

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Programování NC strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technická příprava výroby napínací matice

Autor: **Ondřej ROUS**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří VYŠATA, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícnost při konzultacích a odborné vedení.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Rous	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	Programování NC strojů		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D.	Jméno Jiří	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Technická příprava výroby napínací matice		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	55	TEXTOVÁ ČÁST	51	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá tvorbou veškerých potřebné technické podklady pro výrobu matice. Její součástí je i řešení upínání při výrobě, výkresy upínacího přípravku. NC programy, které byly vytvořeny pomocí CAD/CAM systému Catia V5</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Matice, harfa, zploštění, CAD, CAM, Catia, upínací přípravek</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Rous	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	Programming of NC Machines		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Technical preparation of turnbuckles production		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	55	TEXT PART	51	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis deals with the creation of all necessary technical documentation for manufacturing turnbuckles. It also includes a clamping solutions in manufacturing, drawings clamping . NC programs created using CAD / CAM system Catia V5
KEY WORDS	Nuts, turnbuckles, harp, flattening, CAD, CAM, Catia, clamping device

Obsah

1	Úvod	10
2	Specifikace problému	11
3	Analýza výchozího stavu	12
3.1	<i>Postavení a funkce vyráběné součásti</i>	12
3.1.1	Mechanismus táhlo - pedál.....	12
3.2	<i>Popis tvaru a hlavních rozměrů</i>	13
3.2.1	Určení tvaru sedla.....	14
3.3	<i>Druh materiálu originální matice</i>	16
3.3.1	EDX/SEM analýza.....	17
3.3.2	Metalografický výbrus	18
3.4	<i>Tvorba modelu matice</i>	20
3.5	<i>Analýza technologičnosti konstrukce</i>	22
3.6	<i>Analýza dostupných výrobních prostředků</i>	22
3.6.1	Technické specifikace vybraných strojů a jejich nástrojového příslušenství	23
3.6.1.1	Soustružení	23
3.6.1.2	Frézování.....	25
4	Technická příprava výroby	28
4.1	<i>Návrh postupu výroby</i>	28
4.2	<i>Konstrukce přípravku</i>	29
4.2.1	Návrhy variant	30
5	Tvorba programů pro jednotlivé stroje	34
5.1	<i>Soustružení</i>	34
5.2	<i>Frézování</i>	38
6	Závěr	42
7	Seznam použité literatury	43
8	Přílohy	44

Seznam obrázků

Obr. 1 Originální vzorek napínací matice vedle koruny pro velikostní porovnání	11
Obr. 2 Základní schéma pedálové harfy (2)	12
Obr. 3 Pedály harfy	12
Obr. 4 Kloub s čepy	13
Obr. 5 Kulové zahloubení pro ukotvení táhla.....	13
Obr. 6 Celý mechanismus uzavřený příložkou.....	13
Obr. 7 Model napínací matice	14
Obr. 8 Varianta kulové plochy a kontrola měřítka pozadí.....	15
Obr. 9 Rádus R1	15
Obr. 10 Varianta rádusu R1,5	16
Obr. 11 Odchylka způsobená opotřebením matice.....	16
Obr. 12 Vzorek pro zkoumání materiálu	16
Obr. 13 Výsledky analýzy EDX	17
Obr. 14 Plocha snímaného povrchu matice	18
Obr. 15 Struktura vzorku před naleptáním	18
Obr. 16 Vzorek po naleptání.....	19
Obr. 17 Vměstky na hranicích zrn	19
Obr. 18 Heterogenní struktura materiálu	19
Obr. 19 Obrys matice před orotováním	20
Obr. 20 Orotování součásti funkcí Shaft	20
Obr. 21 Vytvoření středové díry	21
Obr. 22 Skica čtvercového zploštění	21
Obr. 23 Vytvoření zploštění pomocí funkce Pocket.....	21
Obr. 24 NC soustruh Emco PC Turn 120 (10)	23
Obr. 25 Stroj Emco PC mill 105 (11)	25
Obr. 26 Stroj MCV 750A (9).....	27
Obr. 27 První návrh přípravku.....	30
Obr. 28 Druhý návrh přípravku	30
Obr. 29 Třetí návrh přípravku.....	33
Obr. 30 Boční pohled na přípravek.....	33
Obr. 31 Konečná podoba přípravku.....	33
Obr. 32 Sestava pro soustružení	34
Obr. 33 Dialogové okno Part Operation	34
Obr. 34 Vytvoření kontur pro soustružení.....	35
Obr. 35 Nastavení nástroje v operaci.....	35
Obr. 36 Podélné hrubování s přídavkem 0,2 mm	36
Obr. 37 Nastavení operace zarovnání čela	36
Obr. 38 Soustružení na čisto	37
Obr. 39 Upíchnutí obrobku.....	37
Obr. 40 Vygenerování NC kódu.....	38
Obr. 41 Sestava pro frézování	38
Obr. 42 Pomocná geometrie	39

Obr. 43 Výběr ploch v operaci Profile Contouring	39
Obr. 44 Simulace drah nástroje	40
Obr. 45 Operace Drilling Deep Hole	40
Obr. 46 Fotorealistická simulace	41
Obr. 47 Tvorba závitu	41

Seznam tabulek

Tab. 1 Zastoupení jednotlivých prvků	17
Tab. 2 Technické parametry stroje Emco PC Turn 120 (5).....	24
Tab. 3 Technické parametry stroje Emco PC mill 105 (6)	26
Tab. 4 Technické parametry stroje MCV 740A (7).....	26

Seznam příloh

Příloha č. 1 - NC programy pro soustružnickou operaci (všité do vazby)
Příloha č. 2 - NC programy pro frézovací operaci (všité do vazby)
Příloha č. 3 - Systém označování nožů ISO pro vnější soustružení (všité do vazby) (1)
Příloha č. 4 - Technologický postup výroby (všité do vazby)
Příloha č. 5 - Výkres matice (volně vložený)
Příloha č. 6 - Výkres přípravku (volně vložený)
Příloha č. 7 - Výkres upínky (volně vložený)
Příloha č. 8 - CD nosič se soubory práce i všech ostatních příloh (volně vložené)

Seznam zkratk

APT	Formát dat CAM systémů podle stejnojmenného historického CAD systému
CAD	Počítačem podporované modelování (technické)
CAM	Počítačem podporované obrábění
CLT	Vnitřní formát dat CAM systémů
CNC	1. počítačové číslicové řízení, 2. v přeneseném významu stroj s tímto řízením
EDX	Metoda analýzy prvkového složení povrchu pevných látek
IMS	Obchodní označení firmy zabývající se tvorbou postprocesorů
k_c	Koeficient měrného řezného odporu
NC	1. číslicové řízení obráběcího stroje, 2. v přeneseném významu stroj s takovým řízením
SEM	Metoda zkoumání povrchu materiálu pomocí skenovacího elektronového mikroskopu
SNOP	Soustava stroj – nástroj – obrobek – přípravek
VBD	Vyměnitelná břitová destička

1 Úvod

Tato práce se zabývá velmi malým prvkem, který je ale součástí větší a docela složitější sestavy, mechanismu. V mnoha případech se ale i kvůli tak malým a na první pohled ne příliš důležitým částem stává celý stroj nebo celek nefunkční. Je proto dobré nepodceňovat žádnou, byť i sebemenší část mechanismu.

V dnešní době se stále více objevují případy, kdy podle staré a již nefunkční součásti musíme vyrobit její věrnou kopii, nebo vylepšenou verzi, která by vyhovovala jako její náhrada. Často jde o prvky starých strojů, od kterých se nedochovaly žádné výkresy nebo technická dokumentace. Postup práce je tedy velmi podobný principu reverzního inženýrství. Čili cílem bude odkrýt princip fungování zkoumaného, již nevyhovujícího předmětu a podle zjištěných dat vytvoření nového návrhu pro daný předmět.

V tomto případě jde o napínací matici, bez které není možné správně přeladit struny pedálové harfy, a proto by nešlo hrát na nástroj v celém potřebném hudebním rozsahu. A právě tato práce by měla vyřešit zastaralost a nevyhovující stav harfy a umožnit jí další působení v hudebním světě.

2 Specifikace problému

Předmětem této práce je vyrobit napínací matici na strunný hudební nástroj - pedálovou harfu podle originálního vzorku z poloviny 19. století (viz *Obr. 1*) se změnou druhu a stoupání závitu. Samotný závit na matici je stále funkční. Problém je v protikus, v části táhla se závitem, které bylo potřeba při demontáži odřezat a tím i nenávratně zničit. Řešením bude návrh nového závitu, který se vytvoří na matici a na táhle se navaří (naletuje, nebo pomocí převlečné matice uchytlí) odpovídající závitová tyč. Otázka táhla nebude v této práci řešena.

Zadaná matice je rotační součást, která je ve své přední části zploštělá do průřezu čtverce pro utahovací klíč. Na opačném konci je hlava se sedlem ve tvaru rádiusu. Profil je tedy tvarový a bude proto nejvhodnější použít soustruh s NC řízením a čtvercový průřez vyrobit na frézce. Z různých důvodů, dále rozebraných v textu, bude vhodné, aby i frézka měla řízení



Obr. 1 Originální vzorek napínací matice vedle koruny pro velikostní porovnání

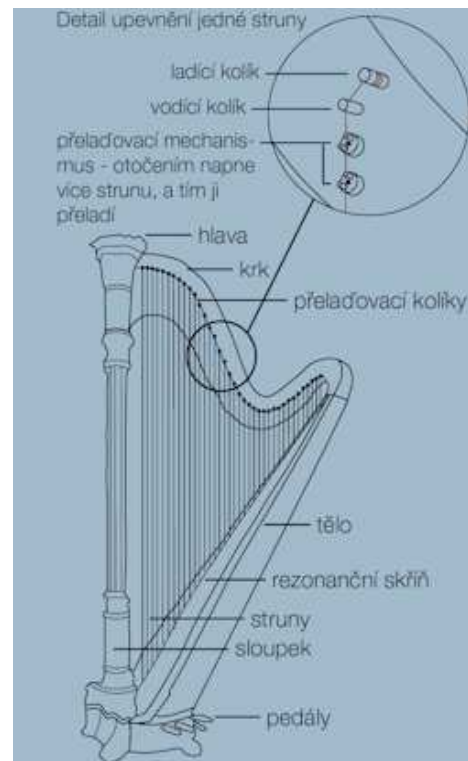
NC i když se zohlední malý objem výroby. Pro tyto stroje bude tedy nutno vytvořit NC programy. Proto je v této práci zapotřebí také naměření a vymodelování matice v CAD aplikaci, v tomto případě v systému CATIA V5. Poté bude potřeba model využít pro vytvoření technologie výroby v CAM aplikaci, ze které se následně vygenerují programy pro NC stroje a nástrojové listy. Dále bude nutno nalézt vhodnou náhradu zastaralého druhu závitu a nalézt též vhodný druh materiálu pro celou matici, který bude splňovat naše požadavky. Pro samotnou výrobu matice bude muset být vymyšlen, navrhnout, zkonstruován a vytvořen přípravek, ve kterém bude polotovar bezpečně upnut. Z důvodů daných bezpečnostními předpisy je nutné, aby vlastní výrobu realizovali pracovníci katedry. Řešitel této práce jim však musí být asistenčně k dispozici.

3 Analýza výchozího stavu

Před samotnou výrobou nové napínací matice je potřeba provést analýzu originálu z 19. století. Tato analýza umožní zjistit potřebné informace o dochované matici, které následně budou využity pro výrobu matice nové. Za úkol bude zjistit druh materiálu pomocí optické metalografie, stanovit přesný tvar součásti odměřením rozměrů a tvarů s pomocí softwaru.

3.1 Postavení a funkce vyráběné součásti

Napínací matice je jen malým prvkem ve velkém celku. Pro lepší objasnění její funkce v sestavě, je vhodné vysvětlit či nastínit stavbu a celé fungující mechanismy pedálové harfy. Harfa se skládá ze tří základních částí, které tvoří rám celé harfy: tělo, krk a sloupek (viz *Obr. 2*). Tělo harfy slouží jako rezonátor. U nejdelších (basových) strun je tělo nejširší a směrem nahoru se s kratšími strunami zužuje. Ve spodní části je umístěno sedm pedálů, které slouží k přeladování strun při hře. Pedály jsou propojeny táhly v dutině sloupu s otáčecím mechanismem v krku; ke všem stejnojmenným strunám patří vždy jeden pedál. Pedály mají tři polohy. Základní horní poloha odpovídá naladěnému stavu. Sešlápnutím o jednu polohu (do „prvního zářezu“) se struna přeladí o půltón. Sešlápnutím do „druhého zářezu“ se ladění zvýší o další půltón. Sloup je součástí rámu a slouží k podpoře (vzpěru) přední části krku pro zvýšení tuhosti a zachycení sil od napnutých strun. Dřevěné části harfy bývají nejčastěji z javorového dřeva (2).



Obr. 2 Základní schéma pedálové harfy (2)

3.1.1 Mechanismus táhlo - pedál

Harfa obsahuje celkem sedm pedálů, čili v harfě pracuje sedm mechanismů. Součástí každého je napínací matice. Uveďme si pro lepší porozumění problému stručný popis tohoto mechanismu. Základem jsou samotné pedály (viz *Obr. 3*). Na každém pedálu lze rozeznat tři podstatné oblasti. Nejnápadnější je nášlapná část, která umožňuje hráči kontakt s ovládáním celého mechanismu. Na opačném konci



Obr. 3 Pedály harfy

je pedál zakončen otočným čepem, kterým je připevněn ke spodní části harfy tvořící jakýsi podstavec, do něhož je vsazen také sloup. Místo, kde je použita matice (jejíž výroba je předmětem této práce) je na každém pedálu uprostřed. Je to otvor pro provlečení a ukotvení

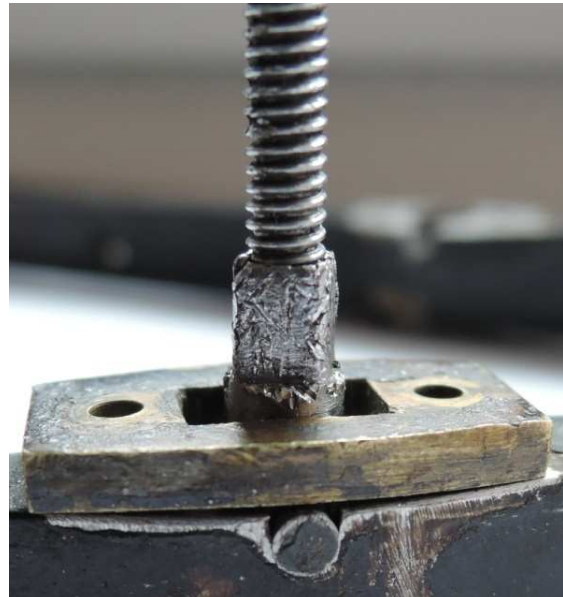


Obr. 5 Kulové zhloubení pro ukotvení táhla



Obr. 4 Kloub s čepy

táhla. Otvor prochází příčně celým pedálem a má na horní straně zhloubení s kulovou plochou (viz *Obr. 5*). Do té přesně dosedá další prvek mechanismu – kloub (viz *Obr. 4*) s otvorem, kterým se proháhne táhlo. Na této součástce jsou důležité válcové čepy, které po smontování sedí v lůžkách na pedálu. Tím je zajištěno pootáčení mechanismu při přešlápnutí pedálu. Díky tomuto řešení nedochází k ohýbání táhla, které by způsobovalo zbytečné namáhání na matici. Na jeho čelní plochu dosedá napínací matice. Aby byl mechanismus funkční, obě tyto části se zajistí příložkou (viz *Obr. 6*), která se k pedálům přišroubuje. Příložka má tvarové sedlo, do kterého přesně pasuje sedlo na napínací matici.

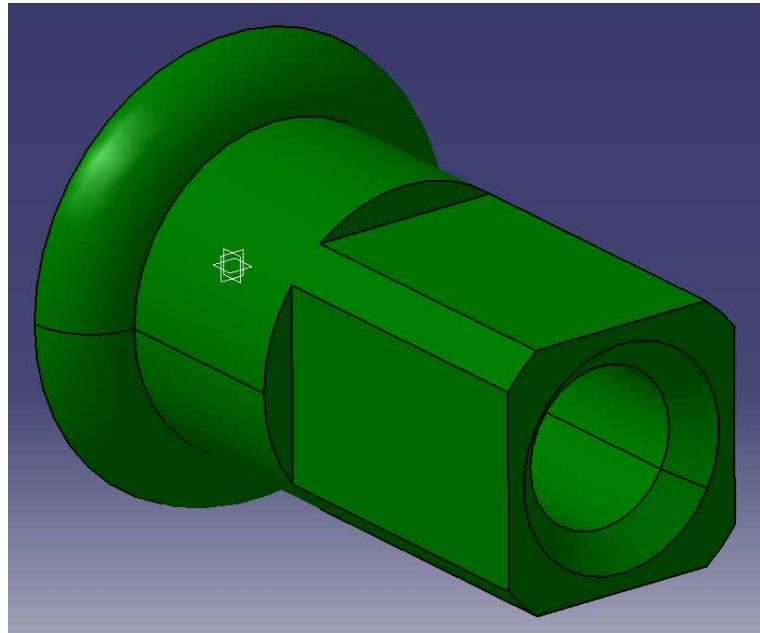


Obr. 6 Celý mechanismus uzavřený příložkou

3.2 Popis tvaru a hlavních rozměrů

Jak už bylo řečeno, zadaná matice je rotační součást poměrně malých rozměrů. Celková délka součástky je 9 mm. Tvar součásti se skládá ze dvou rotačních ploch s přilehlými čely, čtyřhranu a vnitřního závitu. Největší průměr $\varnothing 7$ mm je na konci u tvarového sedla, které dosedá na příslušnou protiplochu v zadní části pedálu (viz kapitola 3.1 *Postavení a funkce vyráběné součásti*). Tvarové sedlo má velmi obtížně specifikovatelný tvar (viz 3.2.1 *Určení tvaru sedla*). Jednoduchým změřením není možné rovnou říci o jakou plochu se jedná. Proto se na odměření tvaru sedla použije speciální grafický software, v tomto případě aplikace SolidWorks. Na sedlo se napojuje průměr $\varnothing 5$ mm, do kterého zasahuje čtvercové zploštění o rozměrech 4x4 mm a délce 5 mm. Zploštění je tedy menší pouze o jeden milimetr, proto plocha na klíč nemá ostré zakončení rohů, jak je patrné z obrázku (*Obr. 7*). Průměr $\varnothing 5$ mm tak v rozích čtverce vede až k čelu součásti. Obě čela jsou rovná. Vnitřní závit není možno přesně identifikovat v dostupných podmínkách. Změřením a analýzou závitu, která byla provedena na protikusku matice - na táhle, bylo zjištěno, že se závitu nejvíce podobá Withworthův závit o velikosti W1/8“. Liší se ale tvarově a velikostí stoupání. Změna tvaru závitu však mohla být způsobena opotřebením, nebo deformací při demontáži táhla a matice. Jako náhrada starého

závitů byl vybrán dnes nejběžnější a nejpoužívanější metrický závit M3 s normalizovaným stoupáním 0,5 mm. Tato varianta závitů byla vybrána pro lepší dostupnost potřebných nástrojů při výrobě matice a také pro jednoduchou náhradu odříznuté části na jejím protikuse – na táhle. Na to se buď navaří, naletuje nebo pomocí převlečné matice uchytlí normalizovaná závitová tyč M3, která je volně prodejná. Tak se vyřeší nutnost výroby nového táhla a zlepší se technologičnost konstrukce.



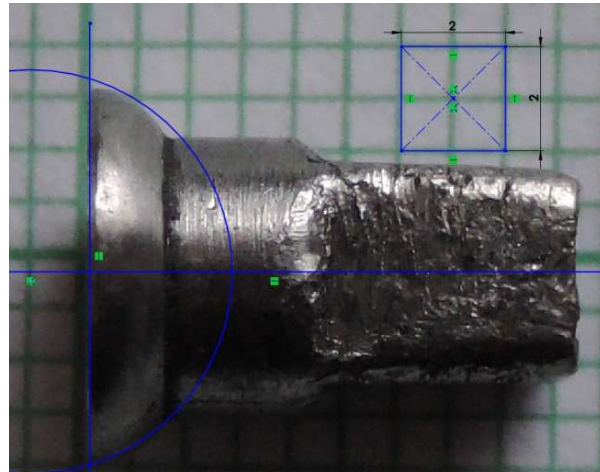
Obr. 7 Model napínací matice

Na základě odměření rozměrů a určení všech tvarů původní matice byl vytvořen technický výkres matice nové (viz příloha č. 5 – výkres BP 20–14–01). Ten obsahuje všechny rozměry a technické specifikace potřebné k výrobě. Jak je z výkresu zřejmé, některé rozměry mají vyšší nároky na přesnost, a bylo tedy nutné použít tolerance. U největšího průměru součásti (7 mm), který přísluší sedlu, je tolerována vůle 0,04 mm. U případného přesahu by hrozilo špatné dosednutí sedla do příložky, jeho deformace a možné vlisování do protikusu. Tím by se mechanismus při sešlápnutí pedálu nemohl otáčet a táhlo by se zbytečně namáhalo na ohyb. Délka tvarového sedla je ze stejných důvodů tolerována v rozsahu $\pm 0,05$ mm. Aby se zajistilo pohodlné navlečení klíče na čtvercové zploštění, je jeho rozměr tolerován také s vůlí, a sice 0,1 mm. Rovněž průměr $\varnothing 5$ mm má předepsanou vůli 0,05 mm, aby bylo možno jej provléci čtvercovým otvorem v příložce. Předepsaná drsnost nové matice je $Ra 3,2 \mu m$. Jen u tvarového sedla je nutné zajistit drsnost $Ra 0,8 \mu m$ kvůli dosednutí do příložky. Na předním čele u čtvercového zploštění bylo dále navrženo sražení hrany otvoru o $0,5 \times 45^\circ$ mm. To by mělo zajistit lepší zařiznutí závitníku při výrobě vnitřního závitů M3. Na výkresu je už také zmíněný materiál, ze kterého se nová matice bude vyrábět. Zdůvodnění výběru tohoto materiálu bude vysvětleno v následujících kapitolách této práce.

3.2.1 Určení tvaru sedla

Jak už bylo řečeno, sedlo má obtížně specifikovatelný tvar. Tento problém byl řešen s použitím fotografie originální matice v měřítku. Matice byla při fotografování umístěna na milimetrovém čtverečkovém papíře tak, aby zadní čelo sedla bylo kolmo k rovině citlivé desky fotoaparátu. Tuto fotografii je pak možno použít k odměření rozměrů v jakémkoliv konstrukčním programu, u kterého je možné vložit obrázek jako pozadí skici. Zde byl použit systém SolidWorks. Při vkládání na pozadí skici se musí upravit měřítko fotografie. K tomu pomůže milimetrový papír. Před importem fotografie do CAD systému se vyobrazení ořízne například s pomocí programu pro malování, který je součástí základní výbavy MS windows. Oříznutí se zvolí tak, aby celý formát zobrazoval přesně určitý rozměr, který je možno na

obrázku stanovit pomocí čtverečků milimetrového papíru, který tvoří pozadí snímku. Při vložení oříznutého obrázku do CAD systému se zadají jeho rozměry, které odpovídají velikosti vyobrazeného (oříznutého) milimetrového papíru. Měřítka fotografie se tak sjednotí s měřítkem CAD systému. Po vložení se obrázek stává součástí skici a může být použit k obkreslení tvaru součásti. Je dobré provést kontrolu měřítka pozadí skici. Jednoduchou



Obr. 8 Varianta kulové plochy a kontrola měřítka pozadí

kótou změříme nám známý rozměr součásti (zde například délku matice, zploštění), nebo použijeme přímo milimetrový papír, kde zakótujeme čtverečky tak, jak je vidět na obrázku (Obr. 8). Potom je už pozadí připraveno pro tvorbu skici, která se prováděla pomocí nanášení čar, os, rádiusů nebo kružnic.

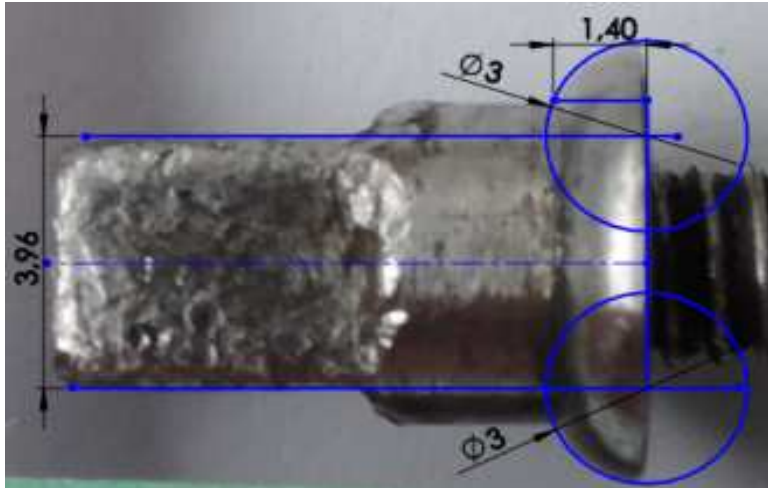
Nabízely se různé varianty tvaru, které by sedlo mohlo mít. První v úvahu přišla možnost tvaru sedla jako rádius R1, který by odpovídal přechodu z průměru 7 mm na průměr $\varnothing 5$ mm tvořící zbytek součásti. Tato varianta by byla také nejjednodušší pro modelování matice. Nejdříve se promítla osa matice, poté se přímkou vyznačila vzdálenost středu rádiusu od osy. Nakonec se na zadním čele matice vytvořila kružnice o průměru 2 mm (viz Obr. 9). Z obrázku je však jasně vidět, že rádius R1 je více zaoblen než rádius sedla.

Druhou variantou je kulová plocha tvořená kružnicí v ose součásti. Ta by odpovídala myšlence, že plocha funguje jako kloub mechanismu. Tato úvaha byla ale také chybná. Kulová plocha měla naopak příliš malé zakřivení a tak se tvaru sedla dotýkala jen uprostřed (viz Obr. 8). Tvorba skici opět probíhala promítnutím osy matice na které ležel střed kružnice. Na obrázku je také možno vidět kontrolu měřítka. K tomu byl využit CAD systém a jeho funkce kótování. Tak se přeměřily čtverečky na podkladu pozadí a zkontrolovalo sjednocení měřítka fotografie s měřítkem CAD modeláře.

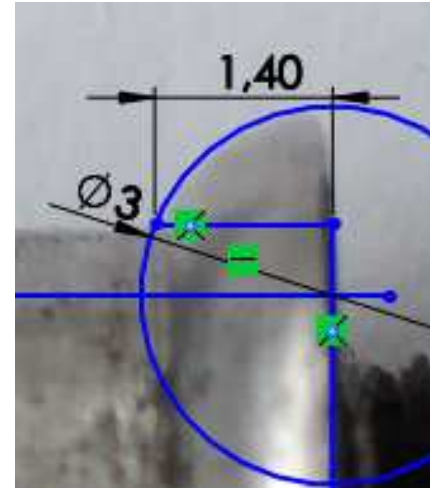


Obr. 9 Rádius R1

Třetí a patrně správná varianta vyplynula poupravením prvního pokusu. Zvětšením rádiusu na hodnotu R1,5 a posunutím středu rádiusu blíže k ose matice, se docílilo vytvoření geometrie, která kopírovala tvar sedla téměř dokonale (viz *Obr. 10*). Opět bylo nutné, promítnout osu matice, zadní čelo a změřit vzdálenost středu kružnice od osy. Jediné místo, kde se tvar skici odlišuje od tvaru sedla, je na jeho konci na průměru $\varnothing 7$ mm. Na tuto odchylku by však bylo možno nahlížet také jako na velké opotřebení původní matice nebo případně jako nekvalitu fotografie, s ohledem na skutečnost, že v daném místě je obraz neostří a navíc je zde přítomno množství lesků právě na konturách (viz *Obr. 11*). Na tomto obrázku je také vidět celková délka sedla, která činí 1,4 mm.



Obr. 10 Varianta rádiusu R1,5



Obr. 11 Odchylka způsobená opotřebením matice

3.3 Druh materiálu originální matice

Provedená analýza a zkoumání materiálu matice proběhly za pomoci nebo účasti pracovníků Katedry materiálů a strojírenské metalurgie Západočeské univerzity. Výsledky analýzy materiálu originální matice měly ukázat, jak kvalitní by měl být materiál použitý na novou matici. Zkoumání se skládalo ze dvou částí. První částí EDX analýzou se zjistilo chemické složení. Druhou částí bylo zkoumání metalografického výbrusu pod mikroskopem, které ukázalo materiálovou strukturu.

Pro obě části zkoumání materiálu je potřeba vytvořit vhodný vzorek. Kvůli malým rozměrům součásti bylo nutné matici zalít do připravené formy. Práce se součástí tak bude při analýze bezpečnější a pohodlnější. Jako zalisovací hmota byla použita epoxidová pryskyřice od firmy Struers. Hotový vzorek připravený ke zkoumání je vidět na obrázku (*Obr. 12*). Jako nejvhodnější plocha pro zjištění materiálu součásti byla vybrána plocha zadního čela matice. Proto je vidět ze součásti pouze mezikruží ve středu vzorku.



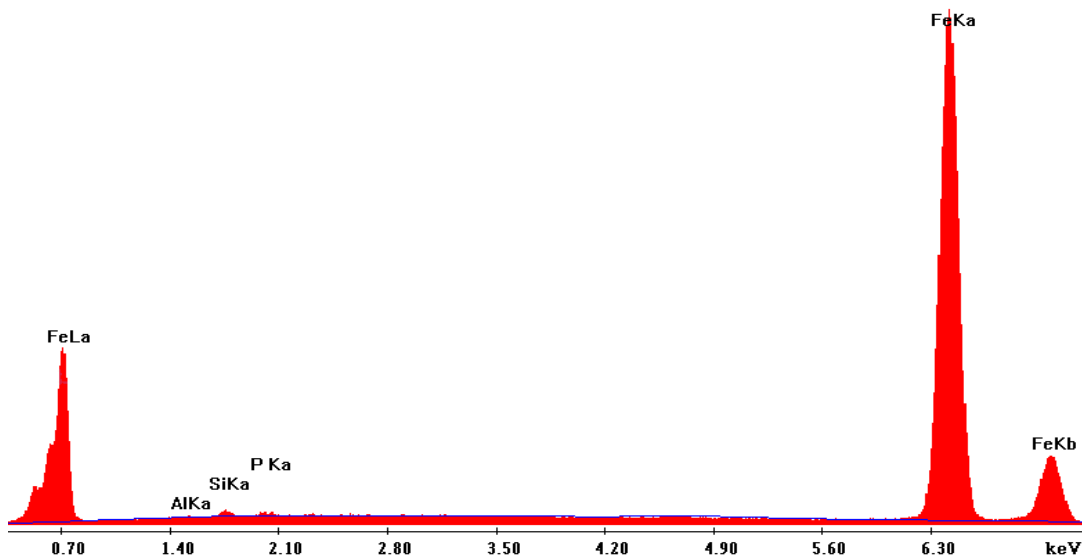
Obr. 12 Vzorek pro zkoumání materiálu

3.3.1 EDX/SEM analýza

Pro zjištění složení materiálu matice byla použita metoda EDX/SEM analýza. Principem této metody je ozařování vzorku řádkujícím svazkem elektronů s detekcí odražených nebo sekundárních elektronů. Při dopadu vysokoenergetických elektronů vyslaných z mikroskopu jsou z vnitřních slupek atomů vyraženy elektrony. Na jejich místo pak dopadnou elektrony z vyšších energetických hladin a zbaví se přebytku své dosavadní potenciální energie. Přebytek odpovídá rozdílu energetických hladin. Uvolněná energie se projeví ve formě záření a to je přístrojem detekováno. Pro každý prvek toto záření dosahuje specifickou hodnotu energie, podle níž se poté určuje zastoupení prvků ve vzorku. Analýza proběhla na řádkovacím elektronovém mikroskopu Philips XL30ESEM (3).

Výsledky provedené analýzy jsou vidět v grafu na obrázku (*Obr. 13*) a v tabulce (*Tab. 1*), kde je vyjádřen i hmotnostní podíl prvků v procentech. Na obrázku je vidět několik výrazných oblastí s přítomností prvků, pro které jsou charakteristické příslušné vlnové délky. Těm odpovídá energie v elektronvoltech. Přítomný prvek je v grafu označen svou chemickou značkou, za kterou následuje zkratka (například La, nebo Ka), vztahující se ke specifickým charakteristikám analýzy a pro účely této práce nemají význam. Mezi vlnovou délkou 1,4 keV a 2,1 keV je oblast, kde jsou nepatrné tři vrcholy prvků Al, Si a P. Hlavní prvek Fe se vyskytl ve třech výrazných oblastech. Materiál původní matice je tedy tvořen jen feritem (jeho obsah je 98,32%), s malým podílem prvků hliníku (v množství 0,47%), fosforu (0,48%) a křemíku (0,73%).

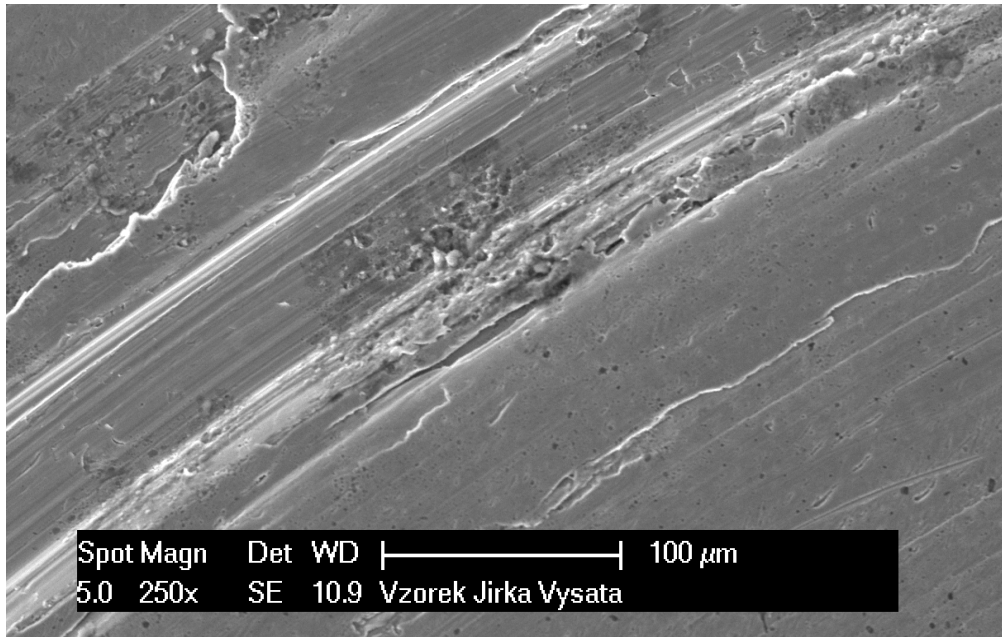
Na obrázku (*Obr. 14*) je vidět plocha, ze které bylo nasnímáno spektrum EDX analýzy. Povrch před analýzou nebyl nijak upravován a nese stopy po předchozím používání.



Obr. 13 Výsledky analýzy EDX

Prvek	Al	P	Si	Fe
Wt%	0,47	0,48	0,73	98,32

Tab. 1 Zastoupení jednotlivých prvků



Obr. 14 Plocha snímaného povrchu matice

3.3.2 Metalografický výbrus

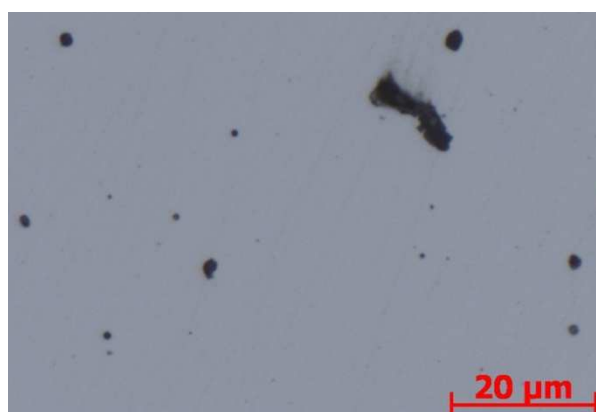
Pozorováním metalografického výbrusu vzorku pod světelným metalografickým mikroskopem se dají zjistit různé – vesměs strukturální vlastnosti materiálu. Jsou to např. zobrazení mikrostruktury a následné analýzy, měření a obecné hodnocení kvality studovaného materiálu či součásti. Slouží i k identifikaci a zjištění poměrného zastoupení metalurgických fází u kovů, případně jeho jednotlivých fází (4).

Sérií kroků se připraví vzorek vhodný k pozorování. Odběr a preparace vzorku byla již zmíněna výše. Prvním krokem práce se vzorkem bylo tedy broušení. To mělo za úkol minimalizovat povrchové nerovnosti součásti, které byly způsobeny dřívějším používáním. Tato operace začala od hrubého broušení (částice brusiva o velikosti 1000 µm až 100 µm) a postupně přešla k broušení pomocí brusného papíru s menší drsností (10 µm až 1 µm) (4).

Dalším krokem po broušení při metalografickém výbrusu je leštění. Na rozdíl od broušení materiál z povrchu neubývá, ale dochází pouze k deformaci vrcholů povrchové drsnosti. Leští se pomocí speciálních past, prášků nebo suspenzí dokud nemá vzhled zrcadlový lesk (4).

Ještě před naleptáním byl vzorek vložen pod mikroskop a prozkoumán. Z obrázku (Obr. 15) je vidět ještě nedokonalé vyleštění v podobě podélných škrábanců. Dále jsou vidět póry, vměstky nebo bubliny – černé skvrny, které znamenají, že zkoumaný materiál obsahuje vnitřní mikrovady.

Po dostatečném vyleštění a odstranění všech škrábanců z povrchu vzorku se přešlo k naleptání. K tomu se použil roztok Nital (3% HNO₃ v etanolu). Tento roztok se v praxi používá pro leptání nízkolegovaných ocelí. Cílem tohoto naleptání bylo nalezení a



Obr. 15 Struktura vzorku před naleptáním

zobrazení hranice zrn. Po důkladném očištění od leptací látky byl zkoumaný vzorek vložen pod mikroskop. Jako první se použilo zvětšení $2,5\times$ (viz *Obr. 16*). Při tomto zvětšení jsou vidět oba průměry matice, jak vnější 7 mm, tak vnitřní od závitu. U obou těchto okrajů je vidět deformace zrn. Ta mohla být vytvořena už při výrobě matice, nebo byla způsobena tlakem na okraj sedla, případně táhlem působící na vnitřní závit matice při dotažení.

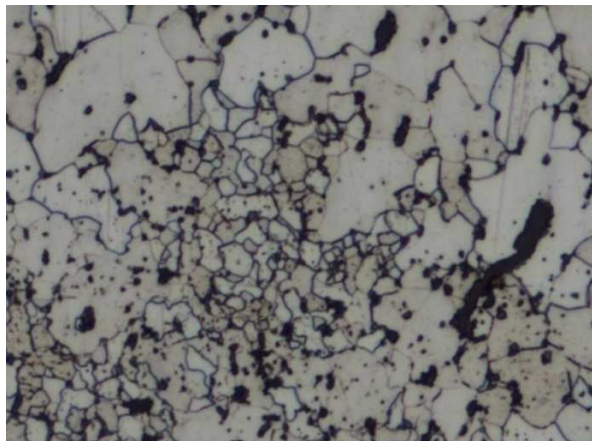


Obr. 16 Vzorek po naleptání

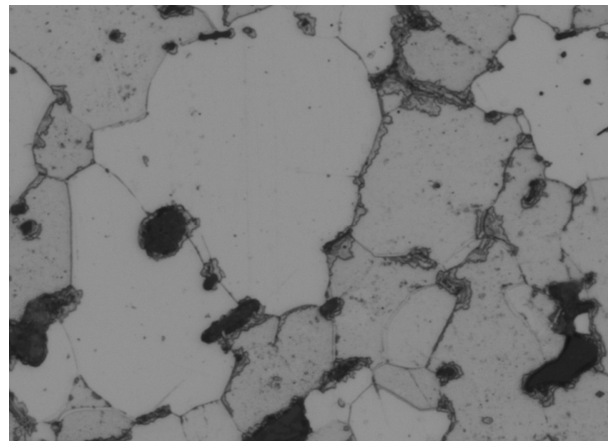
V materiálu se velmi často objevovaly oblasti velmi malých zrn, obklopené naopak velkými zrny, jak je vidět na obrázku (*Obr. 18*). To znamená, že struktura materiálu je velmi heterogenní. Tato fotografie byla pořízena při desetinásobném zvětšení.

Při největším zvětšení – padesátinásobném, byly vidět malé vměstky na hranicích zrn (viz *Obr. 17*). S přihlédnutím k výsledkům analýzy EDX by se mohlo říci, že to budou prvky hliníku, křemíku a fosforu. Na obrázku jsou také zřetelně viditelné vady v materiálu – bubliny pozorovatelné jako černé skvrny. Ty už byly vidět i před naleptáním součásti.

Z výsledků obou částí zkoumání původního materiálu lze vyvodit, že originální matice byla vyrobena z velmi málo kvalitního kovu. Materiál obsahoval jen ferit. Malé množství prvků hliníku, křemíku a fosforu se může brát jako nečistoty při výrobě materiálu matice. Materiál neobsahoval žádné z legujících prvků a matice neměla žádné povrchové úpravy. Z metalografického výbrusu byla zjištěna velmi heterogenní struktura, s množstvím vnitřních vad.



Obr. 18 Heterogenní struktura materiálu



Obr. 17 Vměstky na hranicích zrn

Nároky kladené na nový materiál pro matici tak nebudou vysoké. Jako náhradu bude možné použít ocel nejnižší kvality třídy 11. Velmi vhodným materiálem pro novou matici by mohla být také mosaz, která má vyhovující vlastnosti.

3.4 Tvorba modelu matice

Na základě skutečností zjištěných u výše provedených analýz a navrhnutého výkresu, bylo možné vytvořit model nové matice. Modelování matice proběhlo v CAD softwaru Catia V5.

K vytvoření matice bylo možné využít dvou postupů modelování. Jeden způsob spočívá v postupném skládání objemových těles, která se nazývají solid. Ta se skládají s využitím množinových operací jako je sjednocení nebo subtrakce (odebrání). Těmito tělesy v našem případě mohou být válce různých průměrů a délek. Válec, který má odpovídat sedlu, je nakonec nutno zaoblit pomocí funkce Edge Fillet. Nemuselo by být snadné či dokonce řešitelné pomocí této funkce vytvořit takový rádius, který zaujímá jiný úhel než 90°. Pro svojí rychlost a kvůli pohodlnějšímu narýsování rádiusu sedla byla pro modelování matice vybrána druhá možnost - vytvoření jen jedné skici a následné orotování kolem osy matice.

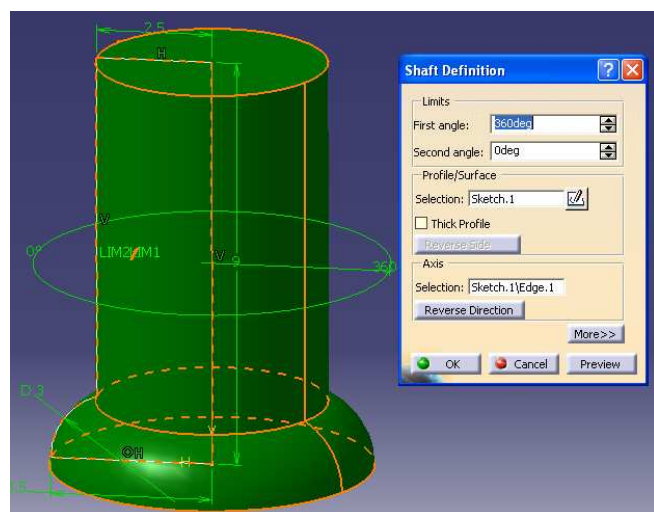
Jako první úkon je potřeba narýsovat dvourozměrný řez maticí podle odměřených rozměrů. To se provede ve skicáři (na panelu jako Sketcher), který slouží jako nástroj pro vytvoření 2D geometrie. Řez bude jen na jednu stranu od osy a vynikne tak meridián. Na obrázku (Obr. 19) je vidět zakótování celkové délky matice, rozměr 2,5 mm (poloměr válcové části) ze kterého následně orotováním vznikne průměr $\varnothing 5$ mm a rádius sedla. Střed rádiusu je 2 mm radiálně od osy matice a ve směru axiálním je přímo na zadním čele matice.

Po vytvoření náčrtu 2D geometrie se skicář uzavře funkcí Exit workbench a narýsovaná geometrie je tak připravena na přenesení do 3D. Jelikož matice je rotační součást, použije se k tomu funkce Shaft. Ta slouží k orotování součástí. Nejdříve se vybere křivka, která má být orotována, pak osa, podle které rotace proběhne a nakonec rozsah orotování (zde 360°). Tyto hodnoty se zadají do tabulky, která je vidět v pravé části obrázku (Obr. 20). Na levé straně je vidět jak bude obrys po orotování vypadat.

Tělo matice je tak vytvořené. Chybí jen čtvercové zploštění, díra se závitem a se sražením. Je jí sice možné nakreslit už při vytváření obrysu matice, ale při rýsování by nebylo možno vytvořit závit.

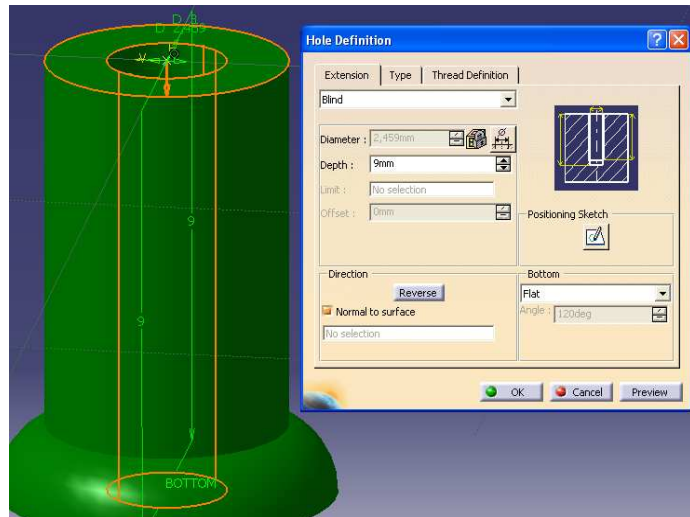


Obr. 19 Obrys matice před orotováním



Obr. 20 Orotování součásti funkcí Shaft

Proto se díra se závitem vymodeluje až následovně a to funkcí Hole. Tato funkce umožňuje rychle vytvářet kruhové otvory různých typů včetně závitů v těchto otvorech a zahloubení pro hlavy šroubů. Všechny parametry otvoru se definují ve třech záložkách. Jsou to Extension, Type a Thread definition. Pomocí nich se postupně zadají rozměry díry a typ závitů. Umístění a pozici díry lze označit ve skice, kterou tato funkce též nabízí.



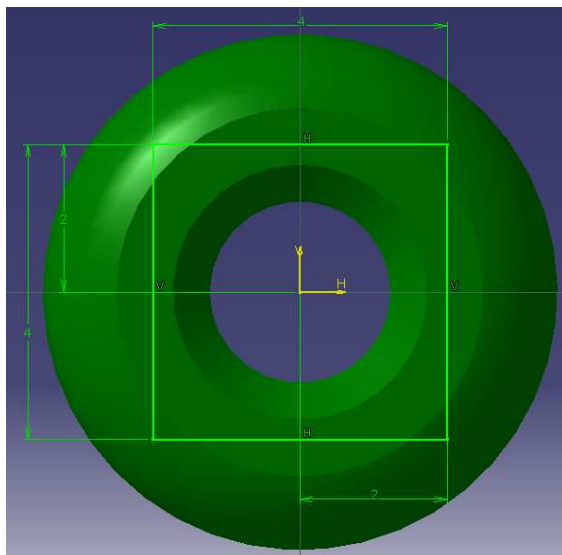
Obr. 21 Vytvoření středové díry

Už při výběru těchto parametrů je možné vidět jak bude otvor vypadat (viz Obr. 21). Na tomto obrázku je budoucí otvor vyznačen oranžovými čarami.

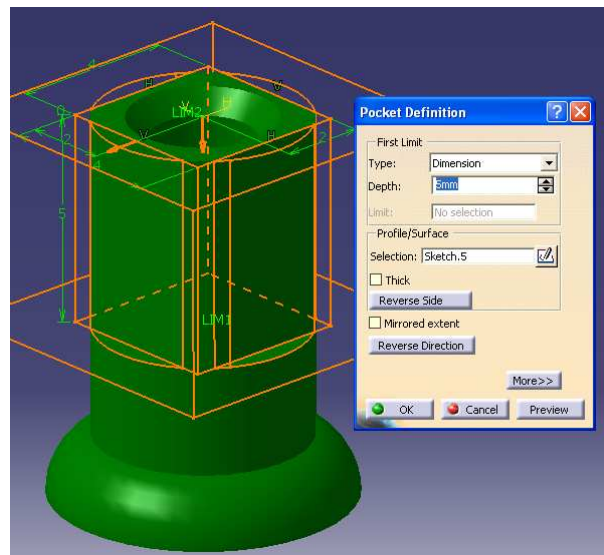
Sražení děr se provádí pomocí funkce Chamfer. Vybereme hranu otvoru, zadáme velikost a úhel sražení. Tato funkce umožňuje sražení hran na vybraných hranách nebo kolem vybraných ploch tělesa.

Poslední operací v tvorbě modelu je vytvoření čtvercového zploštění. Tady se použije funkce Pocket (kapsa). Nejdříve je ovšem nutné vytvořit geometrii ve skicáři (viz Obr. 22). Tam se na horní čelo matice narýsuje zploštění o velikosti 4 mm. Funkce Pocket slouží pro tvorbu různých drážek, zahloubení a vybrání. V okně této funkce stačí zadat jen hloubku vybrání a obrys, podle kterého bude vybrání vytvořeno (viz Obr. 23).

Po všech těchto krocích je konečná podoba modelu hotova a připravena pro další použití při tvorbě geometrie obrábění v CAM systému.



Obr. 22 Skica čtvercového zploštění



Obr. 23 Vytvoření zploštění pomocí funkce Pocket

3.5 Analýza technologičnosti konstrukce

Základní tvar součásti napínací matice je rotační. Je tedy možno ji vyrábět na soustruhu. Funkční plochou obrobku je rádiusové sedlo o velikosti 1,5 mm na konci matice. Jelikož je tato část rotační plochy tvarová, je zde možnost ji vyrobit tvarovým nožem, nebo pomocí NC stroje. S ohledem na množství vyráběných kusů matice, by se ale výroba tvarového nože nevyplatila. Předepsaná drsnost sedla je Ra0,8 μm . Tu je možno docílit například jemným soustružením. Před upíchnutím je nutné provést kontrolu tvaru sedla. K tomu lze použít část mechanismu, ve kterém matice pracuje a to příložku. Ta je dobře vidět na obrázku (*Obr. 6*), v kapitole *3.1.1 Mechanismus táhlo - pedál*. Tento díl lze zkušebně natáhnout na neupíchnutou matici a vyzkoušet správný tvar sedla. Tím se také zkontroluje přesnost průměru 5 mm, který musí projít čtvercovou dírou příložky. Při nepřesnostech bude tak možné obrobek ještě upravit. Na soustruhu je standardně možno vrtat vnitřní otvory a řezat závity. Totéž lze vyrobit i na frézce. O volbě způsobu výroby díry a závitu rozhodne možnost použití strojů, jak bude psáno v kapitole *4.1 Návrh postupu výroby*. Součást má velmi malé rozměry, a proto postačují i takové stroje, které mají malý pracovní prostor. S malými rozměry obrobku souvisí i náročnost jeho upnutí při výrobě čtvercového zploštění na frézce. Tomuto problému bude zapotřebí věnovat zvláštní pozornost. Upnutí bude patrně nutno realizovat s pomocí přípravku. Upínacím přípravkem, jeho funkčností a konstrukcí se bude podrobně zabývat kapitola *4.2 Konstrukce přípravku*. Navržená součást nevyžaduje, aby po strojním obrábění následovaly dokončovací operace ani povrchové úpravy. Pouze by mohla nastat potřeba ručního dokončení závitu, který bude možná z technologických důvodů nutno jen naříznout. Vesměs všechny tvary a plochy napínací matice lze vytvořit s použitím běžných nástrojů. Speciální nástroje nebudou potřeba, což alespoň finančně nezatíží výrobu matice.

Z analýzy druhu materiálu vyplynulo přibližné složení použitého materiálu na původní matici a s tím související nároky na materiál matice nové. Pro výrobu je možno použít ocel i s těmi nejhoršími pevnostními vlastnostmi, ale je možno použít i materiál nezelezný – například mosaz. Tento materiál má vyhovující obrobiteľnosť, což neklade nadměrné nároky na výkonnostní parametry případných výrobních strojů. Jako nevýhoda by se dala brát menší dostupnost a vyšší cena tohoto materiálu oproti oceli, kdyby bylo použití mosazi nutností, což ovšem v případě uvedené součásti není. Uvedenou značnou benevolenci ve volbě materiálu lze využít (i se zohledněním velikosti matice a objemu výroby) pro eventuelní použití zbytků kruhové tyče, použité při nějakých z předešlých zakázek.

3.6 Analýza dostupných výrobních prostředků

Před zahájením návrhů postupu výroby je nutno si ujasnit všechny výchozí podklady. Těmi jsou počet vyráběných součástí a dostupné výrobní prostředky kromě technické dokumentace součásti – tedy výkresu nebo modelu, který byl představen výše.

Objem výroby matice je ovlivněn počtem mechanismů, ve kterých napínací matice pracuje. Jak už bylo řečeno, těch je v pedálové harfě celkem sedm. Výroba tedy bude kusová. Je ale nutné počítat s určitou zmetkovitostí – např. najížděcí kus, odladění programu. Celkový počet vyráběných matic bude proto raději okolo 10 kusů.

V analýze technologičnosti byly již zmíněny nároky na stroje. Výroba matice by se měla uskutečnit v prostorách Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni. Ta disponuje několika

obráběcími stroji, počínaje klasickými soustruhy, až po pětiosé obráběcí centrum. Ze strojů, které přicházely v úvahu vzhledem k plánovaným operacím bylo vybráno celkem sedm strojů.

Pro soustružení to byly tři NC soustruhy – MAS 50, MAS SPT 16 a Emco PC turn 120. Stroje značky MAS jsou větších rozměrů, oběžný průměr nad ložem je až 500 mm. U MAS 50 je maximální délka mezi hroty 1500 mm a výkon motoru 22kW. U soustruhu Emco PC turn 120 jsou výrobní parametry menší. Maximální délka soustružení je pouze 120 mm a výkon 1,2 kW. I takto nízké hodnoty technických parametrů, jaké má posledně jmenovaný stroj však zcela postačují pro výrobu rotačních ploch matice s přihlédnutím k počtu vyráběných kusů.

Pro frézovací operaci byly vybrány čtyři stroje – tři NC frézky (TOS FGS40, MAS MCV 740A, Emco Concept Mill 105) a jedna NC vrtačka MAS VXR 50. Stroj Emco má nejmenší pracovní rozsahy X200/Y150/Z150 mm (ostatní stroje až X850/Y500/Z500 mm). Také má až několikrát nižší výkon než stroje ostatní. I pro frézování platí, že stroj s takto nízkými hodnotami parametrů plně postačuje pro výrobu sledované součásti.

Stroje značky Emco jsou umístěny ve výukové učebně, zatímco ostatní stroje z výběru se nachází v halové laboratoři, kde jsou využívány jak pro výuku, tak pro výzkum. Pro malé rozměry matice a tím i možnosti jí vyrobit na relativně malých strojích, byla vybrána varianta se stroji Emco v učebně. Ty slouží výhradně jen k výuce studentů. Proto jsou i méně časově vytíženy než obráběcí centra na hale fakulty strojní. I z toho důvodu se stroje Emco po každém obrábění vyčistí. Čili při výrobě matice z mosazného materiálu nehrozí smíchání mosazné třísky se železnými. Naopak u strojů v halové laboratoři by mosaz mohla činit potíže s tříděním odpadu.

Kdyby z technologických důvodů nevyhovovala frézka Emco, je případně možno použít produkční frézku MAS MCV740A. Parametry a možnosti tohoto stroje bohatě vyhovují pro výrobu všech ploch, kromě soustružení.

3.6.1 Technické specifikace vybraných strojů a jejich nástrojového příslušenství

V této části budou blíže představeny stroje, nástroje a příslušenství použité při výrobě matice. Jejich parametry velmi ovlivní postup nebo možnosti výroby součásti. Například podle výkonnostních parametrů strojů a možností využití nástrojů, bude možné navrhnout řezné podmínky při obrábění. To také rozhodne o tom, zda na strojích bude možné matici vyrobit v její předepsané jakosti. A to z hlediska jak drsnosti, tak i přesnosti rozměrů, tvarů či polohy.

3.6.1.1 Soustružení

Pro část soustružení byl vybrán stroj značky Emco, konkrétně PC Turn 120. Tento NC soustruh je typu „slant bed lathe”. To znamená, že lože stroje není vodorovné, ale je umístěné za osou soustružení a je skloněné téměř svisle. Takto je vidět celý stroj i na vyobrazení (Obr. 24). Odváděná



Obr. 24 NC soustruh Emco PC Turn 120 (10)

třísky tak nepadá na lože stroje, a tak je lože více chráněno. Přesné technické specifikace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). Číslo v názvu stroje napovídá, jaká je maximální délka soustružení. Na tomto stroji je to tedy vzdálenost 120 mm mezi nulovým bodem stroje, až po maximální koncovou polohu suportu v ose Z i s upnutým nástrojem. Oběžný průměr nad ložem je 180 mm, ovšem oběžný průměr nad suportem je omezený na 75 mm. Řízení stroje je prostřednictvím řídicího systému Sinumeric 828D.

Typ	NC soustruh
Model	Emco PC Turn 120
Ovládání	Siemens 828D
Počet os	2
Oběžný průměr nad ložem	180 mm
Oběžný průměr nad suportem	75 mm
Maximální délka soustružení	120 mm
Otáčky vřetena	150 - 4 000 ot/min
Rychlost rychloposuvu	3 m / min
Pracovní posuv	0 - 2 m / min
Počet nástrojů v zásobníku	8
Výkon motoru	1,2 kW

Tab. 2 Technické parametry stroje Emco PC Turn 120 (5)

Otáčky vřetena jsou od 150 do 4 000 ot/min. Výkon motoru je až 1,2 kW. Pro kontrolu, že stroj bude vyhovovat při výrobě matice, byly tyto parametry přepočítány. V rovnici č. 1 byla vypočítána maximální řezná rychlost. Za otáčky byla dosazena maximální hodnota stroje 4000 ot/min. Nejmenším průměrem, který se bude na stroji soustružit (když opomeneme zarovnání čela před hrubováním), je 5 mm.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m/min]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 4000}{1000} = 62,8 [m/min] \quad (1)$$

Výsledek této rovnice byl dále použit pro výpočet maximální síly v rovnici č. 2, která bude při této řezné rychlosti působit na břit nože. Za výkon byl dosazen maximální výkon stroje 1200 W.

$$P = F \cdot v_c / 60 [N \cdot m/s]$$

$$F = P \cdot 60 / v_c [N] \quad (2)$$

$$F = 1200 \cdot 60 / 62,8 = 1146 N$$

Pro výpočet hloubky řezu a posuvu byla maximální síla vynásobena řezným odporem k_c , který má pro materiál použitý na výrobu matice hodnotu 1300 MPa pro střední hodnoty tloušťky třísky. Výsledkem rovnice č. 3 je plocha průřezu třísky, který je na stroji možno realizovat. Tu je možno realizovat například posuvem $f = 0,25$ mm při hloubce $a_p = 3,52$ mm.

To jsou ovšem maximální podmínky zatížení vřetena. V praxi bude vhodné volit podmínky nižší i s ohledem na tuhost soustavy SNOP.

$$F = k_c \cdot S [N]$$

$$S = F/k_c [mm^2] \quad (3)$$

$$S = 1146/1300 = 0,88 \text{ mm}^2$$

Vzhledem k omezené točné délce není na tomto soustruhu téměř možno řezat závity závitníkem. Ten by se musel upnout do držáku a jejich celková délka by pravděpodobně přesahovala rozměr, který zbývá od konce součásti po koncový doraz suportu v ose Z. V každém případě se dosud závity na tomto stroji závitníkem nevyráběly v režimu chodu programu. Tato skutečnost velmi ovlivní postup výroby matice. Vyříznutí závitu se tak bude muset zajistit na frézce, nebo se vyřízne ručně s rizikem menší přesnosti závitu.

Stroj je vybaven revolverovým zásobníkem nástrojů, do kterého lze upnout jak soustružnické nože, tak tříčelistovou upínací hlavičku pro vrtání. Zásobník má kapacitu až na 8 nástrojů. Maximální průřez těla nože, které lze do něj upnout je 12x12 mm. Ze základní sady nástrojů, která je příslušenstvím stroje, připadají pro operaci soustružení ploch matice v úvahu následující nože – rohový s označením SCLCL1212F09 pro hrubování a kopírovací SDLCL1212F09 pro obrábění na čisto. Toto označení lze více popsat pomocí tabulky systému označování nožů ISO (viz příloha č. 3 Systém označování nožů ISO pro vnější soustružení). První písmeno v označení znamená způsob upnutí vyměnitelné břitové destičky k noži. U obou nožů je použit způsob pomocí šroubu uprostřed destičky. Její tvar určuje druhé písmeno. U rohového nože je to kosočtverec pod úhlem 80°, u kopírovacího je tento úhel jen 55°. To je také jediný rozdílný údaj v označení těchto nožů. Další část označení určuje úhel nastavení nože a to 95°. Úhel hřbetu je také stejný pro oba nože – 7°. Poslední písmeno v první části znamená, jestli je nůž levý nebo pravý. Jelikož nástroje jsou u použitého stroje až za osou obrábění, jsou proto levé. Proto budou levé i otáčky při soustružení. Čtyřčíslí značí výšku a šířku nože, zde 12x12 mm. Celkovou délku nože označuje písmeno F, nože tedy mají délku 90 mm. Poslední dvojice čísel je délka řezné hrany VBD. Pro upíchnutí materiálu je možné použít upichovací nůž s VBD o tloušťce 3 mm.

3.6.1.2 Frézování

Druhá část výroby matice se bude realizovat na frézce. V úvahu přichází především Emco PC Mill 105 (viz Obr. 25). Tato NC frézka opět slouží jako výukový stroj. Pracovní rozsahy os X, Y, Z jsou 200 mm, 150 mm a 150 mm. V osách X a Y se pohybuje upínací stůl, v ose Z se pohybuje vřeteno s nástrojem. Upínací stůl s podélnými T-drážkami má délku 420 mm a šířku 125 mm. Jeho maximální zatížení je 10 kg. Stroj není vybaven chlazením. Otáčky vřetena



Obr. 25 Stroj Emco PC mill 105 (11)

jsou od 150 do 5 000 ot/min. Výkon motoru je až 800 W. Řízení stroje je prostřednictvím řídicího systému Sinumeric 840D. Stroj je opět vybaven revolverovým zásobníkem. Jeho kapacita je deset nástrojů, které se do něj upínají pomocí kleštinových upínačů. Maximální průměr stopky nástroje, který lze upnout do zásobníku, je 12 mm. Pomocí speciálního upínače na závitníky lze na stroji řezat závity M2 až M8. Pro výrobu matice budou použity tyto nástroje: stopková fréza $\varnothing 8$ mm na čtvercové zploštění, šroubovitý vrták $\varnothing 2,5$ mm, navrtávák s vrcholovým úhlem 90° pro sražení hrany před vytvořením závitu, sada závitníků M3. Stroj je vybaven univerzálním svěrákem, který lze upnout na upínací stůl pomocí šroubů. Parametry stroje přehledně uvádí tabulka (Tab. 3).

Typ	NC frézka
Model	Emco PC Mill 105
Ovládání	Sinumeric 840D
Rozsah v X /Y /Z	200/150/250 mm
Rychlost rychloposuvu	5 m / min
Pracovní posuv	0 - 5 m / min
Upínací plocha	420 x 125 mm
Max. zatížení stolu	10 kg
Max. otáčky	5 000 ot/min
Max. výkon	800 W
Počet nástrojů v zásobníku	10
Max. průměr nástroje	55 mm

Tab. 3 Technické parametry stroje Emco PC mill 105 (6)

V případě, kdyby na stroji Emco PC Mill 105 nebylo možné výrobu matice zajistit, jako druhá varianta stroje pro frézovací operaci je stroj MAS MCV 740A (viz Obr. 26). Jak už bylo řečeno, tento stroj je produkční a je umístěn v halové laboratoři fakulty strojní. Řízení stroje je prostřednictvím řídicího systému Heidenhain iTNC 530. Pracovní rozsahy v jednotlivých osách jsou mnohonásobně větší než u stroje Emco a to X750/Y500/Z500 mm. Těmto rozsahům odpovídá i velikost upínacího stolu, který má rozměry 1000x640 mm a jeho maximální zatížení může být až 640 kg. Rozsah otáček vřetene je od 20 až po 13 000 ot/min a výkon jeho motoru je 11,5 kW. Stroj je vybaven opět revolverovým zásobníkem o kapacitě

Typ	3-osé frézovací centrum
Model	MAS MCV 740 A
Ovládání	Heidenhain iTNC 530
Rozsah v X /Y /Z	750/500/500 mm
Rychlost rychloposuvu	45 m /min
Pracovní posuv	0 - 15 m /min
Upínací plocha	1000 x 640 mm
Max. zatížení stolu	640 kg
Rozsah otáčky	20 - 13 000 ot/min
Jmenovitý výkon	11,5 kW
Počet nástrojů v zásobníku	24
Max. průměr nástroje	77 mm

Tab. 4 Technické parametry stroje MCV 740A (7)

24 nástrojů. Ty se ale do vřetena podávají mechanickou rukou. Maximální průměr nástroje, který lze vložit do zásobníku je $\varnothing 77$ mm. Při vynechání sousedních poloh nástroje je možné vložit nástroj o průměru až $\varnothing 150$ mm. Stroj může být vybaven dopravníkem třísek, což velmi usnadňuje jeho čištění. Na druhou stranu, v případě, kdy se na stroji obrábí z materiálu, který má jinou třídu odpadu, než běžně zpracovávaný a když množství třísek tohoto jiného materiálu není značné, dopravník v čištění stroje nijak nepomůže. Pro lepší přehlednost jsou všechny technické parametry tohoto stroje uvedeny v tabulce (Tab. 4).



Obr. 26 Stroj MCV 750A (9)

4 Technická příprava výroby

Technická příprava výroby je vlastně jádrem problému této práce. Řeší, jak se bude obrobek vyrábět. Ukáže všechny možné varianty, u kterých by se měly zdůvodnit výhody, nebo naopak nedostatky těchto možností. Vybranou variantu postupu výroby pak popíše do konkrétních operací. Tento výrobní postup bude velmi záviset na dostupných prostředcích a navíc ovlivní další postup v této práci – tvorbu programů pro výrobní stroje.

4.1 Návrh postupu výroby

Z rozboru technologičnosti konstrukce vyplynulo použití celkem dvou výrobních strojů. Při tomto výběru bylo potřeba přihlídnout k dostupným možnostem výrobních prostředků.

Ideálním řešením by však při sériové výrobě napínací matice (což ovšem není případ řešeného úkolu) bylo použití jen jednoho stroje a to multiprofesního obráběcího NC stroje. Pomocí tohoto řešení by se obrobek dal vyrobit během jedné operace a na jedno upnutí. Tím by odpadla nutnost výroby upínacího přípravku a zkrátil by se čas potřebný pro výrobu matice. To by celkově snížilo náklady na její výrobu. Nejdříve by se osoustružil hlavní tvar matice a vyvrtala díra pro závit. Následně by se vyrobil samotný závit. Poté pomocí protivřetena a polohováním vřetena s obrobkem, by proběhlo vyfrézování čtvercového zploštění. Na závěr by byla matice upíchnuta. Dostupné výrobní prostředky však nedovolují tento způsob výroby a rozsah výroby to ani nevyžaduje. Použití takového stroje tak nepřichází v úvahu.

První operace – soustružení výroby matice se provede na stroji Emco PC turn 120. Nejdříve se zarovná čelo polotovaru, vyhrubuje se tvar rádiusového sedla matice a zbylý průměr $\varnothing 5$ mm s přídatkem pro soustružení na čisto. Ten se odebere při dokončovacím soustružení nožem pro práci na čisto. Před upíchnutím se u prvního kusu vyzkouší přesnost tvarového sedla pomocí příložky. Při nepřesnostech tak bude možné použití nástrojových korekcí. Nakonec se celý obrobek oddělí od zbývajících polotovaru upíchnutím na stanovenou délku 9 mm.

Po vysoustružení hlavního tvaru matice bude potřeba vyvrtat středovou díru a vytvořit závit M3. Jak už bylo řečeno v technických specifikacích vybraných strojů, tento soustruh není vhodný pro výrobu závitu. I tak je pro výrobu závitu možné využít hned několik variant. Hlavním rozdílem ve variantách je upnutí matice při vytváření závitu.

První možnost, jak závit vyrobit, je matici neupíchnout po soustružení a nechat ji upnutou i se zbytkem polotovaru ve sklíčidle ve stroji. Při tomto upnutí by se závit dal vyrobit ručně pomocí závitníku. Problémem by však byl malý točný průměr nad ložem stroje a tím i nemožnost otáčení vratidla. Jako druhý způsob vytvoření závitu při tomto upnutí byl též ruční, ale s upnutým nástrojem – závitníkem do koníku. Závit by se vytvořil ručním posouváním koníku a též ručním otáčením vřetena. Tento způsob by byl však zdlouhavý, pracný, nekonfortní a do určité míry by hrozilo i nebezpečí poranění obsluhy o zbylé nástroje v nástrojové hlavě. Proto po vytvoření hlavního tvaru matice na soustruhu bude obrobek upíchnut.

Druhá varianta výroby matice je při upnutí do kleštín za průměr $\varnothing 5$ mm, kdy zbytek matice – sedlo by vyčnívalo před čelo kleštiny. Závit by se dal opět vyrobit jen ručně, což by neslo riziko vyříznutí závitu mimo osu.

Vzhledem k malým plochám, za které bude možné matici upnout při frézování čtvercového zploštění, se jako nejlepší řešení nabízí návrh upínacího přípravku. Po upíchnutí od zbývajícího materiálu nebude mít totiž obrobek žádnou plochu, za kterou by mohl být upnut do svěráku, sklíčidla nebo jiných univerzálních upínačů. Nebylo by tak zajištěno přesné a pevné upnutí. Proto bude nutné pro výrobu závitu navrhnout a vyrobit speciální upínací přípravek. Návrh jeho konstrukce musí zajistit pevné upnutí obrobku i přístup k plochám zploštění. Tím bude zároveň zajištěn i přístup pro vnitřní díry se závitem na jedno upnutí matice v přípravku. Závit by se tak mohl vyrobit dvěma variantami. První opět ručně pomocí závitníku a vratidla. Přípravek s maticí by se upnul do dílenského svěráku a ručně by se vyrobil závit. Není to však potřeba, pokud frézka, která bude vyrábět zploštění, je schopna vyrobit i závit. Tento způsob bude rychlejší a především nejpřesnější ze všech možných variant.

Druhá část výroby matice tak proběhne na frézce, konkrétně na stroji Emco Concept Mill 105. Zde se do strojního svěráku nejdříve upne již vyrobený upínací přípravek a zadá se výchozí bod obrobku, jehož poloha je nejvhodnější v ose středového kruhového výstupku. Takto by se totiž postupovalo v případě opakované výroby. Při prvovýrobě je však vhodnější horní část přípravku s výstupkem, s dírou a závity vyrobit těsně před výrobou matice a použít pro obě práce společný výchozí bod. Konstrukce přípravku je popsána v kapitole 4.2.1 *Návrhy variant*. Matice se vloží do přípravku a upne. Jelikož obrobek je upnut za tvarové sedlo, celá operace na frézce se provede na jedno upnutí. Nejdříve se vrtákem vytvoří vnitřní středová díra pro závit o velikosti 2,5 mm, pomocí navrtávu se srazí hrana otvoru a poté se závitníkem vytvoří závit M3. Vyvrtáním a vytvořením závitu při jednom upnutí se zajistí lepší souosost závitu, než kdyby se díra vytvořila už při operaci na sousturhu. Nakonec se vyfrézuje čtvercové zploštění o velikosti strany 4 mm. Tím je výroba matice u konce a stačí provést jen kontroly rozměrů a jakosti ploch. Technologický postup celé výroby matice je v příloze č. 4. Výrobní časy v něm nejsou uvedeny z důvodu doposud neuskutečněné kompletní výroby matice.

4.2 Konstrukce přípravku

Jedním z důležitých dílčích úkolů v rámci řešení přípravy výroby zadané matice je konstrukce přípravku, jehož potřeba se ukázala již při rozboru technologičnosti součástí. Tvar, složitost a provedení přípravku jsou závislé na velikosti série výrobku, pro který je přípravek určen. Pro malý počet vyráběných součástí jsou přípravky jednodušší a levnější. Pro velké počty obrobků mohou být přípravky dokonalejší, skládající se z více prvků, které sníží výměnný čas. Jak už bylo zmíněno v kapitole 3.1.1 *Mechanismus táhlo - pedál*, bude se jednat o kusovou výrobu o objemu okolo 10 kusů. A právě kvůli malému počtu kusů, není tolik významná doba, za kterou se obrobek z přípravku vyjme a nový kus se připraví na obrábění. Úkolem přípravku pro výrobu zadané součásti proto nebude zefektivnit upínání a zkrátit upínací časy, ale bude jím pevně fixovat součást. Ta pro upínání poskytuje jen drobné plochy, které jsou navíc tvarové. Bez přípravku by tak fixace obrobku nebyla téměř možná.

Přípravek pro obrábění napínací matice musí v první řadě zajistit přesnost a tuhost upnutí při takové poloze, aby mohlo být provedeno vyvrtání středové díry a vytvoření vnitřního závitu (u některých variant způsobu výroby), ale především obrobení čtvercového zploštění na délce 5 mm od čela. Plochy na obrobku, které je možno využít pro upnutí jsou čelo

součásti na straně rádiusového sedla a rádiusové sedlo. Případně by bylo možno využít asi 3 mm z válcového povrchu přiléhající těsně k sedlu.

4.2.1 Návrhy variant

V průběhu práce vznikaly rozličné varianty technického postupu a jim i odpovídajících přípravků. Hlavním důvodem změny celé koncepce přípravku byla většinou změna typu stroje, na kterém by se měly některé plochy matice vyrábět. Plochou, která připadala v úvahu pro variantní způsoby výroby na různých strojích, byl především závit. Proto vzniklo hned několik koncepcí.

V první variantě přípravku bylo počítáno s vyvrtáním díry a výrobou vnitřního závitu matice při upnutí na soustruhu ještě před upíchnutím. Následovalo by tak jen ofrézování čtvercového zploštění na NC frézce.

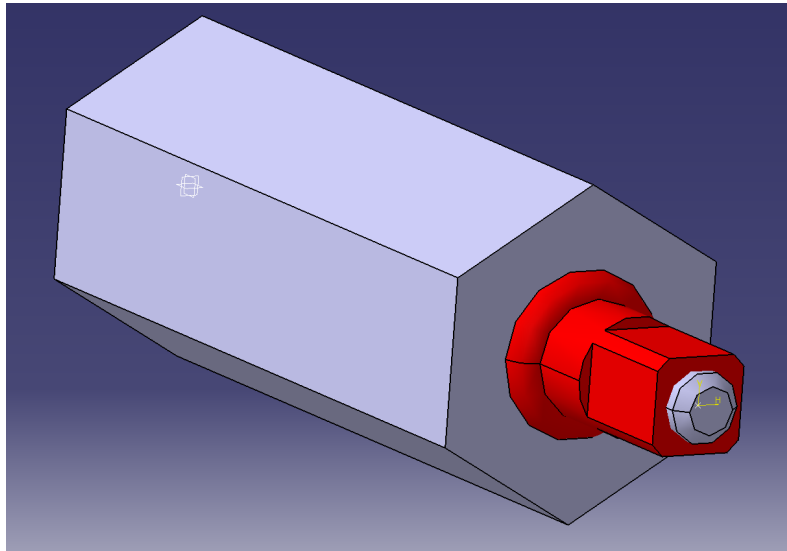
Základní tvar přípravku byl navržen jako šestihranná nebo případně čtvercová tyč, se závitovým zakončením. Tento typ tvaru tyče byl

zvolen kvůli upnutí do univerzálního svěráku při

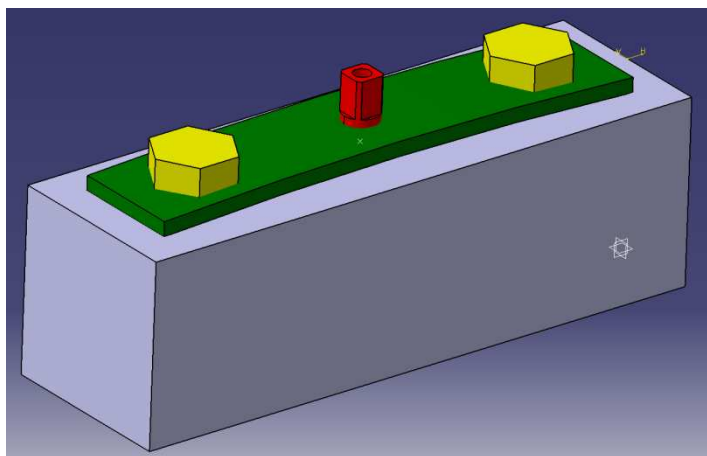
frézovací operaci. Kruhová tyč by se hůře upínala, nebo by se na obvodu muselo vytvořit zploštění. Tento koncept byl i vymodelován a je vyobrazen i s upnutou maticí na obrázku (Obr. 27). Bylo potřeba počítat se šestihranným polotovarem, jelikož tříčelist'ové sklíčidlo je běžnější a polotovar lépe vystředí. Červeně je zbarven obrobek – napínací matice, samotný přípravek je šedé barvy. Za zbytkovou neobrobenou šestihrannou část by bylo možné celou sestavu upnout do univerzálního svěráku.

Celý přípravek by tak bylo možné vyrobit jen soustružením válcové plochy, na které by se potom vytvořil závit se stejnými rozměry a stoupáním jako na matici.

Upnutí obrobku by bylo jednoduché – našroubováním matice až na čelo přípravku. Aby se matice při frézování nepovolila, musela by se jako nástroj zvolit levořezná fréza. Pak by operace probíhala ve směru dotahování. Vlivem obráběcích sil by se ovšem mohla matice pootočit – více „dotáhnout“ na čelo těla přípravku. To by mohlo znamenat jak větší riziko zmetkovitosti



Obr. 27 První návrh přípravku



Obr. 28 Druhý návrh přípravku

obrobků, tak především změnu geometrického poměru v místě řezu a s tím i jisté nebezpečí poškození a ulomení nástroje. Řešením by mohlo být dotažení součásti na přípravek pomocí kleští. Tady ale hrozí riziko poškození už hotové válcové plochy, která se napojuje na čtvercové zploštění.

Jak již bylo řečeno, tato koncepce přípravku vycházela z matice, která už měla vytvořený závit z předešlé operace na soustruhu. Tento závit by navíc využívala jako upínací prvek. Změnou a úpravou technologického postupu v průběhu vývoje se tak tato koncepce přípravku stala nevyhovující. I tak by měla tato konstrukce přípravku nevýhody, v podobě možného pootočení vlivem případného dotažení při frézování zmíněného výše.

V dalším vývoji tedy bylo nutné vymyslet přípravek takový, aby v něm mohla probíhat jak frézovací operace, tak i výroba závitu na NC frézce. To znamenalo upnout matici tak, aby byla zaručena dostupnost nástroje k válcové ploše průměru do vzdálenosti 5mm od čela a k hornímu čelu, na kterém se bude vrtat a řezat závit.

Následný návrh přípravku se od minulé varianty zcela lišil (viz *Obr. 28*). Jako základní část přípravku byl zvolen hranol 80x20x20 mm (na obrázku šedé barvy). Ten obsahuje celkem tři díry – všechny průchozí. Dvě krajní jsou určeny jako díry se závitem pro šrouby M6. Prostřední otvor – průměr $\varnothing 3,5$ mm slouží pro výběh nástroje při výrobě díry a závitu. Další díl přípravku je upínka, která má na obrázku zelenou barvu. Její tloušťka je omezena prostorem od kraje sedla matice, až po frézované čtvercové zploštění, aby nepřekážela nástroji při frézování. Žlutě jsou na obrázku vidět normalizované šrouby.

Tato varianta by odstranila nedostatek verze předešlé, kdy nebylo možné vyrobít zploštění i závit na jedno upnutí kvůli nutnosti využít závit jako upínací plochu. Díky upnutí za sedlo matice, je možné obrábět zploštění i vytvoření díry a závitu pomocí závitníku. To umožňuje i prostřední díru, do které vyjíždí samotný nástroj.

Upínání je na principu dvouzvratné páky, kdy se nad prostřední díru hranolu položí matice, přes kterou se navleče upínka. Ta se utáhne dvěma šrouby v krajních otvorech a tím dosedne na matici a pevně ji přitlačí k hranolu.

Přípravek by se tak vyrobil při použití vhodných polotovarů (hranol – čtvercová tyč o velikosti strany 20 mm a podložky – plochá tyč „páskovina“ o velikosti 15x70x2,5 mm) jen vyvrtáním děr do obou částí přípravku a ručním vytvořením závitů do hranolu. Jak už bylo řečeno, šrouby by se použily normalizované a to buď se šestihrannou hlavou nebo s hlavou na imbusový klíč. Výroba by tak nebyla příliš zdlouhavá a drahá.

I toto řešení mělo ale své nedostatky. Jako první můžeme uvést nepřesné upevnění matice né zcela v ose díry, vlivem nutné vůle mezi otvory na šrouby v podložce a samotnými dříčky šroubů. To by mělo za následek možné vyosení čtvercového zploštění a závitu.

Dále nebezpečí malé přitlačné síly matice k hranolu. Upínka by se mohla kvůli své tloušťce lehce ohnout (maximálně o 1,4 mm po celé své délce), a tím i matici málo upnout. Matice by se tak mohla při obrábění pootočit a poškodit nástroj. Řešením by bylo navýšit tloušťku podložky. To však už není možné, jelikož vzdálenost mezi sedlem a zploštěním je pouze 2,6 mm. Problém by také možná vznikl mezi podložkou a maticí, kde by byl pouze bodový styk a následně by mohlo vznikat otláčení.

Princip přípravku se zdál být dobrý, jen bylo potřeba vyřešit konstrukční nedostatky předešlé varianty. Změnou průřezu upínky se vyřešilo její ohýbání a tak i možnost malé přitlačné síly matice na hranol. Polotovar dílu je tlustší – 4 mm, ale prostředkem upínky vede

drážka hluboká 1,5 mm, čili v místě okolo matice je tloušťka jen 2,5 mm. Pro případ kdyby se upínka při upínání prohnula vlivem pružných deformací při zatížení, se vytvořil na hranolu kruhový výstupek o velikosti 2 mm, na kterém bude matice upevněna. Tato koncepce dovoluje deformaci upínky až o 2 mm. Je ovšem otázkou, zda napětí v upínce při upínání nepovede až k plastickým deformacím. Pro eliminaci tohoto rizika je možno zvětšit výšku bočních stěn upínky, čemuž se ještě bude věnovat další text.

Úpravou prošla také styčná plocha v místě mezi upínkou a maticí. Kuželové zahloubení s vrcholovým úhlem 118° (hodnota je zvolena podle úhlu špičky vrtáku pro snazší výrobu) lépe usadí a přitlačí obrobek při obrábění. Riziko otlacení sedla se též sníží.

Na těle přípravku byl navíc vytvořen kruhový výstupek o výšce 2 mm a o průměru 8,5 mm, na který bude matice při upínání umístěna. Do tohoto výstupku bylo ještě přidáno kruhové zahloubení 0,2 mm o průměru $\varnothing 7$ mm. Průměrově odpovídá průměru matice na konci sedla. Tím se zajistí přesné upnutí. Matice se tedy jednoduše položí do zahloubení a tak je zajištěna poloha obrobku.

Prostřední otvor pro výrobu závitu zůstal nezměněn. Matice bude mít závit o velikosti M3, tudíž průměr díry $\varnothing 3,5$ mm zajistí bezpečný průchod vrtáku a závitníku. Otvor také bude sloužit k odvodu třísky při operaci.

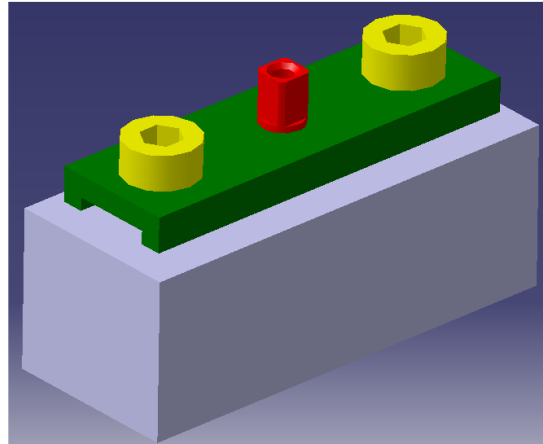
Změnou rozteče děr pro šrouby, která se zmenšila z 50 mm na 32 mm, se sníží namáhání upínky na ohyb, což je přínos. Toto řešení má však i negativní vliv a to ten, že zmenší rozsah použitelných nástrojů při frézovací operaci. Hlavy šroubů totiž budou blíže obráběné ploše a zmenší se prostor pro nástroj. Po úpravě vzdálenosti mezery mezi maticí a hlavou šroubu, bude totiž možné použít frézu jen do určité velikosti. Tento negativní vliv byl snížen použitím šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem a použitím velikosti M5 místo M6, jak bylo počítáno v předešlém řešení. Po této úpravě šroubů se bude moci použít fréza o průměru až 9 mm (před úpravou šroubů maximálně 8 mm). Jelikož se ale bude obrábět jen malé množství třísky (největší možný úběr - 0,5 mm o hloubce 5 mm), bude i nástroj této velikosti a tuhosti stačit.

Jako základ polotovarů pro části přípravku mohou být opět použity normalizované profily, ty ovšem následně bude nutné od předchozího řešení navíc ofrézovat. Výroba přípravku se tak kvůli úpravě konstrukce zkomplikuje. To celou výrobu přípravku prodlouží a nejspíše i zdraží. Tento návrh je vidět na obrázku (*Obr. 29*). Barvy částí a obrobku zůstaly nezměněné.

Poslední úpravy přípravku byly provedeny po konzultaci s odborníky na předpokládaném pracovišti. Po vybrání polotovaru pro výrobu těla přípravku byly změněny základní rozměry přípravku. Pro zlepšení tuhosti při upnutí matice byl zvětšen kruhový výstupek z výšky 2 mm na 8 mm. U středové díry $\varnothing 3,5$ mm se navrhlo odlehčení ze spodní části o hloubce 12 mm.

Výška podložky se zvětšila z 4 mm na 9 mm. Tato změna zajistí i lepší a tužší upnutí při výrobě vnitřní drážky a eliminuje riziko trvalých deformací upínky působením upínacích sil. Ta nyní bude hluboká 6 mm. Rozteče a průměry děr zůstaly beze změny. Výsledná podoba přípravku je vidět z obrázků (*Obr. 31 a Obr. 30*).

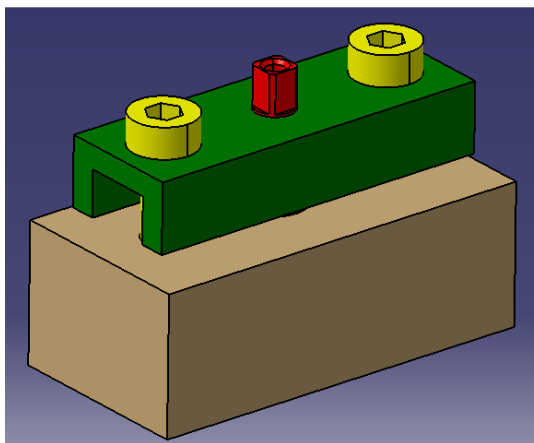
Na základě konečného návrhu konstrukce přípravku byly vytvořeny technické výkresy těla přípravku a upínky (viz přílohy č. 6 a 7, výkres č. BP 20-14-02 a výkres č. BP 20-14-03). Na výrobu obou součástí může být použita jakákoliv ocel třídy 11 a vyšší. Celkové rozměry obou součástí jsou spíše menší (45x16x9 mm upínka, 50x25x24 mm tělo přípravku), pro výrobu je tedy možné použít jako polotovar zbytkový materiál z předešlých zakázek.



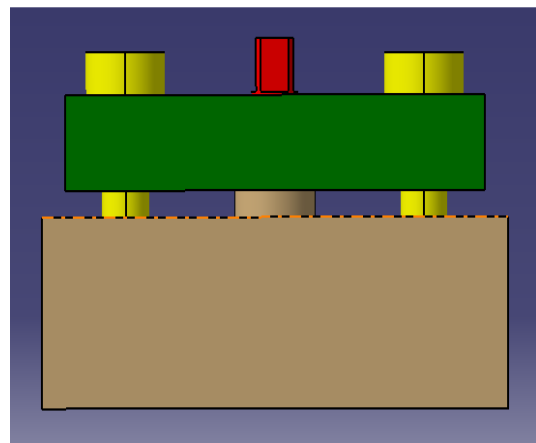
Obr. 29 Třetí návrh přípravku

Po upnutí matice je nutné aby její část nad upínkou byla alespoň 5,1 mm. To by při výrobě upínky měly zajistit tolerované rozměry tloušťky a kruhového sražení pod úhlem vrcholu vrtáku 118°, do kterého zapadá matice. Při výrobě by se hloubka tohoto sražení obtížně měřila. Proto je na výkrese zakótován i druhý průměr sražení $\varnothing 7,1$ mm, který bude sloužit jako kontrolní rozměr. Předepsaná drsnost všech ploch upínky je Ra 3,2 μm . Jen u vrtaných děr o průměru $\varnothing 5,1$ mm, které budou sloužit jako otvory pro šrouby a pro matici, je drsnost Ra 12,5 μm .

Tělo přípravku bude při frézování matice upnuto do svěráku za boční strany o délce 50 mm (viz Obr. 41). U těch je tedy potřeba zajistit jejich rovnoběžnost a tomu odpovídající drsnost povrchu. Aby byl závit matice kolmý na její zadní čelo, musí se zajistit rovnoběžnost kruhového sedla přípravku o hloubce 0,2 mm a průměru $\varnothing 7$ mm proti spodní ploše. Touto plochou dosedne celý přípravek na podložky ve svěráku při jeho upínání. Ke spodní ploše je ještě nutné dodržet danou kolmost kruhového výstupku o průměru $\varnothing 8,5$ mm. Kruhový výstupek bude totiž také možno použít při najíždění nulového bodu v případě opakovaného upínání přípravku do svěráku. Souososti kruhového zahlužení a díry $\varnothing 3,5$ mm k výstupku, mají zabránit vyříznutí závitu mimo osu matice a riziku poškození vrtáku nebo závitníku při vyjíždění do průchozí díry. Z opačné strany je odlehčení středové díry o hloubce 12 mm. To slouží pro lepší odvod třísky. Není u něj nutné dodržet kolmé zakončení zahlužení a kuželové dno od vrtáku vyhovuje. To už ale záleží na domluvě s obsluhou stroje při výrobě přípravku. Závit pro šrouby jsou metrické o stoupání 0,8. Sražení u těchto děr slouží pro lepší zavedení závitníku při výrobě.



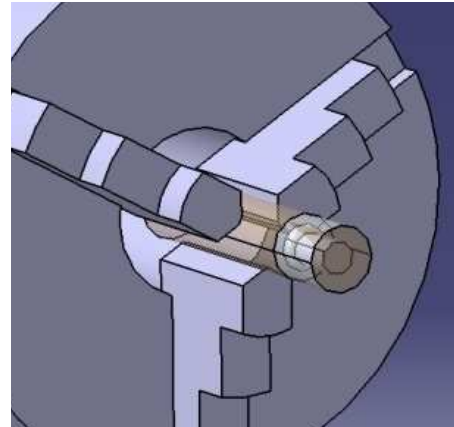
Obr. 31 Konečná podoba přípravku



Obr. 30 Boční pohled na přípravek

5 Tvorba programů pro jednotlivé stroje

Po vytvoření modelu, který byl představen v kapitole 3.4 *Tvorba modelu matice*, bylo možné přejít z konstrukční části CAD programu do části CAM. Tedy do té části, kde se vytvoří geometrie obrábění, dráhy nástrojů, kde se zvolí řezné podmínky a kde dojde pomocí postprocesorů k vygenerování NC programů vhodných pro konkrétní typ stroje, na kterém se matice bude vyrábět.

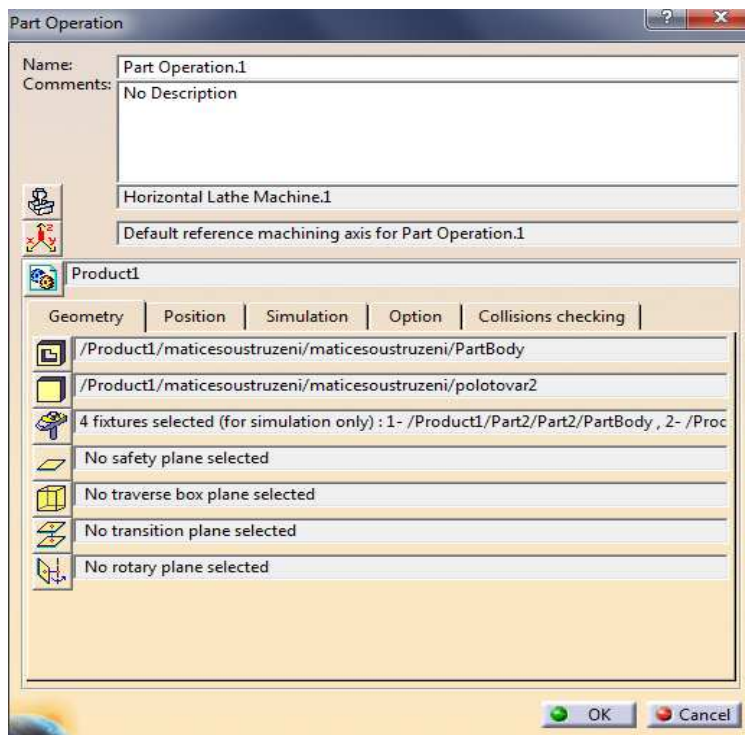


Obr. 32 Sestava pro soustružení

5.1 Soustružení

Před samotným otevřením CAM modulu bylo potřeba nejdříve matici umístit do sestavy, ve které spolu s modelem obrobku jsou ještě modely polotovaru matice a upínače. Jako upínač bylo použito tříčelisťové sklíčidlo. Vytvoření sestavy má přínos pro lepší simulaci obrábění a pro odstranění možných kolizí nástroje s ostatními prvky stroje při obrábění nebo při pohybu nástroje k jeho výměně. Jednotlivé prvky sestavy bylo potřeba mezi sebou zavazbit. Celá sestava je vidět na obrázku (Obr. 32). Upínač je barvy nachové, polotovar je šedý a průhledný, aby byl zároveň vidět i hotový obrobek. Za polotovar byla zvolena tyč o průměru $\varnothing 10$ mm. Soustružením se vytvoří jen základní tvar matice (a nikoli plochy vyrobené na frézce), proto se liší model obrobku pro soustružení od modelu hotové matice absencí čtvercového zploštění a středové díry se závitem.

V CAM modulu bylo na začátku práce potřeba nejdříve nastavit obecná nastavení operace



Obr. 33 Dialogové okno Part Operation

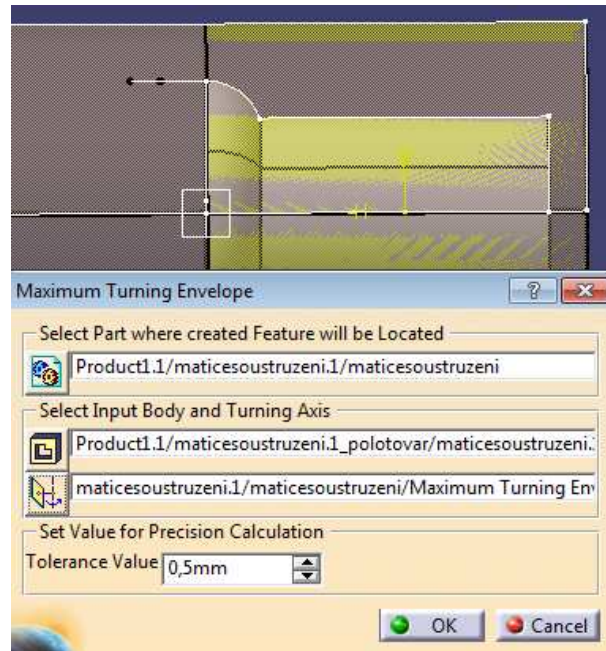
(viz Obr. 33). K nim se lze dostat na dialogovém okně po dvojkliku na Part Operation v navigačním stromu hlavního okna.

Po zobrazení dialogového okna bylo potřeba vyplnit všechny nutné parametry. Zadávání každého parametru je přístupné po kliknutí na příslušnou ikonku po levé straně. Jako stroj byl vybrán horizontální soustruh. Dále byl určen souřadný systém obrobku. Osa Z je standardně ve směru vřetene, osa X je orientována v radiálním směru. Nulový bod obrobku byl zvolen v tomto případě v ose rotace na předním čele. Dalším krokem byl výběr modelu a polotovaru. Jako těleso upínače

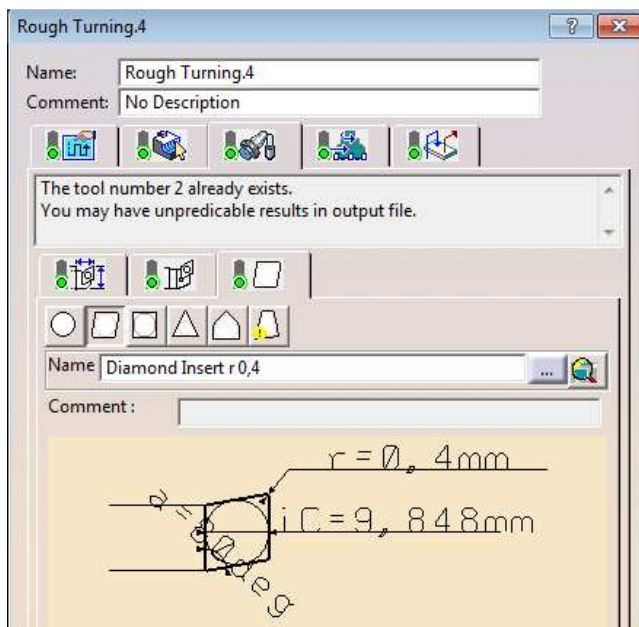
bylo vybráno sklíčidlo. Díky tomu se sklíčidlo zobrazuje při simulaci a případně mohou být nahlášeny kolize mezi nástrojem a upínačem. V tomto dialogovém okně bylo ještě potřeba nastavit bod výměny nástroje, název operace a bylo možno zadat komentář k operaci. Po uzavření okna, kdy byly nadefinovány všechny vlastnosti operace, bylo přistoupeno k tvorbě technologie.

V prvním kroku bylo nutné vytvořit kontury, po kterých se má soustružit. K tomu slouží příkaz Maximum Turning Envelope, jehož tlačítko je umístěno po pravé straně modulu. V otevřeném dialogovém okně se postupně zadaly informace pro jakou součást a pro jaké těleso se má tato kontura vytvořit. Jako poslední byla zadána osa rotace obrobku (viz Obr. 34). V tomto okně byla také zadána přesnost, nebo tolerance pro výpočet drah nástroje, i když tyto parametry nejsou povinné nebo nezbytné. Konturu bylo potřeba vytvořit pro obrobek i pro polotovár. V grafice součásti se tyto kontury projeví jako bílé čáry podél modelu obrobku a polotovaru.

Všechny operace, které je v modulu soustružení možné použít, jsou podél levého okraje okna modulu. První operací¹ bylo zarovnání čela. Přídavek na polotovaru je 1 mm. Pro jeho odstranění byla vložena dokončovací operace Profile Finish Turning Operation. Automaticky se zobrazilo dialogové okno o pěti hlavních záložkách – strategie obrábění, geometrie, záložka o nástroji, řezných podmínkách a jako poslední záložka, ve které bylo možné navolit nájezd, odjezd nástroje, nebo přejezdy mezi částmi operací. Jako první se vyplnily údaje o nástroji. Ten se skládá ze dvou částí a to z řezné destičky (Insert) a držáku (Insert Holder). Společně tvoří nástrojovou sestavu (Tool Assembly). Každá tato část má svoji podzáložku. U destičky se vybral její tvar, velikost a zaoblení její špičky. V rozšířené části byly nastaveny řezné rychlosti, hloubka řezu a



Obr. 34 Vytvoření kontur pro soustružení



Obr. 35 Nastavení nástroje v operaci

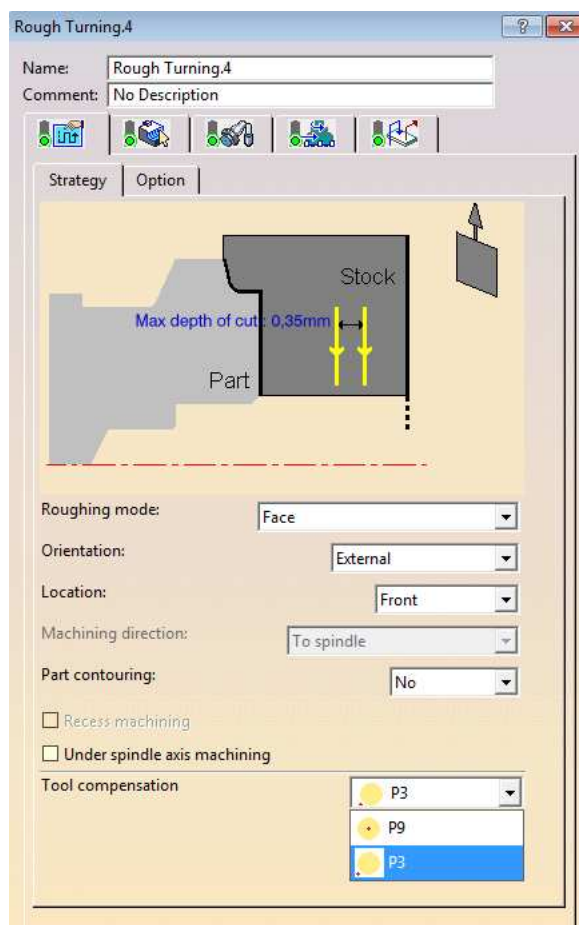
¹ I když se obecně pojmem operace myslí celá část výrobního procesu vykonávaná na jednom pracovišti a i když byl již výše v tom smyslu tento pojem užit, zde se jím myslí část operace – úsek. Je tak tomu proto, že CAM systémy obecně používají pojem operace ve smyslu úseku a tento úzus bude tedy zachován i v této práci.

posuv (viz *Obr. 35*). Milimetrový přídavek sice není příliš velký při obrábění průměru, ale na čelní soustružení a zejména u malého stroje, je to přídavek poměrně značný a je potřeba jej odebrat na více hloubek třísky.

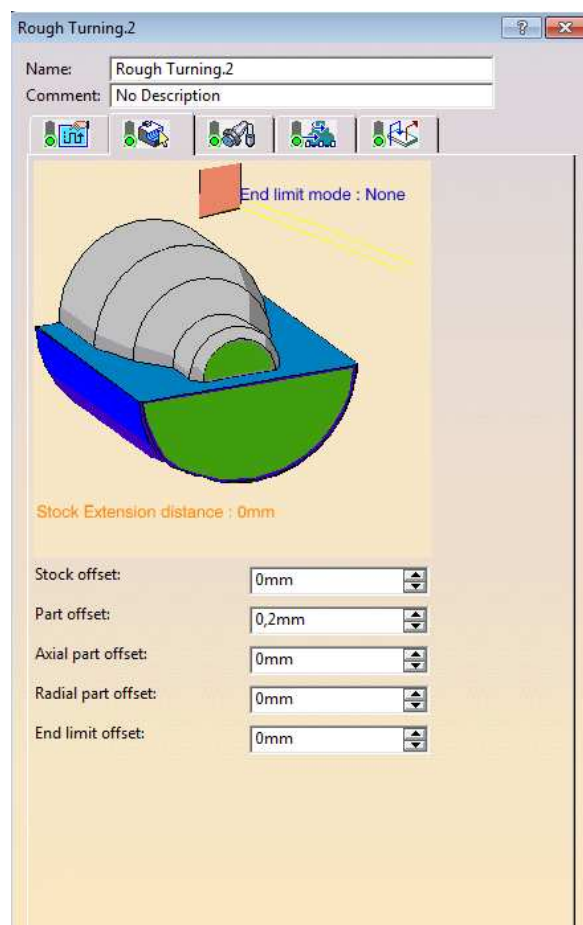
Ve druhé záložce s parametry držáku byly opět nastaveny jeho rozměry a v rozšířené nabídce se vybral způsob seřízení špičky nástroje. V geometrii operace byla označena definice dráhy nástroje. Pro zarovnání čela byla použita část kontury polotovaru. Jelikož přídavek má hodnotu 1 mm, do pole Part Offset se zadala stejná hodnota, ale s opačným znaménkem. V poslední záložce byla jen vyplněna už předvybraná možnost seřízení špičky nástroje a změněn pohyb nástroje z podélného soustružení na příčné (viz *Obr. 37*).

Posledním krokem bylo vypočítání drah nástroje celé operace, které se provedlo pomocí prostředku Tool path replay. Po provedení zmíněných úprav byl zkontrolován jejich účinek pomocí fotorealistické simulace a pomocí verifikace ověřen výsledek operace.

V dalším kroku bylo provedeno vyhrubování tvaru obrobku. Do programu² tedy byla



Obr. 37 Nastavení operace zarovnání čela



Obr. 36 Podélné hrubování s přídavkem 0,2 mm

vložena nová hrubovací operace Rough Turning Operation. Znovu se automaticky objevilo dialogové okno o pěti hlavních záložkách. V záložce geometrie byla nejprve označena kontura obrobku. Stejným způsobem byla označena i kontura polotovaru. Protože se ale při zarovnání čela už nějaký materiál odebral, kontura polotovaru po zarovnání čela nabyla jiného

² Myslí se zde skutečnost, že sled jednotlivých operací (úseků) a strategií obrábění dohromady tvoří podklad ve formě vnitřní datové interpretace CL-dat, ze které se na konci práce vygeneruje NC program.

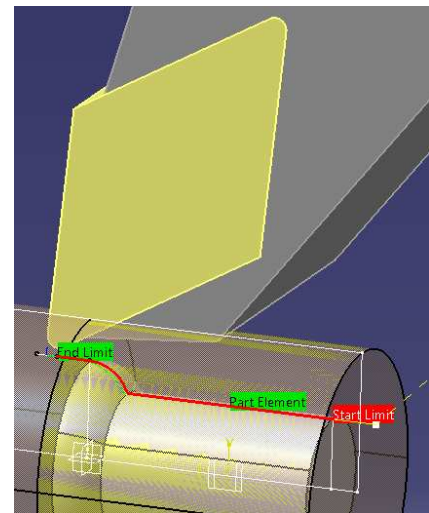
rozměru. Pro vytvoření nové kontury, která již bere ohled na tyto předešlé změny, se použil příkaz Update Input Stock, který je tvořen malou ikonkou ve spodní části dialogového okna. Tato funkce aktualizuje tvar kontury polotovaru po předchozích operacích. Ve stromu v levé části se tak objevila nová položka kontury nového polotovaru, která byla zadána do geometrie operace. Jako přídatek na plochu pro soustružení na čisto byla nastavena hodnota 0,2 mm (viz Obr. 36).

Nutné bylo také nastavit hloubku třísky. Zde byla zvolena hloubka o velikosti 0,7 mm. Jelikož se použil stejný nástroj jako na operaci zarovnání čela, nemusely se znovu nastavovat řezné podmínky nebo seřízení špičky nástroje. Opět po použití funkce Tool Path Replay byly přepočítány dráhy nástroje a bylo možné použít simulaci.

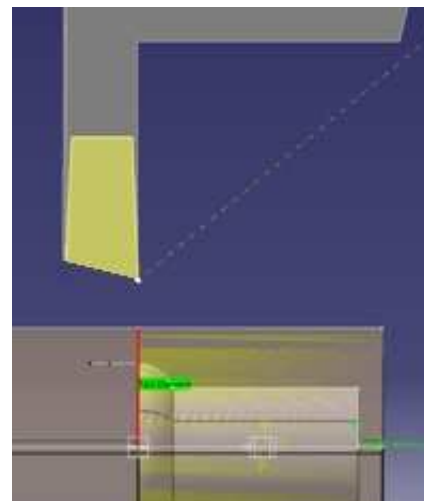
Dále bylo tedy vše připraveno k dokončení povrchu. Do programu byla proto vložena opět operace Profile Finish Turning Operation. Protože se má obrábět na čisto, přenastavila se hodnota přídatku³ na plochu Part Offset na 0 mm. Jako kontura byla vybrána pouze ta část obrobku, která se měla obrábět, tedy průměr $\varnothing 5$ mm se sedlem a s malým přejetím za sedlo. Čelo obrobku se již obrobilo na čisto v předchozí operaci při zarovnání čela.

Výběr kontury je vidět na obrázku (Obr. 38) a je znázorněn červenou čarou. Na tuto operaci se použil kopírovací nůž s jinou břitovou destičkou. Bylo proto nutné znovu jako v první operaci nastavit tvar a rozměry destičky i nože, řezné podmínky a způsob seřízení špičky nástroje. Pak se opět spustil výpočet dráhy nástroje a proběhla simulace.

Tvar matice byl vytvořený, čili poslední operací bylo upíchnutí obrobku od zbylého polotovaru. K tomu se použila operace Groove Finish Turning. Napřed se opět vyplnily údaje o nástroji. Zde u upichovacího nože šlo především o šířku břitu 3 mm a nastavení špičky nástroje. V geometrii operace bylo nutné vybrat čelo nebo stěnu, podle které měl být obrobek upíchnut. Zde bylo zvoleno zadní čelo matice, kdy délka matice po upíchnutí byla 9 mm. Po nastavení všech nutných parametrů se opět přepočítaly dráhy nástroje a byla provedena simulace (viz Obr. 39).

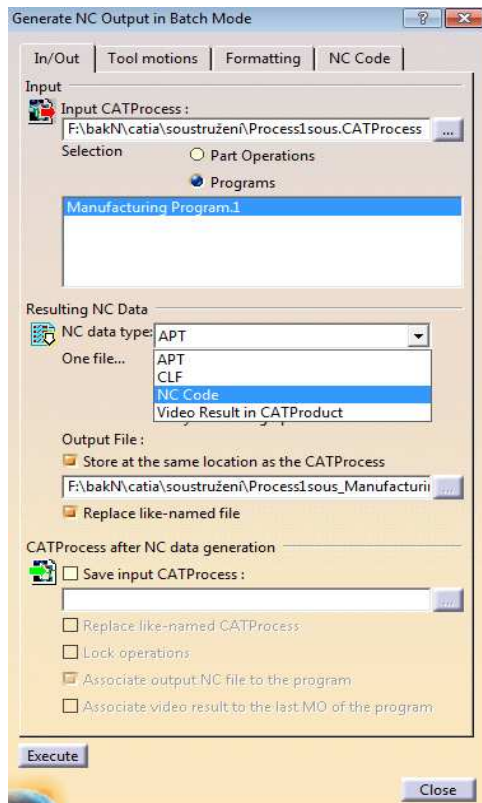


Obr. 38 Soustružení na čisto



Obr. 39 Upíchnutí obrobku

³ Který má po sobě daný operační úsek zanechat pro další obrábění.



Obr. 40 Vygenerování NC kódu

Jelikož definice NC programu byla již po těchto operacích hotová, zbývalo už jen jeho vygenerování a nahrání do řídicího systému stroje. Obecný postup pro vygenerování programů je následující. V první řadě bylo nutné nastavit adresář, ve kterém jsou uloženy postprocesory. Na horní liště se najede na záložku Tools, poté na záložku Options. Po otevření této záložky se ve vyobrazeném dialogovém okně najde položka Machining ve které se nachází záložka Output. V té se hned v první volbě zvolí možnost IMS, což je obchodní zkratka firmy vytvářející postprocesory. Volbou se tak vybere požadovaný druh postprocesorů. V CAM systému je realizovaný jako adresář, který obsahuje postprocesory od firmy IMS. Po potvrzení bylo potřeba přejít k samotnému vygenerování NC programu. To se provedlo pomocí funkce Generate NC Code in Batch Mode. Na záložce NC code byl zvolen již konkrétní postprocessor pro soustružení. V tomto případě Siemens 828, který vygeneruje NC kód pro řídicí systém Sinumerik 828D, který je použit na stroji

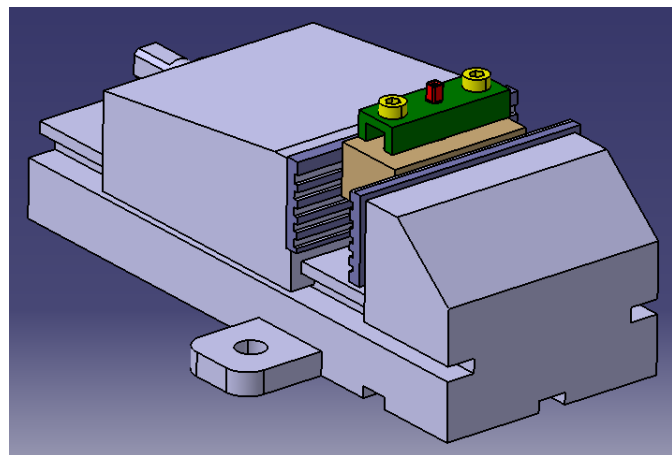
Emco PC Turn 120, kde se bude matice vyrábět.

V záložce In/Out bylo nastaveno vygenerování NC kódu (na výběr jsou zde varianty APT, CLT data, nebo možnost vygenerování videa operace), jak je vidět na obrázku (Obr. 40).

Když bylo vše nastaveno správně, tlačítkem v levé spodní části Execute se mohl program vygenerovat. V dialogovém okně, které se automaticky zobrazilo, bylo možno zadat číslo programu. Data se automaticky uložila na stejné místo, kde byla uložena i součást (CATPart) a soubor s technologií (CATProcess). Vygenerovaný soubor lze poté otevřít v libovolném textovém editoru. Tím byl program připraven pro nahrání do řídicího systému NC stroje.

5.2 Frézování

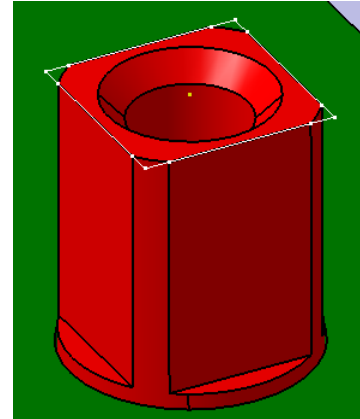
Opět, podobně jak tomu bylo u soustružení, nejprve bylo potřeba umístit matici do sestavy s upínačem. To také bylo provedeno stejným způsobem jako právě v předešlé kapitole u soustružení. Jako obrobek se použil model matice vytvořený v kapitole 3.4 *Tvorba modelu matice*. Jako polotovár byl vložen konečný tvar matice po operaci soustružení, tedy matice bez středového otvoru, závitů a čtvercového zploštění. Do sestavy byl



Obr. 41 Sestava pro frézování

také vložen již konečný koncept upínacího přípravku, který byl vymodelován při průběhu jeho návrhu. Aby byla simulace při vytváření NC programu co nejdělejší, vymodelován byl také svěrák⁴. Celou sestavu lze vidět na obrázku (Obr. 41), kdy matice má červenou barvu, polotovar je průhledný, části upínacího přípravku jsou zelené, žluté a béžové barvy. Samotný univerzální svěrák je barvy nachové.

V modulu CAD se vytvořila ještě pomocná geometrie, která byla použita následně při výrobě zploštění. Její smysl je následující. Vzhledem k tomu, že zploštění není ostré, ale má oblé rohy, které byly již obrobena na čisto v předchozí operaci na soustruhu, nebylo vhodné, aby fréza při obrábění jela po kontuře těchto oblých rohů, které by mohla poškodit. Proto byla na matici vytvořena nová kontura s ostrými rohy, která byla umístěna na horní čelo obrobku (viz Obr. 42). Nástroj tak pojedle po stranách zploštění až k ostrému rohu kontury, kde vyjede mimo třísku. V rohu se změni směr jeho pohybu o pravý úhel k další straně zploštění.

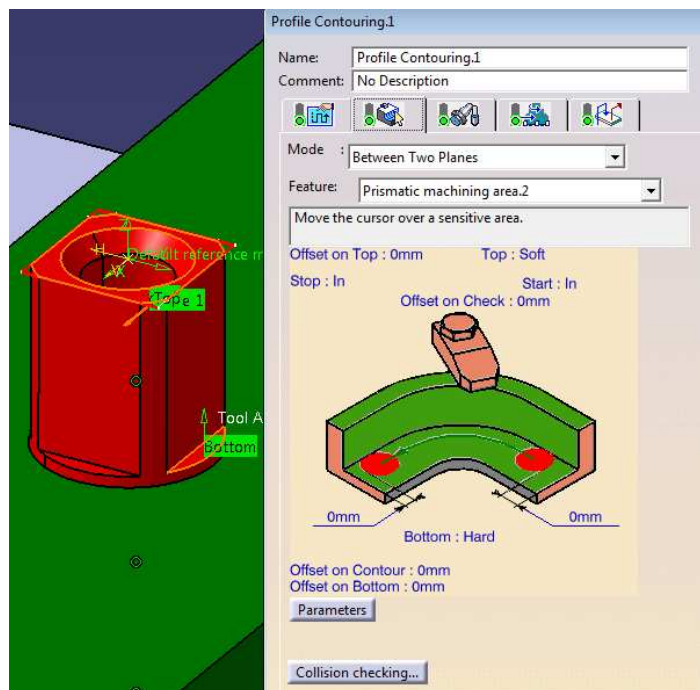


Obr. 42 Pomocná geometrie

Model i s pomocnou geometrií se následně naimportovaly do CAM modulu. Tam bylo v první řadě opět nutné nastavit obecné parametry operace pod položkou Part Operation. Postup byl stejný jako v modulu soustružení. Ze základní nabídky strojů byla vybrána tříosá frézka. Nulový bod obrobku se nastavil do osy matice. Osa Z byla orientována ve směru vřetene, osa X byla natočena podél delší strany přípravku. Osa Y byla nastavena kolmo na obě zbývající osy.

Opět byl vybrán obrobek a polotovar. Jako upínač bylo nutné vybrat všechny části svěráku (pevná, pohyblivá část a čelisti) a upínacího přípravku (upínka, tělo přípravku a šrouby). Po vyplnění všech potřebných parametrů se mohlo přejít k tvorbě technologie.

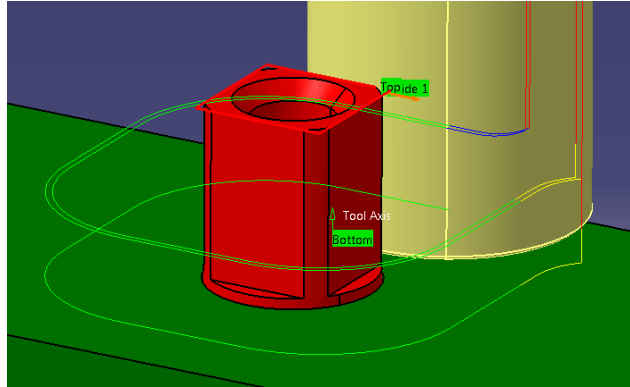
Úkolem první operace bylo vytvořit čtvercové zploštění. To se provedlo pomocí funkce Profile Contouring. Při této operaci je nástroj veden podél zvolené kontury. Na kartě funkce byla nadefinována geometrie (viz Obr. 43). Na této kartě je zobrazena virtuální součást, která symbolizuje obrobek. Součást obsahuje několik charakteristických druhů ploch. Ty je možno vybírat a na



Obr. 43 Výběr ploch v operaci Profile Contouring

⁴ Tvorba modelu nebyla součástí zadání, ale pro smysluplnou verifikaci drah nástrojů v režimu simulace byla nutností.

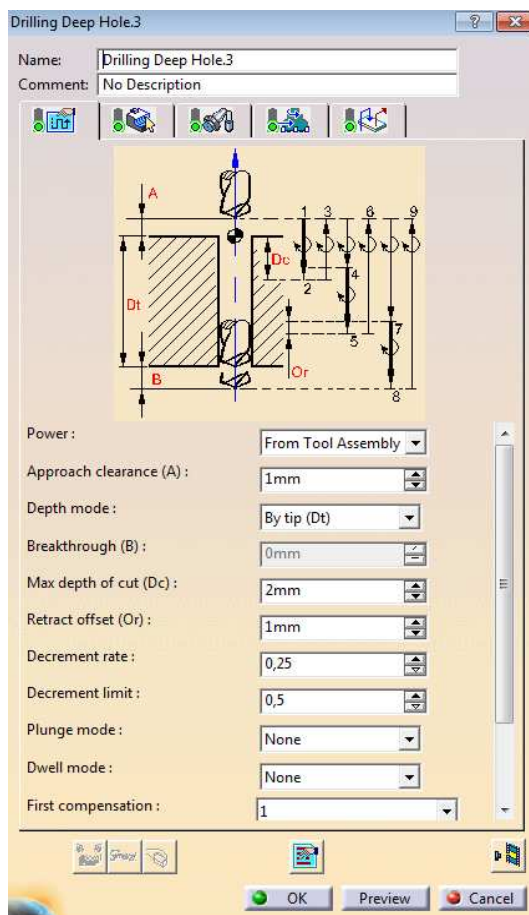
skutečné součásti je pak možno označit plochy, které těmto vybraným charakteristickým plochám odpovídají. Systém CATIA potom opracovává určené plochy součásti se zohledněním jejich postavení a vztahu vůči ostatním plochám. Jako svislá stěna z obrázku dialogového okna byla vybrána horní kontura na čele matice, která se vytvořila jako pomocná geometrie ještě před tvořením NC programu v modulu CAD a která reprezentuje svislé stěny čtyřhranu. Spodní plochou se stal konec zploštění, tedy 5 mm od čela matice. V záložce o nástroji byl nástroj nadefinován, zde byla použita čelní válcová fréza o průměru $\varnothing 8$ mm. Také zde byly vyplněny řezné podmínky. I přes pevné upnutí matice v přípravku, se ukázalo jako pro jistotu lepší rozdělit velikost třísky. Proto byly v záložce o způsobu obrábění zadány hodnoty šířky a hloubky třísky. Nejdříve se tedy ubrala tříška o šířce 0,3 mm a poté 0,2 mm. Hloubka se také rozdělila na dva řezy po 2,5 mm.



Obr. 44 Simulace drah nástroje

Po zadání všech nutných hodnot a nastavení odjezdu nástroje po obrábění, tak aby nedošlo ke kolizi s upínačem, se přepočítaly dráhy nástroje a proběhla simulace, která je vidět na obrázku (Obr. 44). Nástroj který je žluté barvy je veden po červené kontuře na horní hraně obrobku. Zeleně jsou zbarveny dráhy kdy jede nástroj řeznou rychlostí, žlutě jsou nájezdy a odjezdy a červeně přejezd mezi jednotlivými řezy operace.

Další operací bylo vyvrtání středové díry pro závit. K tomu se použila Drilling Deep Hole. Tato funkce je určena pro vrtání hlubokých děr a na rozdíl od funkce Drilling, která je určena pro běžné vrtání, má možnost nastavení přerušení třísky. Díra na obrobku sice neodpovídá charakteristice hluboké díry, ale přerušování třísky bude výhodné v případě, kdy se matice bude vyrábět z mosazi, která není pro vrtání příliš vhodná. V geometrii byla nadefinována velikost a hloubka díry, konkrétně průměr $\varnothing 2,5$ mm (což je doporučený průměr vrtáku pro závit M3) a hloubka 12 mm aby vrták bezpečně vyjel špičkou mimo matici do díry v těle přípravku.

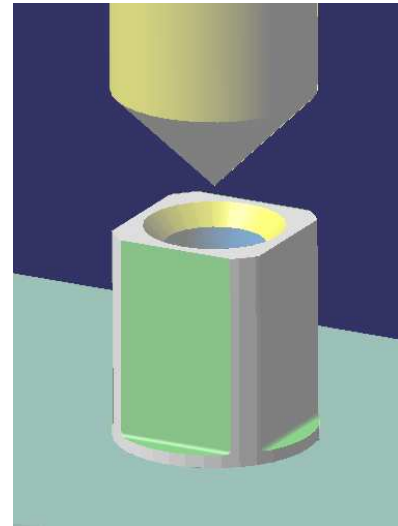


Obr. 45 Operace Drilling Deep Hole

Dále se musel změnit nástroj a navolit řezné podmínky. V kartě o způsobu vrtání bylo nastaveno přerušování třísky (viz Obr. 45). Zde to bylo 2 mm řezu, poté přerušování s odskokem vrtáku zpět o 1 mm a následně opět vrtání 2 mm. Pak se nechaly přepočítat dráhy nástroje a provedla se kontrola simulací.

Předtím, než se bude řezat závit, je potřeba vyrobit sražení hrany v díře, aby se závitník při vytváření závitu do materiálu dobře zařzl. Proto byla vložena další operace a to běžné vrtání Drilling. Opět byly v geometrii vyplněny údaje o průměru díry (zde jen průměr sražení) a hloubce.

Jako nástroj se použil navrtávač s vrcholovým úhlem 90°. Znovu se nechaly přepočítat dráhy nástroje a provedla se simulace. Na obrázku (Obr. 46) je vidět simulace, kdy žlutě je zobrazen nástroj. Stejnou barvou je znázorněno co bylo v této operaci obrobena, zde pouze sražení. Dále je na obrázku vidět už hotové čtvercové zploštění z první operace.



Obr. 46 Fotorealistická simulace

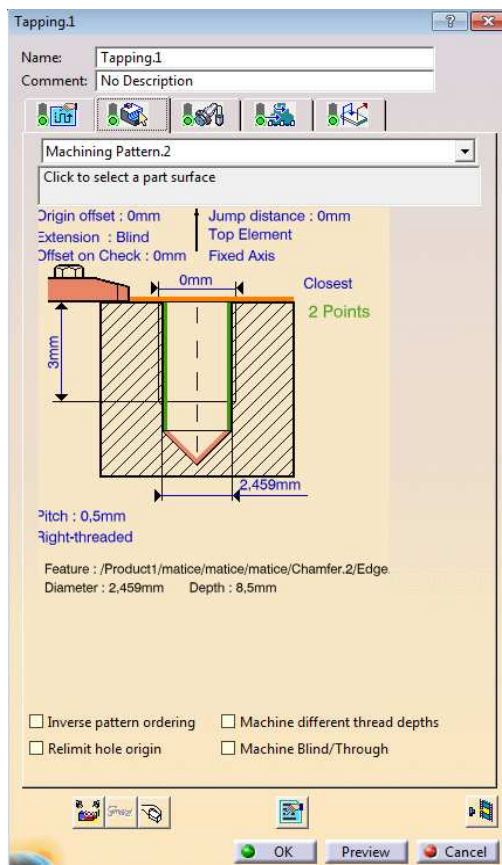
Poslední operací v programu tak bylo vyříznutí závitu závitníkem. Pro to slouží funkce Tapping. V geometrii bylo nutné zadat typ závitu, jestli se bude řezat levý nebo pravý, velikost stoupání a hloubku, do které měl být závit vyříznut (viz Obr. 47). V poslední záložce o nástroji byl zvolen jako nástroj závitník.

Po definování drah a technologie NC programu zbývá už jen jeho vygenerování, nahrání do řídicího systému stroje a odladění. Přenos programu do stroje a jeho odladění však nebylo

možné z toho důvodu, že materiál pro výrobu nebyl dosud připraven. V rámci předložené práce se tedy posledním úkolem stalo vygenerování programů. To proběhlo na stejném principu jako u soustružení. Nejdříve bylo potřeba zněnit adresář ve kterém jsou uloženy postprocesory. Potom už se opět pomocí funkce Generate NC Code in Batch Mode zvolil příslušný postprocesor, v tomto případě Siemens 840. V záložce In/Out se nastavilo vygenerování NC kódu.

Tlačítkem v levé spodní část Execute byl program vygenerován. Data byla opět uložena na stejném místě jako ostatní CAD/CAM soubory matice. Tím je program připraven pro nahrání do řídicího systému NC stroje. Vygenerované NC programy pro soustružení i pro frézování jsou v příloze č. 1 a 2.

Jako zdroj informací v kapitole 5. *Tvorba programů pro jednotlivé stroje* byl použit e-book NC techniky a digitální podniky (8).



Obr. 47 Tvorba závitu

6 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit kompletní technickou přípravu výroby pro náhradu napínací matice, která je součástí mechanismu hudebního nástroje – pedálové harfy. Postup práce se v jedné části velmi přibližoval principu reverzního inženýrství.

Na začátku byl nastíněn postup a problémy, které by při řešení mohly nastat. Pro lepší pochopení smyslu této práce se v analýze výchozího stavu nejdříve čtenáři vysvětlil princip a geometrie mechanismu, ve kterém řešená součástka pracuje. Tato součást byla také detailně změřena a poté popsána. Na základě tohoto měření a popisu se vytvořil model matice, který byl později použit pro tvorbu NC programů. Z oměření součásti se také vytvořil výkres součásti i s tolerancemi, které musí být při výrobě dodrženy.

Analýza výchozího stavu v sobě zahrnovala i určení původního materiálu matice, které proběhlo v prostorách katedry materiálů a strojírenské metalurgie. Z matice se vytvořil vzorek, který byl dále zkoumán pomocí mikroskopu EDX/SEM analýzy a metalografického výbrusu. Z výsledků analýzy se zjistilo chemické složení materiálu a metalografický výbrus určil strukturu původního materiálu. Výsledky obou částí ukázaly původní materiál jako velmi nekvalitní a byly navrženy i případné náhrady.

V technologičnosti konstrukce byly znovu podrobně popsány geometrické části a plochy matice, u kterých se dále popsaly možné problémy při výrobě. Objevil se zde i problém s upnutím obrobku při frézování. Nastíněny byly také nároky na výrobní stroje a nástrojové vybavení. Jejich možný výběr, který přicházel v úvahu, byl představen v další kapitole. Už vybrané stroje určené pro výrobu byly následně představeny a popsány jejich bližší technické specifikace.

V části Technická příprava výroby byl v první řadě popsán kompletní postup, jak by mohla a jak bude výroba matice probíhat. Jsou zde uvedené i možné varianty, které přicházely v úvahu. Z této části vzešly i kompletní požadavky na konstrukci upínacího přípravku. Jeho geometrie a vývoj během řešení této práce je popsán v podkapitole Konstrukce přípravku.

V posledním oddílu této práce je popsána tvoba NC programů v systému CAD/CAM Catia V5. U části soustružení i frézování byly podrobně popsány všechny operace od vytvoření sestavy s níž se v systému pracovalo, až po vygenerování NC programů pro konkrétní řídicí systémy u výrobních strojů.

V průběhu práce tak vznikly všechny potřebné podklady pro realizaci výroby zadané matice. Ty jsou z pravidla ve formě technologické dokumentace, výkresů i programů. Před samotnou realizací výroby ale bude nutno programy na strojích odladit, protože toto nebylo z již uvedených důvodů možné učinit v rámci předložené práce.

7 Seznam použité literatury

1. **PRAMET TOOLS, s.r.o.** Katalog Soustružení 2014. *www.pramet.com*. [Online] [Citace: 10. červen 2014.] <http://www.pramet.com/download.php?id=574>.
2. **KAHL, Tomáš.** Malá obrazová encyklopedie hudebních nástrojů všech věků a národů. *www.ad-sound.cz*. [Online] [Citace: 20. 1 2014.] <http://ad-sound.cz/encyklopedie/uvod/o-encyklopedii.html>.
3. **Šomr, Martin.** *Laserová syntéza metastabilní Al-Sn slitiny v plynné fázi*. Plzeň : ZČU Plzeň, 2012.
4. **Šebestová, Hana.** Portál moderní fyziky. *www.fyzika.upol.cz*. [Online] [Citace: 13. březen 2014.] <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf>.
5. **EMCO Maier.** Emco WinNC EMCOTRONIC T2. *www.emco-world.com*. [Online] [Citace: 4. červen 2014.] http://www.emco-world.com/uploads/tx_commerce/emcotronic_Turn_En_F.pdf.
6. **EMCO Maier.** *Machine Description Emco Concept Mill 105*. Hallein-Taxach : Emco Maier, 2003.
7. **Kovosvit MAS, a.s.** Vertikální obráběcí centra. *www.kovosvit.cz*. [Online] [Citace: 4. červen 2014.] <http://www.kovosvit.cz/upload/products/pdf/mcv-750-1384872675.pdf>.
8. **Hnátík, Jan.** *NC techniky a digitální podniky*. [Dokument] Plzeň : ZČU Plzeň, 7. září 2012.
9. **Katedra technologie obrábění.** MCV 750 A. *www.kto.zcu.cz*. [Online] [Citace: 4. červen 2014.] http://kto.zcu.cz/o-katedre/Vybaveni_katedry/strojni_vybaveni_KTO.html.
10. **Katedra výrobných systémov.** Emco PC Turn 120. *Katedra výrobných systémov*. [Online] [Citace: 15. červen 2014.] <http://www.kvs.sjf.stuba.sk/laboratoria.htm>.
11. **THO, De ridder.** Emco Concept Mill 105. *www.ridder.net*. [Online] [Citace: 30. leden 2014.] <http://www.ridder.net/onderwijs/productgroep/cnc-frezen/emco-concept-mill-105/3-1-1-1-482-1-0/>.

8 Přílohy

PŘÍLOHA č. 1

NC program pro soustružnickou operaci

%SOUSTRUZENI	N36 X3.575
N1 G40 G54 G90 G17 G95	N37 G0 Z2.
N2 DIAMOF	N38 X2.7
N3 WORKPIECE	N39 G1 Z0
(,, "CYLINDER",0,1,-30,-20,9)	N40 Z-7.611
N3 G0 X30.	N41 G3 G18 X3.7 Z-9.4 CR=2.1
N4 Z70.	N42 G1 Z-10.763
N5 T2 D1 M6 M4 S2000	N43 X5.3
N6 X7.	N44 G0 Z70.
N7 Z.667	N45 X30.
N8 G1 X5. F.06	N46 T3 D1 M4 S2000
N9 X-.4	N47 X2.5 F0.8
N10 Z.967	N48 Z1.6
N11 G0 X7.	N49 G1 X2.07 Z0 F0.1
N12 Z.333	N50 X2.5 Z-0.43
N13 G1 X5.	N51 G1 Z-.4 F.08
N14 X-.4	N52 Z-7.727
N15 Z.633	N53 G3 X3.5 Z-9.4 CR=1.9
N16 G0 X7.	N54 G1 Z-10.585
N17 Z0	N55 X3.8
N18 G1 X5.	N56 G0 Z70.
N19 X-.4	N57 X30.
N20 Z.3	N58 T5 D1 M4 S2000
N21 G0 Z20.	N59 X5.8 F0.8
N22 X30.	N60 Z-12.
N23 G1 X4.425 Z2. F.8	N61 G1 X3.8 F.02
N24 Z0 F0.08	N62 X-1
N25 Z-10.763	N64 G0 Z0
N26 X4.725	N65 G0 X30
N27 G0 Z2.	N66 G0 Z70 M5
N28 X3.85	N67 T2 D1
N29 G1 Z0	N68 G0 X2 Z5
N30 Z-10.763	N69 G1 Z1 G94 F200 M0
N31 X4.15	N70 G0 Z70
N32 G0 Z2.	N71 X30
N33 X3.275	N72 M30
N34 G1 Z0	%
N35 Z-8.133	

PŘÍLOHA č. 2

NC program pro frézovací operaci

%FREZOVANI

N1 G54 G64 G40 G90 G17 G94 G49	N39 G2 X-6. Y-2. CR=4.
N2 T1 M6	N40 G1 Y-1.5
N3 G0 X6.786 Y4.414 S4500 M3	N41 Y1.5
N4 Z48.5	N42 Y2.
N5 Z-1.5	N43 G2 X-2. Y6. CR=4.
N6 G1 Z-2.5 F500.	N44 G1 X-1.5
N7 G3 X6.2 Y3. CR=2.	N45 X1.5
N8 G1 Y2.	N46 X2.5 F1000.
N9 Y1.5 F720.	N47 G3 X3.5 Y7. CR=1.
N10 Y-1.5	N48 G0 Z47.5
N11 Y-2.	N49 X6.786 Y4.414
N12 G2 X2. Y-6.2 CR=4.2	N50 Z46.
N13 G1 X1.5	N51 Z-4.
N14 X-1.5	N52 G1 Z-5. F500.
N15 X-2.	N53 G3 X6.2 Y3. CR=2.
N16 G2 X-6.2 Y-2. CR=4.2	N54 G1 Y2.
N17 G1 Y-1.5	N55 Y1.5 F720.
N18 Y1.5	N56 Y-1.5
N19 Y2.	N57 Y-2.
N20 G2 X-2. Y6.2 CR=4.2	N58 G2 X2. Y-6.2 CR=4.2
N21 G1 X-1.5	N59 G1 X1.5
N22 X1.5	N60 X-1.5
N23 X2.5 F1000.	N61 X-2.
N24 G3 X3.5 Y7.2 CR=1.	N62 G2 X-6.2 Y-2. CR=4.2
N25 G0 Z47.5	N63 G1 Y-1.5
N26 Z48.5	N64 Y1.5
N27 X6.586 Y4.414	N65 Y2.
N28 Z-1.5	N66 G2 X-2. Y6.2 CR=4.2
N29 G1 Z-2.5 F500.	N67 G1 X-1.5
N30 G3 X6. Y3. CR=2.	N68 X1.5
N31 G1 Y2.	N69 X2.5 F1000.
N32 Y1.5 F720.	N70 G3 X3.5 Y7.2 CR=1.
N33 Y-1.5	N71 G0 Z45.
N34 Y-2.	N72 Z46.
N35 G2 X2. Y-6. CR=4.	N73 X6.586 Y4.414
N36 G1 X1.5	N74 Z-4.
N37 X-1.5	N75 G1 Z-5. F500.
N38 X-2.	N76 G3 X6. Y3. CR=2.
	N77 G1 Y2.

N78 Y1.5 F720.	N96 X0 Y0 S1910 M3
N79 Y-1.5	N97 Z1.
N80 Y-2.	N98 Z0
N81 G2 X2. Y-6. CR=4.	N99 CYCLE81 (0 , 0 , 0 , -12.)
N82 G1 X1.5	N100 MCALL
N83 X-1.5	N101 T4 M6
N84 X-2.	N102 Z1. S1000 M3
N85 G2 X-6. Y-2. CR=4.	N103 Z0
N86 G1 Y-1.5	N104 CYCLE81 (0 , 0 , 0 , -1.73)
N87 Y1.5	N105 MCALL
N88 Y2.	N106 T3 M6
N89 G2 X-2. Y6. CR=4.	N107 Z.5 S2000 M3
N90 G1 X-1.5	N108 Z1.
N91 X1.5	N109 M30
N92 X2.5 F1000.	%
N93 G3 X3.5 Y7. CR=1.	
N94 G0 Z45.	
N95 T2 M6	

Tento program z technických důvodů nebylo možné prozatím odladit na výrobním stroji.

PŘÍLOHA č. 3

System označování nožů ISO pro vnější soustružení (1)

1		2		3					4		
Způsob upínání Spôsob upínania		Tvar destičky Tvar doštičky		Tvar nože - úhel nastavení Tvar noža - uhol nastavenia					Úhel hřbetu Uhol chrbta		
C		S		A	B	C	D	D		α_n	
D		T		E	F	G	H	J	N	C	P
P		R		K	L	M	N	P	$\alpha_n=0^\circ$	$\alpha_n=7^\circ$	$\alpha_n=11^\circ$
M		W		Q	R	S	S	T	5		
S		V		U	V	W	X	Y	Směr řezu Smer rezu		
X		L		Z					R		
G		X	Speciál Špeciál						L		
									N		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
P	C	L	N	R	-	32	25	L	12	-
										S

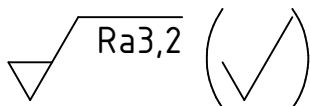
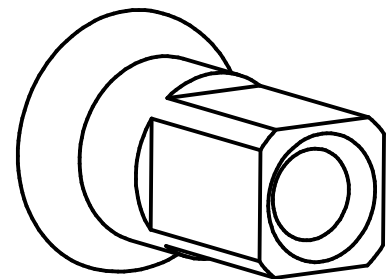
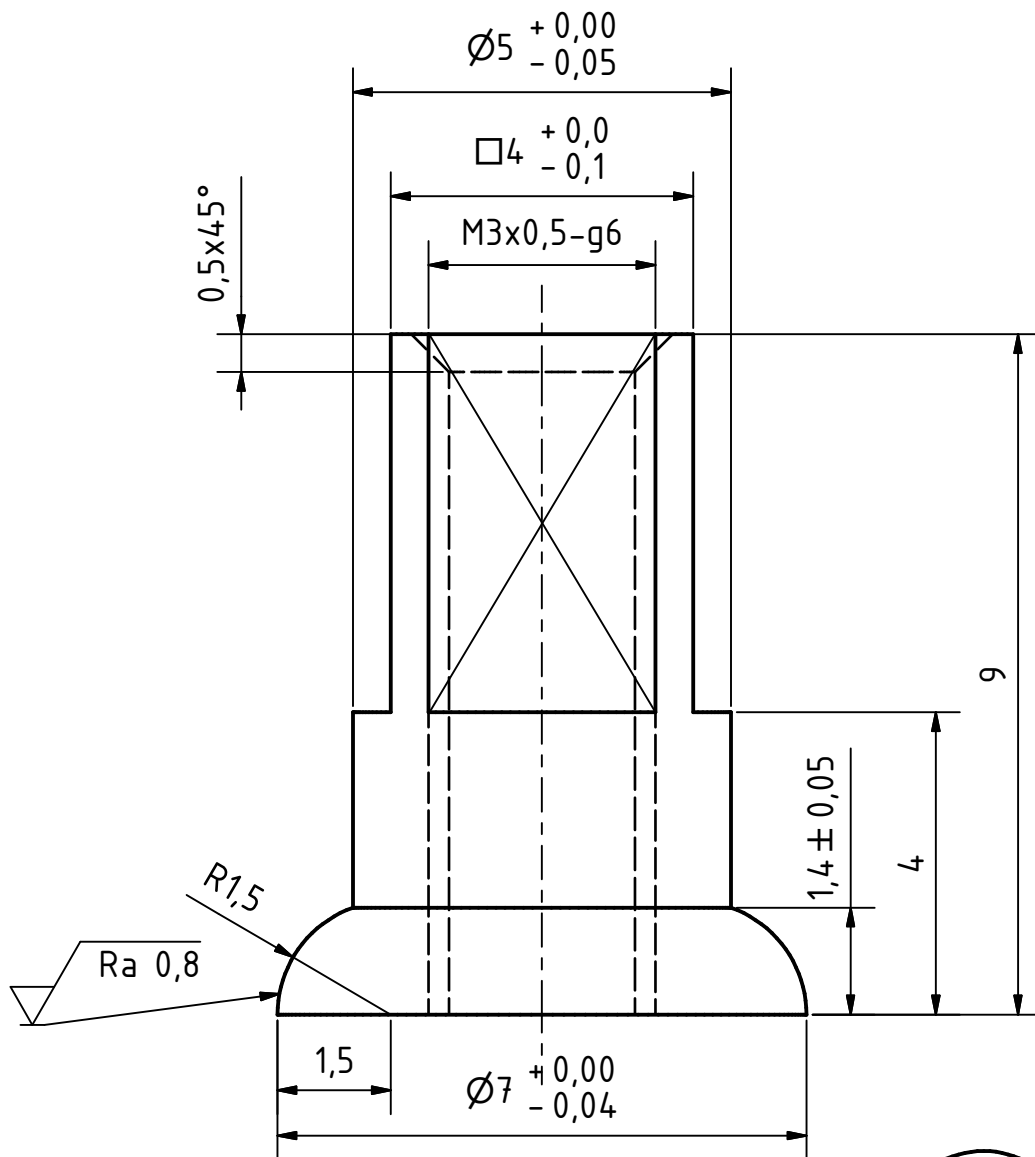
6						8		9											
Výška držáku [mm] Výška držiaka [mm]						Celková délka Celková dĺžka		Velikost destičky Veľkosť doštičky											
08	10	12	16	20	25		l_1 [mm]		S	C	D	V	K	W	T	R			
32	38	40	45	50	60			D	60	d [mm]									
7								E	70	6,00								06	
Šířka držáku [mm] Šírka držiaka [mm]								F	80	6,35	06	07	11				11		
08	10	12	16	20	25			H	100	8,00								08	
32	38	40	45	50	60			J	110	9,525	09	09	11	16	19	06	16		
10								K	125	10,00									10
Údaje výrobce Údaje výrobcu								L	140	12,00									12
M	Způsob upínání "S" s podložkou Spôsob upínania "S" s podložkou							M	150	12,70	12	12	15			08	22	12	
S	Se seřizovacími šrouby S nastavovacími skrutkami							N	160	15,875	15	16					27	15	
								P	170	16,00								16	
								Q	180	19,05	19	19						19	
								R	200	20,00								20	
								S	250	25,00								25	
								T	300	25,40	25	25						25	
						U	350	38,10	38										
						V	400												
						W	450												
						X	Spec.												
						Y	500												

PŘÍLOHA č. 4

Technologický postup výroby

Zakázka	-		Výrobní postup	
Název	MATICE		Vypracoval	Rous
Číslo výkresu	BP 20 – 14 - 01		List	1/1
Materiál	-	Polotovary	Ø 9 x 250	Kusů 10

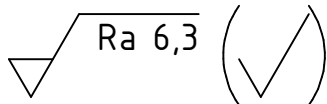
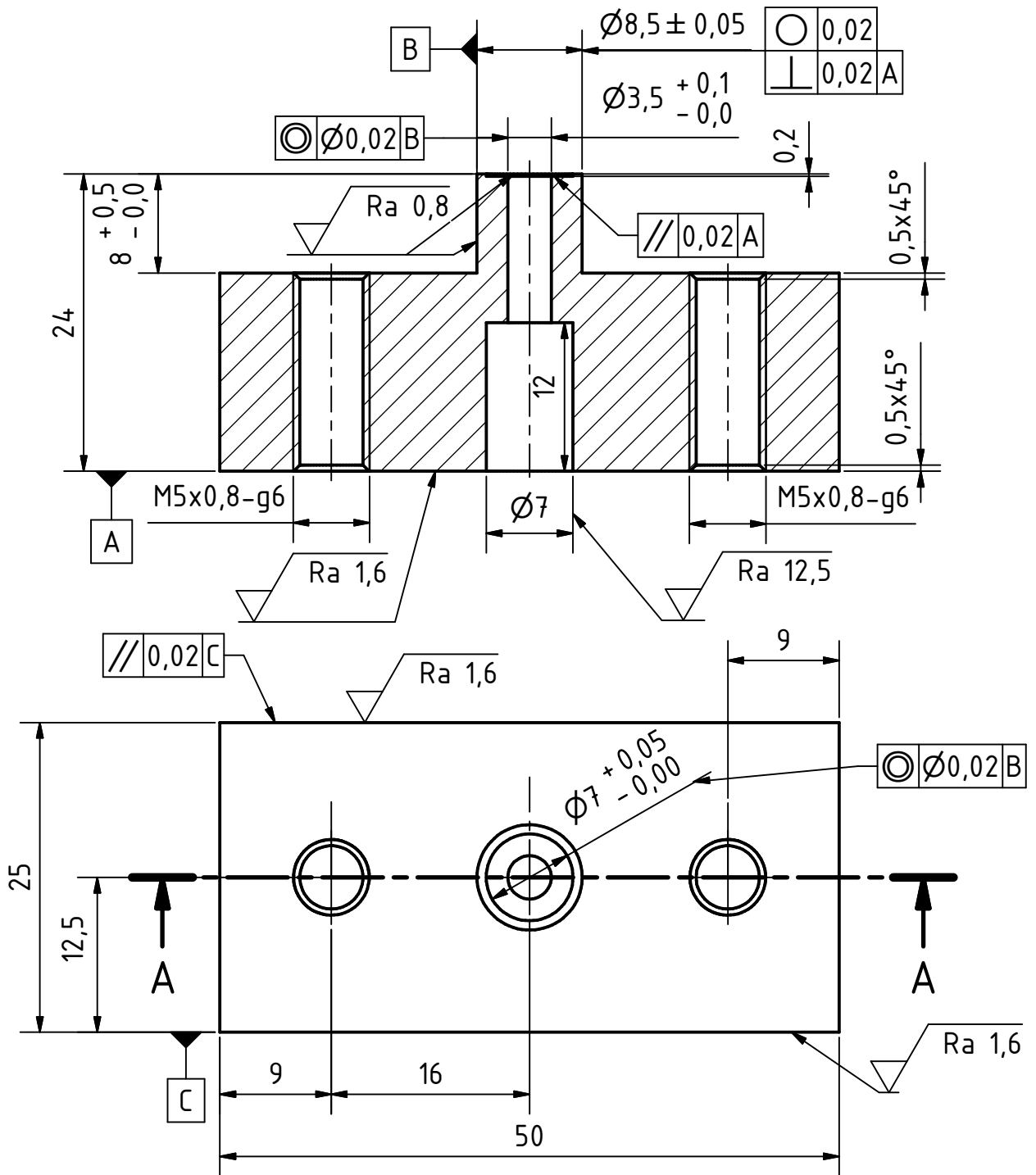
č.op.	Pracoviště, popis operace	Pomůcky, t_{AC} , t_{BC}
1	041380 – NC soustruh Emco PC Turn 120 Upnout do sklíčidla za vnější průměr Zarovnat čelo 1 mm Hrubovat tvar matice s přídavkem 0,2 mm Soustružit načisto celý tvar Upíchnout obrobek na délce 9 mm	
2	094210 – Mezioperační kontrola Kontrola průměru Ø5 mm, sedla 7 mm, délky matice 9 mm	Posuvné měřítko, mikrometr, příložka
3	051613 – NC frézka Emco PC Mill 105 Upnout do svěráku upínací přípravek Upnout obrobek do upínacího přípravku Frézovat zploštění 4 mm Vrtat díru Ø2,5 mm Srazit hranu díry Ø2,5 mm Řezat závit M3	Upínací přípravek
4	094210 – Kontrola Kontrola všech rozměrů, tvarů, funkčnost závitu M3	Posuvné měřítko, mikrometr, příložka



NA MATERIÁL SE NEKLADOU ŽÁDNÉ POŽADAVKY,
MŮŽE BÝT OCEL TŘÍDY 11 A VYŠŠÍ, NEBO MOSAZ

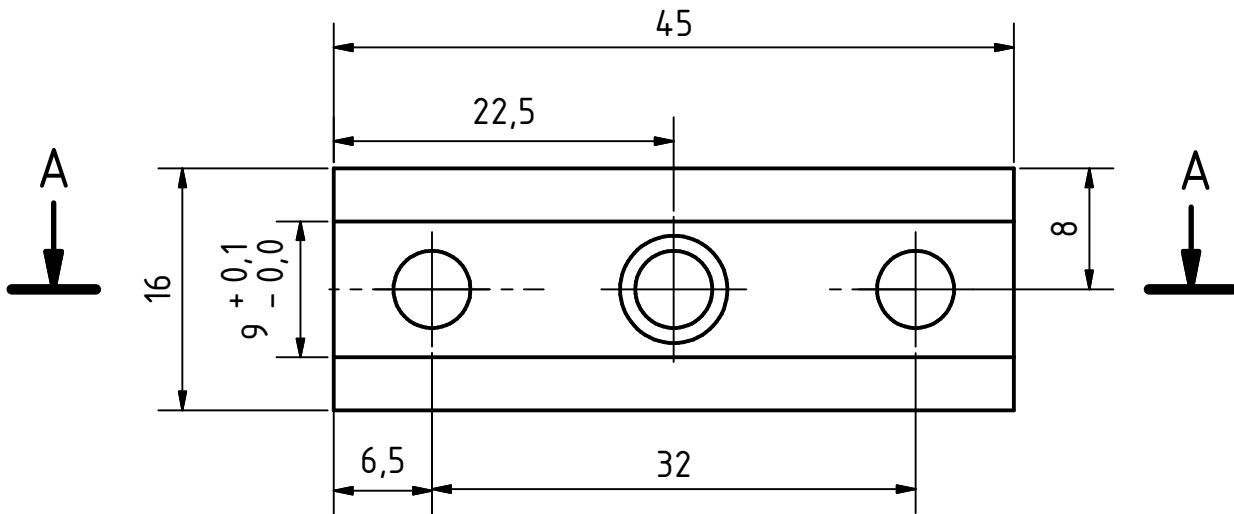
PROMĚTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 10:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST 0,001 kg	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI K ₆	MATERIÁL		ROZMĚR - POLOTOVAR		
	-		ø9x250		
	KRESLIL	Rous Ondřej	DATUM	28.5.2014	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
	TECH.REFERENT	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
	SCHVÁLIL	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	
NÁZEV			ISO 16016	TYP DOKUMENTU	
MATICE			PŘÍLOHA č. 5		
			ČÍSLO VÝKRESU	BP 20-14-01	
			LISTŮ/LIST		

A-A (2 : 1)

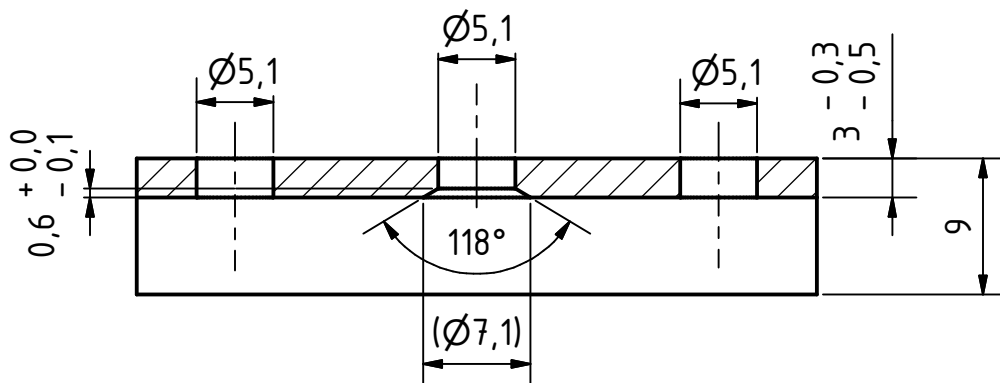


VRTANÁ DÍRA $\varnothing 3,5$ DRSNOST Ra 12,5
MATERIÁL OCEL TŘÍDY 11 A VYŠŠÍ

PROMĚTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST 0,2kg	INDEX	ZMĚNA		
<p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI</p>			MATERIÁL	ROZMĚR - POLOTOVAR			
			-	55x30x25			
			KRESLIL	Rous Ondřej	DATUM	28.5.2014	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH.REFERENT	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	
NÁZEV	PŘÍPRAVEK			ISO 16016	TYP DOKUMENTU PŘÍLOHA č. 6		
				ČÍSLO VÝKRESU BP 20-14-02			



A-A (2 : 1)



$Ra\ 3,2$ (✓)

VRTANÉ DÍRY $\varnothing\ 5,1$ DRSNOST $Ra\ 12,5$
MATERIÁL OCEL TŘÍDY 11 A VYŠŠÍ

PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST 0,05kg	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI K ₆	MATERIÁL		ROZMĚR - POLOTOVAR		
	-		50x20x10		
	KRESLIL	Rous Ondřej	DATUM	28.5.2014	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
	TECH.REFERENT	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
	SCHVÁLIL	Vyšata Jiří	DATUM	2.6.2014	
NÁZEV			ISO 16016	TYP DOKUMENTU	
UPÍNKA			ČÍSLO VÝKRESU		PŘÍLOHA č. 7
			BP 20-14-03		