

Výroba 3D modelu na CNC frézovačce

Alexander Švec

Bakalářská práce
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Alexander ŠVEC**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výroba 3D modelu na CNC frézce**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Navrhněte CAD model daného dílu
3. Zvolte technologii výroby
4. Proveďte přípravu dat pro CNC frézku
5. Realizujte výrobu dílu

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

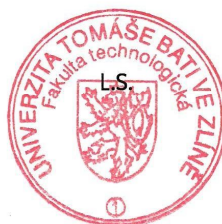
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Černý**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2. 6. 2010

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca analyzuje výrobu skúšobného modelu vstrekovacej formy na CNC frézovačke. Teoretická časť práce popisuje teóriu obrábania pri frézovaní, rozdelením frézovačiek, fréz a materiálov, ktoré sa používajú na výrobu fréz. Ďalej sa práca zaoberá stručným popisom najpoužívanejších CAM systémov. V praktickej časti sa rieši samotná výroba modelu od prípravy výroby až po samotné zhotovenie na CNC frézovačke.

Kľúčové slová: frézovanie, fréza, CAM systémy, frézovačka, CNC frézovačka, obrábanie, vstrekovacia forma

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the production of a pilot model of the injection mold on the CNC milling machine. The theoretical part of the thesis is aimed at the theory of cutting at milling, the division of milling machines, milling tools and materials used for producing milling tools as well. Moreover, the work is dealing with the concise description of the most used CAM systems. The practical part of the thesis is devoted to the production of the pilot model itself, from the run-in of production to very making on the CNC milling machine.

Keywords: milling, milling tool, CAM systems, milling machine, CNC milling machine, cutting, injection mold

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu mojej bakalárskej práce, Ing. Jakubovi Černému, za odborné vedenie, poskytnuté rady, za čas a pozornosť, ktorú mi venoval pri vypracovaní teoretickej časti, ako aj pri výrobe modelu vstrekovacej formy.

Ďalej ďakujem Ing. Viere Chudej a spoločnosti Contitech Vegum s. r. o. Dolné Vestenice za poskytnutie CAD modelu vyrábanej vstrekovacej formy.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČASŤ	12
1 REZNÝ PROCES.....	13
1.1 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBACIEHO PROCESU	13
1.1.1 Fázy obrábania.....	13
1.1.2 Kinematika rezného procesu.....	14
1.2 TVORENIE TRIESKY	15
1.2.1 Plastická deformácia v oblasti tvorenia triesky pri ortogonálnom rezaní.....	16
1.2.2 Primárna plastická deformácia.....	16
1.2.3 Sekundárna plastická deformácia.....	18
1.2.4 Druhy tvárnených triesok	19
1.2.5 Objemový súčiniteľ triesok.....	19
1.3 SPÔSOBY A DRUHY FRÉZOVANIA	20
1.3.1 Spôsoby frézovania.....	20
1.3.2 Druhy frézovania.....	22
1.3.3 Typy frézovaných plôch a používané nástroje.....	23
2 STROJNÉ VYBAVENIE.....	24
2.1 KONVENČNÉ STROJE- FRÉZOVAČKY	24
2.1.1 Základné rozdelenie frézovačiek.....	24
2.1.2 Prídavne zariadenia frézovačiek.....	27
2.2 CNC STROJE- CNC FRÉZOVAČKY	28
2.2.1 Základné účinky použitia CNC strojov	28
2.2.2 Rozdelenie CNC strojov.....	30
2.2.3 CNC frézovačky	30
2.2.3.1 Súradnicový systém	31
2.2.3.2 2 a 2,5 osé CNC frézovačky.....	32
2.2.3.3 3 osé CNC frézovačky	32
2.2.3.4 4 osé CNC frézovačky	33
2.2.3.5 5 osé CNC frézovačky	34
2.2.3.6 Prídavne zariadenia	34
3 NÁSTROJE NA FRÉZOVANIE	35
3.1 ROZDELENIE FRÉZ	35
3.2 MATERIÁLY NA VÝROBU FRÉZ	39
3.2.1 Rozdelenie materiálov rezných častí nástrojov	40
3.2.1.1 Nástrojová oceľ	40
3.2.1.2 Spekané karbidy.....	41
3.2.1.3 Cermety	42
3.2.1.4 Rezná keramika	42
3.2.1.5 Polykryštalický kubický nitrid bóru- PKNB	44
3.2.1.6 Polykryštalický diamant- PD	44
4 CAD/CAM.....	45

4.1	CAD- COMPUTER AIDED DESIGN- POČÍTAČOVÁ PODPORA KONŠTRUKCIE	45
4.2	CAM- COMPUTER AIDED MANUFACTURING- POČÍTAČOVÁ PODPORA NÁVRHU DRÁH NÁSTROJOV PRI OBRÁBANÍ	46
4.3	PREHEAD CAM SYSTÉMOV.....	47
4.3.1	NX CAM Express.....	47
4.3.2	SurfCAM.....	49
4.3.3	Catia V5	50
4.3.4	EdgeCAM	50
4.3.5	AlphaCAM.....	50
5	ZHRNUTIE TEORETICKEJ ČASTI.....	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	52
6	ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ZVOLENOM 3D MODELÝ.....	53
7	PRÍPRAVA VÝROBY V CAM SYSTÉME NX	54
7.1	HORNÁ DOSKA	54
7.2	DOLNÁ DOSKA	58
7.3	VLOŽKA.....	60
7.3.1	Vložka- prvá strana.....	60
7.3.2	Vložka- druhá strana.....	62
7.4	STREDNÁ DOSKA	64
7.4.1	Stredná doska- prvá strana.....	64
7.4.2	Stredná doska- druhá strana	67
8	POSTPROCESOR	69
9	VÝROBA VSTREKOVACEJ FORMY	70
9.1	VÝROBA HORNEJ DOSKY	71
9.1.1	Výroba hornej dosky- nástroj 10V.....	71
9.1.2	Výroba hornej dosky- nástroj 8K.....	72
9.1.3	Výroba hornej dosky- nástroj 3K.....	72
9.2	VÝROBA DOLNEJ DOSKY.....	74
9.2.1	Výroba dolnej dosky- nástroj 10V.....	74
9.2.2	Výroba dolnej dosky- nástroj 6V.....	75
9.2.3	Výroba dolnej dosky- nástroj 6K.....	75
9.2.4	Výroba dolnej dosky- nástroj 3K.....	76
9.3	VÝROBA VLOŽKY	77
9.3.1	Výroba vložky- prvá strana	77
9.3.1.1	Výroba vložky- prvá strana- nástroj 10V.....	77
9.3.1.2	Výroba vložky- prvá strana- nástroj 8K.....	77
9.3.2	Výroba vložky- druhá strana	78
9.3.2.1	Výroba vložky- druhá strana- nástroj 10V.....	78
9.3.2.2	Výroba vložky- druhá strana- nástroj 6V.....	79
9.3.2.3	Výroba vložky- druhá strana- nástroj 3K.....	79
9.4	VÝROBA STREDNEJ DOSKY	81
9.4.1	Výroba strednej dosky- prvá strana	81

9.4.1.1	Výroba strednej dosky- prvá strana- nástroj 10V	81
9.4.1.2	Výroba strednej dosky- prvá strana- nástroj 3K.....	82
9.4.2	Výroba strednej dosky- druhá strana	83
9.4.2.1	Výroba strednej dosky- druhá strana- nástroj 10V	83
9.4.2.2	Výroba strednej dosky- druhá strana- nástroj 3K.....	83
9.5	FOTKY ZLOŽENEJ VSTREKOVACEJ FORMY.....	85
ZÁVER		87
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY		88
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....		89
ZOZNAM OBRÁZKOV		90
ZOZNAM TABULIEK		94
ZOZNAM PRÍLOH		95

ÚVOD

V strojárskjej výrobe bol v poslednom období zaznamenaný búrlivý rozvoj. Týkal sa všetkých častí obrábacieho procesu. Významným spôsobom sa zmenili obrábacie stroje, keď z klasických obrábacích strojov, sa postupne vyvinuli dnešné CNC obrábacie stroje s vysokou presnosťou, produktivitou a mnohostranným využitím. Podobne sa prudko vyvíjali nástroje na obrábanie, keď sa zásadne zmenili materiály a samotná konštrukcia nástrojov. Tie dnešné ponúkajú najmä vysokú produktivitu obrábania, životnosť a kvalitu.

Účelom práce je popísať podrobnejšie technológiu frézovania. Teoretická časť sa zaoberá základnými pojmami z oblasti obrábania- frézovania, popisuje základné druhy strojov a nástrojov pre frézovanie, ako aj materiály, ktoré sa používajú pre výrobu fréz. Samostatná časť je venovaná moderným strojom CNC frézovačkám, ako aj popisu CAD/CAM systémov. Praktická časť popisuje výrobu zvoleného 3D modelu na 3 osej CNC frézovačke v školských dielňach. Výsledkom práce je skúšobný model vstrekovacej formy, ktorá sa používala na výrobu dielov pre Škodu Octavia.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 REZNÝ PROCES

Rezný proces sa realizuje v obrábacom systéme stroj, obrobok, nástroj, pričom prioritným výstupom sú parametre obrobenej polochy. [1]

1.1 Technologické charakteristiky obrábacieho procesu

Pri obrábaní dochádza k oddeľovaniu čiastočiek materiálu obrobku britom nástroja. Vlastný proces fyzikálno-mechanického oddeľovania materiálu obrobku sa špecifikuje ako rezanie, alebo rezný proces. V závislosti na spôsoboch oddeľovania materialu sa rozlišuje rezný proces kontinuálny (sústruženie, vrtanie, vyvrtavanie), diskontinuálny (hoblovanie, obrážanie) a cyklický (frézovanie, brúsenie). Reálny rezný proces prebieha za určitých rezných podmienok, ktoré sú súčasťou obrábacích podmienok. [1]

1.1.1 Fázy obrábania

Jednotlivé obrábacie operácie až na výnimky prebiehajú vo dvoch fázach:

- Hrubovanie
- Obrábanie na čisto

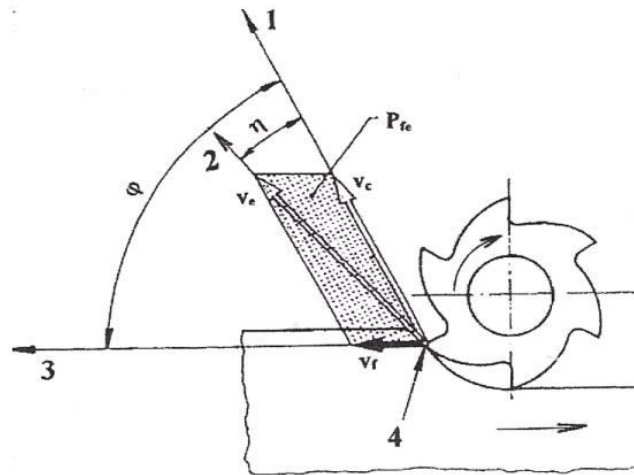
Pri hrubovaní platia nasledujúce priority procesu:

- Maximálny možný objem odobratého materiálu
- Zachovanie bezpečnosti britu
- Trvanlivosť britu
- Kontrolovaný odchod triesky

U obrábania na čisto:

- Kontrolovaný odchod triesky (pri nekontrolovanom môže trieska poškodiť dokončený povrch obrobku)
- Kvalita obrobenej plochy a presnosť rozmerov
- Bezpečnosť britu
- Trvanlivosť britu [2]

1.1.2 Kinematika rezného procesu



- 1- Smer hlavného pohybu: 2- smer rezného pohybu: 3- smer posuvového pohybu
4- uvažovaný bod ostria

Obr. 1. Pohyb nástroja a obrobku pri nesúslednom rovinom frézovaní válnovou frézou [1]

Hlavný pohyb je vzájomný pohyb medzi nástrojom a obrobkom, ktorý realizuje obrábací stroj. Pri frézovaní je to rotačný pohyb nástroja.

Smer hlavného pohybu je definovaný ako smer okamžitého hlavného pohybu uvažovaného bodu ostria vzhľadom k obrobku.

Rezná rýchlosť v_c je vyjadrená ako okamžitá rýchlosť hlavného pohybu uvažovaného bodu na ostrie vzhľadom k obrobku.

Posuvový pohyb je realizovaný obrábacím strojom ako ďalší relatívny pohyb medzi nástrojom a obrobkom. Posuvový pohyb spoločne s hlavným pohybom umožňuje plynulé alebo prerušované odrezávanie triesky z obrábaného povrchu. Posuvový pohyb môže byť postupný alebo plynulý.

Smer posuvového pohybu je určený smerom okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostria vzhľadom k obrobku.

Posuvová rýchlosť v_f je určená ako okamžitá rýchlosť posuvového pohybu v uvažovanom bode ostria vzhľadom k obrobku.

Rezný pohyb je pohyb vychádzajúci zo súčasného hlavného a posuvového pohybu.

Smer rezného pohybu je daný smerom okamžitého rezného pohybu uvažovaného bodu ostria vzhľadom k obrobku.

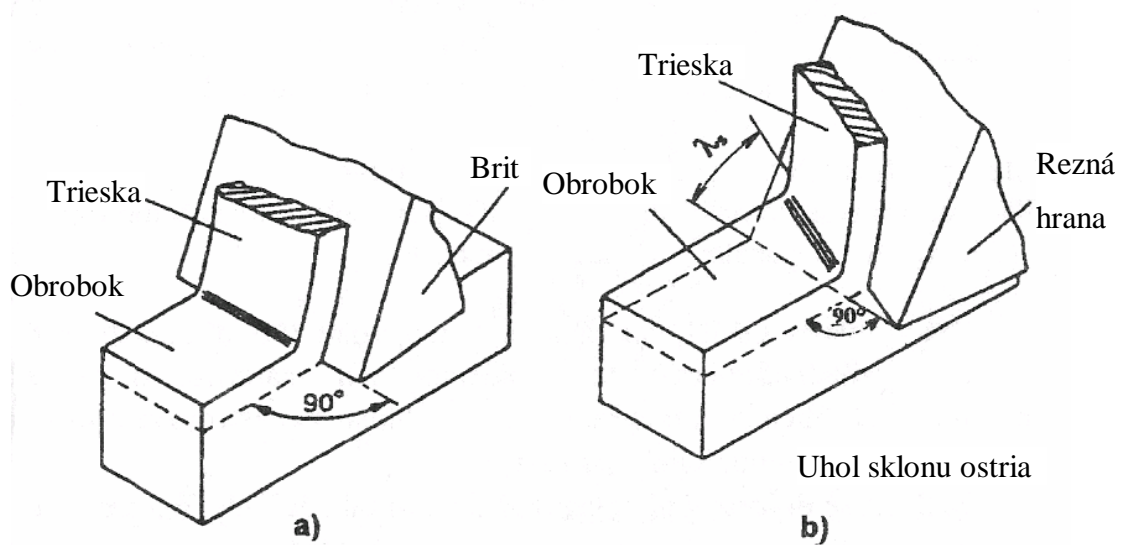
Rýchlosť rezného pohybu v_e je okamžitá rýchlosť rezného pohybu uvažovaného bodu ostria vzhľadom k obrobku.

Uhol posuvového pohybu φ sa vyjadří ako uhol medzi smermi súčasného posuvového a hlavného pohybu, ktorý je meraný v pracovnej bočnej rovine P_{fe} .

Uhol rezného pohybu η je daný uhlom medzi smerom hlavného pohybu a smerom rezného pohybu, meraný v pracovnej bočnej rovine P_{fe} . [1]

1.2 Tvorenie triesky

Rezný proces sa môže realizovať ako ortogonálny alebo všeobecné rezanie.



a- ortogonálne rezanie, b- všeobecné rezanie

Obr. 2. Realizácia rezného procesu [1]

Pri ortogonálnom rezaní je ostrie kolmé na smer rezného pohybu a daná problematika sa rieši v rovine (frézovanie nástrojom s priamymi zubami).

Pri všeobecnom rezaní je treba danú problematiku riešiť v priestore (frézovanie nástrojom so zubami v skrutkoviči).

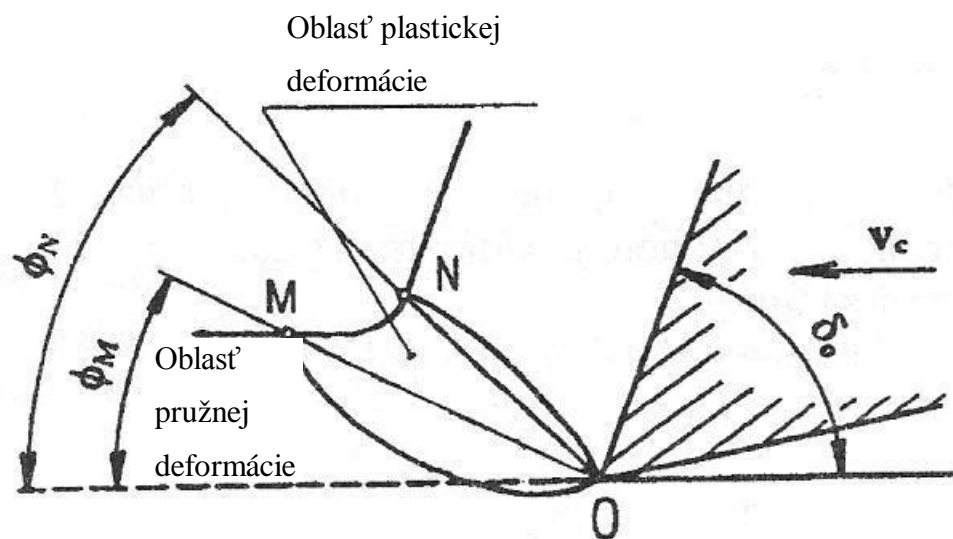
Pri obrábaní prebieha proces oddeľovania triesky vplyvom trvalého zaťažovania odrezávanej vrstvy rezným nástrojom. Mechanizmus vzniku a oddeľovania triesky je rôzny u kryštalických a nekryštalických látok. U kryštalických látok dochádza pri vnikaní britu nástroja do obrobku k plastickej deformácii obrábaného materiálu a vzniká trieska tvárnená. U nekryštalických látok sa oddeľuje trieska krehkým lomom alebo štiepením, nedochádza k plastickej deformácii a vzniknutá trieska je netvárná. Väčšina technických materiálov, ktoré sa v technickej praxi obrábajú, tvoria materiály kryštalické, hlavne kovy. Teoretické a experimentálne štúdie sa u týchto materiálov vykonávajú obvykle pre prípad ortogonálneho rezania. [1]

1.2.1 Plastickej deformácia v oblasti tvorenia triesky pri ortogonálnom rezaní

Pri reznom procese dochádza v oblasti tvorenia triesky k pružným a následne plastickej deformácii v odrezávanej vrstve; pred britom nástroja - primárna plastickej deformácia a v povrchových vrstvách triesky v styku s čelom nástroja - sekundárna plastickej deformácia. [1]

1.2.2 Primárna plastickej deformácia

Pri relatívnom pohybe nástroja proti obrobku pôsobí na odobratú vrstvu materiálu vonkajšie zaťaženie, ktoré v tejto vrstve vyvoláva napätie. Ak napätie neprekročí medzu úmernosti deformovaného materialu, odobraná vrstva sa pružne deformuje. Zvýšením napätí nad medzu pružnosti sa materiál odrezávanej vrstvy začíná plastickej deformovať a dochádza k plastickej sklzu v určitých vhodne orientovaných kryštalických plochách.



MO- začiatok plastických deformácií: NO- koniec plastických deformácií: δ_0 - nástrojový ortogonálny uhol rezu ($\delta_0 = \alpha_0 + \beta_0$)

Obr. 3. Oblast' plastických deformácií v odrezávanej vrstve[1]

Veľkosť a tvar oblasti OMN, ako i stav napnutia v tejto oblasti sú značne premenlivé a závisia na fyzikálnych vlastnostiach deformovaného materiálu, tj. na deformačnej a spevňovacej schopnosti obrábaného materiálu, reznej rýchlosti v_c , nástrojovom ortogonálnom uhle rezu δ_0 a nástrojovom ortogonálnom uhle čela γ_0 .

Pri zvýšenej reznej rýchlosti sa deformačná oblasť zužuje a to tak, že uhly Φ_M a Φ_N rastú (Φ_M rýchlejšie než Φ_N). Pri vysokých rezných rýchlostiach OM a ON prakticky splývajú a zjednodušene môžeme uvažovať, že ku vzniku triesky dochádza plastickým sklzom v rovine strihu P_{sh} . Jeho poloha je určená uhlom roviny strihu Φ .

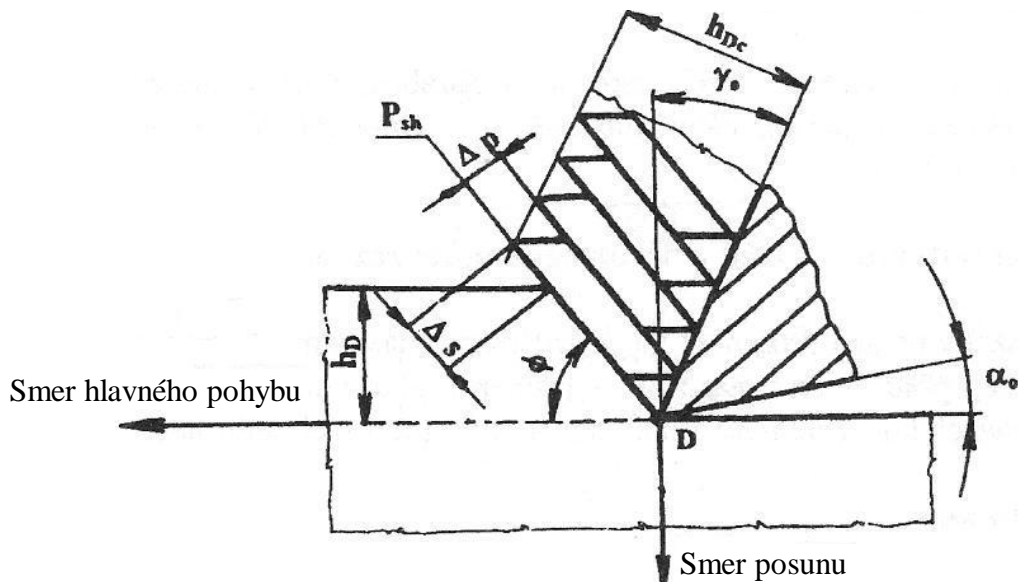
Uhol Φ sa definuje ako uhol medzi smerom hlavného pohybu a priesečnicou roviny strihu P_{sh} s pracovnou bočnou rovinou P_{fe} .

Uhol roviny strihu Φ vyjadruje uhol polohy roviny strihu a súčasne uhol smeru maximálnych dotykových napätí.

Rovina strihu P_{sh} je prakticky tvorená určitou zónou medzi trieskou a obrobkom, kedy nejde o ideálnu rovinu ako takú. [1]

1.2.3 Sekundárna plastická deformácia

Materiál vpravo od roviny strihu P_{sh} je už tvárnenou trieskou. [1]

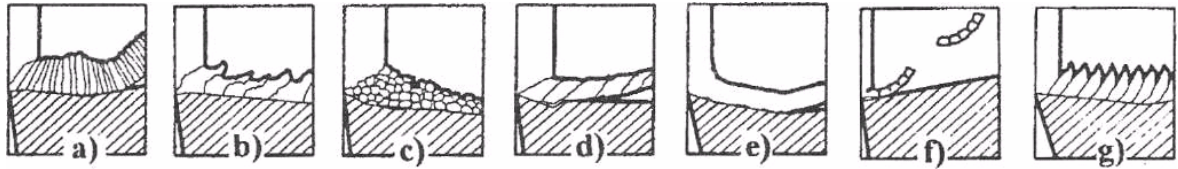


h_D - menovitá hrúbka rezu; h_{DC} - hrúbka triesky; P_{sh} - rovina strihu; Φ - uhol roviny strihu;
 Δp - hrúbka elementu triesky; Δs - posunutie elementu triesky

Obr. 4. Zjednodušený model tvorby elementov triesky pri ortogonálnom rezaní- pohľad na pracovnú rovinu P_{fe} v hlavnom bode ostria D [1]

1.2.4 Druhy tvárnených triesok

V závislosti od priebehu rezného procesu majú triesky rôzny tvar. [1]



a - plynulá článkovitá súdržná trieska , vznikajúca u väčšiny ocelí; b - plynulá súdržná lamelová trieska, vznikajúca u väčšiny korozivzdorných ocelí; c - tvárnená elementárna trieska, vznikajúca u väčšiny liatin; d - nepravidelne článkovitá plynulá trieska, vznikajúca u väčšiny vysoko legovaných materiálov; e - tvárnená plynulá súdržná trieska, vznikajúca pri malých rezných silách, napr. pri obrábaní hliníku; f - delená segmentová trieska, vznikajúca pri veľkých rezných silách a vysokých teplotách rezania, napr. pri obrábaní tvrdých materiálov; g - plynulá segmentová trieska, vznikajúca pri obrábaní titánu

Obr. 5. Základné druhy tvárnených triesok pri obrábaní kovu [1]

1.2.5 Objemový súčiniteľ triesok

Triesky ako výstupný produkt rezného procesu majú mať určité vlastnosti z hľadiska rozmeru a tvaru bezprostredne po opustení priestoru ich vzniku a z hľadiska ich manipulovateľnosti pri odstraňovaní z priestoru obrábacieho stroja a ďalšej dopravy a spracovania. Takéto požiadavky na triesky sa zvlášť zdôrazňujú pri obrábaní na automatizovaných obrábacích strojoch a v automatizovaných výrobných systémoch. Plnenie špecifických požiadaviek sa zaist'uje predovšetkým voľbou vhodných rezných podmienok a nástrojov, so zameraním na optimálne vytváranie triesok.

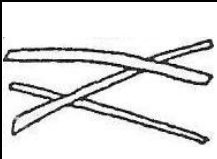
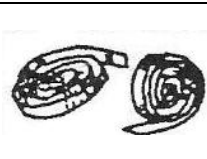
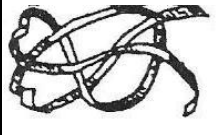

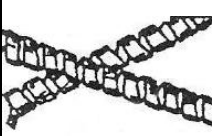
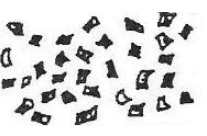

Objemový súčiniteľ triesok W umožňuje kvantifikovať stupeň plnenia všeobecných požiadaviek na rozmery a tvary triesok a vyjadria sa závislosťou:

$$W = \frac{V_t}{V_m}$$

V_t - objem volne ložených triesok

V_m - objem odobraného materiálu korešpondujúci s V_t

Tabuľka 1. Hodnoty objemového súčiniteľa triesok W pre vybrané typy triesok [1]

Tvary triesok		W	Tvary triesok		W
	Stružkové dlhé	400 a viac		Špirálové ploché	10 až 20
	Stružkové zmotané	300 až 400		Oblúkovité spojené	8 až 10
	Vinuté dlhé	80 až 150		Elementárne	4 až 6
	Vinuté krátke	40 až 60			

1.3 Spôsoby a druhy frézovania

Frézovanie je obrábanie rovinných alebo tvarových plôch viacbritovým (jednobritovým) nástrojom.

Ak je cieľom vyrobiť (definovať) všeobecnú ľubovoľnú plochu, je nutné riadiť 5 pohybov: obvykle 3 posuny pozdĺž súradnicových os a 2 rotácie okolo ľubovoľných 2 os. Je na konštruktérovi stroja (je nutné zachovať maximálnu tuhosť koštrukcie), ktorý z vedľajších pohybov bude vykonávať nástroj (vreteno) a ktorý obrobok (suporty).

Jednotlivé zuby nástroja postupne vchádzajú a vychádzajú z materiálu a odoberajú triesku premenného prierezu. [1]

1.3.1 Spôsoby frézovania

Pri frézovaní rozoznávame dva základné spôsoby:

- Obvodom valcovej frézy
- Čelom valcovej frézy

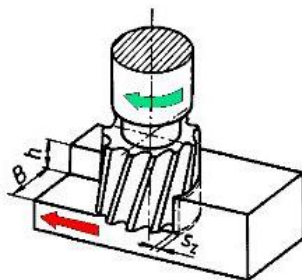
Pri prvom spôsobe reží zuby iba po obvode nástroja, pri druhom spôsobe ako po obvode, tak na čelnej valcovej ploche. [2]



Obr. 6. Čelná valcová fréza [2]

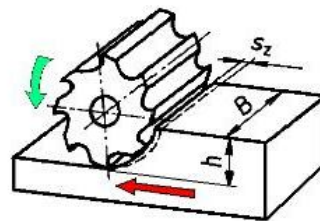


Obr. 7. Valcová fréza [2]



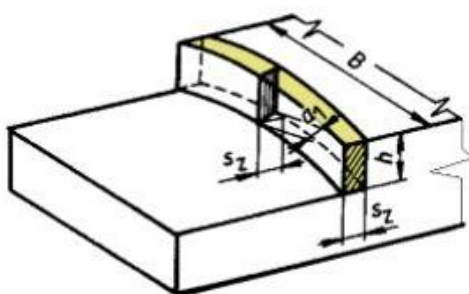
Obr. 8. Frézovanie čelnou valcovou frézou [2]

B- hĺbka rezu, h- šírka obrobku, s_z - posuv na zub



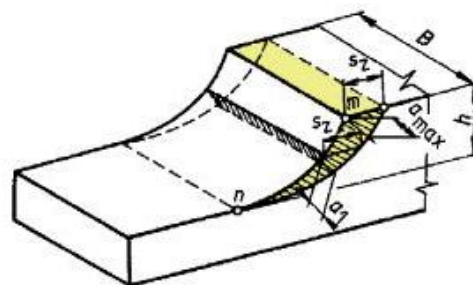
Obr. 9. Frézovanie valcovou frézou [2]

B- šírka obrobku, h- hĺbka rezu, s_z -posuv na zub



Obr. 10. Prierez trieskou (čelná fréza) [2]

B- šírka rezu, h- hĺbka rezu, s_z - posuv na zub, a_1 - hrúbka triesky



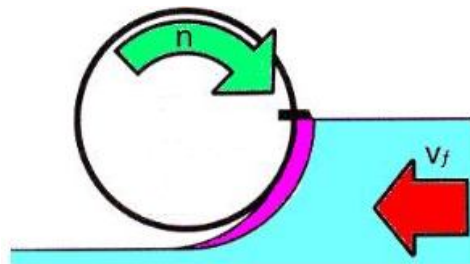
Obr. 11. Prierez trieskou (valcová fréza) [2]

B- šírka rezu, h- hĺbka rezu, s_z - posuv na zub, a_1 - hrúbka triesky, a_{max} - maximálna hrúbka triesky

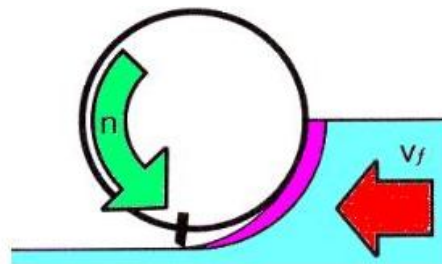
1.3.2 Druhy frézovania

Podľa zmyslu otáčania frézy voči smeru posuvu obrobku sa frézovanie delí na:

- Súsledné
- Nesúsledné



Obr. 12. Súsledné frézovanie [2]




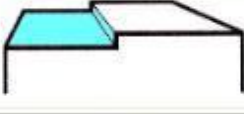

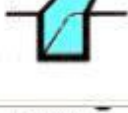

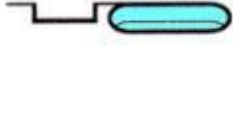
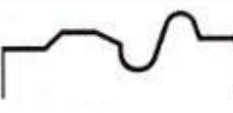

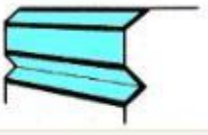
Obr. 13. Nesúsledné frézovanie [2]

- Súsledné frézovanie- Prierez triesky sa mení z maxima (posuv na zub) k minimu, dochádza k rázom- tie môžeme omedziť sklonom zubov a zmenšením posuvu na zub (zvýšením počtu zubov). U polotovarov so znečisteným alebo tvrdým povrchom (výkovky, odliatky, tvrdené) zaberá brit nevýhodne. Výhodou tohto spôsobu je kvalitnejší povrch a vzhľadom k pôsobeniu rezných síl menšie nutné upínacie sily.
- Nesúsledné frézovanie- Prierez triesky sa mení z minima (posuv na zub) k maximu. Povrch obrobku je menej kvalitný, pretože rezná hrana na začiatku záberu materiál obrobku iba stláča. Zvyšuje sa tým opotrebovanie. Výslednica rezných síl vytrháva obrobok zo zveráku. Tento spôsob sa využíva u strojov s menšou tuhosťou a u polotovarov so znečisteným alebo tvrdým povrchom. [2]

1.3.3 Typy frézovaných plôch a používané nástroje

Pri frézovaní sa nástrojom obrábajú plochy rôznych typov (ich kombinácie). Rovinné frézovanie čelnou frérou alebo frézovacou hlavou prevažuje. Frézovanie valcovou frérou sa používa menej. Používa sa hlavne pre frézovanie otvorených drážok alebo pofilov. [2]

Tabuľka 2. Typy frézovaných plôch a používané nástroje [2]

Typ plochy	Popis	Typ frézy
	Rovinná plocha	Valcová čelná fréza Frézovacia hlava
	Osadenie	Valcová čelná fréza Frézovacia hlava
	Osadenie	Stopková fréza, Valcová čelná fréza Valcová fréza, Kotúčová fréza
	Drážky	Stopková fréza, Valcová čelná fréza, Valcová fréza, Kotúčová fréza
	Výstupky	Stopková fréza, Valcová čelná fréza, Valcová fréza, Kotúčová fréza
	Uzavreté drážky	Stopková valcová čelná fréza, Valcová čelná fréza s VBD kruhového tvaru, Stopková fréza na drážky per, Stopková valcová čelná fréza s VBD kruhového tvaru
	Tvarové plochy	Stopková fréza s čelnými polkruhovými reznými plochami, Valcová čelná fréza s VBD kruhového tvaru, Stopková valcová čelná fréza s VBD kruhového tvaru
	Drážkovanie a delenie	Pílový kotúč, Drážkovacia fréza, Kotúčová fréza, Kotúčová fréza zložená
	Obrábanie hrán	Stopková fréza pre zrazenie hrán, Valcová čelná fréza, Stopková valcová čelná fréza, Valcová fréza

2 STROJNÉ VYBAVENIE

Frézy sú vyrábané a dodávané vo veľkom počte modelov a veľkostí, často aj s rozsiahlym príslušenstvom. Obvykle sa delia do štyroch základných skupín- konzolové, stolové, rovinné a špeciálne. Z hľadiska pracovného cyklu sa rozlišujú frézy ovládané ručne a riadené programovo (tvrdá automatizácia, pružná automatizácia). [1]

2.1 Konvenčné stroje- frézovačky

Veľkosť frézy určuje šírka upínacej plochy stolu a veľkosť kužeľa vo vretene pre upnutý nástroj. Ďalšími dôležitými technickými parametrami sú maximálne dĺžky pohybu pracovného stolu alebo vreteníku, rozsah otáčok vretena a posuvu, výkon elektromotoru pre otáčanie vretena a kvalitatívne parametre dosahované u obrobenej plochy. [1]

2.1.1 Základné rozdelenie frézovačiek

Konzolové frézovačky- sú to stroje, ktoré majú pevný vretenník a výškovo nastaviteľný stôl. Po konzole sa pohybuje priečny stôl s pozdĺžnym pracovným stolom. Táto kombinácia pohybov umožňuje prestavovanie obrobku upnutého na pracovnom stole v troch pravouhlých súradniciach vzhľadom k nástroju. Poloha vretenníka môže byť vodorovná, alebo zvislá. Konzolové frézovačky sa preto rozdeľujú na dve hlavné skupiny : vodorovné a zvislé konzolové frézovačky. Ich použitie je veľmi široké v kusovej aj sériovej výrobe.

- Vodorovné konzolové frézovačky majú os pracovného vretena vodorovnú, rovnobežnú s plochou pozdĺžneho stola a kolmú na smer pohybu pozdĺžneho stola. Používajú sa hlavne na frézovanie plôch rovnobežných s upínacou plochou stola. Pracuje sa na nich najčastejšie s valcovými a kotúčovými frézami. Frézovací trn môže byť podoprený v jednom, alebo vo dvoch oporných bodoch. Tuhosť strojov umožňuje dosiahnuť vysokú kvalitu obrobenej plochy.



Obr. 14. Vodorovná konzolová frézovačka [14]

- Zvislé konzolové frézovačky majú os pracovného vretena kolmú k upínacej ploche stola. Pracovné vreteno je uložené buď vo zvislej hlave pripievnenej na stojane stroja, alebo priamo v stroji. Zvislá hlava sa dá natáčať o ± 45 stupňov. Vreteno býva zvisle nastaviteľné. K frézovaniu sa používajú hlavne čelné frézky upnuté na krátkom trní alebo frézky s kuželovou stopkou upnutou priamo do vretena, alebo s valcovou stopkou upnutou do sklučidla. Na väčších strojoch sa používajú na frézovanie frézovacie hlavy.



Obr. 15. Zvislá konzolová frézovačka [14]

- Konzolové frézovačky univerzálne sa líšia od konštrukcie vodorovných konzolových frézovačiek tým, že ich pozdĺžny stôl je otočný o $\pm 45^\circ$ na obe strany vo vodorovnej rovine okolo zvislej osi kolmej k upínacej ploche stola. [1]

Stolové frézovačky- tieto stroje sú charakteristické stálou polohou stola. Približovanie nástroja k obrobku sa robí zvislým prisunutím vretenníka. Vretenníky týchto strojov tvoria samostatné jednotky s prevodovkou a elektromotorom. Stôl sa pohybuje len vodorovne, a preto sa tieto stroje používajú najmä na obrábanie rovinných plôch. Uloženie stola je tu stabilnejšie ako u konzolových frézovačiek. Môžu byť tiež podľa polohy vretena vodorovné a zvislé. [4]

Kopírovacie frézovačky- sú to stroje, ktoré sa používajú na frézovanie zložitých nepravidelných tvarov, ako sú zápustky, formy pre vstrekovanie a lisovanie, razidlá a podobne. Špecifickou časťou týchto strojov je kopírovacie zariadenie. Kopírovacie zariadenia môžu byť mechanické, hydraulické, alebo elektrické.

- Mechanické kopírovanie sa používa najmä na kopírovanie plošných tvarových obrysov, neokrúhlych kotúčov, alebo krivkových drážok na bubnoch a pod. Princíp spočíva v mechanickom prenášaní tvaru šablóny na obrobok.
- Hydraulické kopírovanie je presnejšie a výkonnejšie ako mechanické. Umožňuje kopírovanie nielen plošných, ale aj priestorových tvarov. Princíp spočíva v tom, že na stole je okrem obrobku upnutý aj model. Tykadlo sa opiera o model a svojimi výkyvmi ovláda rozvádzač, ktorý riadi prietok kvapaliny v hydraulickom valci na dvíhanie a spúšťanie konzoly. Nástrojom je prstová fréza toho istého tvaru ako tykadlo. Používa sa tu tzv. riadkovací spôsob kopírovania. Na obrobenej ploche sú viditeľné stopy riadkovania, a preto musí byť obrobená plocha dodatočne upravená brúsením a leštením.
- Pri elektrickom princípe kopírovania sa používa vysoko citlivé tykadlo, ktoré pomocou elektrických impulzov ovláda pohyby nástroja.

Univerzálne nástrojárske frézovačky- sú určené na obrábanie zložitých súčiastok v kusovej a malosériovej výrobe. Uplatňujú sa predovšetkým v nárad'ovniach pri výrobe nástrojov, meradiel, prípravkov, zápustiek, kovových modelov, razníc, šablón a pod. Rozsiahle príslušnosť umožňuje tiež frézovanie rovinných, šikmých, aj tvarových plôch, obrážanie, brúsenie, vrtanie, vyvrtávanie, frézovanie skrutkovitých drážok a pod.

Rovinné stavebnicové frézovačky- tieto stroje majú jeden frézovací vretenník s vodorovným vretenom, ktoré sa môže zvisle pohybovať na vedení stojanu. Pracovný stôl sa pohybuje na vedení v smere kolmom na os frézovacieho vretena. Stroje sú vhodné pre presné a výkonné frézovanie väčších obrobkov. Sú určené pre široký rozsah frézovacích operácií v kusovej aj sériovej výrobe. Ich presnosť je zaistená vysokou tuhosťou a stabilitou stroja.

Portálové frézovačky- sú vlastne obojstranné rovinné frézovačky spojené priečnikom nesúcim jeden alebo viac prestaviteľných frézovacích vreteníkov. Vreteníky môžu byť pevne, alebo šikmo nastaviteľné. Pohyby vreteníkov aj pohyb priečnika sú odvodené od osobitných elektromotorov. Stroje sa používajú na pozdĺžne i priečne vodorovné, zvislé a šikmé frézovanie plôch na väčších obrobkoch.

Odvalovacie frézky na ozubenie- sú to frézky, ktoré sú určené k frézovaniu čelných ozubených kolies s priamymi a šikmými zubami, šnekových kolies jednochodých a viacchodých, reťazových kolies, súčiastok rôznych profilov, ktorých tvar je možné odvalovať.

Zvláštne frézovačky- sú stroje špecifickej konštrukcie pre špeciálne frézovacie operácie. Sú to napríklad frézovačky s výsuvným ramenom, frézovačky na závit, frézovačky na frézovanie drážkovaných hriadeľov a pod. [3]

2.1.2 Prídavne zariadenia frézovačiek

Prídavné zariadenia frézovačiek sa používajú na rozšírenie výrobných možností frézovacích strojov. Najdôležitejšie z nich sú : otočný stôl, zvislé a univerzálne vreteníky, deliace prístroje pre kruhové a pozdĺžne delenie, kopírovacie zariadenie a pod.

Otočný stôl- používa sa na všetkých druhoch konzolových frézovačiek, najmä zvislých. Je určený na frézovanie kruhových drážok, oblúkov, rotačných tvarov stopkovými nástrčkovými alebo kotúčovými frézami. Otočné stoly sú na ručný alebo strojný pohyb. Ručné stoly majú otáčavý posuv len ručný. Môžu mať zariadenie aj na priame, prípadne nepriame delenie. Strojné stoly majú posuv ručný aj strojný. Strojný posuv je odvodený od pozdĺžneho stola, z ktorého sa pohyb ozubeným prevodom kĺbovým hriadeľom prenáša na skrutkový prevod, otáčajúci doskou otočného stola. Kombináciou otáčavého pohybu a posuvu možno frézovať neokrúhle kotúče, zakrivené plochy a pod. Na upínanie má pracovná plocha otočného stola T- drážky.

Zvislý frézovací vretenník- používajú sa na vodorovných a univerzálnych frézovacích strojoch. Umožňujú vykonávať práce, ktoré by vyžadovali zvislé frézovačky. Vretenník sa upína na vedenie stojana a pohon vretena je odvodený od vretena frézovačky. Vretenník môžeme natáčať vo zvislej rovine.

Univerzálny frézovací vretenník- používajú sa ako predchádzajúce na vodorovných frézovacích strojoch a sú určené na frézovanie ťažko prístupných plôch, najmä šikmých, alebo na frézovanie ozubených hrebeňov. Vreteno je poháňané od hlavného vretena a jeho os možno nastaviť v ľubovoľnej polohe.

Deliace prístroje- používajú sa, keď treba obrobkom pootočiť o určitú časť otáčky.

Delíme ich na jednoduché a univerzálne.

- Jednoduché deliace prístroje môžu byť na delenie priame a nepriame. Pri priamom delení otáčame vretenom deliaceho prístroja priamo, bez akéhokoľvek prevodu. Takto delíme na menší počet dielov. Používajú sa vodorovné a zvislé. Obrobky na deliace prístroje upínáme do univerzálnych sklučovadiel, alebo medzi hroty.
- Univerzálny deliaci prístroj- používa sa najčastejšie, pretože umožňuje priame, nepriame a diferenčné delenie. Pomocou prevodu od posuvnej skrutky stola môžeme dať deliacemu vretenu otáčavý pohyb, čo umožňuje frézovať skrutkové žliabky. [3]

2.2 CNC stroje- CNC frézovačky

Na konci druhej svetovej vojny sa začali vyrábať prúdové motory pre pohon stíhacích prúdových lietadiel. Lopatky kompresorov a turbín týchto motorov sú na výrobu tvarovo veľmi náročné výrobky, ktoré musia spĺňať veľmi prísne kritériá kvality. Konvenčná výroba bola časovo zdĺhavá, a tým veľmi nákladná. Vzhľadom k tomu, že počas II. svetovej vojny boli zostrojené prvé elektronické počítače, ktoré mohli byť použité ako základ riadiaceho systému stroja, bolo možné skonštruovať prvé stroje riadené číslícovým riadiacim systémom. [2]

2.2.1 Základné účinky použitia CNC strojov

VÝHODY

- zvýšenie produktivity výroby
- zvýšenie kvality výrobku

- zvýšenie prispôsobivosti výroby
- vyššie využitie stroja
- úspora výrobných a skladových plôch
- odstránenie orysovania
- minimalizácia používania prípravkov, odstránenie modelov a šablón
- zlepšenie pracovných podmienok
- skrátenie času výroby
- podstatné zjednodušenie agendy náhradných dielcov
- obmedzenie zorad'ovania a automatický priebeh - z toho plynúce možné chyby obsluhy
- súčiasťky, ktoré sa dajú popísať matematicky, sa nemusia kresliť na výkres
- zmeňujú sa požiadavky na kvalifikáciu obsluhy

NEVÝHODY

- zvýšenie nadobúdacej ceny
- zvýšené nároky na technologickú prípravu
- zvýšené nároky na údržbu a kvalifikáciu údržby
- zvýšené nároky na organizáciu

Konštrukcia číslicovo riadených strojov sa líši od konvenčných strojov v požadovanej presnosti tvaru, rozmeroch a požadovanej drsnosti povrchu obrobku, bezporuchovosti stroja, ľahkou obsluhou, odoberaním triesok atd. CNC stroje majú tieto charakteristické vlastnosti, znaky alebo parametre:

- vysoká tuhosť a presnosť prevedenia
- optimálny rezný režim
- vysoko presné vodiace plochy s vysokou životnosťou
- zaistenie presnej polohy jednotlivých súčastí stroja - použitie odmeriavacích členov a servomechanizmov pre polohovacie obvody
- stabilizácia teploty
- automatická výmena nástrojov
- použitie upínacích prípravkov pre opracovanie z viacerých strán pri jednom upnutí

- automatický odvod triesok z rámu stroja
- obsluha stroja je z panelu - na stroji nie sú žiadne obslužné prvky
- pracovný priestor stroja je uzavretý krytovaním [2]

2.2.2 Rozdelenie CNC strojov

Jednoprofesné (pre jeden druh operácie)

- CNC sústruhy
- CNC frézky
- CNC vřtačky, vyvřtavačky

Viacprofesné (pre viacej druhov operácií pri jednom upnutí)

- obrábacie centrá pre výrobu obrobkov rotačných, hriadel'ových alebo prírubových
- obrábacie centrá pre výrobu výrobkov skriňového typu
- obrábacie centrá pre výrobu rotačných aj nerotačných súčiastok

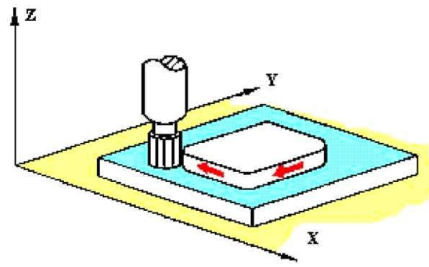
Rozdelenie podľa počtu súčasne riadených osí :

- 1 osé, napr. CNC vřtačky
- 2 osé, napr. CNC sústruhy
- 3 osé, napr. CNC frézovačky
- 4 a viac osé tzv. obrábacie centrá [2]

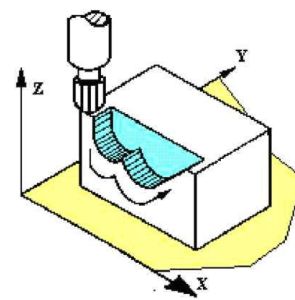
2.2.3 CNC frézovačky

U CNC frézovačky je možné vykonávať lineárne interpolácie buď v jednej rovine- X-Y , X-Z, Y-Z - (2,5D) alebo pri použití výkonného mikroprocesora sa dajú vyrábať ľubovoľné obrysy a priestorové plochy 3D.

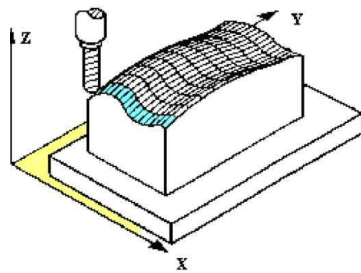
Ak sú okrem pohybov v osiach možné ešte ďalšie pohyby- napr. rotácie okolo osí potom hovoríme o 4D a 5D riadení. [2]



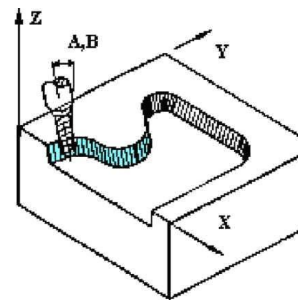
Obr. 16. 2D riadenie [2]



Obr. 17. 2,5D riadenie [2]



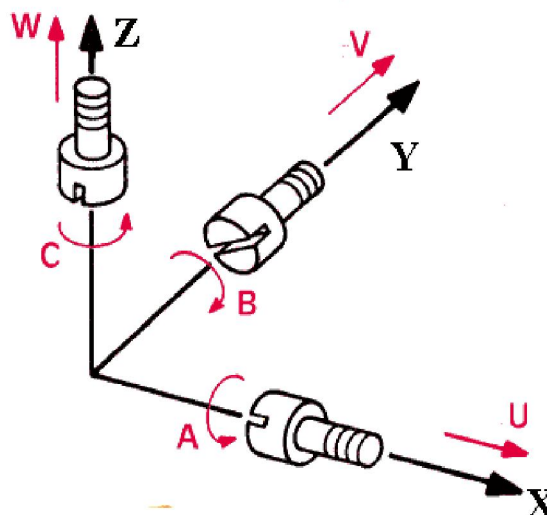
Obr. 18. 3D riadenie [2]



Obr. 19. 5D riadenie [2]

2.2.3.1 Súradnicový systém

Základným súradným systémom je pravoúhlá pravotočivá sústava (systém pravej ruky).

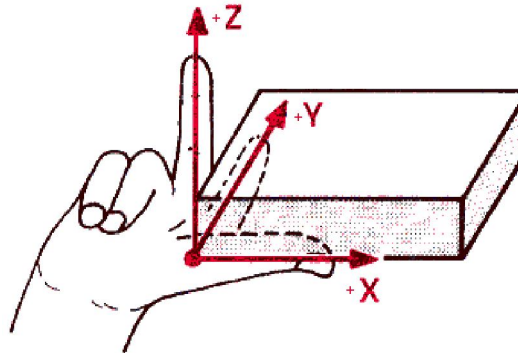


Obr. 20. Pravoúhlý pravotočivý súradný systém [2]

Ako pomôcka môže poslúžiť vaša pravá ruka podľa nasledujúceho obrázku.

Natiahnite všetky prsty, palec kolmo k ostatným. Malíček s prsteníčkom ohnite dozadu do dlane, prostredník iba kolmo ku dlani. Palec až prostredník tvoria pravouhlú pravotočivú súradnú sústavu.

Palec ukazuje smerom osi X, ukazovák smerom osi Y a prostredník smerom osi Z. [2]



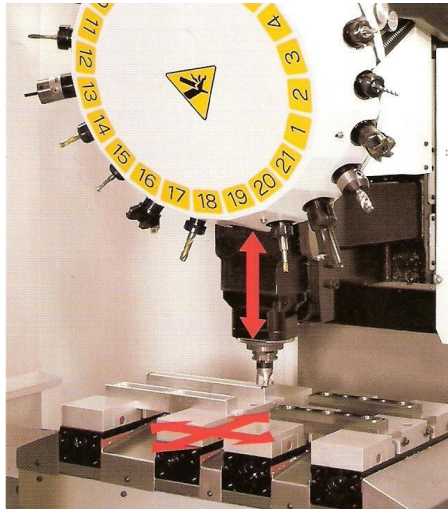
Obr. 21. Memotechnická pomôcka [2]

2.2.3.2 2 a 2,5 osé CNC frézovačky

Sú to stroje, ktoré vzhľadom na svoje technologické možnosti majú využitie len v špecializovanej výrobe. Typický predstaviteľ 2,5 osíh CNC frézovačiek je gravírovacia frézovačka. [5]

2.2.3.3 3 osé CNC frézovačky

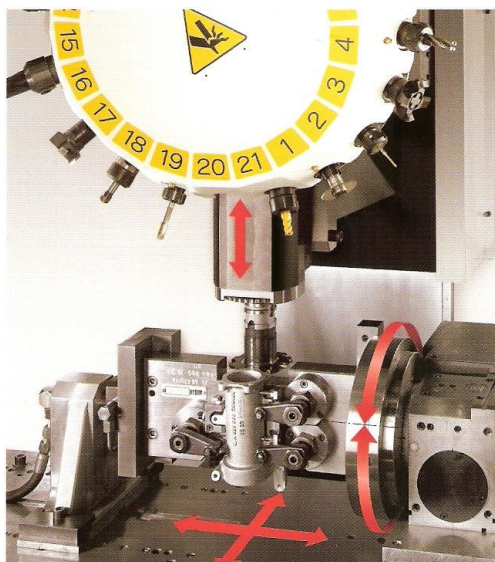
3 osé CNC frézovačky sú najrozšírenejšie a najpoužívanejšie CNC stroje určené k frézarským operáciám, ako frézovanie, vrtanie, výroba závitov a pod. Stroje majú väčšinou funkčne len základné osi X, Y a Z. Používajú sa pri klasickej výrobe dielcov s jednoduchšími vyrábanými plochami. Ich nadobúdacie náklady sú už dnes vzhľadom k vysokým vyrábaným počtom cenovo prístupné. Okrem základného prevedenia ponúkajú jednotliví výrobcovia rôzne modifikácie, ktoré rozširujú technologické možnosti alebo produktivitu strojov. [5]



Obr. 22. 3 osá CNC frézovačka [7]

2.2.3.4 4 osé CNC frézovačky

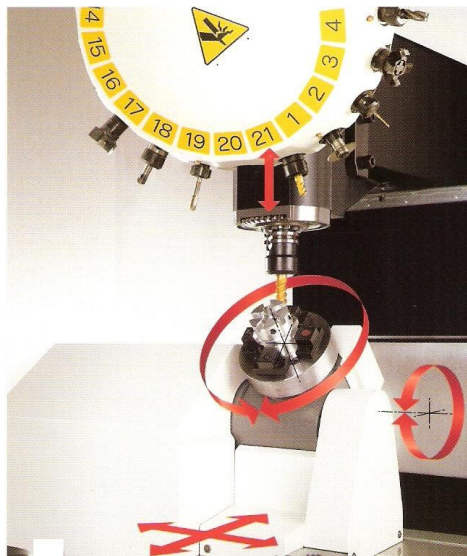
4 osé CNC frézovačky sú stroje, ktoré sa používajú na výrobu zložitejších plôch frézarskými operáciami. Okrem pohybu v základných troch osiach je funkčná ešte jedna os, ktorú môže reprezentovať napr. otočný stôl, alebo výkyvný stôl. Tieto stroje sú preto vhodné k výrobe tvarovo zložitejších plôch alebo k opracovaniu dielcov, ktoré sa môžu opracovať z viacerých strán pri jednom upnutí. Často sa pri ich konštrukcii použije základ z 3-osej frézovačky, ktorý sa doplní o poháňanú štvrtú os. [5]



Obr. 23. 4 osá CNC frézovačka [7]

2.2.3.5 5 osé CNC frézovačky

5 osé CNC frézovačky sú stroje, ktoré sa používajú väčšinou k výrobe zložitých tvarových plôch. Okrem pohybu v základných troch osiach sú funkčné ešte dve pohyblivé osi, ktoré môžu reprezentovať napr. otočný stôl a výkyvný stôl. Tieto stroje sú preto vhodné k výrobe tvarovo veľmi zložitých plôch ako sú napr. formy, zápustky, lopatky turbín a pod., alebo k opracovaniu dielcov, ktoré sa môžu opracovať z viacerých strán pri jednom upnutí v produktívnej strojárskvej výrobe. [5]



Obr. 24. 5 osá CNC frézovačka [7]

2.2.3.6 Prídavné zariadenia

Vzhľadom k vývoju nových technológií sa v poslednom období v konštrukcii CNC frézovačiek začali používať rôzne prídavné zariadenia, ktoré podstatne zvýšili ich technologické možnosti, zvýšili produktivitu výroby a skrátili technologické časy. Ide napr. o použitie kalenia, brúsenia, merania, kontroly nástrojov v pracovnom priestore stroja a pod. Okrem toho jednotliví výrobcovia ponúkajú rôzne konštrukčné úpravy základného prevedenia strojov, ktorými reagujú na konkrétne požiadavky zákazníkov. Ide napr. o rozmer pracovného stola, otáčky resp. výkon vretena, veľkosť zásobníka nástrojov, spôsob chladenia a mazania, použitie paletového systému pri upínaní obrobkov a pod. [5]

3 NÁSTROJE NA FRÉZOVANIE

Frézy sú nástroje, ktorých rezné časti- zuby sú rozložené na povrchu valca, kužeľa, alebo inej rotačnej plochy. Pri frézovaní sa fréza otáča a obrobok posúva, a to obvykle kolmo k osi nástroja. V porovnaní so sústružením sa frézovanie vyznačuje tým, že súčasne pracuje niekoľko zubov frézy, ktoré prichádzajú do záberu periodicky po každej otáčke frézy a odoberajú triesku, ktorej hrúbka sa mení od začiatku do konca záberu každého zuba, kým pri sústružení sa uberá trieska stáleho prierezu jednou reznou hranou. Výhodou práce s frézami je, že zub frézy je pri jednej otáčke nástroja v zábere len v časti svojej dráhy, takže sa rezná hrana v zostávajúcej časti dráhy môže ochladzovať. Nevýhodou je, že pri frézovaní značne kolíšu tlaky vplyvom meniaceho sa prierezu triesky a vplyvom nárazov, ktoré vznikajú pri vnikaní zubov frézy do obrobku. [6]

3.1 Rozdelenie fréz

Fréza je obyčajne mnohoklinový nástroj, t.j. nástroj s viacerými reznými hranami a tvorí ju teleso frézy a zuby. V súčasnosti sú vyrábané z viacerých druhov materiálov. Frézy možno deliť podľa spôsobu výroby, priebehu reznej hrany, smeru otáčania, konštrukcie telesa, spôsobu upnutia a výrobného určenia.

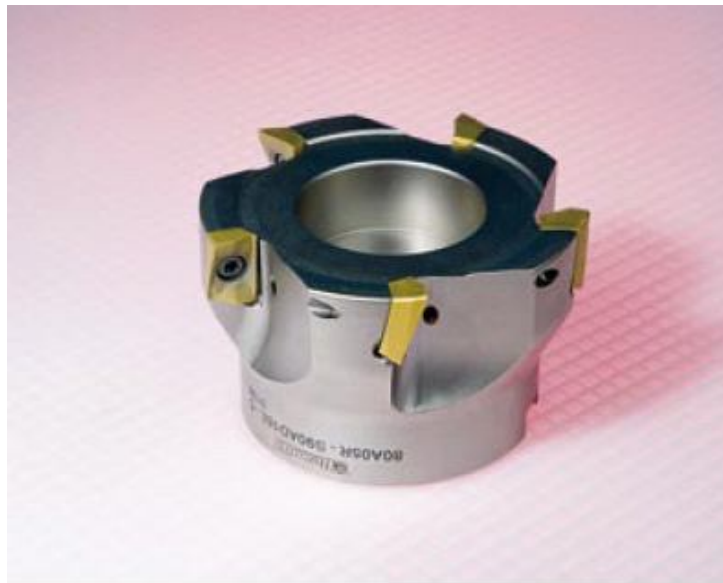
Podľa konštrukcie telesa sú frézy celistvé (monolitné), s vymeniteľnými reznými doštičkami a frézy zložené.

- Celistvé (monolitné) frézy, kde teleso frézy aj zuby sú z jedného kusa, prípadne môžu mať reznú časť zuba nerozoberateľne spojenú s telesom pájkovaním, alebo navařením. Používajú sa najmä frézy z nástrojových, prípadne rýchlorezných ocelí. Pri malých nástrojoch sa používajú aj frézy zo spekaných karbidov. Výhodou sú nízke výrobné náklady. Nevýhodou je nižšia produktivita, ktorá spočíva v použití rovnakého materiálu na teleso frézy, ako aj reznej hrany.



Obr. 25. Monolitné frézy [8]

- Frézy s vymeniteľnými reznými doštičkami. Sú to frézy, ktoré majú teleso frézy vyrobené z nástrojovej ocele, do ktorej sú vsadené rezné doštičky z kvalitnejších druhov rezných materiálov ako napr. SK, povlakované SK, CERMETY a pod. Výhodou tohto riešenia je húževnaté jadro nástroja a tvrdá odolná rezná časť, ktorá sa dá po opotrebení vymeniť. To zvyšuje ekonomiku obrábacieho procesu.



Obr. 26. Fréza s vymeniteľnými reznými doštičkami [9]

- Frézy zložené (kombinované), ktoré majú niekoľko samostatných druhov fréz upevnených na spoločnom trni.

Podľa spôsobu výroby zubov rozoznávame frézy s frézovanými zubami a frézy podtočené.

- Frézy s frézovanými zubami sa používajú na opracovanie jednoduchých tvarov. Na obrábanie zložitých tvarov sa nedajú použiť. Pri brúsení týchto fréz sa šírka chrbtovej plochy zväčšuje a priestor pre triesku sa znižuje.
- Na frézach s podtočenými zubami má chrbát zuba obrisy Archimedovej špirály, ktorý sa podtáča na podtáčacích sústruhoch. Uhol čela podtočených fréz býva nulový. Tieto frézy sa brúsia len na čele, pričom sa zväčšuje zubová medzera, ale zachováva sa profil zuba. Tieto frézy sa používajú na obrábanie zložitých a presných tvarových plôch.

Podľa priebehu reznej hrany vzhľadom na os môžu byť frézy s priamymi, skrutkovitými a šikmými zubami.

- Frézy s priamymi zubami sa ľahko vyrábajú, ale majú tieto nedostatky. Značné zaťaženie na zub pri frézovaní vyvoláva chvenie. Na zmiernenie chvenia majú byť v zábere najmenej dva zuby, čo závisí od počtu zubov frézy a od hĺbky záberu. Pri frézovaní zubové drážky neodvádzajú triesky, čo obmedzuje hĺbku rezu a šírku frézovania.
- Frézy so skrutkovými zubami oproti predchádzajúcim majú tieto výhody. Počet naraz pracujúcich zubov závisí od šírky frézovania. Triesky sú vyvádzané skrutkovou zubovou medzerou. Skrutkové zuby majú oveľa lepšie pracovné podmienky. Zub frézy sa postupne vrezáva do materiálu, podobne aj rezná sila sa postupne zväčšuje, v dôsledku čoho fréza pracuje pokojne bez nárazov.

Podľa smeru otáčania sú frézy ľavorezné a pravorezné.

- Fréza, ktorá sa pri práci točí v smere hodinových ručičiek, pri pohľade od vretena, je pravorezná. Keď sa točí opačne je ľavorezná. Aby axiálny rezný tlak pri skrutkových frézach smeroval do vretena, t.j. aby nebola fréza z vretena vyťahovaná, rezná hrana pravoreznych fréz má obyčajne ľavotočivú skrutkovicu a opačne.

Podľa spôsobu upnutia sú frézy nástrčné alebo stopkové.

- Nástrčné frézy, ktoré sa nasadzujú na valcový alebo kuželový trn.
- Stopkové frézy, ktorých upínacia časť je valcová alebo kuželová a stopka tvorí spolu s telesom jeden celok.

Frézy podľa výrobného určenia delíme na valcové frézy, čelné valcové frézy, veľké čelné frézy, malé valcové čelné frézy, drážkovacie frézy, kotúčové frézy, uhlové frézy, tvarové a odvalovacie frézy.

Jednotlivé frézy sa používajú na obrábanie rovinných plôch, drážok, tvarových plôch, zubov ozubených kolies, frézovanie závitov a pod.

- Valcové frézy majú najčastejšie skrutkové zuby, ich ostrie leží na obvode valcovej plochy. Slúžia na obrábanie plôch rovnobežných s osou frézy.

- Čelné valcové frézy mají ostrie nielen na obvode valcovej plochy, ale aj na jednej čelnej ploche. Takýmto nástrojom sa súčasne frézujú plochy, ktoré sú kolmé a rovnobežné s osou nástroja. Ak sú určené len ku frézovaniu kolmých rovín na os nástroja, valcová časť frézy je krátka a tieto frézy sa volajú čelné frézy.
- Veľké čelné frézy majú obyčajne vsadené nože a volajú sa frézovacie hlavy. Nože sú v telese frézy upnuté klinmi, alebo upínacími skrutkami.
- Malé valcové čelné frézy majú reznú časť vcelku s upínacou časťou, sú to tzv. stopkové frézy. Používajú sa na obrábanie žliabkov.
- Do skupiny čelných fréz môžeme zaradiť aj drážkovacie frézy pre výrobu drážok tvaru T. Tieto frézy majú rezné hrany okrem valcovej časti aj na oboch čelných plochách.
- Kotúčové frézy majú rezné hrany na valcovej ploche, prípadne aj na oboch bokoch. Môžu mať priame alebo striedavo šikmé rezné hrany. Nimi sa frézujú pravouhlé žliabky alebo výrezy. Často sa vyžaduje, aby kotúčové frézy mali po prebrúsení pôvodnú šírku preto sa robia delené. Na žiadanú šírku sa nastavujú oceľovými vložkami.
- Pílový kotúč je úzka kotúčová fréza, ktorá sa používa na prerezávanie materiálu alebo na výrobu úzkych žliabkov. Tieto frézy nemajú čelné ostrie.
- Uhlové frézy majú tvar kužeľového kotúča. Rezná hrana je na čelnej aj na kužeľovej ploche. Sú jednostranné, alebo obojstranné.
- Tvarové frézy majú rezné hrany určitého profilu, ktorý zodpovedá žiadanému profilu obrobku. Sú obyčajne podtočené. Môžu byť vypuklé, alebo vyduté zaoblované frézy, pri veľmi zložitých a širokých tvaroch sú delené, zložené z jednoduchých tvarových fréz.
- Modulové kotúčové a stopkové frézy sa používajú na obrábanie ozubených kolies, ktoré sa vyrábajú deliacim spôsobom.
- Odvalovacie frézy sa používajú na výrobu ozubených kolies odvalovaním na odvalovacích frézovačkách. Základným tvarom frézy je jednochodá alebo viacchodová li-

chobežníková skrutka. Rezné hrany sú vytvorené skrutkovými drážkami, ktoré v priesečníku so závitmi skrutky tvoria rezné hrany. [3]

3.2 Materiály na výrobu fréz

Materiály, ktoré sa používajú na zhotovenie rezných klinov nástrojov, voláme reznými materiálmi. Rezné materiály musia mať tieto základné vlastnosti:

- tvrdosť, ktorá prevyšuje tvrdosť obrábaného materiálu najmenej o 5-6 jednotiek HRC
- zachovanie tejto tvrdosti, a tým aj odolnosti proti opotrebovaniu aj pri vysokých teplotách dostatočne dlhý čas
- vyhovujúcu ohybovú a tlakovú pevnosť
- chemickú stálosť

Rezný materiál je tým lepší, čím lepšie a dlhšie si zachová tieto vlastnosti pri zvýšených teplotách. Vývojové práce v odbore rezných materiálov prebiehali od začiatku 20.storočia, kedy sa ako materiál, ktorý výrazne zvýšil produktivitu obrábania, začala používať rýchlorezná oceľ. Obrábacie operácie, ktoré začiatkom 20.storočia trvali 100 minút, sa použitím rýchlorezných ocelí skrátili na tretinu času. S použitím nových materiálov čas obrábania ďalej klesal až na dnešných niekoľko sekúnd.

Do skupiny perspektívnych rezných materiálov, ktoré sa v súčasnosti používajú, patria okrem reznej keramiky ďalšie dva druhy syntetických rezných materiálov:

- Polykryštalický kubický nitrid bóru- PKNB
- Polykryštalický diamant - PD

Rozsah využitia týchto nových materiálov v spojení s obrábacími strojmi, najmä CNC obrábacími strojmi ukáže budúcnosť. Ich hlavnou nevýhodou je v súčasnosti ich cena. Oba materiály sú dnes najtvrdšie rezné materiály, a preto sa materiály, ktoré tieto komponenty obsahujú, označujú aj ako supertvrde rezné materiály. V technologickej praxi sú aplikované ako diamantové prášky, brúsiace kotúče, brúsiace pasty, rezné materiály osadené segmentmi PKNB, alebo PD a pod. [2]

3.2.1 Rozdelenie materiálov rezných častí nástrojov

Základné rozdelenie materiálov rezných častí nástrojov:

- Nástrojová ocel
- Spekaný karbid
- Cermet
- Keramika
- Kubický nitrid bóru
- Polykryštalický diamant [2]

3.2.1.1 *Nástrojová ocel'*

Tento materiál sa dá rozdeliť na:

- Nástrojová ocel' nelegovaná
 - Nástrojová ocel' legovaná
 - Rýchlorezná ocel'
-
- Nástrojová ocel' nelegovaná- na ich vlastnosti má najväčší vplyv obsah uhlíka. Tvrdosť ocele v zakalenom stave rastie so stúpajúcim obsahom uhlíka. Nástroje z tohto materiálu znášajú teplotu reznej hrany do 220 °C a rezne rýchlosti do 15 m/min. V súčasnosti strácajú význam a sú často nahradzované novými druhmi materiálov.
 - Nástrojová ocel' legovaná- hlavné legujúce prvky u týchto ocelí sú karbidotvorné prvky Cr, V, W, Mo, ktoré vytvárajú tvrdé až do vysokých teplôt stále karbidy. Ďalšie legujúce prvky Ni, Si, Co nie sú karbidotvorné. Z legovaných nástrojových ocelí sa vyrábajú takmer všetky druhy rezacích, strihacích, tvárniacich a iných nástrojov. Sú charakteristické väčšou prekaliteľnosťou a zvýšenou odolnosťou proti popusteniu. Nástroje z legovaných nástrojových ocelí znášajú teplotu reznej hrany 250 °C až 350 °C a reznú rýchlosť 15 až 25 m / min.
 - Rýchlorezná ocel'- rýchlorezné ocele – RO – sú uvádzané ako samostatná skupina legovaných nástrojových ocelí, a to pre svoje špecifické vlastnosti a využiteľnosť, predovšetkým pre vysokovýkonné rezné nástroje. Obsahujú karbidotvorné prvky W, Cr, V, Mo a nekarbidotvorný Co. Obsah uhlíka je u nich zpravidla do 1%. RO sú charakteristické strednou odolnosťou proti opotrebovaniu a vysokou lomovou pev-

nosťou. To im dáva veľmi široké pole použitia. Najčastejšie sú rýchlorezné ocele používané pre tvarové nástroje, výstružníky, závitníky, frézy manších rozmerov, preťahovacie trny a nástroje vystavené rázom pri prerušovanom reze. RO je húževnatá a v žihanom stave sa dá dobre obrábať. Nástroje z RO znášajú teplotu reznej hrany 500 °C až 700 °C a môžu byť využité pre rezné rýchlosti 25 až 50 m/min.

Rýchlorezné ocele vyrobené práškovou metalurgiou- oproti bežným RO majú niekoľko výhod. Rýchle tuhnutie atomizovaného prášku používaného pri výrobe RO obmedzuje segregáciu, vyvoláva veľmi jemnú štruktúru a rovnomerné rozloženie karbidov a nekovových vmestkov. Zlepšuje sa húževnatosť týchto ocelí, rozmerová stálosť v priebehu tepelného spracovania aj rezné vlastnosti. Touto metódou sa dajú vyrobiť ocele s vyšším obsahom legúr, inak je tomu u bežného spôsobu výroby tavením. Tvrdosť týchto materiálov sa pohybuje v rozmedzí 840 až 900 HV. [1]

3.2.1.2 Spekané karbidy

Spekané karbidy- SK- sú produktom práškovej metalurgie a vyrábajú sa z rôznych karbidov a kovového spojiva. Medzi najdôležitejšie karbidy patria karbid wolfrámu WC, karbid titánu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Ako pojivo sa väčšinou používa kobalt Co. SK sú zmesou dvoch a viacerých zložiek a nie je možné ich ďalej tepelne spracovávať. Obsahové množstvo jednotlivých zložiek ovplyvňuje ich tvrdosť, húževnatosť a odolnosť proti oteru. Pretože sú veľmi tvrdé, dajú sa tvarovo a rozmerovo upravovať iba brúsením, elektroerozívnym obrábaním a lapovaním. SK sa vyrábajú v tvare doštičiek normalizovaných tvarov a rozmerov, ktoré sa pájkujú, ale najčastejšie mechanicky upínajú na reznú časť nástroja. Mechanicky upínané doštičky majú niekoľko rezných hrán, ktoré sa využívajú postupne. Po otupení všetkých rezných hrán sa doštička vyradí. Niektoré nástroje, vrtáky a frézy malých rozmerov, sa vyrábajú ako monolitické. V technologickej praxi sa SK používajú v štandardnom prevedení, nepovlakované, a SK s rôznymi druhmi povlakov, povlakované.

- Nepovlakované spekané karbidy sa podľa ČSN ISO 516 delia v závislosti na zložení do troch skupín.

SK typu P- WC, TiC, Co- pre ocele s dlhou trieskou. Modré označenie.

SK typu M- WC, TiC, TaC, Co- pre ocele s krátkou aj dlhou trieskou. Žlté označenie.

SK typu K- WC, Co- pre ocele s krátkou trieskou, šedá liatina, far.kovy. Červené označenie.

- Povlakované spekané karbidy sú materiály, ktoré majú vysokú oteruvzdornosť a súčasne aj vysokú húževnatosť. Tieto vlastnosti dosahujú doštičky zo SK, ktoré majú na povrchu tvrdé povlaky karbidu titánu TiC, nitridu titánu TiN, alebo oxidu hlinitého Al₂O₃. Povlaky môžu byť jedno alebo viacvrstvové, s jedným alebo viacerými komponentmi.

Jednovrstvové povlaky sú najčastejšie tvorené TiC, alebo TiCN, prípadne TiN. Hrúbka jednovrstvových povlakov dosahuje až 0,013 mm.

Viacvrstvové povlaky mávajú dve, tri aj viac vrstiev. Ako prvá vrstva sa používa vrstva s výbornou príľnavosťou k SK ale s nižšou oteruvzdornosťou napr. TiC. Ako posledná vrstva sa používa vrstva dobre príľnavá k predchádzajúcej, ale s veľmi vysokou oteruvzdornosťou, napr. TiN. Povlakované SK nachádzajú široké uplatnenie pri sústružení, frézovaní a vŕtaní v prevažnej časti strojárskych materiálov. [1]

3.2.1.3 Cermety

Cermet je rezný materiál, ktorý obsahuje tvrdé častice ako TiC, TiN, TiCN, TaN v kovovom spojive ako Ni, Mo, Co, ktorý sa vyrába technológiou práškovej metalurgie. Názov tvoria počiatočné písmena hlavných súčastí- CERamic / METal. Väčší obsah TiC spôsobuje vysokú tvrdosť, avšak nižšiu húževnatosť. Používajú sa preto predovšetkým pre dokončovacie operácie do reznej rýchlosti cca 360 m/min. Používajú sa vo forme vymeniteľných doštičiek pre sústruženie, frézovanie a rezanie závitov. [1]

3.2.1.4 Rezná keramika

Keramické rezné materiály sú tvrdé, majú vysokú tvrdosť za tepla a nereagujú chemicky s materiálom obrobku. Zaručujú vysokú trvanlivosť reznej hrany, znášajú vysokú teplotu na

rezných hrane až 1200 °C a môžu byť použité pri rezných rýchlostiach 300 až 1600 m/min. Rezná keramika je ako nástrojový materiál veľmi krehká a má nízku tepelnú vodivosť. Podľa ČSN ISO 513 sa pre rozdelenie a označenie keramických rezných materiálov používajú symboly:

CA- oxidická keramika na báze Al_2O_3

CM- keramická zmes na báze Al_2O_3 s prísadou neoxidických komponentov

CN- neoxidická keramika na báze nitrídu kremíku Si_3N_4

CC- povlakovaná keramika CA,CM,CN

Rezná keramika sa vyrába v tvare doštičiek, ktoré sú mechanicky upínané na reznú časť nástroja.

- Rezná keramika na báze oxidu hlinitého Al_2O_3 sa delí na čistú, poločistú a zmiešanú.

Čistá keramika obsahuje až 99,9 % kysličníku Al_2O_3 . Je doporučovaná pre dokončovacie sústruženie šedej liatiny, uhlíkových a nízkoaloyovaných ocelí pri použití rezných rýchlostí nad 100 m/min.

Poločistá keramika vzniká pridaním rôznych prísad do čistej keramiky, najčastejšie kysličníku zirkónu ZrO_2 , až do 20 %.

Zmiešaná keramika obsahuje vedľa Al_2O_3 prísadu TiC v rozmedzí 20 až 40 %. Tento materiál má v porovnaní s čistou keramikou väčšiu odolnosť proti tepelným a mechanickým rázom. Je doporučovaná pre frézovanie šedej liatiny a ocele.

- Vystužená keramika predstavuje nový produkt. Je to keramika vystužená viskerom, čo sú vlákna kryštálu s priemerom cca 0,001 mm a s dĺžkou cca 0,02 mm. Sú z karbidu kremíku a majú vysokú pevnosť. Podiel viskeru je cca 30%. Používajú sa na opracovanie ťažko obrábiteľných materiálov a najmä pri obrábaní s prerušovaným rezom.
- Rezná keramika na báze nitrídu kremíka má vysokú odolnosť proti mechanickému poškodeniu rezných hrany. Je vhodná pre prerušované rezy, je odolná proti tepelným rázom. Je vhodná pre obrábanie šedej liatiny za sucha aj pri chladení, reznými rýchlosťami až 400 m/min. [1]

3.2.1.5 Polykryštalický kubický nitríd bóru- PKNB

Je to zvlášť tvrdý rezný materiál, ktorého tvrdosť sa približuje tvrdosti diamantu. Vyrába sa pri vysokých teplotách a tlakoch, pri ktorých sa dosahuje spojenie kubických kryštálov bóru s keramickým alebo kovovým spojivom. Neusporiadané častice tvoria veľmi hustú polykryštalickú štruktúru. Kryštál kubického nitridu bóru je veľmi podobný kryštálu syntetického diamantu. PKNB dosahuje vysokú tvrdosť za tepla aj pri vysokých teplotách napr. 2000 °C, vysokú odolnosť proti abrazívnemu opotrebovani a pri obrábaní má dobrú chemickú stabilitu. Segmenty z PKNB tvoria reznú časť reznej vymeniteľnej doštičky zo spekaného karbidu. Sú však tiež dodávané monolitické doštičky z PKNB. Použitie sa predpokladá pri obrábaní tvrdých žiaruvzdorných materiálov, kalenej ocele, nežihanej tvrdej liatinynástrojov z kalenej ocele, kobaltových a niklových zliatin. Predpokladá sa aj ich použitie ako náhrada brúsenia. [1]

3.2.1.6 Polykryštalický diamant- PD

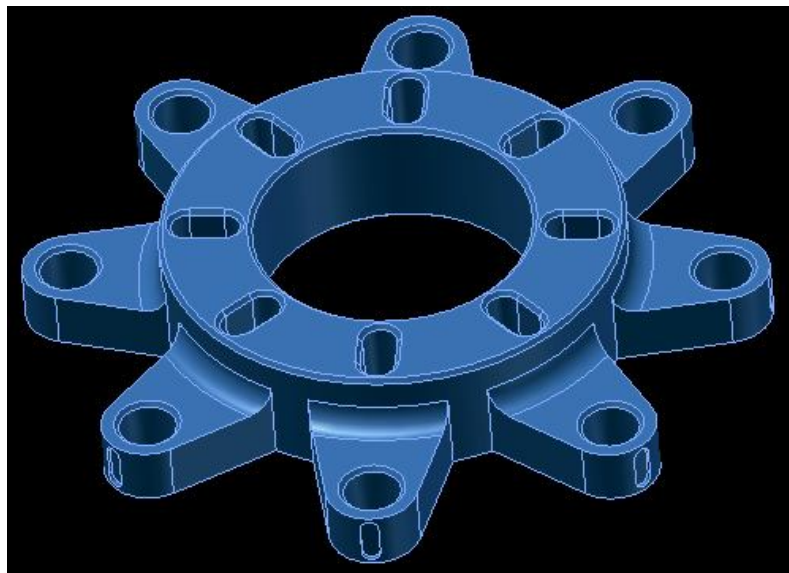
Najtvrdší známy materiál je prírodný monokryštalický diamant, ktorého tvrdosť syntetický polykryštalický diamant PD takmer dosahuje. Jemné kryštály diamantu sú spájané spekaním za vysokých teplôt a tlakov. Poloha kryštálov je náhodilá a v žiadnom smere nevytvára miesta, ktoré by mohli byť zdrojom lomu. Malé brity z PD sú pevne zakotvené na vymeniteľnej doštičke zo spekaného karbidu, ktorá im zabezpečuje odolnosť proti tepelným a mechanickým šokom. Trvanlivosť reznej hrany je mnohonásobne vyššia ako u spekaných karbidov. PD je odporúčaný k obrábaniu všetkých neželezných kovov aj nekovových materiálov ako napr. sklolamináty, tvrdý kaučuk, grafit, sklo a pod. Z kovových materiálov je vhodný predovšetkým pre obrábanie zliatin hliníka, medi a ich zliatin, obrábanie titánu a jeho zliatin. Je vhodný pre sústruženie, frézovanie a vŕtanie. [1]

4 CAD/CAM

V trhovej ekonomike súčasnosti je nutné pre prežitie firmy na trhu, aby firma v minimálnom čase, za minimálnú cenu maximálne uspokojila svojich odberateľov pričom musí maximalizovať zisk, a teda minimalizovať náklady. Toto musí dosiahnuť v čase, kedy rastie zložitosť produkovaných výrobkov, nároky na presnosť a spoľahlivosť jednotlivých dielcov. Pri použití konvenčných strojov vo výrobe je to ťažké dosiahnuť. Sú potrební kvalifikovaní pracovníci, ktorých je v strojárstve nedostatok. Riešenie tejto situácie spočíva v automatizácii a integrácii výrobného procesu. Automatizácia prispieva k zvyšovaniu produktivity a súčasne k znižovaniu výrobných nákladov. [2]

4.1 CAD- Computer Aided Design- počítačová podpora konštrukcie

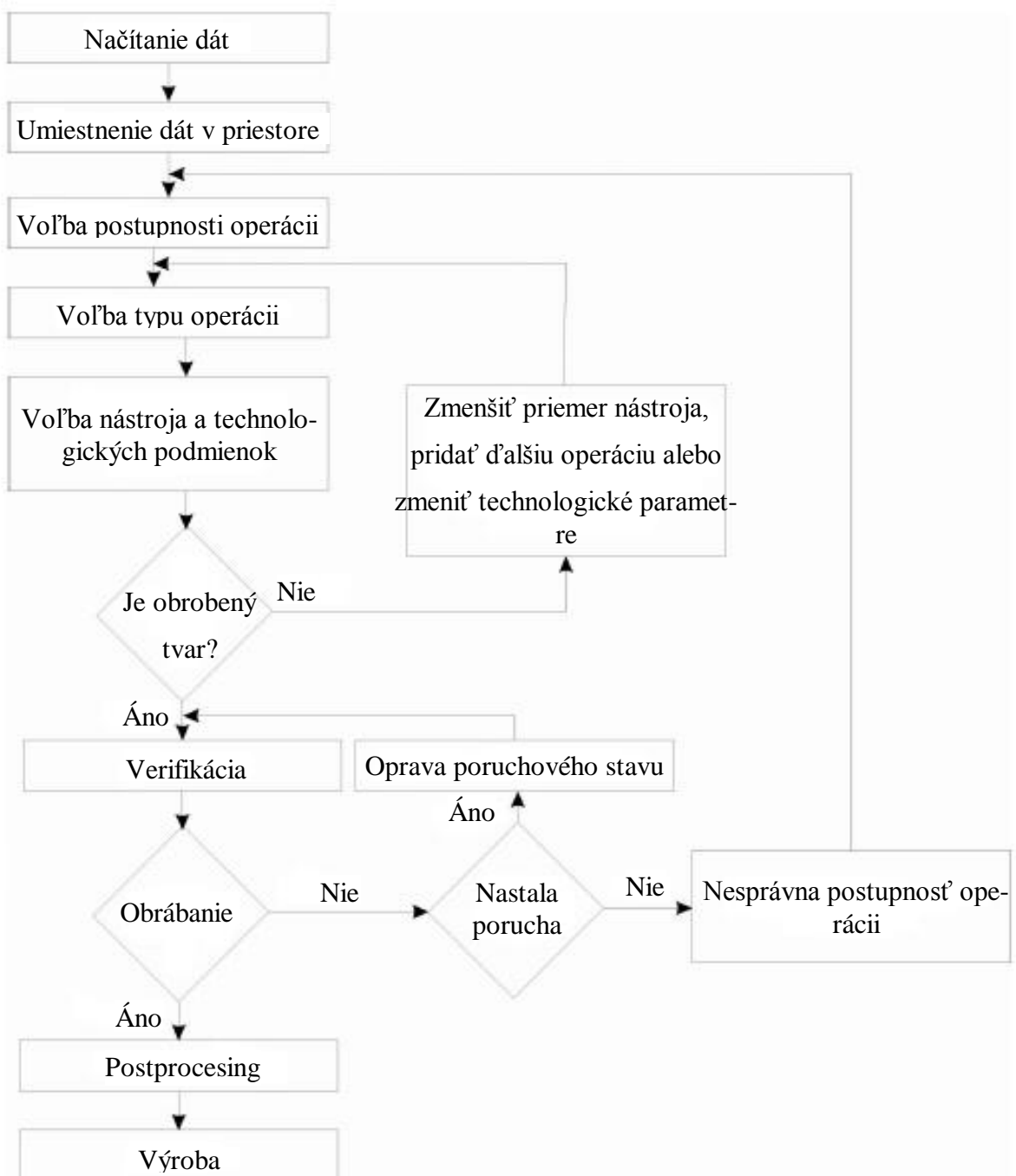
Je výhodné, keď je vytvorený počítačovo integrovaný systém, začínajúci v konštrukcii, kde sa uplatnia programy pre počítačovú podporu tvorby geometrie alebo modelu obrobku- CAD programy. (napr. Autodesk AutoCAD 2006, Autodesk Inventor 10, Pro Engineer). [2]



Obr. 27. Model súčasti v Inventore [10]

4.2 CAM- Computer Aided Manufacturing- počítačová podpora návrhu dráh nástrojov pri obrábání

Pomocou systému pre podporu návrhu dráh nástroja- CAM- (napr. SurfCAM, EdgeCAM, Catia V5, AlphaCAM) je možné(po doplnení technologickými informáciami) zpracovať program pre CNC stroj, medzioperačnú dopravu materialu, náradia, materialu, obrobku a výrobu. [2]



Obr. 28. Vývojový diagram práce v CAM software [11]

4.3 Prehľad CAM systémov

S CAM systémami sa užívatelia môžu stretnúť v niekoľkých variantách. Ide predovšetkým o samostatné CAM aplikácie, ktoré pre svoju funkčnosť nepotrebujú žiadny ďalší software, ďalej CAM aplikácie vo forme zásuvného modulu pre CAD (ako plug-in alebo nádstavba) a nakoniec ako veľké modulárne CAX systémy, kde je CAM jedným z mnohých modulov a obstarajú si ho len tí užívatelia, ktorí ho potrebujú. [12]

4.3.1 NX CAM Express

NX CAM je nástroj určený pre tvorbu NC programov a je plne integrovaný v CAX systéme NX. Je však možné ho integrovať aj do systému Solid EDGE. Okrem toho obsahuje translátory pre všetky najpoužívanejšie CAD systémy a výmenné formáty ako sú IGES, STEP, Parasolid a JT. Je tak použiteľný prakticky so všetkými najrozšírenejšími CAD systémami na trhu.

NX CAM poskytuje celú radu nástrojov pre frézovanie, sústruženie, drôtové rezanie, sústružnícko frézovacie operácie, vŕtanie a podobne. Samozrejmosťou sú pokročilé verifikácie vytvorených programov, a to vrátane simulácie práce celého stroja. NX obsahuje databázu strojov, ktorú je možné upravovať, či pridávať do nej vlastné stroje. Výstup je pritom možné robiť pre akýkoľvek stroj vďaka zabudovanému nástroju na tvorbu postprocesorov (Postbuilder). Každý zákazník má tiež prístup k databáze hotových postprocesorov.

V oblasti CAM má NX dlhodobo dominantné postavenie. Jeho sila spočíva vo vysokej spoľahlivosti, ale tiež poskytuje značnú voľnosť pri tvorbe technologických operácií. NX CAM je plne asociatívny s CAD modelmi, a v prípade zmeny modelu upozorní na potrebnú regeneráciu dráh. Používateľ nemusí pri menších zmenách modelu, na ktorý už urobil program, robiť ho znovu.

- High Seed Machinig

Čoraz častejšie sa v obrábaní preferuje vysokorychlostné obrábanie, kedy systém generuje hladké prechody medzi dráhami tak, aby bol nástroj v konštantnom zábere pri odoberaní s minimálnou trieskou.

- Práca s Wizardom

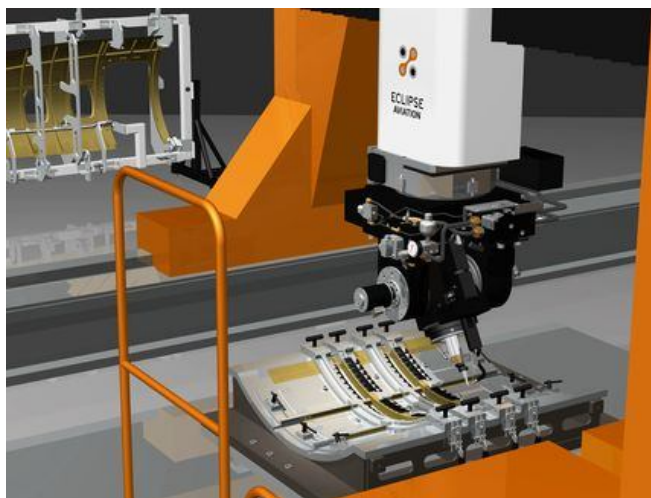
NX CAM obsahuje množstvo nástrojov, ktoré zjednodušujú proces tvorby programu. Najmä pre začínajúcich užívateľov sú určený tzv. Wizardi, ktorí prevedú používateľa krok za krokom celým procesom tvorby programu. Sprievodcov je však možné použiť aj v prípade, kedy je nutné zachytiť najlepšie postupy pri obrábaní súčiastky. Týchto sprievodcov je možné upravovať, prípadne tvoriť vlastných, a to bez akýchkoľvek znalostí z programovania.

- Feature Based Machining

NX CAM dokáže automatizovať množstvo úkonov, napríklad pomocou funkčnosti nazvanej Feature Based Machining. Je to nástroj, ktorý rozpozná tvary obrábanej geometrie (môže byť aj importovaná z ľubovľného CAD systému) a navrhne najvhodnejšie nástroje, operácie a parametre pre ich obrobenie. Užívateľ tak iba vyberie geometriu, ktorú chce obrobiť, a systém sa postará o všetko ostatné. Samozrejmosťou je možnosť dopĺňať databázu rozpoznávaných tvarov, a priradovať im parametre obrábania.

- 5 osé obrábanie

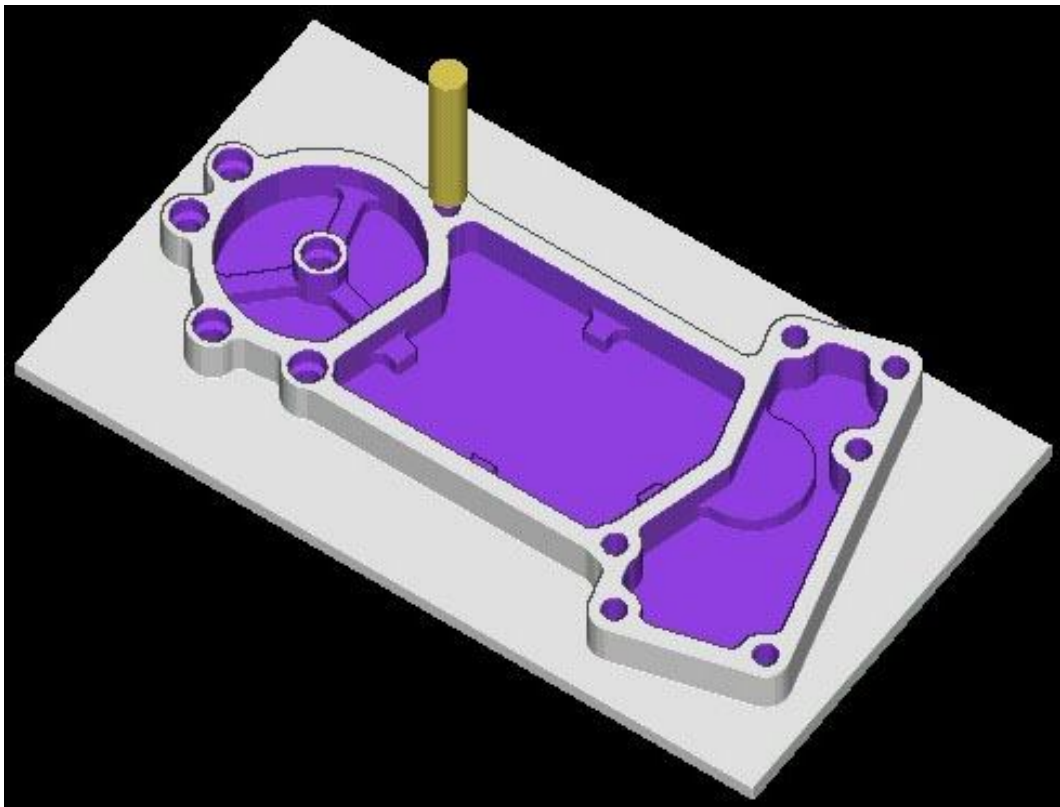
V súčasnosti komplikovaný dizajn výrobkov vyžaduje stále náročnejšie obrábanie. Mnohokrát je nutné 5 osé obrábanie. NX CAM poskytuje veľmi silné nástroje pre tvorbu operácií 5 osého obrábania. Pri 5 osom obrábaní je veľmi dôležitá kvalitná a spoľahlivá simulácia obrábania. NX ponúka možnosť simulácie práce celého stroja s verifikáciou G kódu. Teda vstupom je kód, ktorý sa použije aj v reálnom stroji. [13]



Obr. 29. NX CAM Express [13]

4.3.2 SurfCAM

SurfCAM umožňuje obrábanie 2D/3D CAD modelov od hrubovacích operácií cez dokončovacie operácie až po zbytkové obrábanie, overenie dráhy nástroja v SurfCAM Verify a následné preloženie dráhy nástroja pre daný stroj (drôtorez; sústruh; 2,5 až päťosá frézka s rôznymi riadiacimi systémami). Okrem technologickej časti CAM ponúka možnosti priameho modelovania a následné úpravy modelov (vytvorených i prevzatých z iných CAD systémov). V produkte SurfCaM Velocity a vyšších verziách je k dispozícii technológia TrueMill od americkej firmy SurfWare, ktorá prináša vylepšenie v oblasti trieskového obrábania, takže je možné efektívne riadiť prekrytie nástroja s dodržaním konštantného uhla jeho styku s odoberaným materiálom čím nedochádza k preťažovaniu nástroja. [12]



Obr. 30. Obrábanie v programe SurfCAM s názornou vizualizáciou [10]

4.3.3 Catia V5

Obrábanie v produkte Catia V5 ponúka riešenie umožňujúce výrobným podnikom plánovať, simulovať a optimalizovať ich obrábacie procesy. Zaradené NC moduly ponúkajú celú radu flexibilných operácií pre vysokorýchlostné obrábanie (napr. sústredné hrubovania, frézovanie v Z-hladinách, 5 osé frézovanie kontur). Vzhľadom k vysokej integrácii medzi definíciou a výpočtom dráhy nástroja, ich overovaním a vygenerovaním môže užívateľ zvýšiť kvalitu svojej práce vytvorením správneho obrobku na prvý pokus. Catia V5 umožňuje vytvoriť vysoký stupeň asociativity medzi geometriou obrobku, obrábacím procesom a zdrojom (PPR). [12]

4.3.4 EdgeCAM

Kompletné softvérové CAM riešenie ako pre produkčné obrábanie, tak i pre výrobu tvarových foriem a zápuštiok. EdgeCAM integruje štvor- a päťosé plynulé obrábanie s trojosovým frézovacím prostredím, čo umožňuje kombinovať požadované viacosé a trojosé obrábacie stratégie. Typickým príkladom je trojosé hrubovanie a „preddokončenie“ nasledované päťosým obrobením načisto. V najnovšej verzii sa objavili funkcie automatického rozpoznania otvorených kapsí a radialných otvorov na kuželových alebo válcových stenách. EdgeCAM rovnako ponúka spoľahlivé operácie zabraňujúce kolíziám s automatickou kontrolou kolízií. [12]

4.3.5 AlphaCAM

AlphaCAM je postavený modulárne od prevedenia pre jednoduchšie stroje a nároky ku zložitejším. Podporuje prípravu technológií pre obrábanie kovu, plastu, skla, kameňa alebo dreva. Na úrovni 2D sa môže jednať od prostého obrábania 2D kontúr, na najvyššiu úroveň od programovania stroja s viacerými vretenami a viacerými osami. Program je rozlíšený podľa využitých technológií na frézovanie, sústruženie, drôtorez, laser (využíva sa i pre plameň, plazmu a vodný lúč). Pre komunikáciu s externými konštrukčnými systémami slúžia rôzne rozhrania, ktoré sú buď štandardné súčasťou AlphaCAMu (napr. SolidEdge, SolidWorks, Inventor, AutoCAD) alebo sú zásuvnými modulami za príplatok (napr. Catia, Pro Engineer). [12]

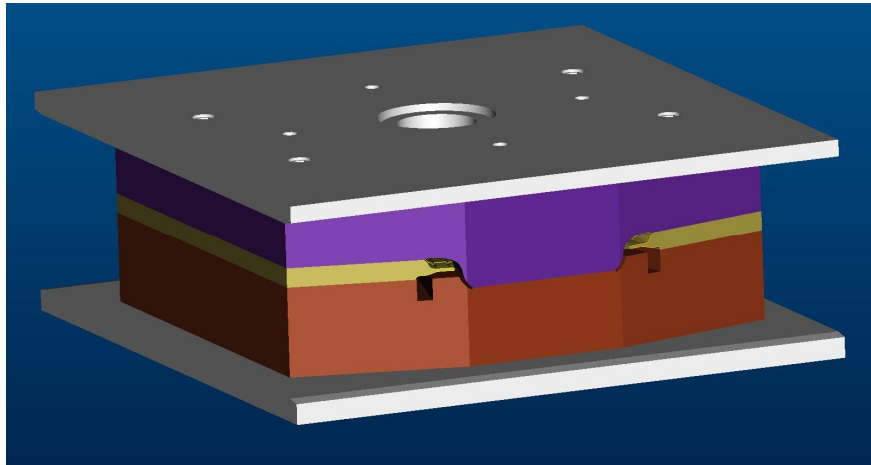
5 ZHRNUTIE TEORETICKEJ ČASTI

V teoretickej časti práce boli zhrnuté základné poznatky frézovania. Začiatok práce popisuje informácie týkajúce sa rezného procesu a tvorenia triesky. Práca pokračuje vysvetlením druhov a typov frézovania. Ďalšia časť bola venovaná strojnému vybaveniu, teda rozdeleniu frézovačiek na konvenčné a číslicovo riadené. Na to nadväzuje rozdelenie nástrojov (fréz) a rozdelenie materiálov, ktoré sa používajú na výrobu fréz. Posledná časť bola venovaná stručnému popisu CAD/CAM programov.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

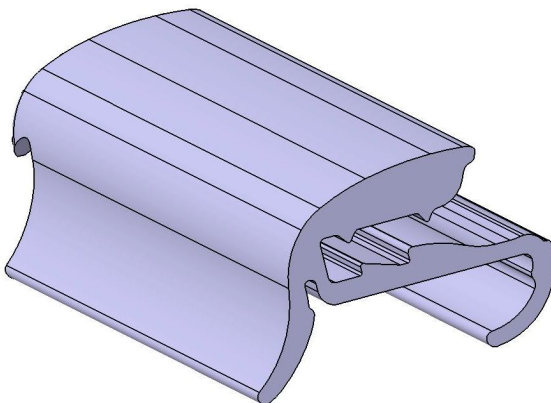
6 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ZVOLENOM 3D MODEL

Model, ktorý bol zvolený na výrobu, je vstrekovacia forma firmy Contitech Vegum s. r. o. Dolné Vestenice. Forma sa používala na vstrekovacom stroji Desma. Je to forma do ktorej sa nasunie gumový profil a dostrekne koncovka. Je štvornásobná. Pozostáva zo štyroch hlavných dosiek, ktoré boli aj vyrábané: horná doska, dolná doska, stredná doska a vložka.

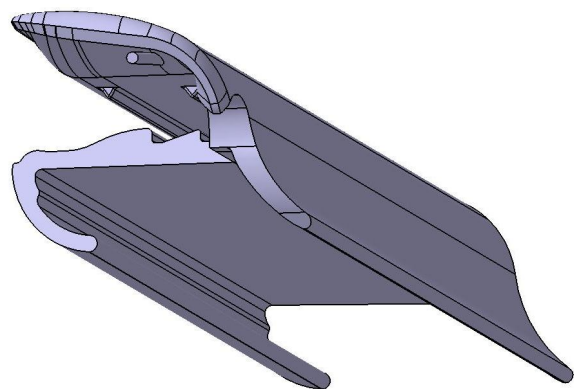


Obr. 31. Zvolený 3D model na výrobu

Výrobok z tejto formy je koncovka na stieracie tesnenie, ktoré sa používalo na predné dvere Škody Octavie.



Obr. 32. Výrobok zo vstrekovacej formy



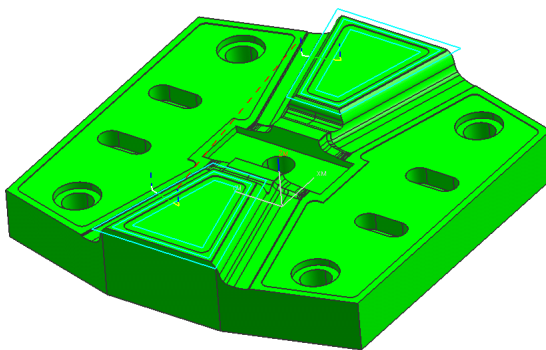
Obr. 33. Výrobok zo vstrekovacej formy

7 PRÍPRAVA VÝROBY V CAM SYSTÉME NX

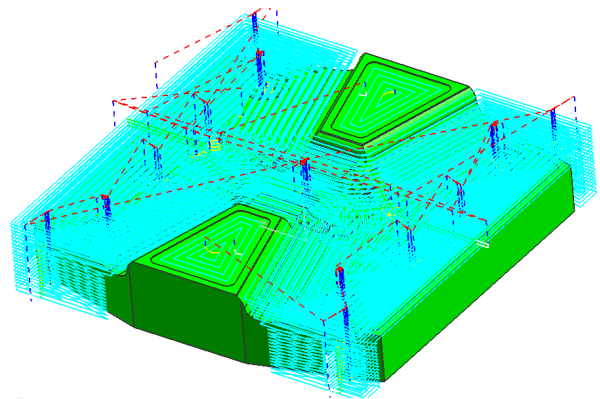
Simulácia obrábania a tvorba NC programu bola vytvorená v programe NX CAM Express. V našom prípade boli jednotlivé časti formy konštruované v programe Pro Engineer a vďaka formátu STEP môžu byť upravované v akomkoľvek CAM systéme.

7.1 Horná doska

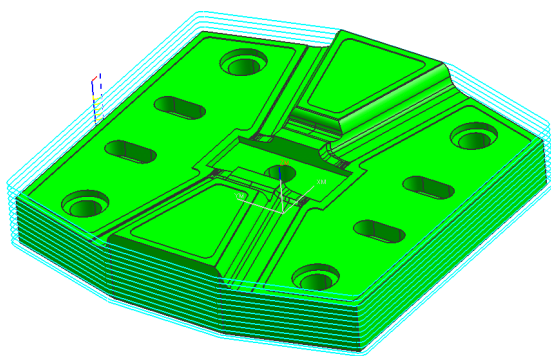
Ako prvá sa použije valcová fréza o priemere 10 mm, ktorou sa zarovná vrchná vrstva polotovaru operáciou face milling area (obr. 34.). Následne sa použije operácia cavity mill, ktorou sa polotovar obrobí na hrubo (obr. 35.). Operáciou planar profile sa dokončí obvod hornej dosky (obr. 36.). Dokončovacia operácia rest milling vyfrézuje všetky drážky a otvory (obr. 37.). Použije sa guľová fréza o priemere 8 mm a polomere zaoblenia 4 mm, ktorou sa obrobia plochy tvarovej dutiny formy pomocou dokončovacej operácie zlevel profile (obr.38.). Ako posledná sa použije guľová fréza o priemer 3 mm a polomer zaoblenia 1,5 mm, ktorá operáciou rest milling_1 spresní plochy tvarovej dutiny formy (obr. 39.). Tieto plochy po dokončení obrábania stále neboli dostatočne opracované tak sa pridali operácie zlevel profile_1-6 po ktorých bola tvarová dutina dosky dokonale obrobená (obr. 40- 45.).



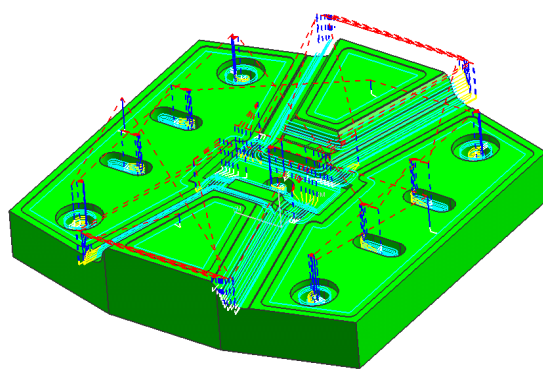
Obr. 34. Horná doska- operácia face milling area- 10V



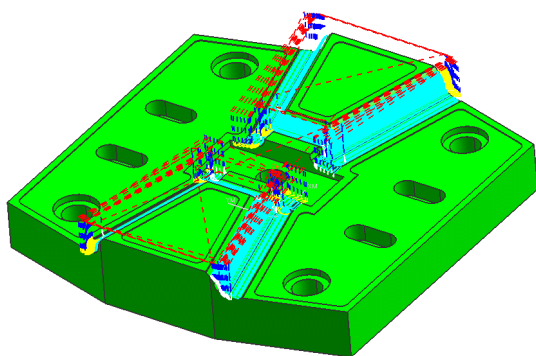
Obr. 35. Horná doska- operácia cavity mill- 10V



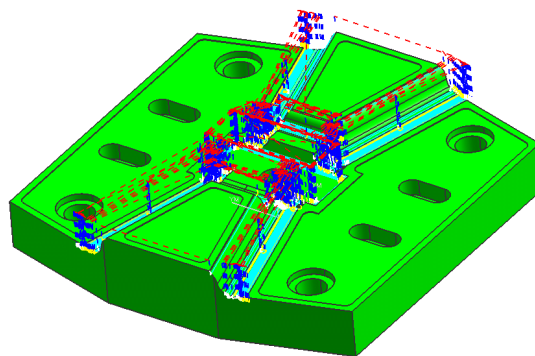
Obr. 36. Horná doska- operácia planar profile- 10V



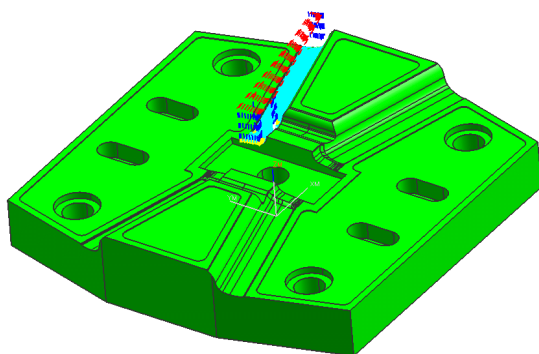
Obr. 37. Horná doska- operácia rest milling- 10V



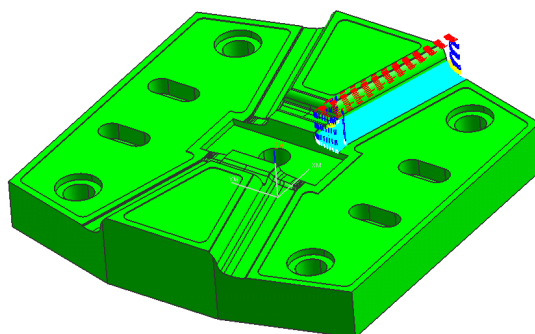
Obr. 38. Horná doska- operácia zlevel profile- 8K



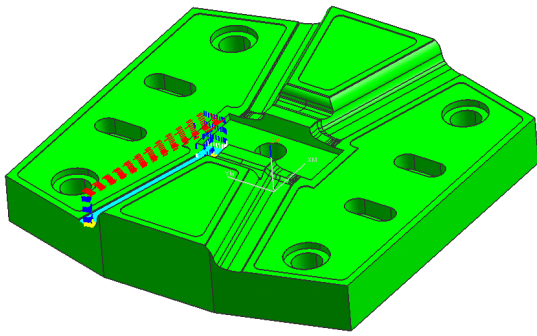
Obr. 39. Horná doska- operácia rest milling_1- 3K



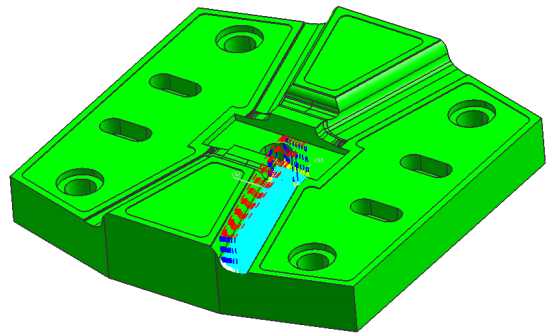
Obr. 40. Horná doska- operácia zlevel profile_1- 3K



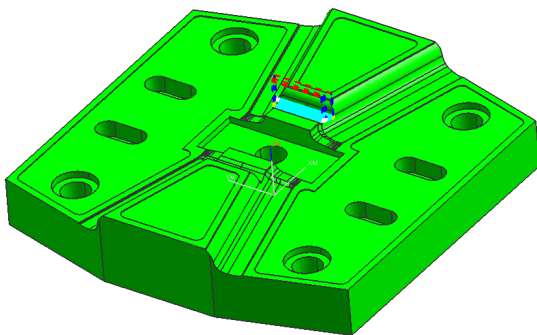
Obr. 41. Horná doska- operácia zlevel profile_2- 3K



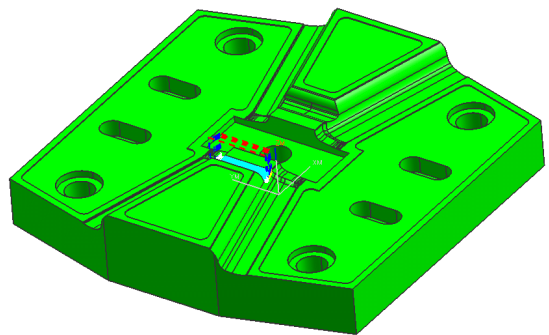
Obr. 42. Horná doska- operácia zlevel
profile_3- 3K



Obr. 43. Horná doska- operácia zlevel
profile_4- 3K



Obr. 44. Horná doska- operácia zlevel
profile_5- 3K



Obr. 45. Horná doska- operácia zlevel
profile_6- 3K

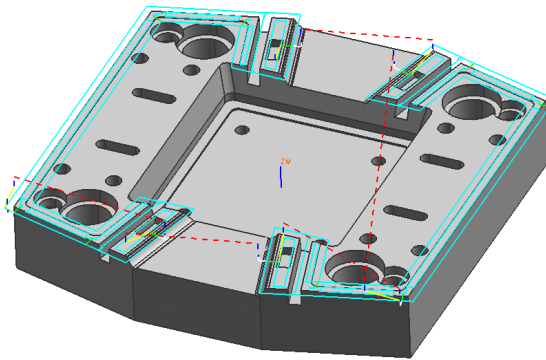
Predpokladaný čas obrábania hornej dosky podľa programu NX CAM Express je 01h:58m:16s. Obrábacie parametre k hornej doske sú v tabuľke 3.

Tabuľka 3. Obrábacie parametre- horná doska

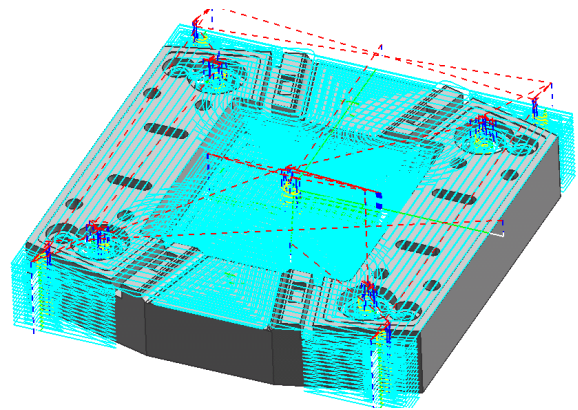
<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u> [mm]	<u>Názov nástro- ja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaoblenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástro- ja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill	Hrubova- nie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Face milling area	Dokončo- vanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Planar profile	Dokončo- vanie	2500	4	10V	10	0,000	100	40
Rest milling	Dokončo- vanie	2500	2	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile	Dokončo- vanie	2500	0,4	8K	8	4	100	40
Rest milling 1	Dokončo- vanie	2500	0,2	3K	3	1,5	60	20
Zlevel profile 1-6	Dokončo- vanie	2500	0,3	3K	3	1,5	60	20

7.2 Dolná doska

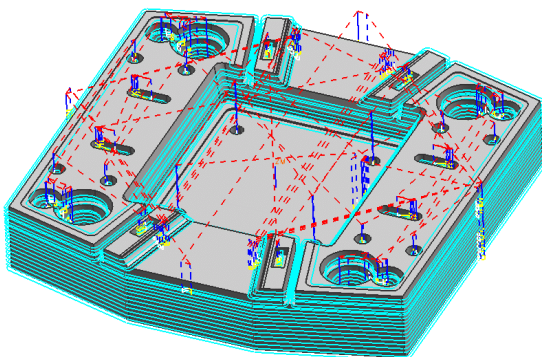
Na obrobenie dolnej dosky vstrekovacej formy sa ako prvý nástroj použije, valcová fréza o priemer 10 mm, ktorá zarovná povrch polotovaru operáciou face milling area (obr. 46.). Hrubovacia operácia cavity mill obrobí polotovar s úberom 3mm (obr. 47.). Použije sa menšia valcová fréza o priemere 6 mm aby sa obrobili všetky diery a drážky ,a obvod dosky dokončovaciou operáciou zlevel profile_1 (obr. 48.). Gul'ová fréza o priemere 6 mm a polomere zaoblenia 3 mm operáciou zlevel profile, dostatočne obrobí vnútornú dutinu dosky, do ktorej sa vkladá vložka (obr. 49.). Posledná fréza sa použije gul'ová o priemer 3 mm a polomer zaoblenia 1,5, ktorá dokonale obrobí tvarovú dutinu formy operáciou rest milling (obr. 50.).



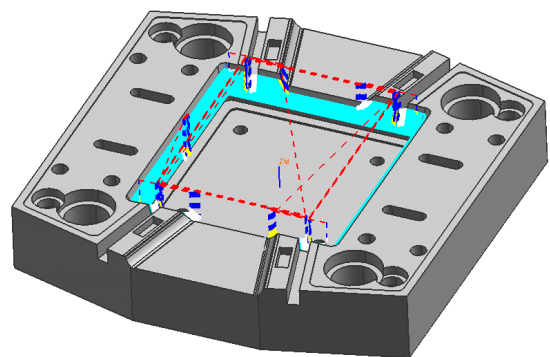
Obr. 46. Dolná doska- operácia face milling area- 10V



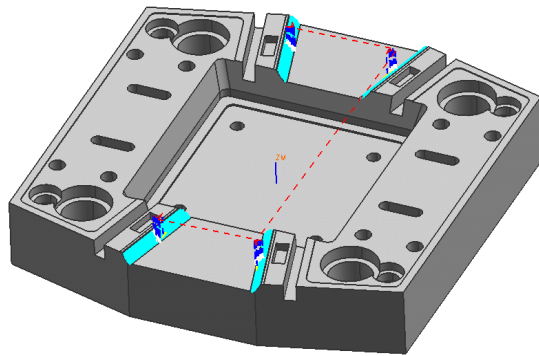
Obr. 47. Dolná doska- operácia cavity mill- 10V



Obr. 48. Dolná doska- operácia zlevel profile_1- 6V



Obr. 49. Dolná doska- operácia zlevel profile- 6K



Obr. 50. Dolná doska- operácia rest mil-
ling- 3K

Predpokladaná doba obrábania dolnej dosky je 1h:28m:26s. Obrábacie parametre sú vypísané v tabuľke 4.

Tabuľka 4. Obrábacie parametre- dolná doska

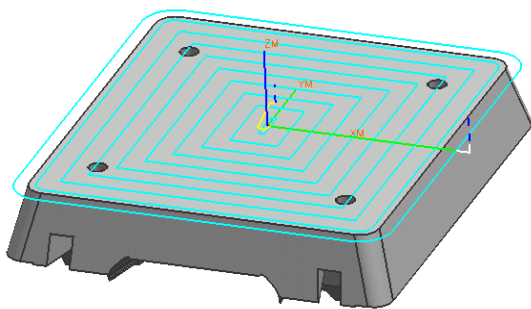
<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u> [mm]	<u>Názov nástroja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaobenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástroja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill	Hrubovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Face milling area	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile 1	Dokončovanie	2500	3	6V	6	0,000	100	40
Zlevel profile	Dokončovanie	2500	0,5	6K	6	3	65	20
Rest milling	Dokončovanie	2500	0,2	3K	3	1,5	60	20

7.3 Vložka

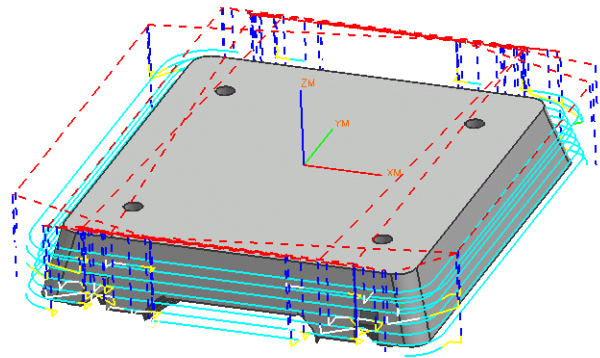
Pri obrábání vložky vstrekovacej formy bolo potrebné upínať polotovar na dva krátky, pretože by nebolo možné vytvoriť záporný uhol na jej obvodě na jedno upnutie.

7.3.1 Vložka- prvá strana

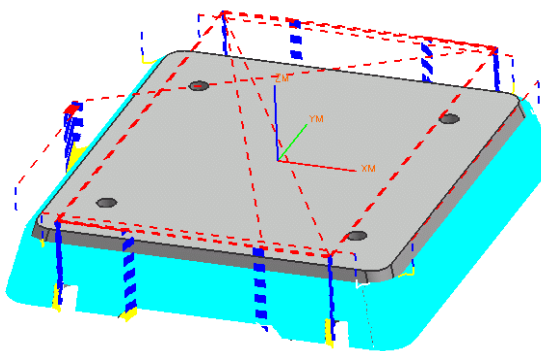
Valcovou frézou o priemere 10mm sa zarovná vrchná plocha polotovaru operáciou face milling area (obr. 51.). Hrubovacou operáciou cavity mill sa spraví obvod vložky (obr. 52.). Dokončovacia operácia zlevel profile_2 dokončí guľovou frézou o priemere 8 mm a polomere zaoblenia 4 mm obvodové plochy vložky (obr. 53.). Vďaka operácii drilling sa vyvrtajú diery, potrebné na uchytenie polotovaru na obrobenie z druhej strany, o priemer 8 mm guľovou frézou (obr. 54.).



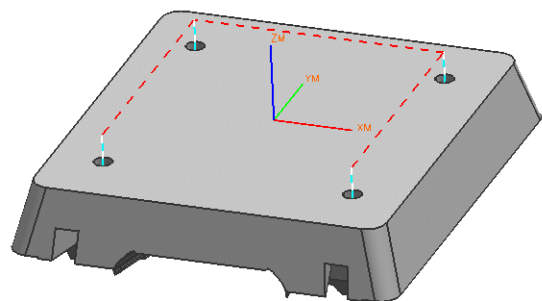
Obr. 51. Vložka- prvá strana- operácia face milling area- 10V



Obr. 52. Vložka- prvá strana- operácia cavity mill_prvá strana- 10V



Obr. 53. Vložka- prvá strana- operácia zlevel profile_2- 8K



Obr. 54. Vložka- prvá strana- operácia drilling- 8K

V tabulke 5. sú obrábacie parametre k obrábaniu vložky z prvej strany.

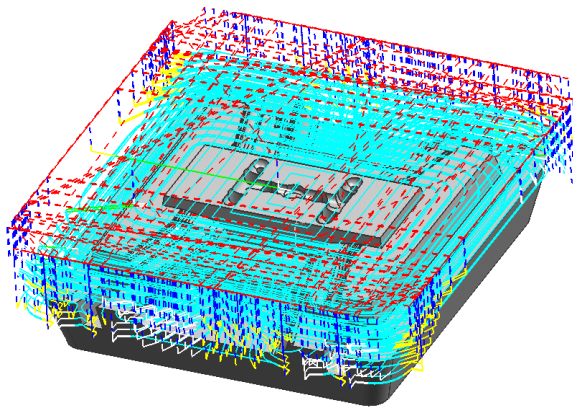
Tabuľka 5. Obrábacie parametre- vložka- prvá strana

<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u>	<u>Názov nástroja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaoblenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástroja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill- prvá strana	Hrubovanie	2500	4	10V	10	0,000	100	40
Face milling area	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile_2	Dokončovanie	2500	0,4	8K	3	1,5	100	40
Driling	Dokončovanie	2500	10	8K	3	1,5	100	40

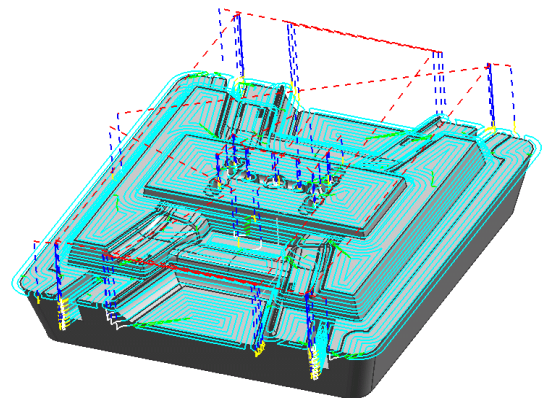
7.3.2 Vložka- druhá strana

Pri obrábání vložky druhej strany sa použije valcová fréza o priemere 10 mm, ktorá obrobí hrubovacou operáciou cavity mill_druhá strana vložku na hrubo (obr. 55.). Valcová fréza o priemere 6 mm obrobí všetky drážky a otvory operáciou zlevel profile (obr. 56.).

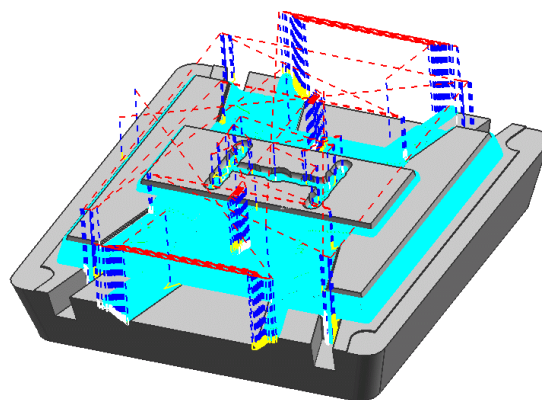
A napokon na dokonale vyfrézovanie tvarových plôch sa použije guľová fréza s priemerom 3 mm a s polomerom zaoblenia 1,5 mm. Použije sa operácia zlevel profil_1 (obr. 57.).



Obr. 55. Vložka- druhá strana- operácia cavity mill_druhá strana- 10V

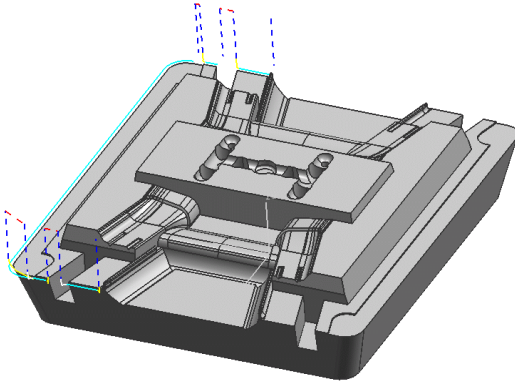


Obr. 56. Vložka- druhá strana- operácia zlevel profile- 6V

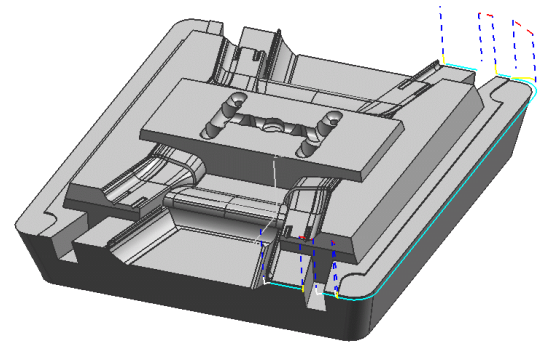


Obr. 57. Vložka- druhá strana- operácia zlevel profil_1- 3K

Po dokončení obrábania sme zistili, že po obvode vyrobenej vložky zostal materiál, ktorý sa neubral pri operácii zlevel profile_2. Tento neubratý materiál sa odstráni operáciou profile 3D. Použila sa guľová fréza o priemere 3 mm a polomere zaoblenia 1,5 mm, ktorá bola použitá v predchádzajúcej operácii.



Obr. 58. Vložka- druhá strana- operácia profile 3D- 3K



Obr. 59. Vložka – druhá strana- operácia profile 3D- 3K

Predpokladaný čas obrábania oboch strán je 01h:15m:59s. Obrábacie parametre pre obrábene vložky z druhej strany sú v tabuľke 6.

Tabuľka 6. Obrábacie parametre- vložka- druhá strana

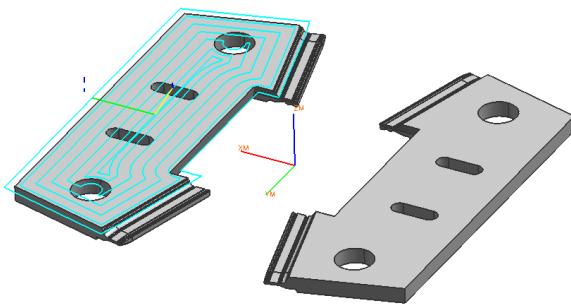
<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u> [mm]	<u>Názov nástroja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaoblenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástroja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill- druhá strana	Hrubovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile	Dokončovanie	2500	2	6V	6	0,000	100	40
Zlevel profile_1	Dokončovanie	2500	0,2	3K	3	1,5	60	20

7.4 Stredná doska

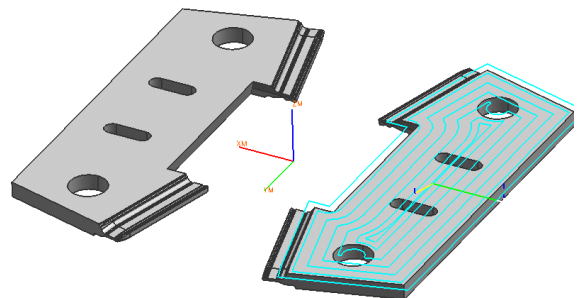
Stredná doska bola obrábaná taktiež z obidvoch strán. Stredná doska je tvorená z dvoch symetrických dosiek.

7.4.1 Stredná doska- prvá strana

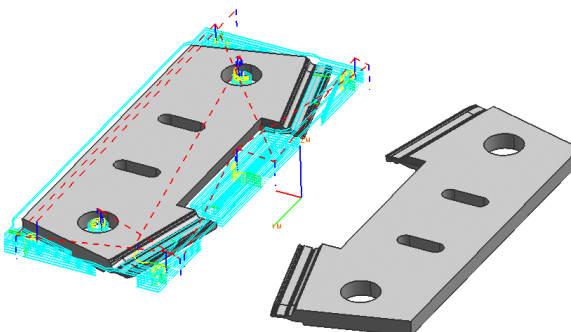
Ako prvá sa použije valcová fréza o priemere 10mm, ktorou sa zarovná vrchná plocha operáciou face milling area (obr. 60-61.). Na obrobenie obvodu sa použije operácia zlevel profile_3(obr. 62-63.). Operácia cavity mill obrobí dosku na hrubo (obr. 64-65.) a zlevel profile_2 dokončí diery a drážky (obr. 66-67.). Následne sa použije guľová fréza o priemere 3 mm a polomere zaoblenia 1,5 mm na dokonale dokončenie tvarovej časti dosky operáciou Zlevel profile (obr. 68-69.).



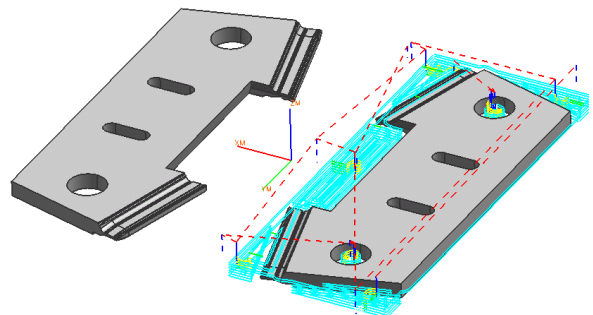
Obr. 60. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia face milling area- 10V



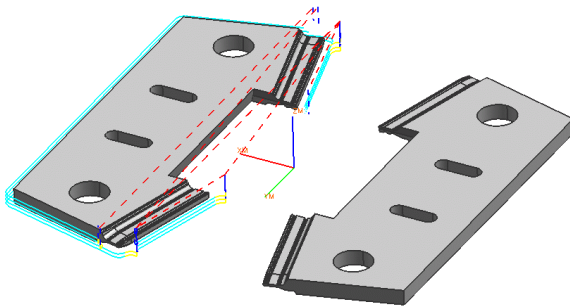
Obr. 61. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia face milling area- 10V



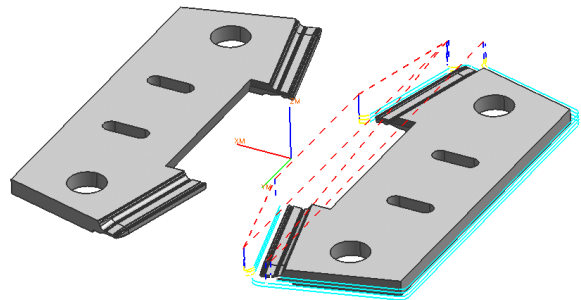
Obr. 62. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia cavity mill- 10V



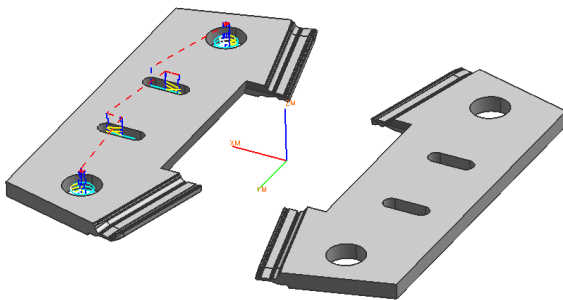
Obr. 63. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia cavity mill- 10V



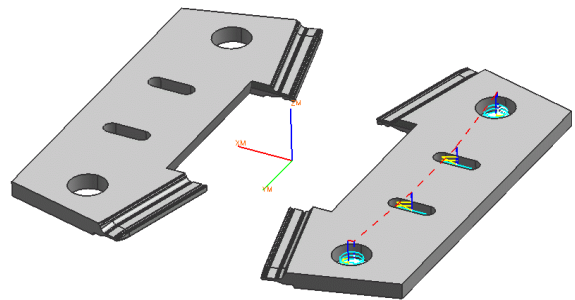
Obr. 64. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_3- 10V



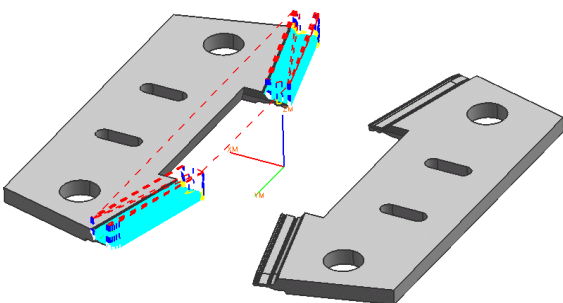
Obr. 65. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_3- 10V



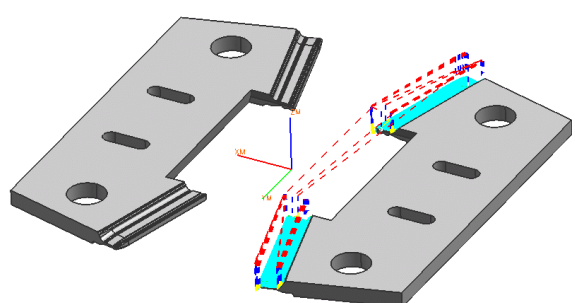
Obr. 66. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_2- 10V



Obr. 67. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_2- 10V



Obr. 68. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile- 3K



Obr. 69. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile- 3K

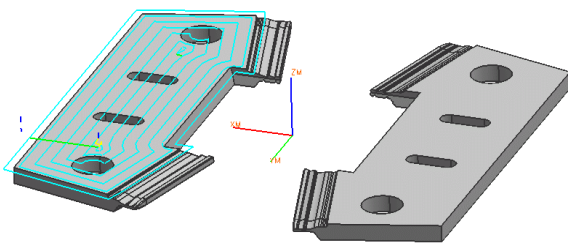
Obrábacie parametre pre strednú dosku prvú stranu sú v tabuľke 7.

Tabuľka 7. Obrábacie parametre- stredná doska- prvá strana

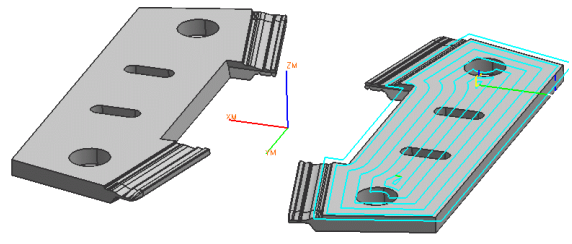
<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u> [mm]	<u>Názov nástroja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaoblenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástroja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill	Hrubovanie	2500	2	10V	10	0,000	100	40
Face milling area	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile_3	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile_2	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile	Dokončovanie	2500	0,3	3K	3	1,5	60	20

7.4.2 Středná doska- druhá strana

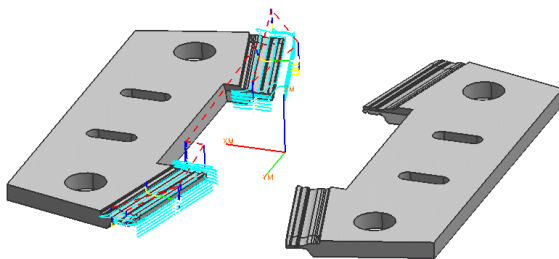
Druhá strana střednej dosky sa začne obrábať operáciou face milling area_1, ktorá zarovná vrchnú plochu valcovou frézou o priemerná 10 mm (obr. 70-71.). Nasleduje hrubovacia operácia cavity mill_1, ktorá spraví tvarovú časť formy (obr. 72-73.). Gul'ová fréza o priemer 3 mm dokončí dokonale operáciou zlevel profile_1 tvarovú časť formy (obr. 74-75.) a vnútorné obvodové plochy operáciou zlevel profile_4 (obr. 76-77.).



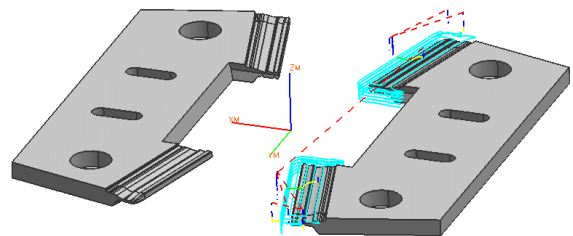
Obr. 70. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia face milling area_1- 10V



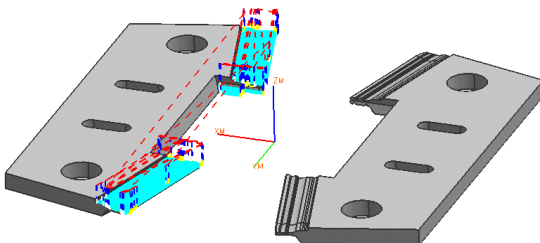
Obr. 71. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia face milling area_1- 10V



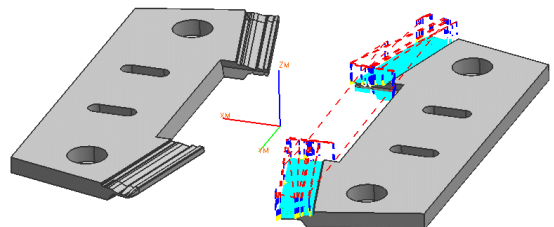
Obr. 72. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia cavity mill_1- 10V



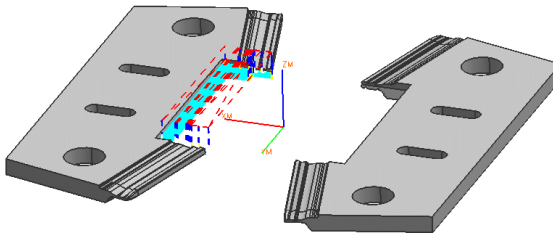
Obr. 73. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia cavity mill_1- 10V



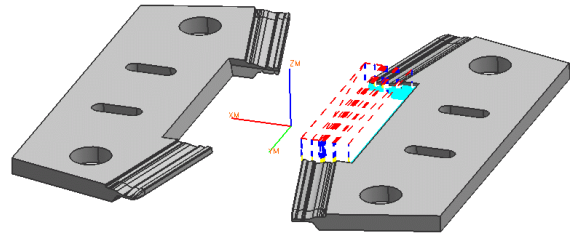
Obr. 74. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_1- 3K



Obr. 75. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_1- 3K



Obr. 76. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia- zlevel profile_4- 3K



Obr. 77. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_4- 3K

Predpokladaný čas obrábania strednej dosky z obidvoch strán je 01h:09m: 40s. Obrábanie parametre su v tabuľke 8.

Tabuľka 8. Obrábacie parametre- stredná doska- druhá strana

<u>Názov operácie</u>	<u>Názov metódy</u>	<u>Posuv</u> [mm/min]	<u>Úber</u> [mm]	<u>Názov nástroja</u>	<u>Priemer nástroja</u> [mm]	<u>Polomer zaoblenia</u> [mm]	<u>Dĺžka nástroja</u> [mm]	<u>Dĺžka zubov</u> [mm]
Cavity mill_1	Hrubovanie	2500	2	10V	10	0,000	100	40
Face milling area_1	Dokončovanie	2500	3	10V	10	0,000	100	40
Zlevel profile_1	Dokončovanie	2500	0,3	3K	3	1,5	60	20
Zlevel fproile_4	Dokončovanie	2500	0,3	3K	3	1,5	60	20

8 POSTPROCESSOR

Na vygenerovanie príslušného NC kódu bol použitý postprocesor k školskej frézovačke.

Jednotlivé operácie sa zoradili do zložiek podľa toho aký nástroj sa použil na danú operáciu a spostprocessorovali ,a tým sme získali NC programy potrebné pre riadenie stroja, rozdeľené do súborov podľa použitého nástroja.

Na obr. 78. je ukážka NC kódu hornej dosky pre operáciu face milling area.

```
;Univerzita Tomase Bati Zlin, UVI
;Soucast: hd22
;Operace: 10V_SROVNAT
;Datum: 18 May 2010
;vytvoril: Alexander Švec
%
N0010 G40 G17 G90
;Nazev operace: FACE_MILLING_AREA
;Nastroj: 10V
;Prumer: 10.00 mm
;Zaobleni rohu : 0.00 mm
N0020 T00 M06
N0030 G00 X89.03 Y12.32 S0 M03
N0040 G43 Z63.185 H00
N0050 Z53.185
N0060 G01 Z50.185 F2500. M08
N0070 X87.718 Y17.144
N0080 X55.436 Y8.361
N0090 Y-8.361
N0100 X120. Y-25.927
N0110 Y25.927
N0120 X87.718 Y17.144
N0130 X85.749 Y24.381
N0140 X47.936 Y14.094
N0150 Y-14.093
N0160 X127.5 Y-35.74
N0170 Y35.741
N0180 X85.749 Y24.381
N0190 X83.78 Y31.618
N0200 X44.124 Y20.829
N0210 X44.122
N0220 X40.436 Y19.826
N0230 Y-19.826
N0240 X135. Y-45.554
N0250 Y45.554
N0260 X83.78 Y31.618
N0270 X82.467 Y36.443
N0280 Z53.185
N0290 G00 Z63.185
N0300 X-89.03 Y12.32
N0310 Z53.185
N0320 G01 Z50.185
N0330 X-87.718 Y17.144
N0340 X-120. Y25.927
N0350 Y-25.927
N0360 X-55.436 Y-8.361
N0370 Y8.361
N0380 X-87.718 Y17.144
N0390 X-85.749 Y24.381
N0400 X-127.5 Y35.741
N0410 Y-35.74
N0420 X-47.936 Y-14.093
N0430 Y14.094
```

Obr. 78. Ukážka NC kódu

9 VÝROBA VSTREKOVACEJ FORMY

Vstrekovacia forma bola vyrábaná z materiálu NECURON 605 čo je polyuretánový materiál. Vstrekovacia forma sa vyrábala ako skúšobný model, ktorý môže súžiť aj ako pomôcka pri výuke. Polotovary pre jednotlivé dosky formy boli napílené na pásovej pile Zevela Bojkovice PP 320 v školskej dielni. Polotovary na jednotlivé dosky mali rozmery: horná doska- 265 x 265 x 52 mm, dolná doska- 265 x 265 x 48 mm, vložka- 152 x 144 x 42 mm a 2 dve menšie dosky na strednú dosku- 261 x 106,5 x 14 mm. Model bol vyrobený na 3 osej CNC frézovačke HWT C-442 CNC v školskej dielni.



Obr. 79. Pásová píla



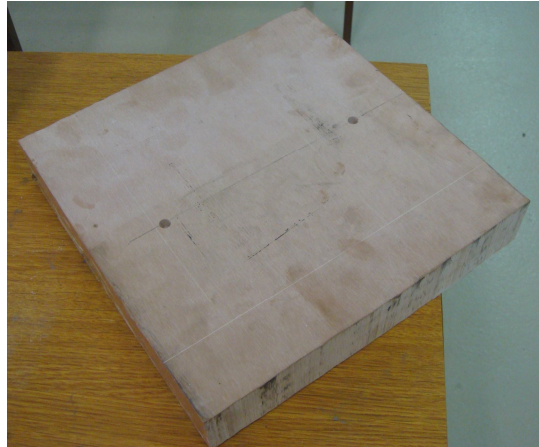
Obr. 80. CNC frézovačka- HWT C-442 CNC

Obrábací priestor (X×Y×Z)	400 mm × 400 mm × 200 mm
Veľkosť upínacej plochy (X×Y)	500 mm × 500 mm, 8 mm T-drážky
Programovateľná rýchlosť posuvu	max. 3 m/min
Programovateľný krok	0,00625 mm
Otáčky vretena	2000-25000 ot./min
Max. upínací priemer nástroja	10 mm
Motor vretena	1000 W univerzálni
Riadiaca jednotka	PC
Napájanie	230 V/50 Hz
Prikon	2300 VA
Vonkajšie rozmery (š×h×v)	1200 mm × 1000 mm × 1400 mm
Hmotnosť	410 kg
Materiál obrobnku	grafit, plasty, drevo, farebné kovy
Max. hmotnosť obrobnku	20 kg

Obr. 81. Parametre CNC frézovačky- HWT C- 443 CNC

9.1 Výroba hornej dosky

Polotovar sa upol pomocou kolíkov o priemere 6 mm, ktoré sme vložili do vopred vyvrtaných dier na polotovare a na upínacej doske. Tieto diery sme vyvrtali na stĺpovej vŕtačke Optimum B 40 GSM. Pre zaistenie správneho upnutia sa nanieslo sekundové lepidlo.



Obr. 82. Polotovar na výrobu hornej dosky

Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnica počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.

9.1.1 Výroba hornej dosky- nástroj 10V

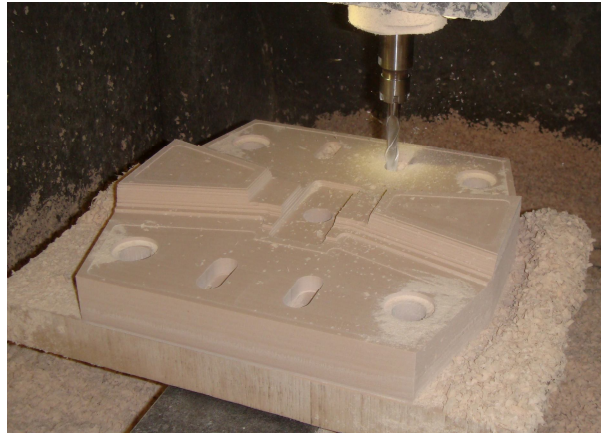
Ako prvá bola upnutá valcová fréza o priemere 10 mm, ktorá sa dotkla upínacej dosky. Táto súradnica dotyku sa zadala ako súradnica počiatku osy Z. Načítal sa príslušný NC program a spustilo sa frézovanie. Operácie ,pri ktorých sa použila valcová fréza o priemere 10 mm boli face milling area, cavity mill, planar profile a rest milling.



Obr. 83. Výroba hornej dosky- operácia face milling area- 10V



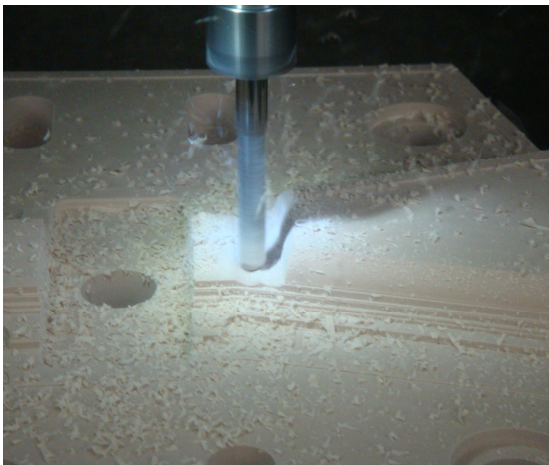
Obr. 84. Výroba hornej dosky- operácia cavity mill- 10V



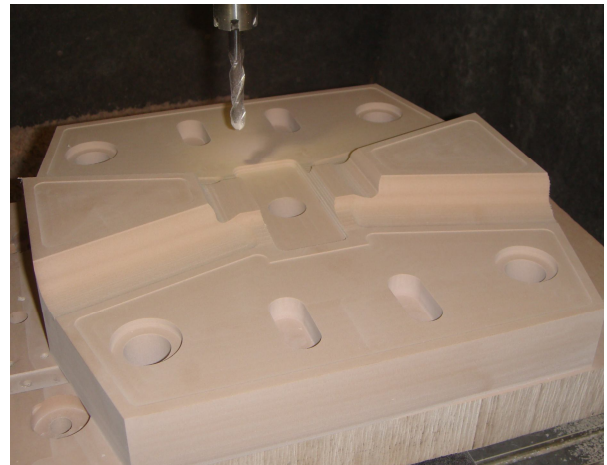
Obr. 85. Výroba hornej dosky- operácia rest milling- 10V

9.1.2 Výroba hornej dosky- nástroj 8K

Nasledovala výmena nástroja za guľovú frézu o priemere 8 mm. Dotykom na upínaciu dosku sa našla súradnica počiatku v ose Z. Načítal sa príslušný NC program pre operáciu Zlevel profile a spustilo sa frézovanie.



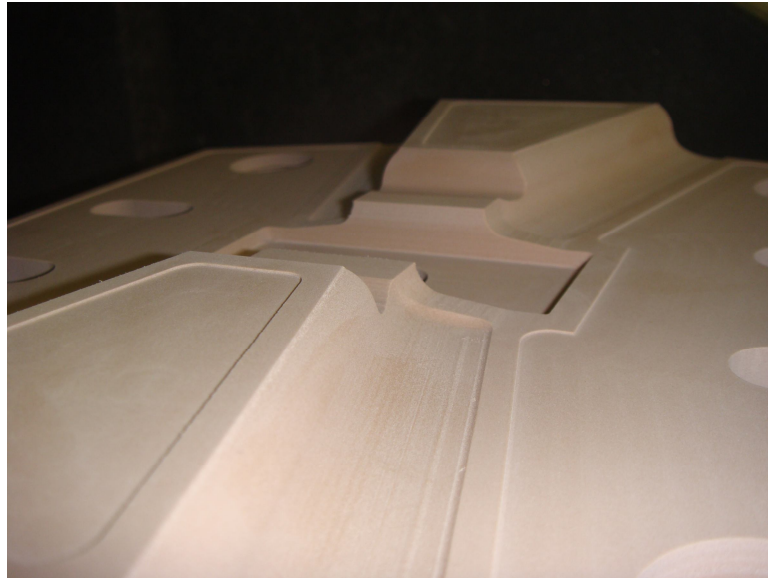
Obr. 86. Výroba hornej dosky- operácia zlevel profile- 8K



Obr. 87. Výroba hornej dosky- po skončení operácie zlevel profile- 8K

9.1.3 Výroba hornej dosky- nástroj 3K

Ako posledný nástroj sa použila guľová fréza o priemere 3 mm, ktorou sme taktiež dotykom na upínaciu dosku našli počiatočnú súradnicu osy Z. Načítal sa NC program, ktorý obsahoval operáciu rest milling_1.



Obr. 88. Výroba hornej dosky- po skončení operácie rest milling_1- 3K

Po skončení obrábania hornej dosky neboli dostatočne obrobene tvarové plochy dutiny formy tak sa pridali operácie zlevel profile_1- 6. Po ich skončení boli tvarové dutiny formy dokonalo obrobene.

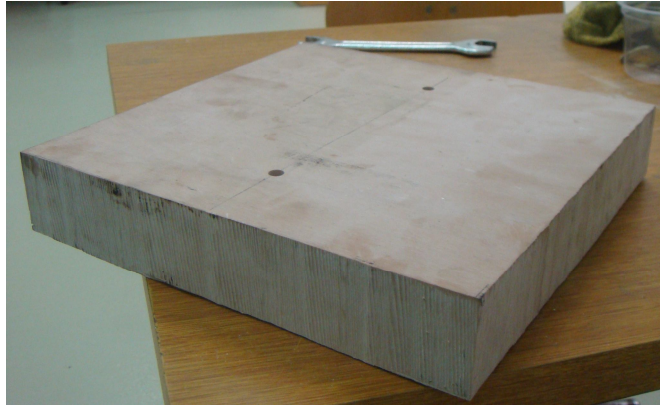
Vyrobená horná doska je odfotená na obr. 87.



Obr. 89. Výrobená hrná doska

9.2 Výroba dolnej dosky

Polotovar sa upol pomocou kolíkov o priemere 6 mm, ktoré sme vložili do vopred vyvŕtaných dier na polotovare a na upínacej doske. Pre zaistenie správneho upnutia sme pridali kvapku sekundového lepidla.



Obr. 90. Polotovar na výrobu dolnej dosky

Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnicu počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.

9.2.1 Výroba dolnej dosky- nástroj 10V

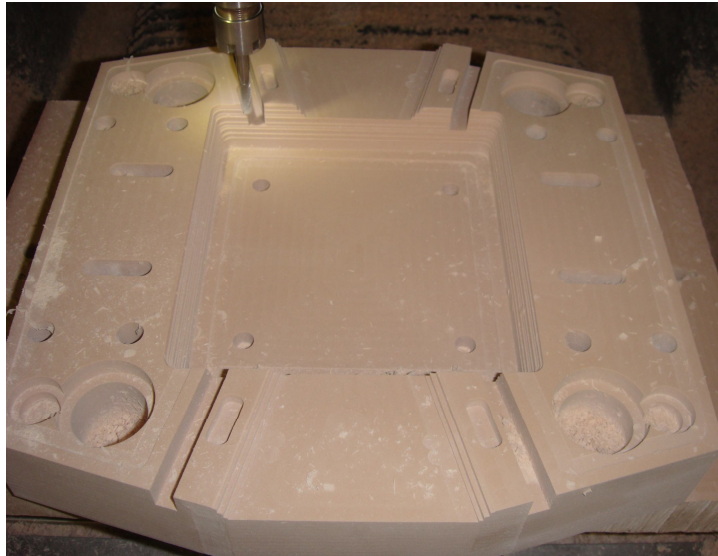
Prvý nástroj sa upla valcová fréza o priemere 10 mm, ktorou sa dotykcom na upínaciu dosku zistila počiatočná súradnica osy Z. Načítal sa NC program v ktorom sú preložené inertné dáta CAM aplikácie pre operácie face milling area a cavity mill.



Obr. 91. Výroba dolnej dosky- po skončení operácie face milling area a cavity mill -10V

9.2.2 Výroba dolnej dosky- nástroj 6V

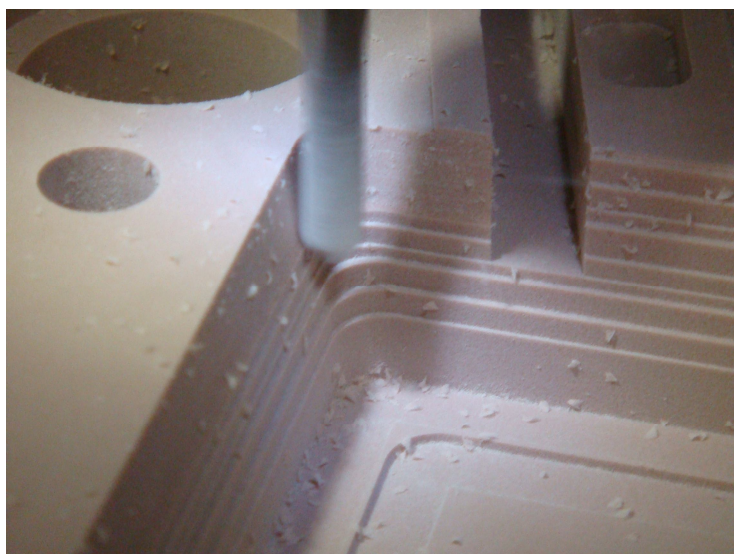
Po upnutí valcovej frézy o priemere 6 mm sa našla počiatočná súradnica osi Z dotykom na upínaciu dosku. Následne sa spustil NC program, ktorý obsahoval operáciu zlevel profile_1.



Obr. 92. Výroba dolnej dosky- po skončení operácia zlevel profile_1

9.2.3 Výroba dolnej dosky- nástroj 6K

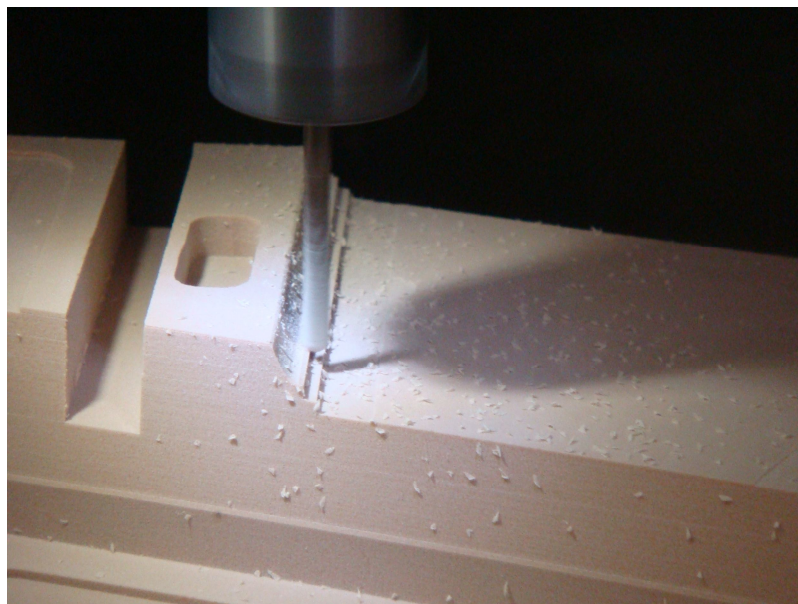
Po upnutí guľovej frézy o priemere 6 mm sa našla počiatočná súradnica osy Z dotykom na upínaciu dosku. Následne sa spustil NC program, ktorý obsahoval operáciu zlevel profile.



Obr. 93. Výroba dolnej dosky- operácia zlevel profile

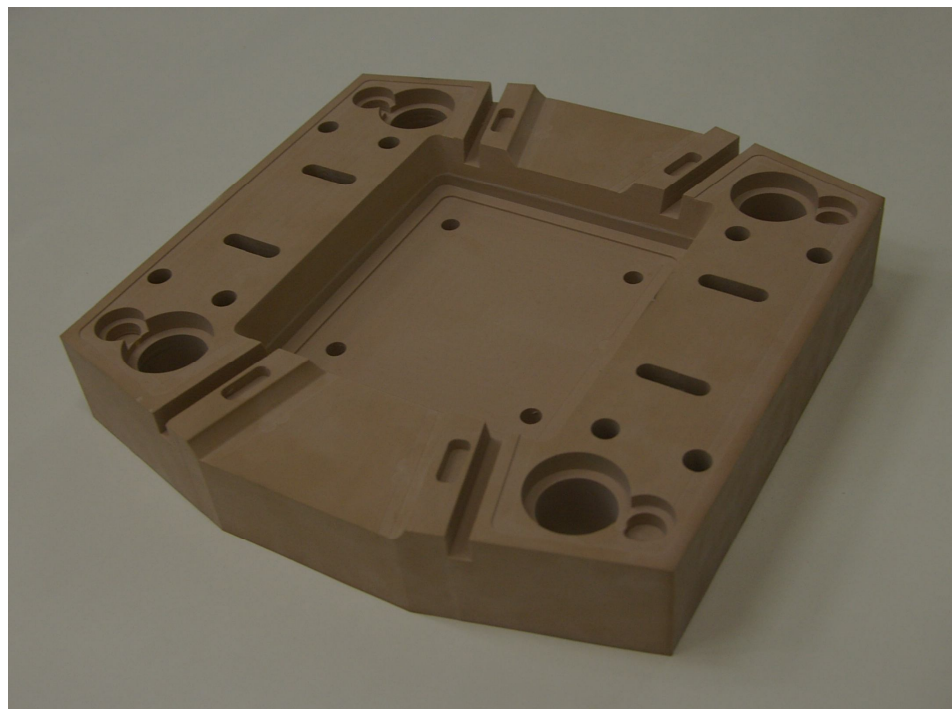
9.2.4 Výroba dolnej dosky- nástroj 3K

Ako posledný nástroj bola upnutá guľová fréza o priemere 3mm. Načítal sa potrebný NC program a spustilo sa frézovanie.



Obr. 94. Výroba dolnej dosky- operácia rest milling

Vyrobená dolná doska je odfotená na obr. 93.



Obr. 95. Vyrobená horná doska

9.3 Výroba vložky

Pre obrobienie vložky bolo potrebné upnúť polotovár z dvoch strán z dvôvodu záporného uhlu na plochách obvodu vložky.

9.3.1 Výroba vložky- prvá strana

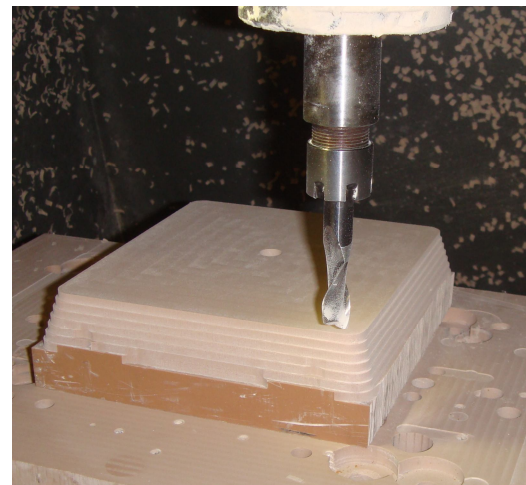
Na uchytienie polotovaru na obrobienie prvej strany sme použili primerané množstvo sekundového lepidla. Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnica počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.

9.3.1.1 Výroba vložky- prvá strana- nástroj 10V

Po upnutí prvého nástroja, ktorým bola valcová fréza o priemer 10 mm, sa zistila počiatočná súradnica osy Z, dotykom na upínaciu dosku a k tejto hodnote sme pridali hodnotu výšky vložky. Spustil sa príslušný NC program. Tento program obsahoval operáciu face milling area a cavity mill_prvá strana.



Obr. 96. Výroba vložky- prvá strana- operácia face milling area- 10V



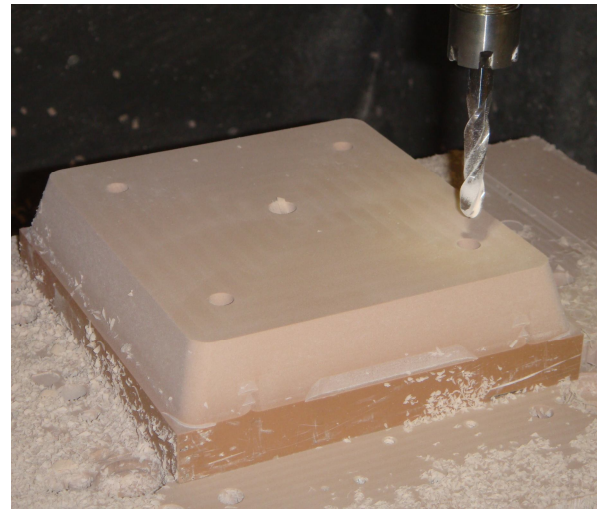
Obr. 97. Výroba vložky- prvá strana- po skončení operácie cavity mill_prvá strana- 10V

9.3.1.2 Výroba vložky- prvá strana- nástroj 8K

Nasledovalo upnutie guľovej frézy o polomere 8mm, ktorou sme našli počiatočnú súradnicu osi Z obdobne ako pri valcovej fréze o polomer 10mm. Spustil sa príslušný NC program. Tento program obsahoval operáciu zlevel profile_2 a drilling.



Obr. 98. Výroba vložky- prvá strana- operácia zlevel profile_2- 8K



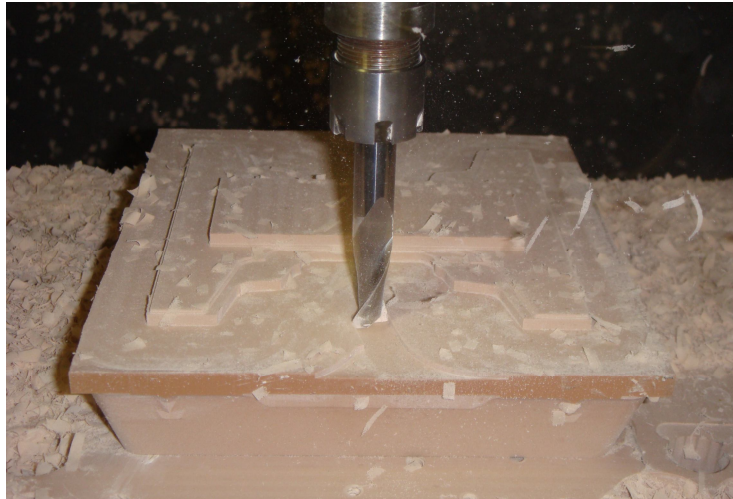
Obr. 99. Výroba vložky- prvá strana- po skončení operácie dribling- 8K

9.3.2 Výroba vložky- druhá strana

Polotovár na výrobu vložky z druhej strany sme upli pomocou kolíkov o priemere 6 mm, ktoré sme vložili do vopred vyvrtaných dier na polotovare a na upínacej doske. Tieto diery sa vyvrtali pomocou operácie drilling pri upnutí polotovaru z prvej strany. Pre zaistenie správneho upnutia sa pridala kvapka sekundového lepidla. Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnicu počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.

9.3.2.1 Výroba vložky- druhá strana- nástroj 10V

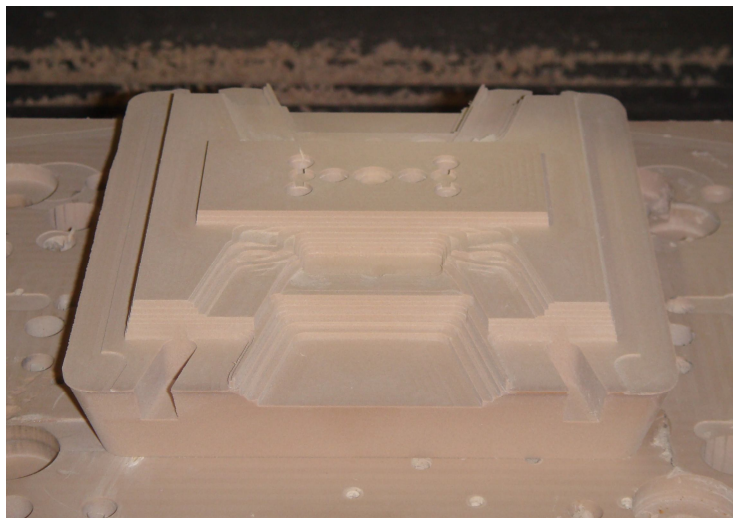
Na obrábanie druhej strany vložky bola ako prvá upnutá valcová fréza o priemere 10 mm, ktorej dotykom na upínaciu dosku sme získali súradnice počiatku v ose Z. Nasledovalo načítanie NC programu pre operáciu cavity mill_druhá strana.



Obr. 100. Výroba vložky- druhá strana- operácia cavity
mill_druhá strana- 10V

9.3.2.2 Výroba vložky- druhá strana- nástroj 6V

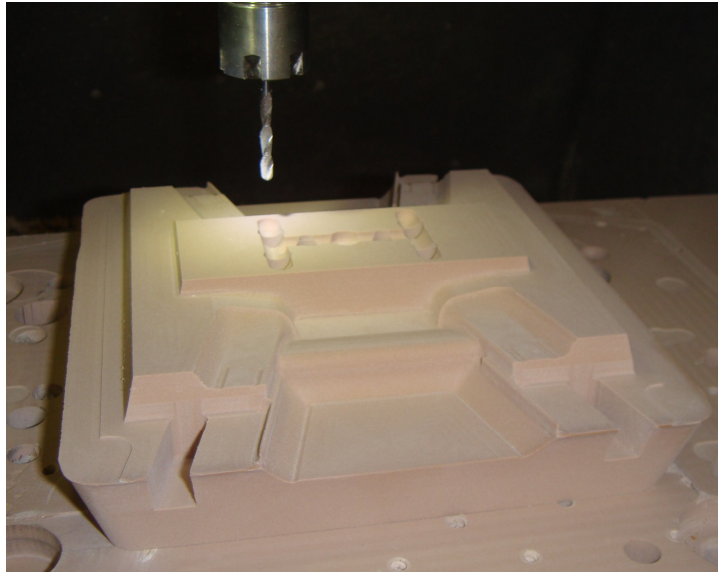
Po výmene nástroja za valcovú frézu o priemer 6 mm, sa zistila súradnica počiatku v ose Z a pustil sa príslušný program. Tento program obsahoval NC kód operáciu zlevel profile.



Obr. 101. Výroba vložky- druhá strana- po skončení
operacie zlevel profile- 6V

9.3.2.3 Výroba vložky- druhá strana- nástroj 3K

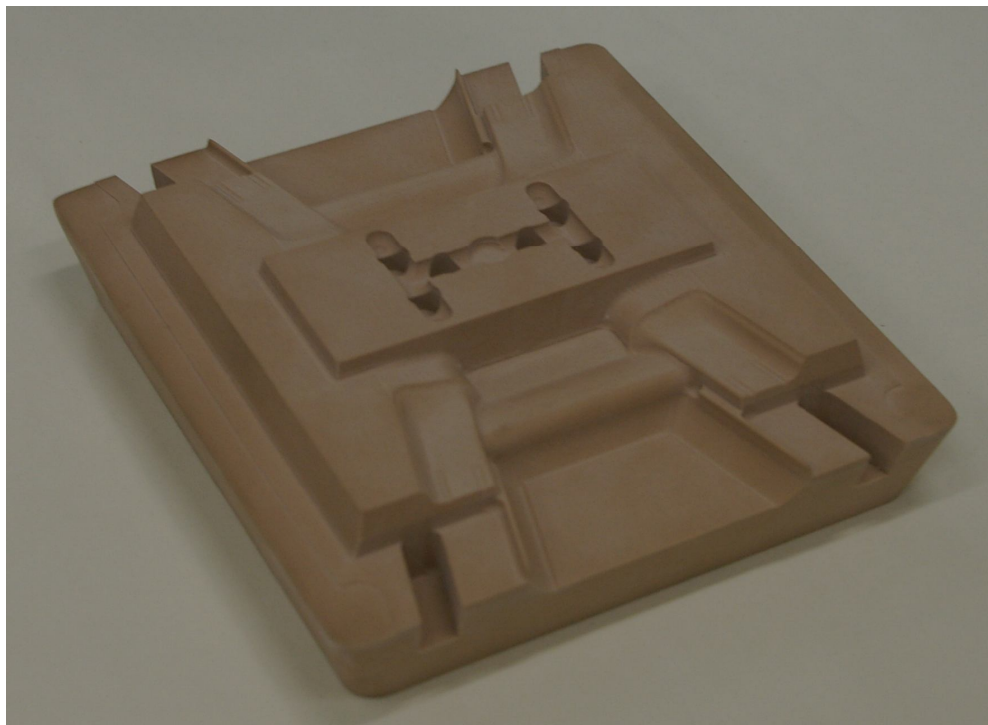
Po výmene nástroja za guľovú frézu o priemer 3 mm, sa zistila súradnica počiatku v ose Z a pustil sa príslušný program. Tento program obsahoval NC kód pre operáciu zlevel profile_1.



Obr. 102. Výroba vložky- druhá strana- po skončení operácie zlevel profile_1- 3K

Po dokončení obrábania sme zistili, že po obvode vyrobenej vložky zostal materiál, ktorý sa neubral pri operácii Zlevel profile_2. Tento neubratý materiál sa odstráni operáciou profile 3D. Použila sa guľová fréza o priemere 3 mm, ktorá bola použitá v predchádzajúcej operácii.

Vyrobená vložka je odfotená na obr. 101.



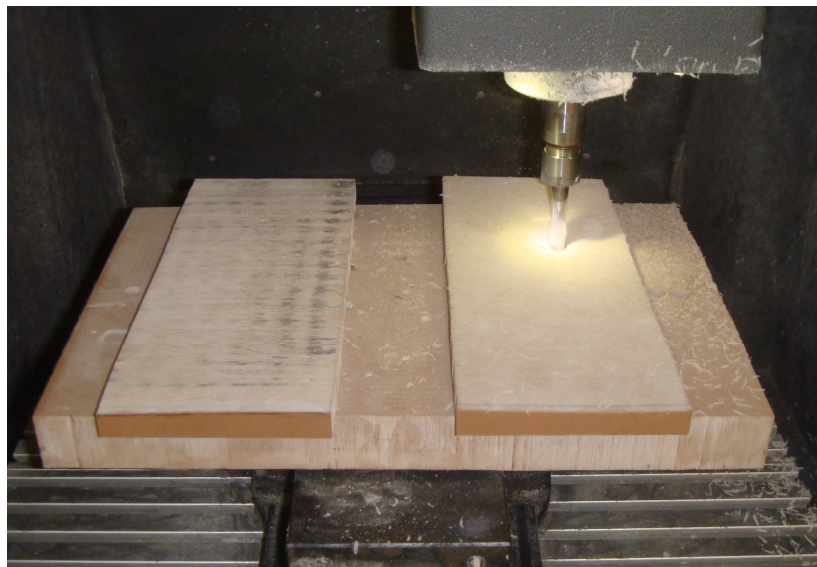
Obr. 103. Vyrobená vložka

9.4 Výroba strednej dosky

Strednú dosku bolo potrebné taktiež obrobiť z dvoch strán

9.4.1 Výroba strednej dosky- prvá strana

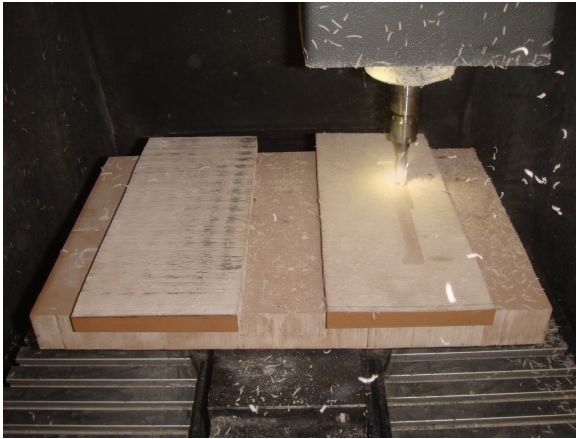
Na uchytenie polotovaru na obrobenie prvej strany sme použili primerané množstvo sekundového lepidla. Polotovar na výrobu strednej dosky sa skladal z dvoch dosiek rovnakých rozmerov. Tieto dosky sme prilepili na upínaciu dosku v potrebnej vzdialenosti od seba. Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnica počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.



Obr. 104. Polotovar na výrobu strednej dosky

9.4.1.1 Výroba strednej dosky- prvá strana- nástroj 10V

Ako prvá sa upla valcová fréza o priemere 10mm, ktorej dotykom na upínaciu dosku sme získali súradnicu počiatku v ose Z. Nasledovalo načítanie NC programu pre operáciu face milling area, zlevel profile_3, cavity mill a zlevel profile_2.



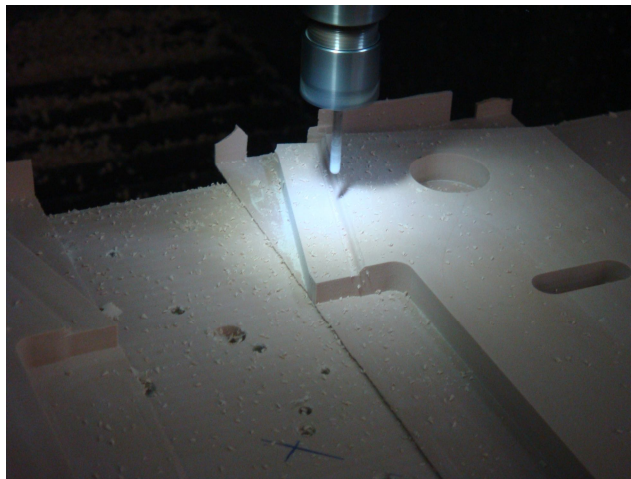
Obr. 105. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia face milling area- 10V



Obr. 106. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia cavity mill- 10V

9.4.1.2 Výroba strednej dosky- prvá strana- nástroj 3K

Nasledovala výmena nástroja, za valcovú frézu o polomere 10 mm sa upla guľová fréza o priemer 3 mm. Nastavil sa počiatok v ose Z a následne sa spustil NC program s operáciou zlevel profile.



Obr. 107. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia zlevel profile- 3K

9.4.2 Výroba strednej dosky- druhá strana

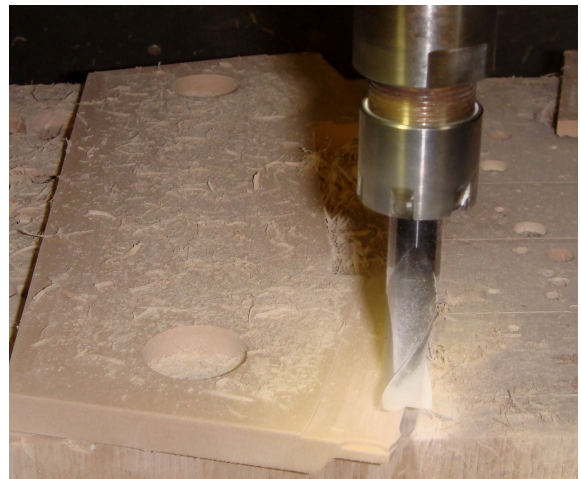
Na upnutie strednej dosky z druhej strany sme využili otvory, ktoré sa vyfrézovali pri obrobení strednej dosky z prvej strany. Do týchto dier sme vložili kolíky o priemere 24 mm a do dier na upínacej doske, ktoré sme si vopred nachystali. Pre zaistenie správneho upnutia sa pridala kvapka sekundového lepidla. Počiatok súradnicového systému sme zadali do stredu polotovaru v ose X a Y, a súradnica počiatku v ose Z sa menili vždy pri upnutí nového nástroja.

9.4.2.1 Výroba strednej dosky- druhá strana- nástroj 10V

Prvý nástroj sa upla valcová fréza o priemere 10 mm, ktorou sa dotykom na upínaciu dosku zistila počiatočná súradnica osy Z. Načítal sa NC program v ktorom sú preložené inertné dáta CAM aplikácie pre operácie face milling area_1 a cavity mill_1.



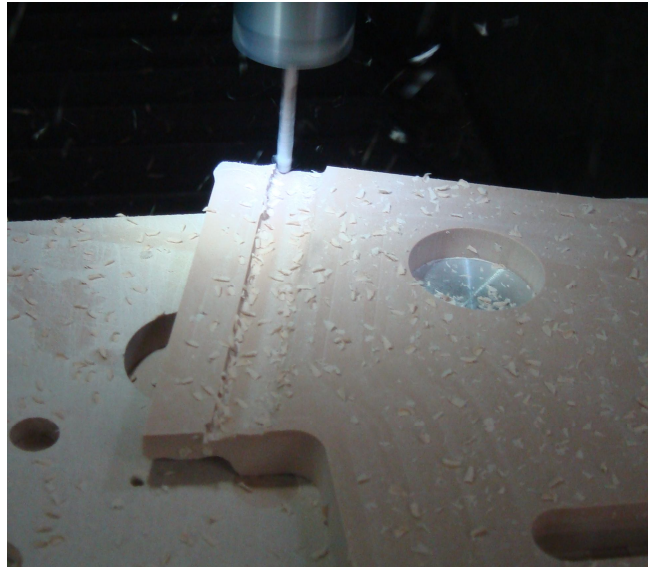
Obr. 108. Výroba strednej dosky- druhá strana- operácia face milling area- 10V



Obr. 109. Výroba strednej dosky- druhá strana- operácia cavity mill- 10V

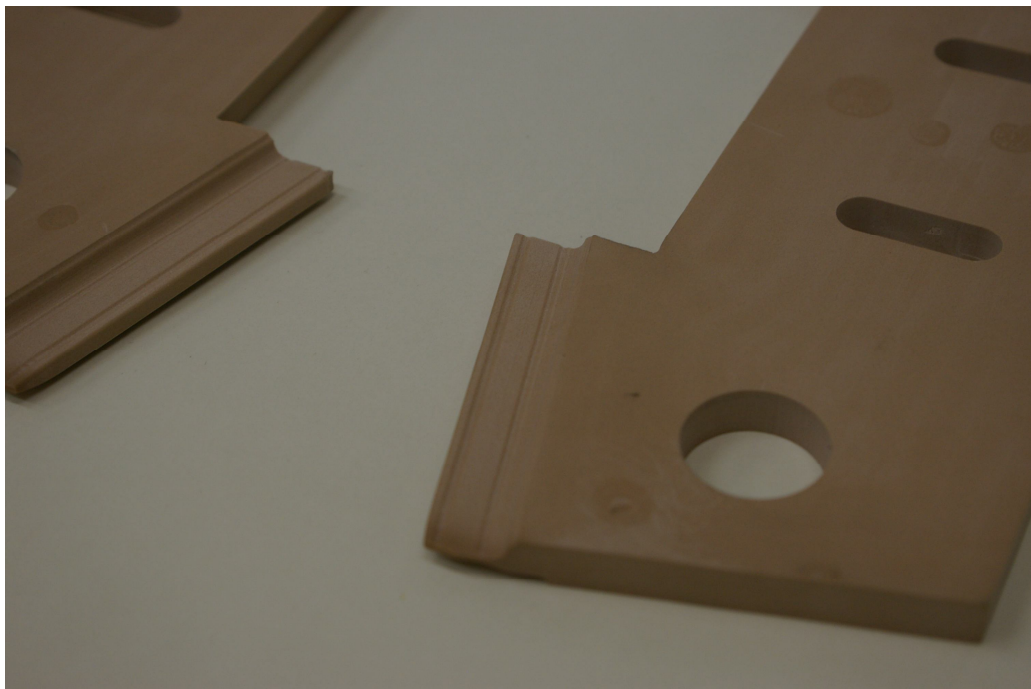
9.4.2.2 Výroba strednej dosky- druhá strana- nástroj 3K

Ako posledný nástroj bola použitá guľová fréza o priemer 3 mm a polomere zaoblenia 1,5 mm. Načítal sa NC program s operáciami zlevel profile_1 a zleve profile_4. Spustilo sa frézovanie.

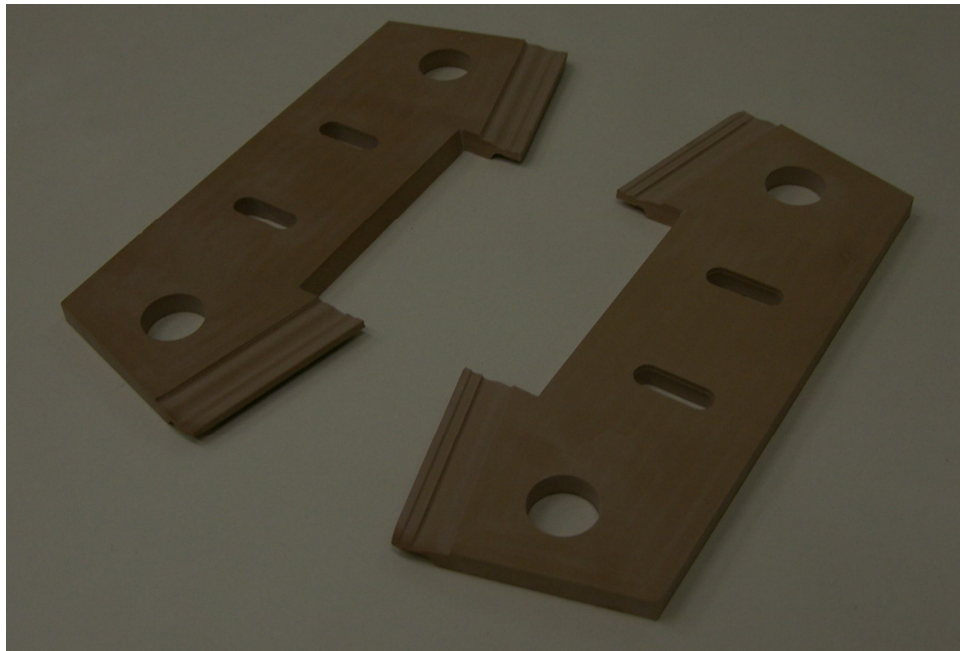


Obr. 110. Výroba strednej dosky- druhá strana-
operácia zlevel profile_1- 3K

Vyrobená stredná doska je odfotená na obr. 109- 110.

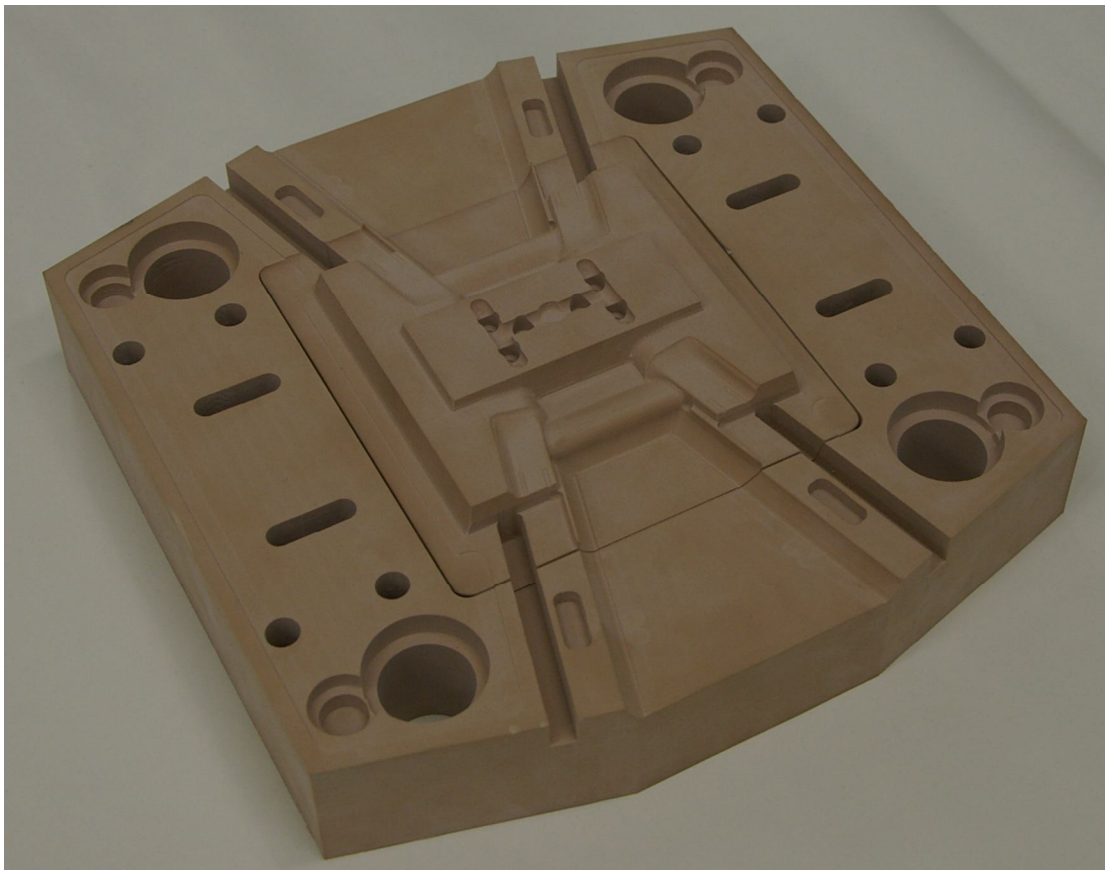


Obr. 111. Vyrobená stredná doska- prvá strana

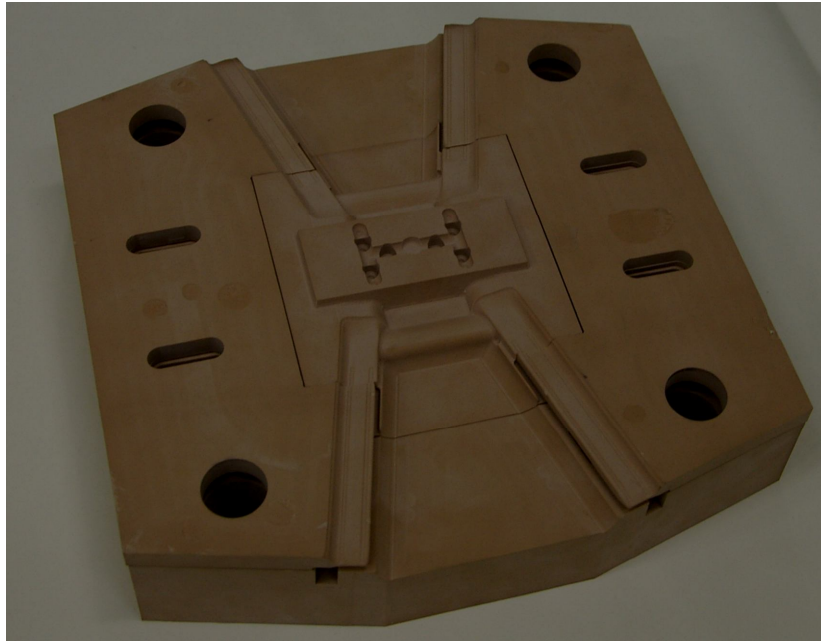


Obr. 112. Vyrobená spodná doska- druhá strana

9.5 Fotky zloženej vstrekovacej formy



Obr. 113. Vstrekovacia forma fotografia č.1



Obr. 114. Vstrekovacia forma fotografia č. 2



Obr. 115. Vstrekovacia forma fotografia č. 3



Obr. 116. Vstrekovacia forma fotografia č. 4

ZÁVER

Bakalárska práca sa zaoberá výrobou 3D modelu na CNC frézovačke. Vyrábaným dielcom je vstrekovacia forma firmy Contitech Vegum s. r. o. Dolné Vestenice, ktorá poskytla príslušnú formu v 3D CAD modely v programe ProEngineer. Pomocou súboru STEP mohla prebehnúť príprava výroby v systéme NX CAM Express. Následne sa vygenerovali jednotlivé NC programy pomocou postprocesoru k školskej frézovačke. Samotná výroba formy prebiehala na CNC frézovačke HWT C- 442 CNC v školskej dielni. Forma bola vyrábaná ako skúšobný model formy, ktorý môže slúžiť aj ako študijná pomôcka.

Pri obrábaní dosiek, ktoré sa obrábali iba z jednej strany, prebehla výroba bez problémov. Po dokončení obrábania, sa pridali maximálne operácie, ktoré spresnili tvarovú dutinu formy. Pri obrábaní dosiek, ktoré bolo potrebné obrábať z dvoch strán, sa vyskytol menší problém. Po skončení obrábania vložky vstrekovacej formy zostal neubratý materiál po obvode vložky. Bolo to spôsobené zlým nastavením súradnice počiatku v ose Z pri obrábaní vložky z prvej strany. Tento materiál sa ubral pridaním operácia profile 3D.

Celková doba obrábania zistená z programu NX CAM Express je 5h.: 52m: 21s. Na CNC stroji bol nameraný čas výroby 7h: 02m: 48s, čo je asi o pätinu vyšší. Ďalej je nutné pripočítať čas výmeny nástroja a ďalej čas pri prepínaní dielu pre obrobenie z druhej strany. Tento rozdiel časov je daný zanedbaním zrýchlenia pri výpočte posuvu z bodu do bodu.

Bola navrhnutá technológia pre obrobenie danej súčasti a sú teda overené funkčné plochy formy. Je možné vyrobiť formu z ocele.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KOCMAN, Karel ; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. druhé. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 270 s.
- [2] RUMML, Emil. *Číslicově řízené stroje*. Surní materiál: 2005. 192 s.
- [3] BÉKÉS, Ján, et al. *Obrábanie kovov*. Bratislava : SVTL, 1960. 497 s.
- [4] ŠTRAJBL, Jan. *Obráběcí stroje*. Praha : SNTL, 1979. 619 s.
- [5] *INDUSTRIA- DOHMEN SK s. r. o. Nová Dubnica*, firemný materiál
- [6] SCHMIDT, Eduart. *Řezné nástroje*. Praha : SNTL, 1958. 211 s.
- [7] *STAMA*, firemný materiál
- [8] *Brusivojimi.com* [online]. c2008 [cit. 2010-03-05]. Frézy technické. Dostupné z WWW: <<http://www.brusivojimi.com/frézy-technicke/>>.
- [9] *Paramet.com* [online]. 2010 [cit. 2010-03-03]. Frézovanie 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.paramet.com/index04a8.html?menu=down1&lang=sk>>.
- [10] *Designtech.cz* [online]. c2008 [cit. 2010-03-07]. Navrhujeme v inventru. Dostupné z WWW: <<http://www.designtech.cz/c/cad/navrhujeme-v-inventoru-14-dil.htm>>.
- [11] ČERNÝ, J.: *Funkčný model vstřikovací formy*, Diplomová práce, FT UTB Zlín, 2009
- [12] ČÍHAL, M.: *Aplikace CAD/CAM při tvorbě řídicích programů pro CNC stroje*, Diplomová práce, FT UTB Zlín, 2009
- [13] *Sova.sk* [online]. c2007- 2010 [cit. 2010-03-03]. Spracovanie technológie (CAM). Dostupné z WWW: <<http://sova.sk/default.aspx?catid=17>>.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

v_c	rezná rychlost	$m \cdot min^{-1}$
v_f	posuvová rychlost	$mm \cdot min^{-1}$
v_e	rychlost rezného pohybu	$m \cdot min^{-1}$
φ	uhol posuvového pohybu	°
η	uhol rezného pohybu	°
δ_0	nástrojový ortogonálny uhol rezu	°
γ_0	nástrojový ortogonálny uhol	°
Φ	uhol roviny strihu	°
P_{sh}	rovina strihu	
P_{ef}	pracovná bočná rovina	
B	šírka obrobku	mm
s_z	posuv na zub	mm
h	hlbka rezu	mm
a_1	hrúbka triesky	mm
a_{max}	maximálna hrúbka triesky	mm
CNC	Computerized Numerical Control	
NC	Numerical Control	
CAD	Computer Aided Desing	
CAM	Computer Aided Manufacturing	
PKNB	polykryštalický kubický nitrid bóru	
PD	polykryštalický diamant	
RO	rychlarezná ocel'	
SK	spekané karbidy	

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. Pohyb nástroja a obrobku pri nesúslednom rovinom frézovaní valcovou frézou [1]	14
Obr. 2. Realizácia rezného procesu [1].....	15
Obr. 3. Oblasť plastických deformácií v odrezávanej vrstve[1].....	17
Obr. 4. Zjednodušený model tvorby elementov triesky pri ortogonálnom rezaní- pohľad na pracovnú rovinu P_{fe} v hlavnom bode ostria D [1]	18
Obr. 5. Základné druhy tvárnených triesok pri obrábaní kovu [1]	19
Obr. 6. Čelná valcová fréza [2]	21
Obr. 7. Valcová fréza [2]	21
Obr. 8. Frézovanie čelnou valcovou frézou [2].....	21
Obr. 9. Frézovanie valcovou frézou [2].....	21
Obr. 10. Prierez trieskou (čelná fréza) [2]	21
Obr. 11. Prierez trieskou (valcová fréza) [2]	21
Obr. 12. Súsledné frézovanie [2].....	22
Obr. 13. Nesúsledné frézovanie [2].....	22
Obr. 14. Vodorovná konzolová frézovačka [14]	25
Obr. 15. Zvislá konzolová frézovačka [14].....	25
Obr. 16. 2D riadenie [2].....	31
Obr. 17. 2,5D riadenie [2].....	31
Obr. 18. 3D riadenie [2].....	31
Obr. 19. 5D riadenie [2].....	31
Obr. 20. Pravouhlý pravotočivý súradný systém [2]	31
Obr. 21. Memotechnická pomôcka [2].....	32
Obr. 22. 3 osá CNC frézovačka [7].....	33
Obr. 23. 4 osá CNC frézovačka [7].....	33
Obr. 24. 5 osá CNC frézovačka [7].....	34
Obr. 25. Monolitné frézy [8]	35
Obr. 26. Fréza s vymeniteľnými reznými doštičkami [9]	36
Obr. 27. Model súčasti v Inventore [10].....	45
Obr. 28. Vývojový diagram práce v CAM software [11]	46
Obr. 29. NX CAM Express [13]	48

Obr. 30. Obrábanie v programe SurfCAM s názornou vizualizáciu [10].....	49
Obr. 31. Zvolený 3D model na výrobu	53
Obr. 32. Výrobok zo vstrekovacej formy	53
Obr. 33. Výrobok zo vstrekovacej formy	53
Obr. 34. Horná doska- operácia face milling area- 10V	54
Obr. 35. Horná doska- operácia cavity mill- 10V	54
Obr. 36. Horná doska- operácia planar profile- 10V	55
Obr. 37. Horná doska- operácia rest milling- 10V	55
Obr. 38. Horná doska- operácia zlevel profile- 8K	55
Obr. 39. Horná doska- operácia rest milling_1- 3K	55
Obr. 40. Horná doska- operácia zlevel profile_1- 3K.....	55
Obr. 41. Horná doska- operácia zlevel profile_2- 3K.....	55
Obr. 42. Horná doska- operácia zlevel profile_3- 3K.....	56
Obr. 43. Horná doska- operácia zlevel profile_4- 3K.....	56
Obr. 44. Horná doska- operácia zlevel profile_5- 3K.....	56
Obr. 45. Horná doska- operácia zlevel profile_6- 3K.....	56
Obr. 46. Dolná doska- operácia face milling area- 10V.....	58
Obr. 47. Dolná doska- operácia cavity mill- 10V	58
Obr. 48. Dolná doska- operácia zlevel profile_1- 6V	58
Obr. 49. Dolná doska- operácia zlevel profile- 6K.....	58
Obr. 50. Dolná doska- operácia rest milling- 3K.....	59
Obr. 51. Vložka- prvá strana- operácia face milling area- 10V.....	60
Obr. 52. Vložka- prvá strana- operácia cavity mill_prvá strana- 10V	60
Obr. 53. Vložka- prvá strana- operácia zlevel profile_2- 8K.....	60
Obr. 54. Vložka- prvá strana- operácia drilling- 8K.....	60
Obr. 55. Vložka- druhá strana- operácia cavity mill_druhá strana- 10V	62
Obr. 56. Vložka- druhá strana- operácia zlevel profile- 6V	62
Obr. 57. Vložka- druhá strana- operácia zlevel profile_1- 3K	62
Obr. 58. Vložka- druhá strana- operácia profile 3D- 3K.....	63
Obr. 59. Vložka – druhá strana- operácia profile 3D- 3K	63
Obr. 60. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia face milling area- 10V	64
Obr. 61. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia face milling area- 10V.....	64

Obr. 62. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia cavity mill- 10V.....	64
Obr. 63. Stredná doska- prvá strana- prvá časť- operácia cavity mill- 10V.....	64
Obr. 64. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_3- 10V.....	65
Obr. 65. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_3- 10V	65
Obr. 66. Stredná doska- prvá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_2- 10V.....	65
Obr. 67. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_2- 10V	65
Obr. 68. Stredná doska- prvá strana- ľava časť- operácia zlevel profile- 3K.....	65
Obr. 69. Stredná doska- prvá strana- pravá časť- operácia zlevel profile- 3K.....	65
Obr. 70. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia face milling area_1- 10V	67
Obr. 71. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia face milling area_1- 10V.....	67
Obr. 72. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia cavity mill_1- 10V.....	67
Obr. 73. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia cavity mill_1- 10V.....	67
Obr. 74. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia zlevel profile_1- 3K.....	67
Obr. 75. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_1- 3K.....	67
Obr. 76. Vložka- druhá strana- ľavá časť- operácia- zlevel profile_4- 3K	68
Obr. 77. Vložka- druhá strana- pravá časť- operácia zlevel profile_4- 3K.....	68
Obr. 78. Ukážka NC kódu	69
Obr. 79. Pásová píla.....	70
Obr. 80. CNC frézovačka- HWT C-442 CNC.....	70
Obr. 81. Parametre CNC frézovačky- HWT C- 443 CNC	70
Obr. 82. Polotovár na výrobu hornej dosky.....	71
Obr. 83. Výroba hornej dosky- operácia face milling area- 10V.....	71
Obr. 84. Výroba hornej dosky- operácia cavity mill- 10V	71
Obr. 85. Výroba hornej dosky- operácia rest milling- 10V.....	72
Obr. 86. Výroba hornej dosky- operácia zlevel profile- 8K.....	72
Obr. 87. Výroba hornej dosky- po skončení operácie zlevel profile- 8K.....	72
Obr. 88. Výroba hornej dosky- po skončení operácie rest milling_1- 3K.....	73
Obr. 89. Výrobená hrná doska	73
Obr. 90. Polotovár na výrobu dolnej dosky	74
Obr. 91. Výroba dolnej dosky- po skončení operácie face milling area a cavity mill - 10V	74
Obr. 92. Výroba dolnej dosky- po skončení operácia zlevel profile_1	75

Obr. 93. Výroba dolnej dosky- operácia zlevel profile	75
Obr. 94. Výroba dolnej dosky- operácia rest milling	76
Obr. 95. Vyrobená horná doska	76
Obr. 96. Výroba vložky- prvá strana- operácia face milling area- 10V	77
Obr. 97. Výroba vložky- prvá strana- po skončení operácie cavity mill_prvá strana- 10V	77
Obr. 98. Výroba vložky- prvá strana- operácia zlevel profile_2- 8K	78
Obr. 99. Výroba vložky- prvá strana- po skončení operácie dribling- 8K	78
Obr. 100. Výroba vložky- druhá strana- operácia cavity mill_druhá strana- 10V	79
Obr. 101. Výroba vložky- druhá strana- po skončení operácie zlevel profile- 6V	79
Obr. 102. Výroba vložky- druhá strana- po skončení operácie zlevel profile_1- 3K	80
Obr. 103. Vyrobená vložka	80
Obr. 104. Polotovár na výrobu strednej dosky.....	81
Obr. 105. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia face milling area- 10V	82
Obr. 106. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia cavity mill- 10V	82
Obr. 107. Výroba strednej dosky- prvá strana- operácia zlevel profile- 3K	82
Obr. 108. Výroba strednej dosky- druhá strana- operácia face milling area- 10V	83
Obr. 109. Výroba strednej dosky- druhá strana- operácia cavity mill- 10V.....	83
Obr. 110. Výroba strednej dosky- druhá strana- operácia zlevel profile_1- 3K.....	84
Obr. 111. Vyrobená stredná doska- prvá strana.....	84
Obr. 112. Vyrobená spodná doska- druhá strana	85
Obr. 113. Vstrekovacia forma fotografia č.1	85
Obr. 114. Vstrekovacia forma fotografia č. 2	86
Obr. 115. Vstrekovacia forma fotografia č. 3	86
Obr. 116. Vstrekovacia forma fotografia č. 4	86

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1. Hodnoty objemového súčiniteľa triesok W pre vybrané typy triesok [1]	20
Tabuľka 2. Typy frézovaných plôch a používané nástroje [2]	23
Tabuľka 3. Obrábacie parametre- horná doska	57
Tabuľka 4. Obrábacie parametre- dolná doska	59
Tabuľka 5. Obrábacie parametre- vložka- prvá strana	61
Tabuľka 6. Obrábacie parametre- vložka- druhá strana	63
Tabuľka 7. Obrábacie parametre- stredná doska- prvá strana	66
Tabuľka 8. Obrábacie parametre- stredná doska- druhá strana	68

ZOZNAM PRÍLOH

P I DVD nosič s kompletnou dátovou dokumentáciou pre výrobu vstrekovacej formy.

PRÍLOHA P I: DVD NOSIČ

DVD nosič obsahuje:

- 3D CAD modely jednotlivých dosiek vstrekovacej formy
- obrábacie stratégie jednotlivých dosiek vstrekovacej formy
- NC kód pre jednotlivé dosky vstrekovacej formy