚ rostoucí požadavky na rozměrovou přesnost dílů,
- ✚ rostoucí požadavky na kvalitu povrchu dílu (na funkční vlastnosti povrchu),
- ✚ časová náročnost konstrukce a výroby zápustek,
- ✚ změnová řízení v různých fázích návrhu, případně i ve fázi výroby.

LITERATURA

- [1] BITERMAN, M.; SANDSTROM D. *Curvilinear Tool-Path Method for Pocket Machining*. Journal of Manufacturing science and Engineering. November, 2003, Vol. 125. s 709-714.
- [2] CIMR, I. Prezentace společnosti SolidVision, s.r.o. Konference ERIN 2009, VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [3] CZÁN, A.- PILC, J. – ĎURECH, L.: *Zvyšovanie produktivity aplikáciou progresívnych rezných nástrojov*, Strojárstvo 1/2005, ISSN 1335-2938, str. 32-33
- [4] DP Technology Corp. *Graphics and Machining Processor*. ESPRIT, USA, 1993.
- [5] GE Fanuc Automation CNC Europe, CNC série i: Přesné, rychlé a spolehlivé CNC, [cit.2011-02-24]. Dostupné na WWW: < <http://www.fanucfa.com/cz-cz/binarywriterservlet?imgUid=9bf705c2-d74b-15ff-7858-c18cc0298603&uBasVariant=33333333-3333-3333-3333-333333333333> >
- [6] 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.
- [7] HATALA, M. *Simulácia technologických procesov*. 1. vyd. Prešov : FVT TU, 2007. 85 s. ISBN 978-80-8073-756-6.
- [8] 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.
- [9] HEIDENHAIN: *Průvodce smarT.NC iTNC 530*. Německo: Traunreut, 11/2004. 121 s.
- [10] HILDER, T. *CNC-mozek stroje*. MM Průmyslové spektrum, 2003, č.5, s. 38-39. ISSN 1212-2572.
- [11] JANDEČKA, K.; KOŽMÍN P. *Aspekty využívání nových typů interpolací v programování NC strojů*. Strojírenská technologie, roč. VIII, č. 4, prosinec 2003, s. 16-19.
- [12] JANDEČKA, K. ;ČESÁNEK, J. ;KOŽMÍN, P.: *Programování NC strojů*. Plzeň, ZČU 2000, 159s.ISBN 80-7082-692-4.
- [13] JANÍČEK, L. *Ekonomická prospěšnost nasazení CA-technologií*. MM průmyslové spektrum, č.3 – březen 2000. str. 12 -13

- [14] 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: <<http://www.kvs.vslib.cz/>>
- [15] KOUSAL L. *Návrh reklamních předmětů s využitím CAD/CAM systém EdgeCAM*, bakalářská práce FS, VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [16] KOŽMÍN, P. *Kdy nasadit NC technologie a CAM řešení*. Příspěvek na semináři pořádaný na KTO s firmou Expert&Partner. Plzeň, ZČU únor 2001.
- [17] KURIC, I.; KOŠTURIK 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.
- [18] MANLING F. *Současný stav a trendy v oblasti CAx techniky*, WEB časopis "Počítačom podporované systémy v strojárstve", srpen 2000.
- [19] MecSoft Corporation RhinoCAM. *Začínáme s RhinoCAMem*, uživatelská příručka. 150 s. 2005.
- [20] MRKVICA, I. , UHLÁŘ, V. *Matematic Model of the Milling Head First Contact*. Technologické inženieerstvo, 2/2007, s. 49-51. ISSN 1336-5967.
- [21] 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.
- [22] PANTHERACE. *EdgeCAM* [online]. 2007 [cit. 15.dubna 2007]. URL <<http://www.edgecam.cz>>.
- [23] PETERKA J.; KURIC, I.. *CAD/CAM systémy – významný prvok integrovanej výroby*. časopis Infoware, č.8/98, Bratislava, 1998, s.24-27.
- [24] PRAMET Tools, s.r.o..*Příručka obrábění*, 2004. Oddělení marketingu, pracoviště DTP 12/2003.
- [25] ŘEZNÍČEK, L.; FINK M. *EdgeCAM Základy programování CNC obráběcích strojů a sbírka řešených příkladů*. SPŠ a SOU Trutnov, 2005.
- [26] 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.
- [27] SADÍLEK, M. *Zvyšování efektivnosti obrábění s využitím CAD/CAM systému*. - disertační práce. Ostrava: Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 123 stran, 23 příloh.

- [28] SADÍLEK, M. *Vyspělé strategie ve 3D frézování*, MM Průmyslové spektrum, 2004, č.12, s. 46,47. ISSN 1212-2572.
- [29] SADÍLEK, M.; KRATOCHVÍL J. *Zkracování strojního času při frézování kapes*. Technologické inženýrstvo, 2005, č.1, roč. II., Vedecko-technologická společnost při Žilinské univerzitě, s. 57 – 60. ISSN 1336 – 5967.
- [30] SIEMENS AG, SINUMERIK 810D/840D/840Di, SinuTrain SW5.2, Program Example: Turning a Ball Pin, 2000.
- [31] SOLIDCAM. *Zaškolovací kurz k modulu Frézování – Soustružení*, SolidCAM + SolidWorks, 2007, s 232.
- [32] SONETECH s.r.o. *Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje - EdgeCAM - Soustružení – EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
- [33] SONETECH s.r.o. *Integrovaný programovací systém pro číslicově řízené stroje - EdgeCAM - Frézování – EdgeCAM intelligent manufacturing*. Uživatelská příručka, 80 stran, pdf dokument, 2005.
- [34] 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.
- [35] <http://www.dpotechnology.com>. – stránka výrobce CAD/CAM systému Esprit.
- [36] <http://www.edgecam.com> – stránka výrobce CAD/CAM systému EdgeCAM.
- [37] <http://www.mecsoft.com> - stránka výrobce CAD/CAM systému RhinoCAM.
- [38] <http://www.rhinocam.cz> - stránka výrobce CAD/CAM systému RhinoCAM.
- [39] http://www.orlicko.cz/pm/ncspeed/NCspeed_WorkNC/Hlavni_stranka_NCspeed_WorkNC.htm - informace o optimalizačním softwaru NC speed.
- [40] <http://link.springer.de> - Informační servis nakladatelství Springer - Verlag,
- [41] <http://www.formtec> - Firemní stránky společnosti Formtec
- [42] <http://www.cgtech.com> - Firemní stránky společnosti CGTech,
- [43] <http://www.ugs.cz/default.aspx?section=31&server=1&article=1035> - Firemní stránky společnosti Siemens Product Lifecycle Management Software (CZ) s.r.o..
- [44] <http://cs.wikipedia.org/wiki/PLM> - elektronická encyklopedie, PLM- Product Lifecycle Management. [cit. 4. března 2010].