



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH VÝROBY SPECIÁLNÍHO OBRÁBĚCÍHO
NÁSTROJE PRO ZHOTOVENÍ DETAILU T-DRÁŽKY**

PRODUCTION CONCEPT OF SPECIAL MACHINING DEVICE FOR MAKING OF T-CHANNEL DETAIL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Opršál

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Radek Opršál**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výroby speciálního obráběcího nástroje pro zhotovení detailu T-drážky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešen návrh speciálního obráběcího nástroje s tangenciálními břitovými destičkami pro výrobu detailu T-drážky. Práce bude obsahovat popis problematiky stávající technologie výroby detailu T-drážky a návrh nového nástroje, který povede k zefektivnění výroby. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením, jehož součástí bude porovnání stávající a nové technologie výroby.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor stávajícího způsobu výroby.
2. Návrh nástroje (výrobní postup, NC kód, výrobní dokumentace).
3. Inovace výrobního procesu (úprava technologického postupu výroby).
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

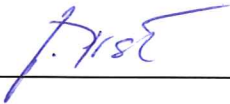
AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

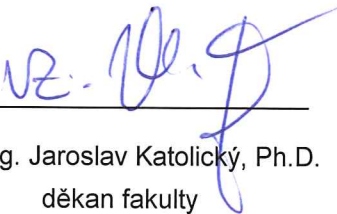
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce by návrh speciálního obráběcího nástroje pro zefektivnění výroby detailu T-drážky na součásti tělesa upínače. Práce pojednává o stávající výrobě součásti, včetně popisu materiálu, použitých strojů a technologickém postupu. Následující část je zaměřena na popis nového speciálního nástroje, včetně výroby, tepelného zpracování a uvedení použitých vyměnitelných břitových destiček. V další části byla rozebrána inovace výroby, která zahrnuje porovnání původního a nového nástroje. Závěrem diplomové práce je technicko-ekonomické zhodnocení, porovnávající původní a inovovanou výrobu.

Klíčová slova

obrábění, frézování, nástroj, inovace, technologický postup

ABSTRACT

The objective of this diploma thesis was the design of a special machine tool that increases the efficiency of the production of a T-slot detail on the part of the clamp body. The thesis deals with the current production of this component as well as the description of the material, the machines that are used and the technological process. The next part focuses on the description of the new special machine tool, its production, heat treatment and the presentation of used indexable inserts. Another part analyses the production innovation that was comprised of the comparison with the former machine tool to the new one. The thesis concludes with a technical and economical evaluation of the former and innovated production.

Key words

machining, milling, tool, innovation, technical procedure

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OPRŠÁL, Radek. *Návrh výroby speciálního obráběcího nástroje pro zhotovení detailu T-drážky*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 59 s., 3 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh výroby speciálního obráběcího nástroje pro zhotovení detailu T-drážky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Bc. Radek Opršál

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Sedlákovvi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Rád bych také poděkoval pracovníkům firmy Kastr za trpělivost, ochotu a možnost zpracování diplomové práce.

Velké díky patří také mojí rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	10
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY	11
1.1 Popis součástí.....	11
1.2 Použité technologie.....	12
1.2.1 Technologie frézování	12
1.2.2 Technologie broušení.....	14
1.2.3 Dělení materiálu.....	16
1.3 Strojní zařízení.....	17
1.3.1 BOMAR Proline 320.280 ANC.....	18
1.3.2 Okuma ACE Center MB-66VB.....	19
1.3.3 Chevalier SMART B1224-III	20
1.4 Materiál tělesa upínače	21
1.5 Příprava NC programu.....	22
1.6 Technologický postup.....	23
1.6.1 Dělení materiálu.....	23
1.6.2 Obrábění dle programu O02252	23
1.6.3 Obrábění dle programu O02253	24
1.6.4 Obrábění dle programu O02254	25
1.6.5 Kalení tělesa upínače	25
1.6.6 Broušení základny.....	26
1.6.7 Obrábění dle programu O02312	26
1.6.8 Obrábění dle programu O02313	27
1.6.9 Odjehlování dílce, zalisování středícího čepu	28
1.6.9 Obrábění dle programu O02314	28
1.6.10 Broušení přesných rozměrů	29
1.6.11 Černění součásti	29
1.7 Kontrola rozměrů.....	29
1.7.1 Ruční měřidla.....	30
1.7.2 MITUTOYO Crysta Apex S7106.....	30
1.8 Možnosti optimalizace výroby.....	31

1.8.1	Nástroj Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908.....	31
2	NÁVRH NÁSTROJE	33
2.1	Popis nástroje.....	33
2.1.1	Vyměnitelné břitové destičky	33
2.2	Použité technologie.....	34
2.2.1	Technologie Soustružení.....	34
2.3	Strojní zařízení.....	34
2.3.1	Okuma LB-3000EX.....	35
2.3.2	Okuma MU500-VA	35
2.4	Materiál nového nástroje	36
2.5	Technologický postup.....	37
2.5.1	Dělení materiálu.....	37
2.5.2	Soustružit dle programu Svok 1420.....	37
2.5.3	Frézovat dle programu O03252	38
2.5.4	Kompletně odjehlit celý dílec	40
2.5.5	Chemicko-tepelné zpracování nástroje.....	40
2.6	Ukázka NC kódu.....	41
2.7	Měření součásti	42
3	INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU	43
3.1	Popis inovace	43
3.1.1	Držák DIN69871 40 SEM16X35	43
3.1.2	Kleštinový upínač BT50 ER25X100	44
3.2	Výpočet jednotkových strojních časů	44
3.2.1	Původní jednotkový strojní čas.....	45
3.2.2	Jednotkový strojní čas inovované výroby.....	45
4	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	47
4.1	Porovnání jednotkových strojních časů	47
4.2	Náklady na provoz stroje	47
4.3	Náklady na nástroje	48
4.3.1	Náklady na nákup a ostření monolitního nástroje	48
4.3.2	Náklady na výrobu nového nástroje	49
4.3.3	Náklady na nákup VBD	50
4.3.4	Porovnání nákladů na nástroje.....	50
4.4	Porovnání nákladů na výrobu detailu T-drážky před a po inovaci.....	51
5	ZÁVĚR.....	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Tématem diplomové práce je návrh speciálního obráběcího nástroje, pro zefektivnění výroby tělesa upínače KASTR CU-T 77 ve firmě Kastr (viz obr. 1). Jedná se o frézu na výrobu profilu T-drážky s tangenciálními vyměnitelnými břitovými destičkami, která nahradí původní monolitní nástroj. Tím by se měl vyřešit problém spojený se zhoršenou přesností detailu T-drážky po přeostření a napovlakování monolitního nástroje.

V úvodní kapitole práce je popsána problematika výroby tělesa upínače, s uvedením strojního zařízení a technologického postupu. Následuje popis výroby nového speciálního nástroje. Poslední dvě kapitoly jsou zaměřeny na inovaci výrobního procesu obsahující výpočet a porovnání strojních časů původní a nové výroby. Na závěr jsou zhodnoceny náklady obou variant, aby bylo možné posoudit, zda inovovaný proces splňuje očekávání.

Kastr je rodinná firma, se sídlem v obci Rozhraní, která je zaměřena na obrábění kovových, nekovových i plastových dílců. Byla založena roku 1992. Díky investování do moderních CNC zařízení, se společnost brzy stala konkurenceschopná i pro západní trh. Společnost Kastr patří mezi dlouhodobé dodavatele Českých drah, pro které obrábí velké množství součástí do lokomotiv [1].

Konstrukční oddělení, které bylo založeno roku 2000, se původně zabývalo návrhy a výrobou jednoúčelových přípravků pro vlastní výrobu. S postupem času, ale začalo pracovat na zdokonalování podsestav určených pro své zákazníky. Toto oddělení disponuje CAD systémem Autodesk Inventor spolu se software GibbsCAM. Díky tomu, je zde možné vytvářet programy pro CNC zařízení, přímo ze 3D modelů, vytvořených v programu Inventor, což umožňuje konstruovat speciální nástroje odpovídající požadavkům zákazníka [1].



Obr. 1 Firma Kastr [1].

1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY

Tato kapitola je zaměřena na rozbor stávajícího výrobního postupu tělesa upínače. Včetně popisu strojního zařízení, materiálu součásti, technologického postupu a měření.

1.1 Popis součásti

Těleso upínače je jednou z hlavních částí upínače KASTR CU-T 77 (viz obr.1.1). Ten patří mezi zvláštní typy centrálních upínačů s tvrdými zoubkovanými čelistmi. Je vhodný převážně pro čtyřosé a pětiosé obrábění. Jeho použití je však možné i na tříosých obráběcích centrech. Díky vhodné volbě geometrie, materiálu a tepelného zpracování je tento upínač schopný upnout těžké dílce za pouhé 3 mm. Při tomto upnutí může hmotnost polotovaru překročit hmotnost upínače až dvacetinásobně. I přes to je upnutí bezpečné v jakémkoli náklonu i při použití hrubovacích operací [1].

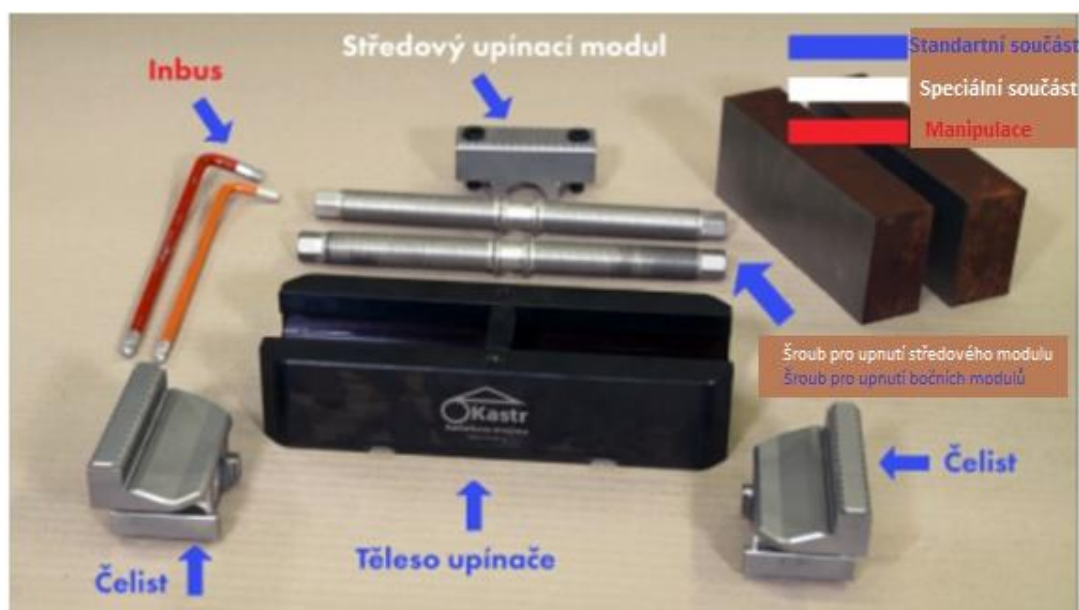


Obr. 1.1 Upínač KASTR CU-T 77 [1].

Při ustavení upínače na přesné křížové drážky, nepřesahuje těleso upínače šířku čelistí. Díky tomu je možné ve stroji ustavit více upínačů KASTR CU-T 77, a tak pohodlně upnout větší, či tvarově složitější polotovary. Mezi další výhody patří absence předznačení otisků zoubků na hydraulickém zařízení a eliminace vibrací při obrábění [1].

Jak je vidět na obr. 1.2, upínač se skládá ze čtyř základních a dvou speciálních součástí. Mezi základní části patří šroub, těleso upínače a dvě koncové čelisti, které lze podle potřeby otočit o 180° a tím změnit upínací rozsah. Speciální částí je výměnný šroub a středový modul. Díky těmto dílům lze upínač snadno přestavit tak, aby v něm bylo možné upnout dva polotovary najednou [1].

Samotné těleso upínače obsahuje velké množství spojovacích a vodících prvků, u kterých musí být zajištěna vysoká přesnost a jakost obrobeného povrchu. Jedná se převážně o T-drážku, ve které se pohybují čelisti, a drážky pro vodící kameny.



Obr. 1.2 Části upínače KASTR CU-T 77 [1].

1.2 Použité technologie

Pro výrobu tělesa upínače KASTR CU-T 77 se v současnosti používají tři obráběcí technologie. Frézování, broušení a dělení materiálu. Všechny tyto technologie budou v následující kapitole stručně popsány.

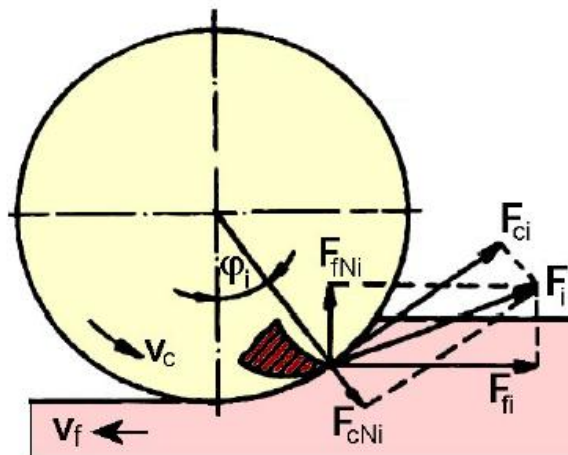
1.2.1 Technologie frézování

Technologie frézování patří mezi obráběcí metody, kdy je materiál polotovaru odebírán pomocí břitů otáčejícího se nástroje. Tento rotační pohyb se označuje také jako hlavní pohyb. Vedlejší pohyb je posuvný pohyb obrobku, který je ve většině případů zajištěn pohyblivým stolem. Ten se při výrobním procesu obvykle pohybuje ve směru kolmém na osu nástroje. Protože při řezném procesu odebírá každá zub frézy krátkou třísku proměnlivé tloušťky, jedná se o přerušovaný řezný proces. Frézování lze z technologického hlediska rozdělit na dvě základní skupiny. Frézování válcové a čelní [2, 3, 4].

Při válcovém frézování se pro obrábění obvykle používají válcové a tvarové frézy. Tyto nástroje mají zuby pouze po obvodu. Hloubka odebírané vrstvy H se proto nastavuje kolmo na směr posuvu a osu frézovacího nástroje. Podle kinematiky obráběcího procesu se válcové frézování dále dělí na nesousledné a sousledné [2, 3, 4].

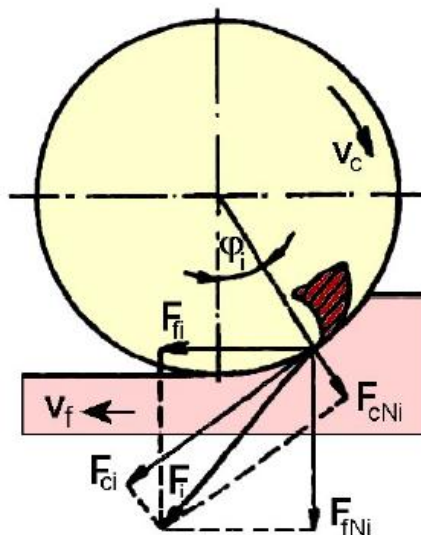
Při obrábění polotovaru s využitím nesousledného frézování je smysl otáčení frézy opačný než směr pohybu obrobku. Díky tomu vzniká obrobená plocha už při vnikání nástroje do obrobku. Tříska, vznikající při tomto řezném procesu, mění svoji tloušťku z nulové hodnoty na maximální. Takto vzniklá tříska se neodděluje v momentě její nulové tloušťky, ale odlomí se v okamžiku, kdy dosáhne určité velikosti. Při tomto procesu vznikají silové účinky, které způsobují větší opotřebení břitů frézy. Výhodou nesousledného obrábění je, že na trvanlivost nástroje nemají vliv nečistoty v povrchové vrstvě. Nevýhodou je složka řezné síly, která působí směrem nahoru, čímž vytahuje

obrobek z upínače. Rozklad řezné síly na zub frézy při nesousledném obrábění je na obr. 1.3 [2, 3, 4].



Obr. 1.3 Nesousledné frézování [4].

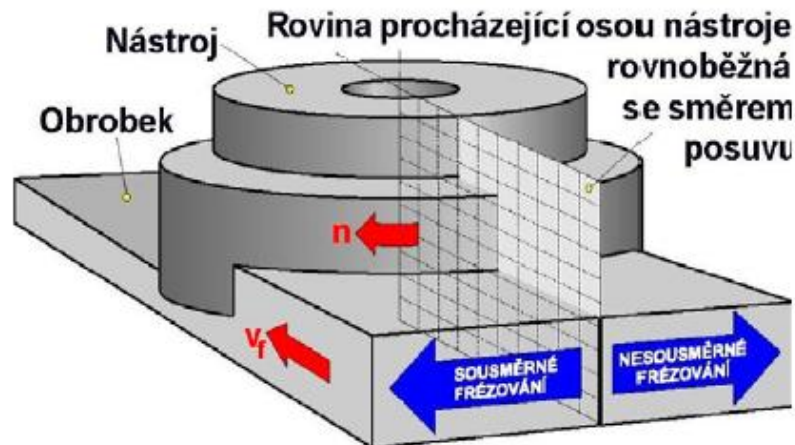
Při obrábění polotovaru s využitím sousledného frézování je smysl otáčení frézy stejný jako směr pohybu obrobku. Díky tomu vzniká obrobená plocha při vyjíždění zubu ze záběru. Tvorba třísky při použití sousledného frézování je odlišná, než při použití nesousledného. V tomto případě má tříska maximální tloušťku už při vnikání zubu do obrobku. Minimální hodnota tloušťky je poté při výjezdu zubu z polotovaru. Při sousledném obrábění je možné použít jednodušších upínačů, protože je polovar vlivem řezných sil přitlačován ke stolu. Je však zapotřebí vymezit vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí. Pokud není vůle dobře vymezena, může způsobit nestejný posuv, který vede k poškození nástroje i stroje. Rozklad řezné síly na zub při sousledném frézování je na obr. 1.4 [2, 3, 4].



F_i – celková řezná síla; F_{ci} – řezná síla; F_{cNi} – kolmá řezná síla;
 F_{fi} – posuvová řezná síla; F_{fNi} – kolmá posuvová řezná síla;
 v_c – řezná rychlost; v_f – posuvová rychlost; φ_i – úhel natočení zubu

Obr. 1.4 Sousledné frézování [4].

Nástroje, které mají břity jak na obvodu, tak na čele, se nazývají čelní frézy. Ty se používají při čelním frézování, kdy část nástroje obrábí sousledně a druhá část nesousledně. Podle polohy osy frézy a obráběné plochy, lze čelní frézování dělit na symetrické a nesymetrické. Obrábění polotovaru pomocí čelní frézy je na obr. 1.5 [2, 3, 4].



Obr. 1.5 Čelní frézování [4].

Zde jsou uvedeny základní vztahy, které budou použity při následujících výpočtech. Protože je inovace výrobního procesu zaměřena pouze na frézovací operace, nebudou u následujících technologií podobné vztahy uvedeny [2, 3, 4].

Jednotkový strojní čas:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad [min] \quad (1.1)$$

kde L – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu [mm],
 v_f – posuvová rychlost [mm/min].

Dráha nástroje:

$$L = l + l_n + l_p + D \quad [mm] \quad (1.2)$$

kde l – délka obráběné plochy [mm],
 l_n – délka náběhu [mm],
 l_p – délka přeběhu [mm],
 D – průměr frézy [mm].

1.2.2 Technologie broušení

Broušení patří mezi abrazivní metody obrábění pomocí nástroje s geometricky nedefinovanými reznými hranami. Je vhodné zejména na dokončovací operace, kdy je třeba zajistit vyšší přesnost tvaru, rozměrů a jakost povrchu. Používá se také v případech, kdy není možné požadovaný materiál obrobit jinou, hospodárnější

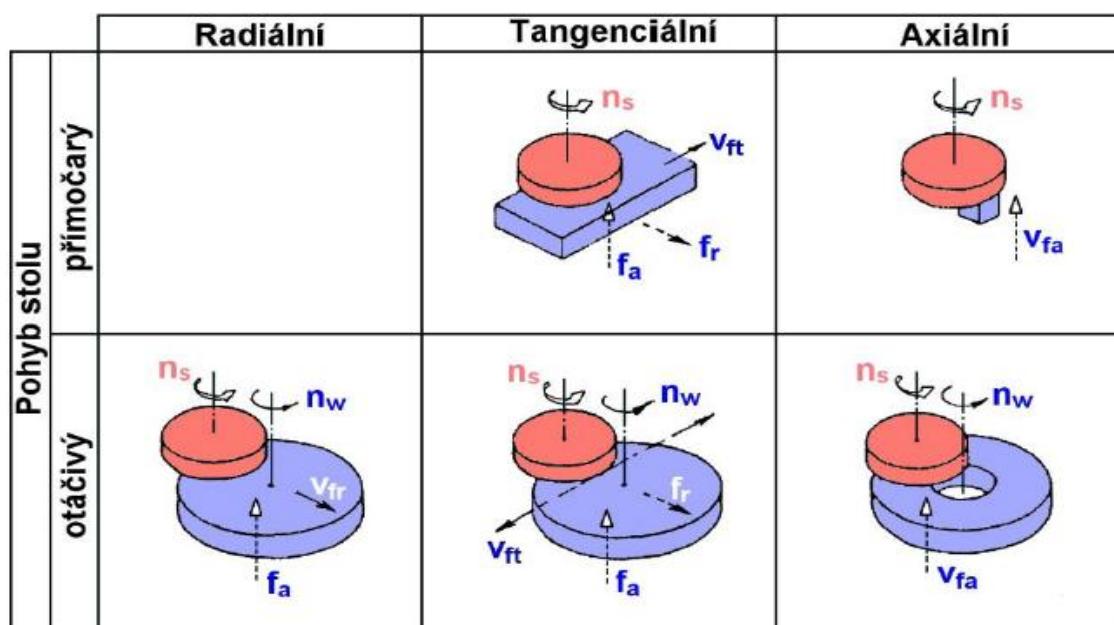
technologií. V dnešní době se uplatnění broušení rozšiřuje, díky vyšším výkonům broušicích strojů [2, 4].

Základní charakteristiky broušicího procesu jsou podobné, jako charakteristiky jiných obráběcích technologií. Nejvíce podobný je pak frézování. Během broušení ale dochází ke kvalitativním a kvantitativním odlišnostem. Ty jsou způsobeny převážně vlastnostmi broušicího kotouče a řeznými podmínkami. Od frézovacího nástroje se broušicí kotouč liší hlavně v tom, že je tvořen nepravidelně uspořádanými broušicími zrny. Kvůli tomu je úhel čela každého zrna jiný. Většinou bývá záporný. Řezná rychlost při broušení dosahuje hodnot od 30 do 100 m/s. Průřez třísky se pohybuje v rozmezí 10^{-3} až 10^{-5} mm² [4].

Broušicí kotouč se od ostatních obráběcích nástrojů liší schopností samoostření. Tento proces probíhá tak, že jsou otupená zrna během obrábění vylamována, kvůli zvýšeným řezným silám. Funkci takto odlomených zrn poté přebírají zrna dosud neotupená [4].

Broušení lze podle různých kritérií rozdělit do několika skupin. Základní skupiny jsou uvedeny na obr. 1.6 a obr. 1.7.

Broušicí nástroje se skládají ze tří základních částí. Brusných zrn, pojiva a pórů. Tyto části jsou pojivem spojeny dohromady tak, že brusná zrna tvoří řezné klíny a póry zubové mezery. Tímto způsobem lze vyrobit broušicí kotouče požadovaných tvarů a velikostí. Nejčastěji používaným materiálem broušicích zrn je oxid hlinitý - Al₂O₃ - umělý korund. V závislosti na vlastnostech obráběného materiálu, lze použít kotouč i z jiného materiálu. Mezi důležité vlastnosti broušicího kotouče patří zrnitost brusiva, tvrdost kotouče, struktura a pojivo kotouče [4].

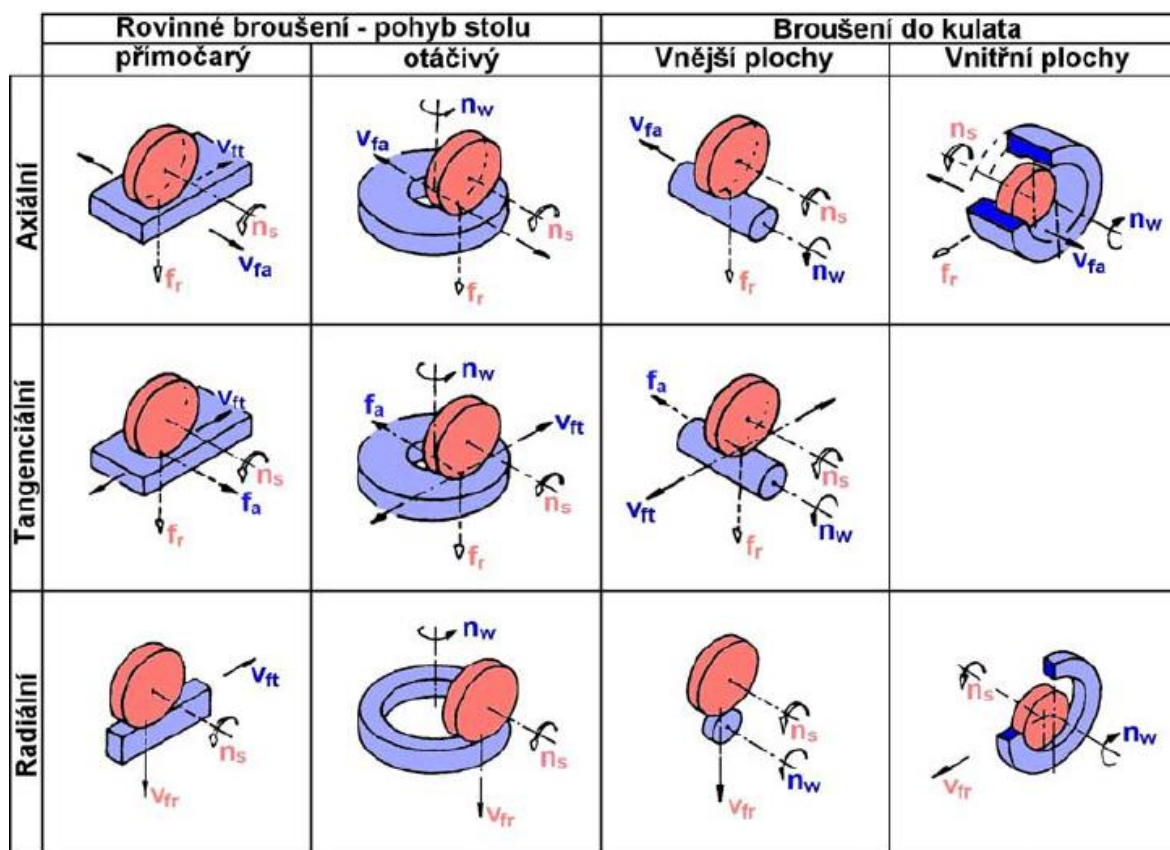


n_s – frekvence otáčení broušicího kotouče; n_w – frekvence otáčení obrobnku;

v_{fa} – axiální rychlost posuvu stolu; v_{fr} – radiální rychlost posuvu stolu;

v_{ft} – tangenciální rychlost posuvu stolu

Obr. 1.6 Vybrané způsoby čelního broušení [4].



Obr. 1.7 Vybrané způsoby obvodového broušení [4].

Zrnitost brusiva je dána velikostí brusných zrn. Pro volbu správné zrnitosti všeobecně platí [4]:

- měkký a houževnatý materiál vyžaduje hrubší zrna než tvrdý a křehký,
- kvůli snížení vzniklého tepla se při rovinném broušení volí větší zrna,
- pro co nejmenší střední aritmetickou odchylku povrchu je třeba volit co nejjemnější zrna,
- čím větší úběr materiálu, tím větší zrna.

Tvrдость kotouče určuje odpor brusných zrn proti vylomení. V ideálním případě by se mělo zrna vylomit hned po otupení. Struktura kotouče vyjadřuje poměr pojiva, brusných zrn a pórů v cm^3 . S rostoucím číslem struktury je vzdálenost mezi zrny větší [4].

Pojivo kotouče spojuje brusná zrna do požadovaného tvaru a velikosti. Musí také zajišťovat mechanickou pevnost, odolnost proti vlivům tepla a chladicí kapaliny. Materiál, který se nejčastěji používá jako pojivo broušicích nástrojů je keramika. Lze však použít také silikátová a magnezitová pojiva [4].

1.2.3 Dělení materiálu

Jedná se o dělení materiálu rozřezáním na pásové pile. Tato metoda se řadí mezi nejproduktivnější způsoby dělení materiálu. Při prořezu vzniká spára, která je až o dvě třetiny užší než spára vzniklá při dělení na rámových pilách. Proto je výhodné použít tuto

metodu při dělení materiálů s vyšší pořizovací cenou. Po oddělení materiálu mají řezné plochy vysokou kvalitu. K hlavním nevýhodám patří cena pilového pásu, který je v porovnání s pilovým listem drahý [5].

Jako materiál pásových pil se používá [5]:

- pružná ocel – vhodné pro dělení snadno obrobitelné slitiny na bázi železa, dřeva a neželezné slitiny,
- tvrdá hliníková ocel – díky tepelnému zpracování má tento materiál vysokou pevnost v tahu a odolnost proti opotřebení,
- bimetalové pásy – houževnatá pružinová ocel svařená s rychlořeznou ocelí používaná k přerušovaným řezům,
- pásy z pružné oceli s pájenými zuby ze slinutého karbidu – díky slinutým karbidům lze dělit materiály jako je mramor a titanová slitina do tvrdosti až 65 HRC.

Aby bylo možné dosáhnout vysokého řezného výkonu bez vlivu na kvalitu řezné plochy, je třeba dobře zvolit pilový pás, správně nastavit řezné podmínky a zajistit bezchybnou činnost celého stroje. Ukázka dělení materiálu na pásové pile je zobrazena na obr. 1.8 [5].



Obr. 1.8 Dělení pásovou pilou [6].

1.3 Strojní zařízení

K přípravě polotovaru a samotnému obrábění tělesa upínače se v dnešní době ve firmě používají tři stroje. Pásová pila na kov BOMAR Proline 320.280 ANC, obráběcí centrum Okuma ACE Center MB-66VB a bruska Chevalier SMART B1224-III.

1.3.1 BOMAR Proline 320.280 ANC

Jedná se o dvousloupovou automatickou pásovou pilu, která se používá převážně pro kolmé řezy. Rameno pily je na jedné straně uloženo na předepnutém lineárním vedení bez vůle a na druhé straně na pomocném vedení. Takto uložené rameno je do řezu vedeno dvěma robustními sloupy. Díky tomu, že je stroj vybaven třístranným tvrdokovovým vedením pilového pásu, a kartáčem, který odstraňuje třísky z místa řezu, je při řezání zajištěn výborný řezný výkon. Materiál je při práci dopravován do místa řezu pomocí hydraulického zařízení, které zajišťuje také upnutí polotovaru v plnozdvihovém svěráku a pohyb ramene pilového pásu nahoru a dolů. Stroj je řízený pomocí klávesnice a displeje, na kterém se zobrazují jednotlivé úseky výroby. Díky tomu je práce na stroji jednoduchá a přehledná. Pilu však lze přepnout také do ručního režimu. V takovém případě může obsluha ovládat všechny funkce stroje odděleně. Ke snížení výrobních časů při řezném procesu nepřispívá jenom možnost nastavení vhodných otáček pomocí frekvenčního měniče, ale také náklon pilového pásu proti ložné ploše o 2°. Další parametry stroje jsou uvedeny v tab. 1.1. Celý stroj, včetně ovládacího panelu, je na obr. 1.9 [8].

Tab. 1.1 Parametry pásové pily BOMAC Proline 320.280 ANC [8,9].

Technické parametry	
Pohon	2,2 [kW]; 3x400 [V/50 Hz]
Rozsah úhlových řezů	0° / 90°
Rychlost pilového pásu	20 až 120 [m/min]
Rozměry pilového pásu	3 800 x 27 x 0,9 [mm]
Ložná výška materiálu	780 [mm]
Maximální délka jednoho podání	600 [mm]
Rozměry stroje	
Výška	2 000 [mm]
Šířka	1 950 [mm]
Délka	1 950 [mm]
Hmotnost	1 000 [kg]



Obr. 1.9 Pásová pila BOMAR Proline 320.280 ANC [8].

1.3.2 Okuma ACE Center MB-66VB

Stroje řady ACE Center patří mezi třiosá centra s jednoduchou obsluhou. Je vybaven řídicím systémem OSP-P300M, který patří mezi vlastní systémy firmy Okuma. Velikou výhodou tohoto programu je schopnost navázání na poslední operaci před přerušením chodu stroje. Ke snadné kontrole programu a pro možné úpravy, je stroj vybaven panelem s 15“ dotykovou obrazovkou, která je odolná proti poškrábání. Tento panel je vybaven vnitřní pamětí s kapacitou 2 GB a rozhraním Ethernet a USB [9].

Obráběcí centrum Okuma ACE Center MB-66VB (viz obr.1.10) je vybaveno technologií Thermo-Friendly Concept. Tato technologie kontroluje teplotní deformace hlavních částí stroje a zajišťuje aktivní kompenzaci jejich teplot. Díky tomu je obrábění stabilní i při změně okolní teploty [9].

Díky zvýšení rychlosti výměny nástroje a rychlejšímu roztočení a zastavení vřetena byly vedlejší časy, ve srovnání se starší generací, sníženy o 35 %. Jak je uvedeno v tab. 1.2, standardní otáčky stroje jsou 6 000 min⁻¹. Lze je však zvýšit až na 12 000 min⁻¹, výměnou vřetena za vřeteno s vyššími otáčkami [9].

Tab. 1.2 Technické parametry obráběcího centra Okuma ACE Center MB-66VB [9].

Pracovní stůl	
Velikost upínací plochy	1 530 x 660 [mm]
Max. zatížení stolu	1 500 [kg]
Rozsah pojezdů os	
Osa X	1 500 [mm]
Osa Y	660 [mm]
Osa Z	660 [mm]
Posuvy	
Rychloposuv	X/Y: 40; Z:32 [m/min]
Max. pracovní posuv	32 [m/min]
Pracovní vřeteno	
Rozsah otáček	50-6 000 (12 000) [min ⁻¹]
Upínací kužel	No. 50 (50) [-]
Výkon motoru	11/7.5 (26/18,5) [kW]
Vzdálenost vřeteno-stůl	150-810 [mm]
Nástrojový zásobník	
Počet nástrojových míst	20 (32) [-]
Max. průměr nástroje	100 [mm]
Max. průměr nástroje při volných vedlejších místech	152 [mm]
Max. délka nástroje (od konce vřetena)	400 [mm]
Max. hmotnost nástroje	12 (15) [kg]
Strojní data	
Výška	3 295 [mm]
Šířka	2 940 [mm]
Hloubka	3 265 [mm]
Hmotnost	11 200 [kg]



Obr. 1.10 Okuma ACE Center MB-66VB [9].

1.3.3 Chevalier SMART B1224-III

Jedná se o svislou CNC brusku, řízenou ve třech osách. Přesné polohování ve všech těchto osách je zajištěno kuličkovým šroubem a servomotorem. Díky tomu, že řídicí systém dokáže s obsluhou komunikovat v češtině, je programování stroje snadné a intuitivní. Z toho důvodu je tato bruska vhodná jak pro zkušené, tak pro začínající programátory. Stroj je navržen pro práci převážně v automatickém CNC režimu. Je však možné, přepnout ho i do ručního režimu. Pro snadnou obsluhu je bruska vybavena integrovaným ručním kolečkem, 10,4'' barevným LCD displejem, vstupem ETHER RJ - 45, USB 2.0 a CF CARD (viz obr. 1.11). Operačním systémem brusky Chevalier je WINDOWS CE [10].

Velikou výhodou tohoto stroje, v porovnání s jinými, je systém orovnávací brusného kotouče. Díky němu lze zkrátit čas potřebný pro orovnění až desetkrát. Stroj je také vybavený systémem, který automaticky kompenzuje úbytek brusného kotouče po orovnávacím cyklu. Další údaje jsou uvedeny v tab. 1.3 [10].



Obr. 1.11 Chavalier SMART B1224 - III [1].

Tab. 1.3 Technické parametry brusky Chavalier SMART B1224-III [10, 1].

Základní parametry stroje	
Maximální délka broušení	610 [mm]
Maximální šířka broušení	305 [mm]
Maximální výška broušení	420 [mm]
Maximální vzdálenost od stolu k ose vřetene	600 [mm]
Maximální zatížení stolu	420 [kg]
Stůl	
Rozměry stolu	300 x 600 [mm]
Drážky na stole	14 x 1 [mm]
Výška stolu nad základnou	970 [mm]
Podélný pojezd	
Rychloposuv	0 - 20 [m/min]
Maximální pojezd v ručním režimu	700 [mm]
Minimální inkrement	0,001 [mm]
Příčný pojezd	
Maximální pojezd	350 [mm]
Rychloposuv	0 - 3 [m/min]
Minimální inkrement	0,001 [mm]
Svislý pojezd	
Maximální pojezd	600 [mm]
Rychloposuv	0 - 3 [m/min]
Minimální inkrement	0,001 [mm]
Vřeteno	
Otáčky vřetene	1 800 [min ⁻¹]
Plynulá regulace	Ano
Motor vřetene	11 [kW]
Brusný kotouč	Ø 355 x 50 x Ø 127 [mm]
Ostatní	
Příkon	22 [kVA]
Výška	2 200 [mm]
Zastavěná plocha	2 650 x 2 565 [mm]
Hmotnost	3 200 [kg]

1.4 Materiál tělesa upínače

Těleso upínače je vyrobeno ze středně legované ušlechtilé chrom – nikl – molybdenové oceli k zušlechťování 16 343. Jedná se o ocel s vysokou prokalitelností, která je vhodná především na výrobu vysoce namáhaných strojních součástí. Po zušlechťování, lze u tohoto materiálu dosáhnout velmi příznivého poměru pevnosti a meze kluzu, při zachování vysoké houževnatosti. Právě díky vysoké houževnatosti je tato ocel schopná brzdit únavové trhliny. Proto se při střídavém a kombinovaném způsobu namáhání vyznačuje vysokými hodnotami meze únavy. Další výhodou tohoto materiálu je, že není náchylný k popouštění křehkosti. Po kalení se obvykle chladí v oleji nebo v roztoku syntetických polymerů. Vlastnosti oceli 16 343 jsou popsány v tab. 1.4 [11].

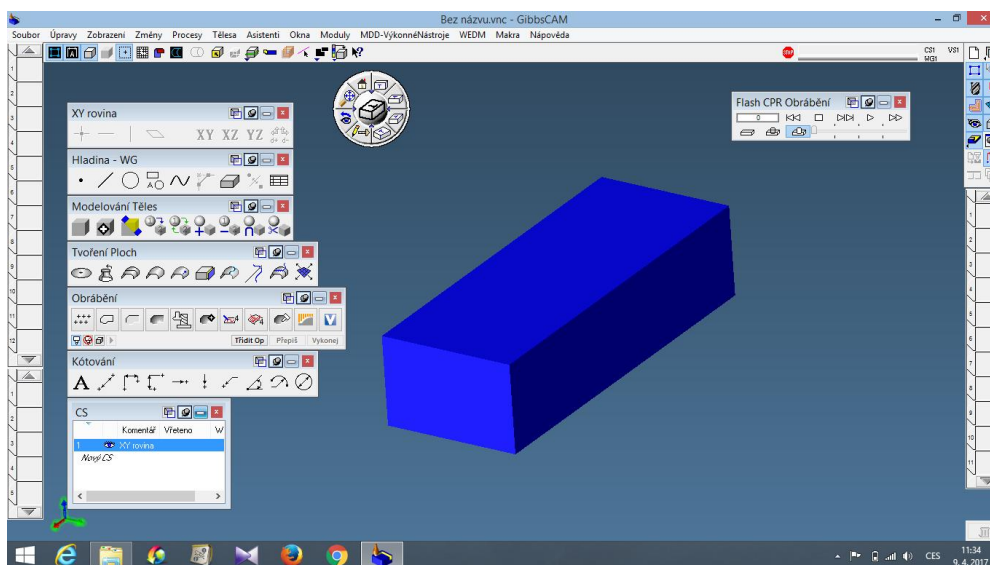
Tab. 1.4. Charakteristika oceli 16 343 [11, 12].

		Značka			Norma		
ČSN		16 343			41 6343		
DIN		34CrNiMo6			17200		
EN		34CrNiMo6			10083-3		
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,34	0,4	0,65	0,025	0,035	1,50	0,22	1,50
Normalizační žihání		Žihání na měkko		Kalení do oleje		Kalení vzduchem	
850 až 880 °C		680 až 720 °C		850 až 880 °C		810 až 850 °C	
Průměr [mm]		R _e min. [MPa]		R _m [MPa]		A min. [%]	
40 < d < 100		800		1 000 až 1 200		11	
		Z min. [%]		KV min. [J]			
		50		45			

1.5 Příprava NC programu

Jak už bylo zmíněno v úvodu, k přípravě NC programů, pro řízení obráběcích strojů, se v současnosti ve firmě Kastr používá software GibbsCAM. Jedná se o CAM software, který je zaměřený pouze na obrábění. Díky jednoduchému rozhraní se snadnou orientací je vhodný pro programátory, obraběče i výrobní techniky. GibbsCAM je schopný plynule spolupracovat s jakýmkoli CAD systémem. Což zajišťuje to, že zákazníci i konstruktéři mohou používat rozdílný CAD formát, bez obav o kompatibilitu systému. Velikou výhodou je také možnost rychlých úprav modelů přímo v GibbsCAMu tak, aby byla zajištěna jejich obrobitelnost [13].

Mezi technologie, které lze programovat pomocí GibbsCAMu patří frézování, vrtání, soustružení a elektroerozivní obrábění. Je vhodný jak na dvouosé, tak na pětiosé stroje s více vřeteny a nástrojovými hlavami. Umožňuje také přípravu NC kódu pro vysokorychlostní obrábění. Pro snadnou kontrolu drah slouží simulace. V ní jsou, pro rychlou opravu, zvýrazněny plochy vzniklé podřezáním nebo nechtěné řezy při přejíždění nástroje. Prostředí software GibbsCAM je zobrazeno na obr. 1.12 [13].



Obr. 1.12 GibbsCAM.

1.6 Technologický postup

Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.3, výroba tělesa upínače ve firmě probíhá na třech obráběcích strojích. Zde je materiál dělen na požadovaný rozměr a dále obráběn až do konečné podoby. Jediné operace, které se neprovádí přímo ve firmě Kastr jsou kalení a černění součástí. Celý výrobní postup je uvedený v tab. 1.5.

Tab. 1.5. Výrobní postup tělesa upínače [14].

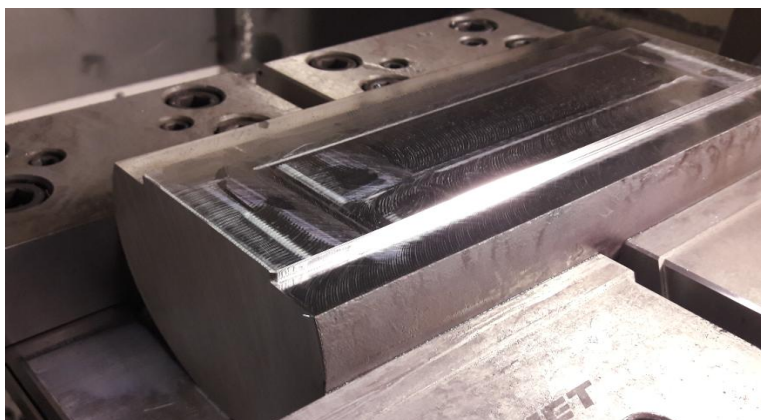
Pracoviště	Popis práce
Dělrna	Dělit: Ocel – kulatina d = 100 mm, jakost 16 343 válcovaný, na rozměr 215 mm
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02252
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02253
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02254
Kooperace	Kalit na tvrdost 49 až 52 HRC
Brusírna	Brousit základnu + rozměr 47 s přídavkem 0,25 mm
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02312
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02313
Okuma MB-66VB	Frézovat dle programu O02314
Brusírna	Brousit rozměr 12g7 a 47 +/- 0,05mm
Odjehlování	Kompletně odjehlít celý dílec, zalisování středícího čepu
Kooperace	Černit součást

1.6.1 Dělení materiálu

První operací v technologickém postupu je příprava polotovaru na pile BOMAR. Zde je ocelová tyč, o celkové délce 3 m, dělena na díly s délkou 215 mm. Materiál, zvolený pro výrobu tělesa upínače, se do firmy dodává pouze v podobě tyčí s \varnothing 100 mm.

1.6.2 Obrábění dle programu O02252

Při druhé operaci je polotovar upnutý do svěráku ve stroji Okuma MB-66 VB (viz obr. 1.13). Zde je hrubována spodní část tělesa upínače tak, aby při dalším obrábění bylo zajištěno snadné upnutí.



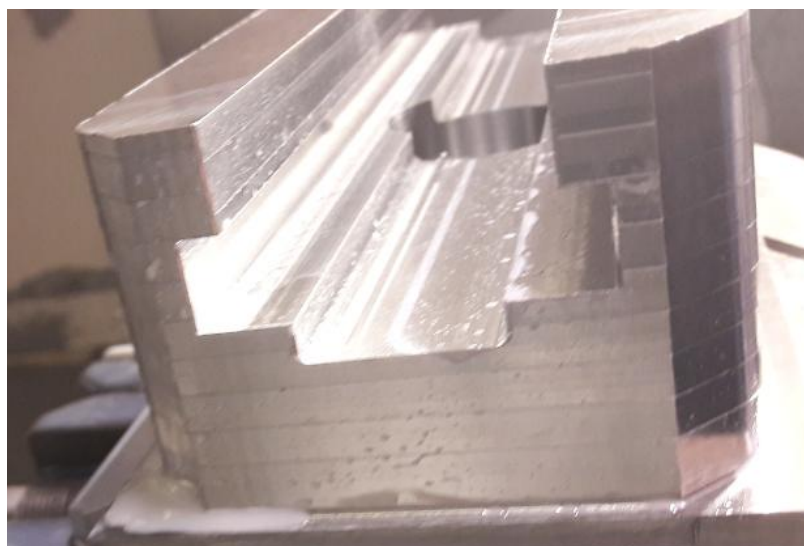
Obr. 1.13 Polotovar po frézování dle programu O02252.

Program je tvořen následujícími úseky:

- hrubování polotovaru na výšku 75 mm,
- hrubování ploch pro uchycení o šířce 60 mm a výšce 4 mm s přídavkem na dokončování,
- dokončování ploch pro uchycení.

1.6.3 Obrábění dle programu O02253

Další obrábění probíhá ve stejném stroji, za použití upínače KASTR CU-T 77. Zde je hrubována horní strana polotovaru, obsahující T-drážku a díru pro středový čep (viz obr. 1.14).



Obr. 1.14 Polotovar po hrubování dle programu O02253.

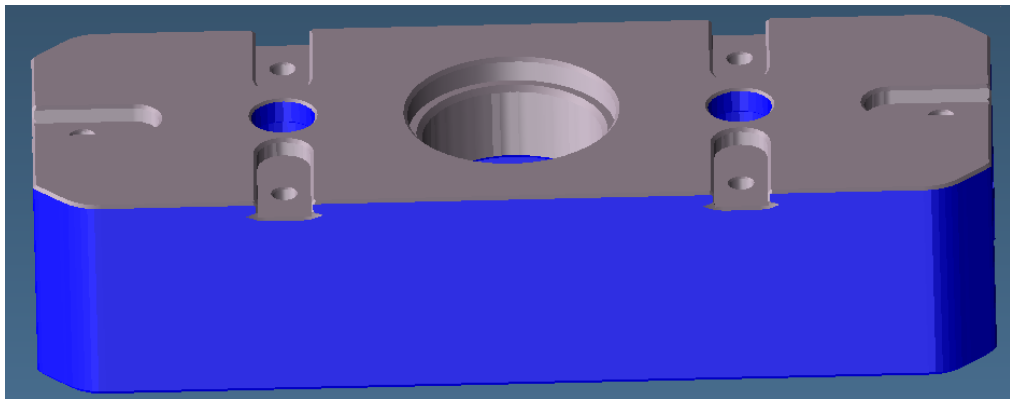
Operace, tvořící program O02253 jsou:

- hrubování výšky tělesa upínače 47 mm s přídavkem na dokončování po kalení,
- hrubování vnějšího tvaru,
- hrubování drážky 38H6 s přídavkem na dokončování po kalení,
- vrtání díry pro středící čep,
- hrubování drážky 24 mm s přídavkem na dokončování,
- hrubování detailu T-drážky s přídavkem na dokončování po kalení,
- předvrtání děr pro závit M8,
- předvrtání děr pro závit M12,
- hrubování děr pro závit M8,
- hrubování děr pro závit M12,

- hrubování díry pro středící čep,
- dokončování drážky 24 mm,
- sražení hran.

1.6.4 Obrábění dle programu O02254

Poslední operací prováděnou před kalením je hubování spodní části polotovaru. To se skládá z odstranění ploch, které byly potřebné pro upnutí v předchozí operaci, a následném hrubování drážek, sloužících k ustavení tělesa upínače ve stroji. V tomto případě je polotovar upnut za boky ve svěráku. Obrobená součást je zobrazena na obr. 1.15.



Obr. 1.15 Součást po obrábění dle programu O02254.

Výrobní proces se skládá z těchto úseků:

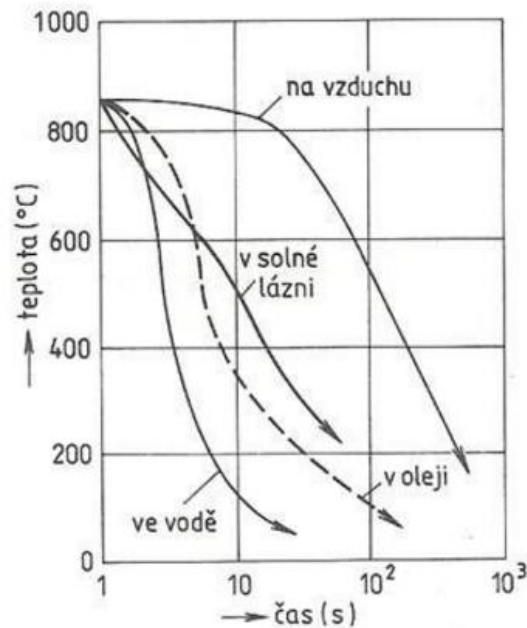
- odstranění upínacích ploch, potřebných v předchozí operaci,
- hrubování výšky polotovaru 47 mm s přídavkem na obrábění po kalení,
- hrubování spodní strany díry pro kolík \varnothing 46 mm s přídavkem na dokončování po kalení,
- hrubování drážek pro vodící kameny o šířce 12 mm s přídavkem na dokončování po kalení,
- vrtání děr pro závity M5,
- sražení hran na dírách pro závity M5,
- sražení hran na obvodu polotovaru.

1.6.5 Kalení tělesa upínače

Jedná se o tepelné zpracování ocelí, při kterém vzniká částečný, nebo zcela nerovnovážný stav materiálu. Díky tomu dochází ke zvýšení jeho tvrdosti. Kalení spočívá v ohřevu součásti na austenitickou teplotu, výdrži na této teplotě a ochlazení součásti rychlostí, větší než kritickou. Podle výsledné struktury lze kalení rozdělit na dvě skupiny. Martenzitické a bainitické. Ve většině případu však chceme dosáhnout martenzitické struktury materiálu [15, 16].

Vhodnost materiálu pro kalení se posuzuje podle třech vlastností. Kalitelnosti, zakalitelnosti a prokalitelnosti. Kalitelnost, je schopnost materiálu dosáhnout martenzitické struktury po zchlazení z austenitizační teploty. Pomocí zakalitelnosti se hodnotí tvrdost oceli po zakalení. Tato hodnota je závislá hlavně na obsahu uhlíku v austenitu. Prokalitelnost oceli je schopnost získat požadovanou tvrdost do určité hloubky pod povrchem součásti [15, 16].

Jako kalicí prostředí se nejčastěji používá voda, olej, vzduch a teplé lázně. Účinky těchto prostředí jsou patrné na obr. 1.16.



Obr. 1.16 Závislost ochlazovacího prostředí na čase a teplotě [17].

1.6.6 Broušení základny

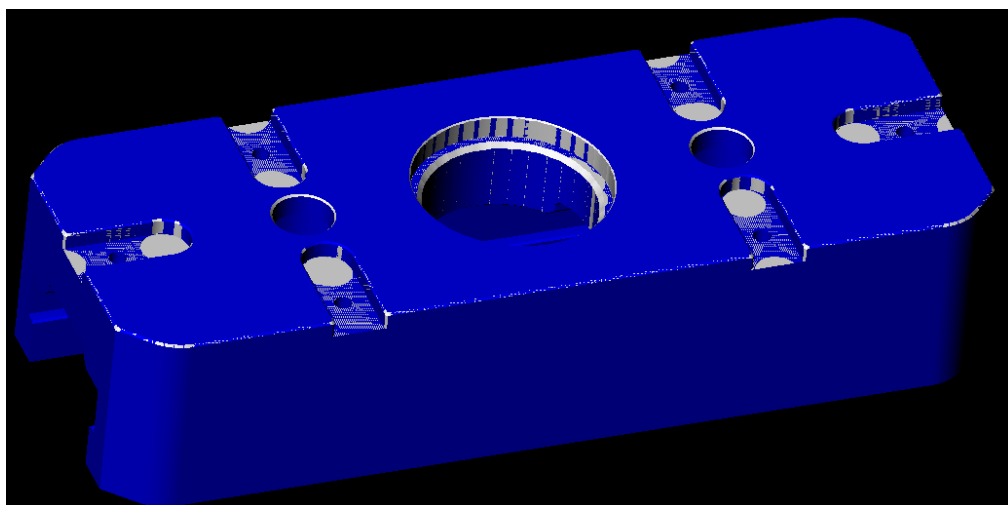
Po kalení následuje broušení součásti na brusce Chavalier, kde je součást upnuta pomocí magnetické desky. Zde je nejdříve broušena spodní a následně i horní strana obrobku tak, aby výška součásti po obrábění byla 47,25 mm.

1.6.7 Obrábění dle programu O02312

Následujícím krokem výroby tělesa upínače je dokončovací obrábění drážek, sloužících k ustavení na stroji (viz obr. 1.17). Tato operace probíhá ve stroji Okuma MB-66 VB, kde je obrobek upnutý ve svěráku.

Program O02312 se skládá z následujících operací:

- dokončování drážek vodící kameny šířky 12 mm,
- dokončování spodní části díry pro středící čep \varnothing 46 mm,
- dokončování díry pro středící čep \varnothing 41,6 mm,
- řezání závitů pro uchycení vodících kamenů M5,
- srážení hran na dírách a na obvodu součásti.



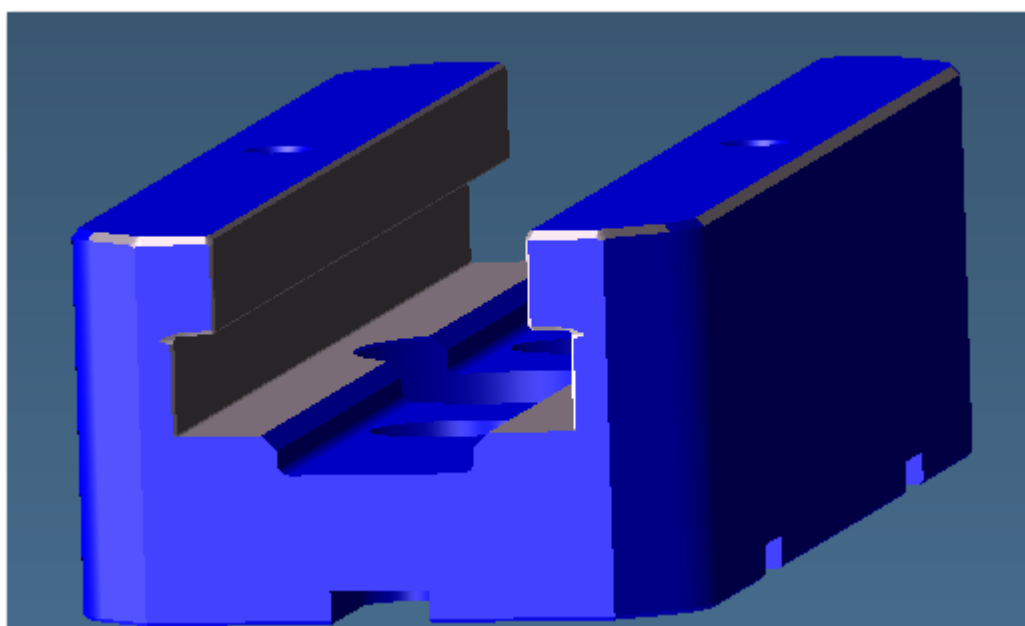
Obr. 1.17 Těleso upínače po obrábění dle programu O02312.

1.6.8 Obrábění dle programu O02313

Poslední operací před odjehlováním je obrábění profilu T-drážky na hotovo (viz obr. 1.18). Stroj i způsob upnutí jsou stejné jako v předchozí operaci.

Program je tvořen následujícími operacemi:

- řezání závitů M8,
- řezání závitů M12,
- dokončování drážky 38H6,
- dokončování profilu T-drážky na výšku $12^{+0,2}_{+0,1}$ mm a šířku $48^{+0,3}_{+0,1}$ mm,
- sražení hran na obvodu součásti.



Obr. 1.18 Součást po obrábění dle programu O02313.

1.6.9 Odjehlování dílce, zalisování středícího čepu

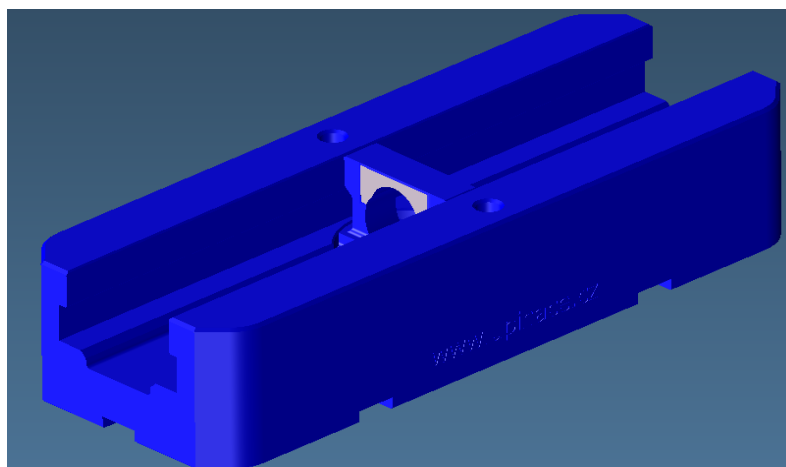
Následující operací je odjehlování, při kterém jsou ze součásti odstraněny všechny ostré hrany. To se provádí pomocí ručních nástrojů, které jsou uvedeny v tab. 1.6. Poté následuje zalisování středícího čepu do tělesa upínače. Ten slouží k uchycení vyměnitelného šrouby, který umožňuje pohyb čelistí.

Tab. 1.6 Odjehlovací nástroje [18, 19, 20].

Použité nástroje	
Otočný šroubovák NOGA	
Pneumatická přímá bruska s nastavci	
Pilníky na železo	

1.6.9 Obrábění dle programu O02314

Jednou z posledních operací je frézování šířky středícího čepu na požadovanou hodnotu 12 mm (viz obr. 1.19). Tato operace opět probíhá na obráběcím centru Okuma MB-66 VB, kde je součást upnuta do svěraku.



Obr. 1.19 Kompletně obrobena součást.

1.6.10 Broušení přesných rozměrů

Poslední operace, která se provádí ve firmě Kastr, je broušení přesných rozměrů na brusce Chavalier. Zde je broušena horní část, případně i spodní část, výrobku tak aby byla zajištěna přesnost rozměrů $12g7$ a $47\pm 0,05$ mm.

1.6.11 Černění součástí

Poslední operace v technologickém postupu je alkalické černění, která je uvedeno na obr. 1.20. Jedná se o povrchovou úpravu, která zlepšuje vzhled a korozní odolnost součástí, díky vytvoření konverzní oxidové vrstvy. Alkalické černění se nejčastěji používá pro černění částí zbraní, nástrojů, optických a měřících přístrojů, vyrobených převážně z oceli [21, 22].

Výhody alkalického černění [21, 22]:

- sytě černá barva dodává součásti dekorativní vzhled,
- zvýšení korozivzdornosti a ořevzdornosti,
- zachování rozměrů součástí, díky malé tloušťce vrstvy,
- dlouhá životnost alkalických lázní.

Nevýhody alkalického černění:

- zvýšená bezpečnost, kvalifikovanost obsluhy,
- nutnost doplňovat lázeň vodou,
- aby nedocházelo ke snížení teploty lázně je nutné velké součásti předehřívat,
- při černění běžných druhů ocelí je nutné do lázně přidávat konzervační prvky pro zlepšení korozivzdornosti.



Obr. 1.20 Alkalicky černěná součást [22].

1.7 Kontrola rozměrů

Aby během obrábění nedocházelo k výrobě tzv. zmetků, je nutné kontrolovat rozměry již obrobených částí tělesa upínače přímo na příslušném pracovišti. To se provádí

pomocí ručních měřidel. Po dokončení výroby, před černěním, kdy je těleso upínače zcela obrobene se provádí kontrola pomocí 3D měřicího přístroje MITUTOYO Crysta Apex S7106.

1.7.1 Ruční měřidla

Během výroby tělesa upínače se kontrolují pouze závity M8 a M5. To se provádí oboustrannými závitovými kalibry. Na jedné straně těchto kalibrů je dobrý závit a na druhé zmetkový, který je označený červenou barvou. To je patrné na obr. 1.21. Správně vyrobený závit se pak pozná tak, že do něj lze zašroubovat pouze dobrou stranu kalibru.



Obr. 1.21 Oboustranný závitový kalibr.

1.7.2 MITUTOYO Crysta Apex S7106

Jedná se o vysoce výkonný a efektivní souřadnicový měřicí přístroj (viz obr. 1.22), který je navržen a vyroben v souladu s rozsáhlými zkušenostmi firmy MITUTOYO. Díky tomu měřicí zařízení oplývá těmito výhodami [23]:

- vysoká stabilita a přesnost pohybu, díky lehkým materiálům a inovativní konstrukci,
- možnost přesného měření i v dílenském prostředí, které je zajištěno funkcí kompenzace teploty (16 °C až 26 °C),
- flexibilní a efektivní měření.



Obr. 1.22 MITUTOYO Crysta Apex S7106 [23].

Pro měření na tomto měřicím přístroji se používají dotykové a skenovací sondy. Ty zajišťují přesné změření i těch nejmenších detailů. Aby bylo zajištěno zvýšení rychlosti měření, je přístroj vybaven zásobníkem na devět dotykových sond. Ty jsou určeny pro automatickou výměnu. Další technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 1.7 [23, 24].

Tab. 1.7 Technické parametry 3D měřicího zařízení MITUTOYO Crysta Apex S7106 [1, 25].

Měřicí rozsahy os	
Osa X	705 [mm]
Osa Y	1 005 [mm]
Osa Z	605 [mm]
Pracovní stůl	
Materiál	Žula
Rozměry	880 [mm] x 1 720 [mm]
Maximální výška měřeného dílu	800 [mm]
Maximální váha měřeného dílu	1 000 [kg]

1.8 Možnosti optimalizace výroby

I přes to, že se v současnosti vyrábí pouze 300 kusů tělesa upínače ročně, je snaha o zrychlení a zjednodušení výrobního procesu. Jako nejproblematictější místo se ukázalo obrábění T-drážky nástrojem Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908. To hlavně z toho důvodu, že se jedná o monolitní nástroj, který je nutné po otupení přebrousit a napovlakovat. Po přebroušení se však zmenší rozměry nástroje o hodnotu, kterou nelze předem stanovit. Tato odchylka od původního rozměru, se poté projeví při výrobě tělesa upínače.

Tento problém lze vyřešit změnou technologie výroby, nebo výměnou původního nástroje za jiný. Protože firma v současnosti disponuje pouze frézovacími a soustružnickými obráběcími stroji, byla možnost výměny technologie z hlediska finančních nákladů zamítnuta.

1.8.1 Nástroj Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908

Tento nástroj je určen pro řezání T-drážky s maximální hloubkou 7,75 mm. Řezná část je vyrobená z karbidů, na kterých je nanesen povlak TiAlN. Proto je nástroj vhodný pro obrábění oceli, nerezové oceli, litiny a tvrdých materiálů. Další parametry jsou uvedeny v tab. 1.8 [26].

Tab. 1.8 Technické parametry nástroje Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908 [26].

Průměr nástroje	31,250 [mm]
Šířka nástroje	8 [mm]
Počet zubů	8 [-]
Zaoblení špičky	0,4 [mm]

Pro upnutí nástroje se používá stopka SD S-A-L100-C16-SP15, která je vyrobena z oceli. Ta je ve vřetenu stroje upnuta v kleštině. Další informace o stopce jsou uvedeny v tab. 1.9. Původní monolitní nástroj připevnění na stopce je uveden na obr. 1.23.

Tab. 1.9 Technické parametry stopky SD S-A-L100-C16-SP15 [26].

Upínací rozměr	M5 x 0,5
Průměr	16 [mm]
Délka	100 [mm]
Tvar stopky	Kruh
Měrný systém	Metrický



Obr. 1.23 Původní nástroj pro obrábění profilu T-drážky [26].

2 NÁVRH NÁSTROJE

Tato kapitola je zaměřena na návrh a výrobu nového nástroje pro obrábění detailu T-drážky, včetně popisu použitých technologií výroby, strojního zařízení, materiálu nástroje a VBD.

2.1 Popis nástroje

Nový nástroj (viz obr. 2.1), který byl vyroben ve firmě Kastr, by měl zaujmout místo stávajícího nástroje Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908. V porovnání s ním by měl mít tyto výhody:

- zkrácení obráběcích časů, díky větší šířce nástroje,
- zlepšení řezných podmínek výroby, které dovoluje stabilnější upnutí středem nástroje,
- eliminace nutnosti ostření nástroje po otupení, díky použití VBD,
- menší pořizovací cena VBD proti původnímu nástroji.



Obr. 2.1 Nový nástroj pro obrábění detailu T-drážky.

2.1.1 Vyměnitelné břitové destičky

Pro nový nástroj bylo zvoleno šest tangenciálních vyměnitelných břitových destiček DGM 212R101 IN2015, které jsou zobrazeny na obr. 2.2. Výhodou těchto destiček je jejich robustnost a způsob uložení v lůžku, ve kterém jsou upnuty za středovou díru pomocí šroubu. Díky těmto vlastnostem se vyznačují vysokou stabilitou, a proto je možné obrábět vyššími posuvy s větší tloušťkou odebíraného materiálu. Jsou vhodné pro obrábění litiny, oceli a korozivzdorné oceli [27].



Obr. 2.2 Destička DGM 212R101 [27].

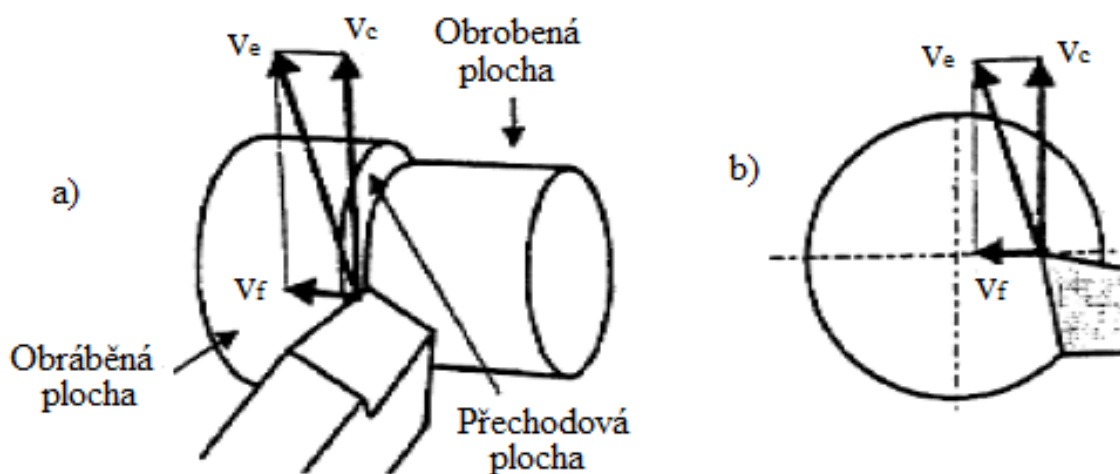
2.2 Použité technologie

Při výrobě nového obráběcího nástroje byly použity technologie frézování, soustružení a dělení materiálu. Frézování a dělení materiálu již byly popsány v kapitolách 1.2.1 a 1.2.3, proto zde bude stručně popsána pouze technologie soustružení.

2.2.1 Technologie Soustružení

Technologie soustružení je obráběcí metoda, vhodná převážně pro výrobu rotačních součástí. Nástroje, používané pro oddělování třísky, se nazývají soustružnické nože. Ve většině případů mají jeden břit. Tato technologie se řadí mezi nejjednodušší způsoby obrábění, proto se v technické praxi často používá [2, 3].

Při soustružení koná hlavní řezný pohyb obrobek tím, že se otáčí. Vedlejší řezný pohyb je posuvový pohyb nástroje. Ten je ve většině případů přímočarý, ale může být i obecný. Podle směru pohybu nástroje lze tuto technologii rozdělit na dva základní druhy, podélné a čelní soustružení (viz. obr. 2.3). Prvním druhem je podélné soustružení válcové plochy, kdy se nástroj pohybuje ve směru osy obrobku. Pokud se při tomto obrábění zachovají konstantní otáčky i posuvová rychlost, zůstane konstantní také řezná rychlost a rychlost řezného pohybu. Pokud se nástroj pohybuje ve směru kolmém k ose obrobku, jedná se o příčné soustružení čelní plochy. V tomto případě se i přes zachování konstantních otáček a posuvové rychlosti budou hodnoty řezné rychlosti a rychlosti řezného pohybu měnit. To je způsobeno měnícím se průměrem obrobku [2, 3].



v_c – řezná rychlost; v_f – posuvová rychlost; v_e – rychlost řezného pohybu;

Obr. 2.3 Druhy soustružení [2]: a) podélné soustružení, b) čelní soustružení.

2.3 Strojní zařízení

Výroba navrženého nástroje probíhala na třech strojích. Jedná se o pásovou pilu BOMAR Proline 320.280 ANC a obráběcí centra Okuma LB-3000EX a Okuma MU500-VA. Protože pásová pila byla popsána v kapitole 1.3.1, budou zde popsány pouze obráběcí centra.

2.3.1 Okuma LB-3000EX

Okuma LB-3000EX (viz. obr. 2.4) je soustružnické obráběcí centrum, které je vybaveno jedním vřetenem a revolverovou hlavou, do které lze upnout až 12 nástrojů. Výměna nástroje, během obrábění, trvá 1,2 s. Dalším vybavením je podavač tyčí, lopatka pro vynášení obrobků, programovatelný koník a poháněná osa C/Y. Díky tomu, může stroj pracovat v automatickém režimu, při kterém je nutné pouze doplňovat ocelové tyče do podavače a vybírat obrobené kusy. Mezi výhody tohoto stroje patří vysoká tuhost a přesnost [1].



Obr. 2.4 Okuma LB-3000EX [1].

2.3.2 Okuma MU500-VA



Obr. 2.5 Okuma MU500-VA [28].

Tab. 2.1 Parametry stroje Okuma MU500-VA [1, 28, 29].

Pracovní stůl	
Velikost pracovního stolu	Ø500 [mm]
Maximální velikost obrobku	Ø730 x 500 [mm]
Nosnost pracovního stolu	500 [kg]
Zásobník nástrojů	
Maximální počet nástrojů	48 [-]
Rychlost výměny nástroje	1,2 [s]
Pracovní vřeteno stroje	
Maximální otáčky	8 000 [min ⁻¹]
Maximální krouticí moment vřetene	198 [Nm]
Standardní výkon vřetene	11 [kW]
Rozsahy os stroje	
Osa X	1250 [mm]
Osa Y	660 [mm]
Osa Z	540 [mm]
Osa C - otočný stůl	0° až 360°
Osa A - kolíbká	+20° až -110°
Rychlosti posuvů	
Rychloposuv (X / Y / Z)	40 / 40 / 30 [m/min]
Maximální pracovní posuv	32 [m/min]

V tomto případě se jedná o pětiosé vertikální obráběcí centrum, které dosahuje vysoké kvality a produktivity ve všech osách. Toto obráběcí centrum je vybaveno chlazením středem vřetene, nástrojovou a obrobkovou sondou, antikolizním systémem a dopravníkem třísek. Pohyb páté osy je u tohoto stroje zajištěn pomocí kolíbká, na které je upevněn pracovní stůl. Další parametry jsou uvedeny v tab. 2.1. Obráběcí centrum je uvedeno na obr. 2.5 [1, 28, 29].

2.4 Materiál nového nástroje

Tab. 2.2 Značení, chemické složení, tepelné zpracování a vlastnosti oceli ČSN 15 142 [30, 31].

		Značka			Norma			
ČSN		15 142			41 5142			
EN		41CrMo4			86-70			
DIN		41CrMo4			17212			
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	
0,43	0,71	0,29	1,12	0,28	0,21	0,015	0,015	
Normalizační žíhání		Žíhání na měkko		Kalící teplota		Kalící médium		
840 až 880 °C		680 až 720 °C		820 až 860 °C		olej, voda		
Průměr [mm]		R _e min. [MPa]		R _m [MPa]		A min. [%]	Z min. [%]	KV min. [J]
40 < d ≤ 100		650		900 až 1100		12	50	35

Nový obráběcí nástroj je vyroben z chrom-molybdenové konstrukční oceli ČSN 15 142.6. Jedná se o materiál vhodný k zušlechťování a k povrchovému kalení, který se používá pro výrobu značně namáhaných strojních součástí a silničních vozidel. Převážně hřídelí a spojovacích součástí, kde je potřeba zajistit vysokou pevnost současně s vyšší houževnatostí. Vlastnosti oceli 15 142 jsou uvedeny v tab. 2.2 [30, 31, 32].

2.5 Technologický postup

Technologický postup výroby nové frézy, která je určená pro obrábění detailu T-drážky je uveden v tab. 2.3. Protože černění již bylo popsáno v kapitole 1.6.11, nebude zde znovu zmiňováno.

Tab. 2.3 Technologický postup výroby [14].

Pracoviště	Popis práce	Jednotkový čas [min]	Přípravný čas [min]
Dělrna	Dělit materiál 15 149.9 Ø 45 na rozměr 36 mm	10	5
Okuma LB3000EX	Soustružit dle programu Svok 1420	25	15
Okuma MU500	Frézovat dle programu O03252	30	15
Odjehlování	Kompletně odjehlít celý dílec	7,5	-
Kooperace	Nitridovat do hloubky 0,3 mm na povrchovou tvrdost 600 HV	-	-
Kooperace	Černit součást	-	-

2.5.1 Dělení materiálu

První operací při výrobě nového speciálního nástroje je řezání polotovaru. To probíhá na pásové pile na železo BOMAR Proline 320.280 ANC. Zde je třímetrová tyč dělena na polotovary o požadované délce 36 mm.

2.5.2 Soustružit dle programu Svok 1420

Druhá operace probíhá na soustružnickém obráběcím centru Okuma LB-3000EX. Zde je polotovar, připravený v předchozí operaci, postupně obráběn z jedné i z druhé strany (viz. obr.2.6). Při této operaci je materiál upnutý ve sklíčidle.



Obr. 2.6 Polotovar po obrábění dle programu Svok 1420.

Program je tvořený následujícími úseky:

1. zarovnání čela,
2. hrubování $\varnothing 42,5$ mm s přídavkem na dokončování,
3. vrtání díry $\varnothing 9$ mm do hloubky 20 mm,
4. hrubování díry $\varnothing 15$ mm s přídavkem na dokončování, sražení hrany,
5. dokončování díry $\varnothing 15$ mm,
6. dokončování $\varnothing 42,5$ mm,
7. otočení součásti, upnutí do měkkých čelistí za $\varnothing 42,5$ mm,
8. zarovnání čela na délku 32,1 mm,
9. hrubování $\varnothing 32$ mm a $\varnothing 28$ mm,
10. vrtání díry $\varnothing 15$ mm,
11. hrubování díry $\varnothing 16H7$ mm s přídavkem na dokončování,
12. sražení hrany $0,5 \times 45^\circ$,
13. frézování drážky 8,4 mm do hloubky 5,6 mm,
14. dokončování díry $\varnothing 16H7$ mm,
15. dokončování $\varnothing 32$ mm a $\varnothing 28$ mm.

2.5.3 Frézovat dle programu O03252

Tato operace probíhala na obráběcím centru Okuma MU500-VA. Aby byl polotovar ve stroji upnutý s co největší přesností, byl nejprve vyroben speciální upínací přípravek, který je na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Přípravek pro upnutí polotovaru.

V přípravku byl polotovar šroubem upnutý za vnitřní rozměr $\varnothing 16H7$. Pomocí číselníkového úchylkoměru se poté zjišťovala nepřesnost upnutí obrobku (viz obr. 2.8). Bylo zjištěno, že polotovar je upnutý přesně v ose rotace. Díky tomu je zajištěno, že vzdálenost lůžek pro VBD bude po obrobení stejná. Kdyby byl nástroj upnutý mimo osu

rotace, mohla by se vzdálenost lůžek lišit a při řezném procesu by mohlo docházet k nežádoucímu chvění nástroje.



Obr. 2.8 Ustavení polotovaru při obrábění dle programu O03252.

Obrábění polotovaru se skládá z těchto operací:

1. vrtání děr $\varnothing 3$ mm,
2. frézování drážek mezi zuby,
3. hrubování lůžek pro VBD,
4. předvrtání děr pro závity M2,5,
5. řezání závitů M2,5,
6. dokončení bočních dosedacích ploch pro VBD,
7. dokončení spodních dosedacích ploch pro VBD.



Obr. 2.9 Nástroj po obrábění dle programu O03252.

2.5.4 Kompletně odjehlít celý dílec

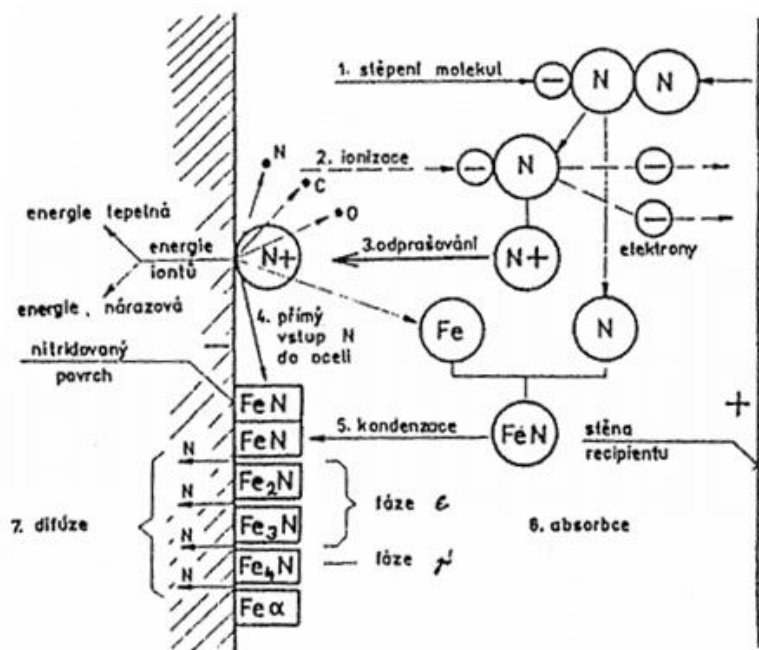
Po obrobení nového nástroje do konečné podoby (viz obr. 2.9), je třeba odstranit všechny ostré hrany a třísky, které se zachytily v otvorech. Jedná se především o hrany na dosedacích plochách pro VBD. Odjehlování se provádí ručně na zámečnické dílně. Použité nástroje jsou stejné, jako nástroje použité pro odjehlení tělesa upínače. Ty jsou uvedeny v tab. 1.6.

2.5.5 Chemicko-tepelné zpracování nástroje

Nitridování je chemicko-tepelné zpracování oceli, spočívající v sycení povrchu nástroje dusíkem. Ten může být v kapalném, nebo v plynném stavu. Díky nitridování se v povrchové vrstvě nástroje vytvoří vysoce disperzní nitridy slitinových prvků s vysokou afinitou k dusíku. Tyto prvky se vyznačují vyšší mezí únavy, vysokou tvrdostí a odolností proti otěru i za vyšších teplot. Po nitridování není nutné provádět další tepelné zpracování, protože požadovaných vlastností je dosaženo už během sycení povrchu dusíkem [15, 16].

Nitridování probíhá za teplot 500 °C až 550 °C, při kterých je povrch součásti obohacen dusíkem až na koncentraci 12 hm. % N. Nitridace konstrukčních ocelích se většinou provádí v plynném prostředí. Součást je umístěna do plynotěsné zvonové, šachtové nebo komorové pece s nucenou cirkulací atmosféry. Jako zdroj dusíku se zde používá čpavek. Atomární dusík, který vzniká během disociace čpavku, je částečně pohlcován povrchem nitridovaného materiálu. Zbytek dusíku není schopen adsorpce. Z toho důvodu je nutné během procesu zajistit trvalý přívod čpavku [15, 16].

Kvůli relativně nízké teplotě může nitridování trvat až 60 hod. Výsledná tloušťka vrstvy bývá do 0,1 mm a tvrdost povrchu se pohybuje v rozmezí od 1 000 HV do 1 200 HV. Po nitridování nesmí teplota součásti přesáhnout 600 °C. Děje, probíhající během nitridování, jsou patrné z obr. 2.10 [15, 16].



Obr. 2.10 Schéma dějů probíhajících při nitridaci [16].

2.6 Ukázka NC kódu

Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.5, NC kód vzniká v software GibbsCAM. V něm jsou pomocí 3D modelu postupně vygenerovány všechny dráhy, které jsou potřebné k obrobení polotovaru. V této kapitole bude uvedena pouze ukázka programu, který slouží k řízení stroje Okuma MU500-VA při obrábění materiálu dle programu O03252. Celý NC kód nebude v práci uveden, aby se zabránilo jeho použití jinou firmou.

(NAZEV PROGRAMU O03252)

(*****)

(*****)

(*****)

(POSUNUTI POCATKU)

CALL OO88 PX=-3.262 PY=15.47 PZ=0. PC=11.907 PA=-90. PH=1 PP=2

CALL OO88 PX=11.767 PY=10.561 PZ=0. PC=-48.093 PA=-90. PH=1 PP=3

CALL OO88 PX=-11.767 PY=-10.56 PZ=0. PC=131.907 PA=-90. PH=1 PP=17

CALL OO88 PX=-15.029 PY=4.91 PZ=0. PC=71.907 PA=-90. PH=1 PP=18

CALL OO88 PX=15.029 PY=-4.91 PZ=0. PC=-108.093 PA=-90. PH=1 PP=30

CALL OO88 PX=3.262 PY=-15.471 PZ=0. PC=-168.093 PA=-90. PH=1 PP=31

CALL OO88 PX=-1.996 PY=-0.421 PZ=-8.18 PC=281.907 PA=-14. PH=1 PP=4

CALL OO88 PX=0.174 PY=-0.194 PZ=-1.046 PC=401.907 PA=-14. PH=1 PP=5

CALL OO88 PX=1.362 PY=-1.518 PZ=-8.18 PC=401.907 PA=-14. PH=1 PP=19

CALL OO88 PX=0.081 PY=0.248 PZ=-1.046 PC=521.907 PA=-14. PH=1 PP=20

CALL OO88 PX=0.633 PY=1.939 PZ=-8.18 PC=521.907 PA=-14. PH=1 PP=32

CALL OO88 PX=-0.255 PY=-0.054 PZ=-1.046 PC=641.907 PA=-14. PH=1 PP=33

CALL OO88 PX=-3.262 PY=15.47 PZ=0. PC=1091.907 PA=-90. PH=1 PP=6

CALL OO88 PX=11.767 PY=10.561 PZ=0. PC=1031.907 PA=-90. PH=1 PP=7

...

...

...

G3 X-0.057 Y0.265 Z0.095 R0.138

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

Z0.5 J-0.315

X-0.057 Y-0.265 Z0.095 R0.138

G40 G1 X0.011 Y-0.004

G0 X0.046 Y-0.046

G90 Z20.


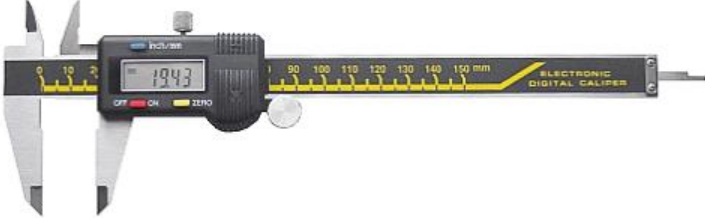

RTS

2.7 Měření součásti

Stejně jako u tělesa upínače, je i zde nutné kontrolovat přesnost obrobených rozměrů. To se provádí jak na příslušných pracovištích, tak na 3D měřicím přístroji MITUTOYO Crysta Apex S7106. Protože měřicí přístroj byl popsán již v kapitole 1.7.2, nebude zde již znovu zmiňován.

Ruční měření se provádí hlavně po soustružení, kdy se kontrolují přesné rozměry. To se provádí pomocí kalibru $\varnothing 16H7$, digitálního posuvného měřítka a hloubkoměru. Všechny měřidla jsou uvedeny v tab. 2.4.

Tab. 2.4 Ruční měřidla [33].

Válečkový kalibr	
Digitální posuvné měřítko	
Digitální hloubkoměr	

3 INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU

Tato kapitola je zaměřena na popis inovace výrobního procesu a výpočty strojních časů stávajícího a inovovaného stavu výroby.

3.1 Popis inovace

Inovace technologického postupu součásti tělesa upínače spočívá v nahrazení původního monolitního obráběcího nástroje Iscar SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908 novým speciálním nástrojem s VBD. Porovnání těchto nástrojů je uvedeno v tab. 3.1.

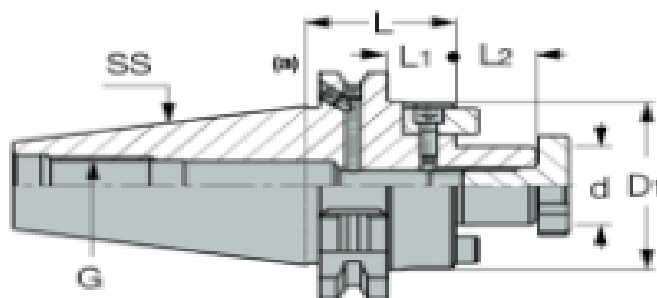
Tab. 3.1 Porovnání původního a nového nástroje pro obrábění detailu T-drážky.

	SD D32-8.0-R0.4-SP15	Speciální nástroj na těleso CU-T
Šířka [mm]	8	11,6
Otáčky [min ⁻¹]	1200	1400
Posuvová rychlost [mm/min]	400	750
Trvanlivost [min]	170	30
Počet řezných hran/ostření [-]	5	4

Při obrábění novým speciálním nástrojem je možné použití vyšších otáček a většího posuvu na zub než u původního nástroje. Tento rozdíl je způsobený stabilnějším upnutím nového nástroje v držáku DIN69871 40 SEM16X35, proti upnutí stávajícího nástroje v kleštinovém upínači BT50 ER25X100.

3.1.1 Držák DIN69871 40 SEM16X35

Jedná se o držák pro nástrčné frézy, ve kterém je nástroj upnutý za vnitřní průměr 16H7 pomocí šroubu M8 CLAMP SCREW SEM16. To zajišťuje přesné a pevné uchycení nástroje. Do stroje je držák s nástrojem upnutý pomocí šroubu M16, který je zašroubován do konce kuželové stopky. K přenášení krouticího momentu z vřetena na nástroj slouží unášecí kameny. Další informace o držáku DIN69871 40 SEM16X35 jsou uvedeny v tab. 3.2 a na obr. 3.1 [34].



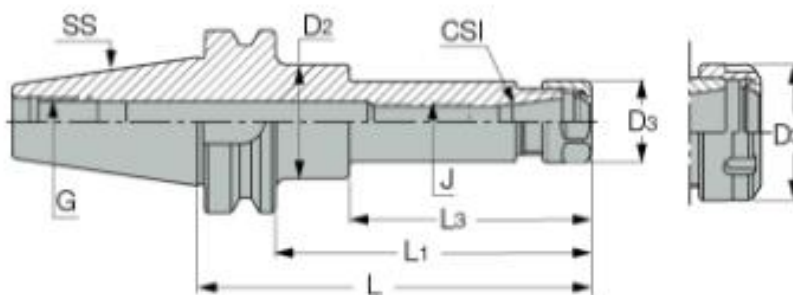
Obr. 3.1 Držák DIN69871 40 SEM16X35 [34].

Tab. 3.2 Rozměry držáku DIN69871 40 SEM16X35 [34].

Parametr	Hodnota
Velikost stopky (SS)	40 [mm]
Průměr d	16 [mm]
Průměr D1	38 [mm]
Délka L	35 [mm]
Délka L2	17 [mm]
Délka L1	15,9 [mm]
Závit G	M16
Hmotnost	0,92 [kg]

3.1.2 Kleštinový upínač BT50 ER25X100

V tomto případě se jedná o držák určený pro nástroje s válcovou stopkou, které jsou upnuty pomocí vyměnitelné kleštiny. Díky tomu lze tento držák použít pro nástroje se stopkou od \varnothing 1 mm do \varnothing 16 mm. Jeho nevýhodou je však možnost protočení nástroje v kleštině, při zvolení nevhodných řezných podmínek. Další informace jsou uvedeny v tab.3.3 a na obr.3.2 [34].



Obr. 3.2 Upínač BT50 ER25X100 [34].

Tab. 3.3 Rozměry upínače BT50 ER25X100 [34].

Parametr	Hodnota
Velikost stopky (SS)	50 [mm]
Délka L	100 [mm]
Délka L1	62 [mm]
Délka L3	-
Průměr D3	42 [mm]
Závit J	M16
Závit G	M24
Hmotnost	3,9 [kg]

3.2 Výpočet jednotkových strojních časů

Pro porovnání původního a inovovaného výrobního procesu je třeba spočítat strojní časy obráběcích operací. Protože inovace spočívá pouze v nahrazení nástroje pro výrobu detailu T-drážky, je zde spočítán výrobní čas pouze pro její obrábění. Pro výpočet jsou použity vzorce 1.1 a 1.2 uvedené v kapitole 1.2.1.

3.2.1 Původní jednotkový strojní čas

Při použití původního nástroje je pro úplné vyhrubování jedné strany profilu T-drážky třeba dvou přejezdů. To je způsobeno malou šířkou nástroje. Aby byla zajištěna přesnost všech rozměrů, používá se při dokončovacím obrábění jedné strany tří průjezdů.

Výpočet dráhy nástroje: (vypočítán podle vztahu 1.2)

$$l = 210 \text{ mm}, l_n = 5 \text{ mm}, l_p = 5 \text{ mm}, D = 32$$

$$L = l + l_n + l_p + D = 210 + 5 + 5 + 32 = 252 \text{ mm}$$

Výpočet jednotkového strojního času: (vypočítán podle vztahu 1.1)

$v_f = 400 \text{ mm/min}$ (hodnota dodána programátorem firmy)

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{252}{400} = 0,63 \text{ min}$$

Tab. 3.4 Jednotkové trojní časy původní výroby profilu T-drážky.

Operace	Čas operace [min]
Hrubování	2,52
Dokončování	3,78
Celkem	6,30

V tab. 3.4 jsou uvedeny jednotkové strojní časy pro hrubování a dokončování detailu T-drážky. Jedná se tedy jenom o časy, kdy nástroj koná řezný proces. K těmto časům je tedy nutné přičíst vedlejší časy, které jsou potřebné pro pohyb nástroje mimo obrobek. Ty byly změřeny přímo na stroji během obrábění. Pro hrubování je $t_{ASB} = 0,43 \text{ min}$. Pro dokončování je $t_{ASB} = 0,62 \text{ min}$. Celkový jednotkový strojní čas výroby profilu T-drážky je uveden v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Celkový jednotkový strojní čas původní výroby.

Operace	Čas operace [min]
Hrubování	2,95
Dokončování	4,40
Celkem	7,35

3.2.2 Jednotkový strojní čas inovované výroby

Při použití nového nástroje je třeba pro vyhrubování jedné strany profilu T-drážky pouze jednoho průjezdu. To je umožněno jeho větší šířkou, v porovnání s původním monolitním nástrojem. Aby byly zajištěny požadované rozměry a drsnost povrchu, volí se pro dokončovací obrábění jedné strany dva průjezdy.

Výpočet dráhy nástroje: (vypočítán podle vztahu 1.2)

$$l = 210 \text{ mm}, l_n = 5 \text{ mm}, l_p = 5 \text{ mm}, D = 42$$

$$L = l + l_n + l_p + D = 210 + 5 + 5 + 32 = 262 \text{ mm}$$

Výpočet jednotkového strojního času: (vypočítán podle vztahu 1.1)

$$v_f = 750 \text{ mm/min (hodnota dodána programátorem firmy)}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{262}{750} = 0,35 \text{ min}$$

Tab. 3.6 Jednotkové strojní časy inovované výroby profilu T-drážky.

Operace	Čas operace [min]
Hrubování	0,70
Dokončování	1,40
Celkem	2,10

I v tomto případě jsou v tab. 3.6 uvedeny pouze časy, kdy je nástroj v záběru. Z toho důvodu je nutné připočíst k nim vedlejší časy, které byly změřeny přímo při výrobě. Pro hrubování je $t_{ASB} = 0,16 \text{ min}$. Pro dokončování je $t_{ASB} = 0,31 \text{ min}$. Celkový jednotkový strojní čas je uveden v tab. 3.7.

Tab. 3.7 Celkový jednotkový strojní čas inovované výroby.

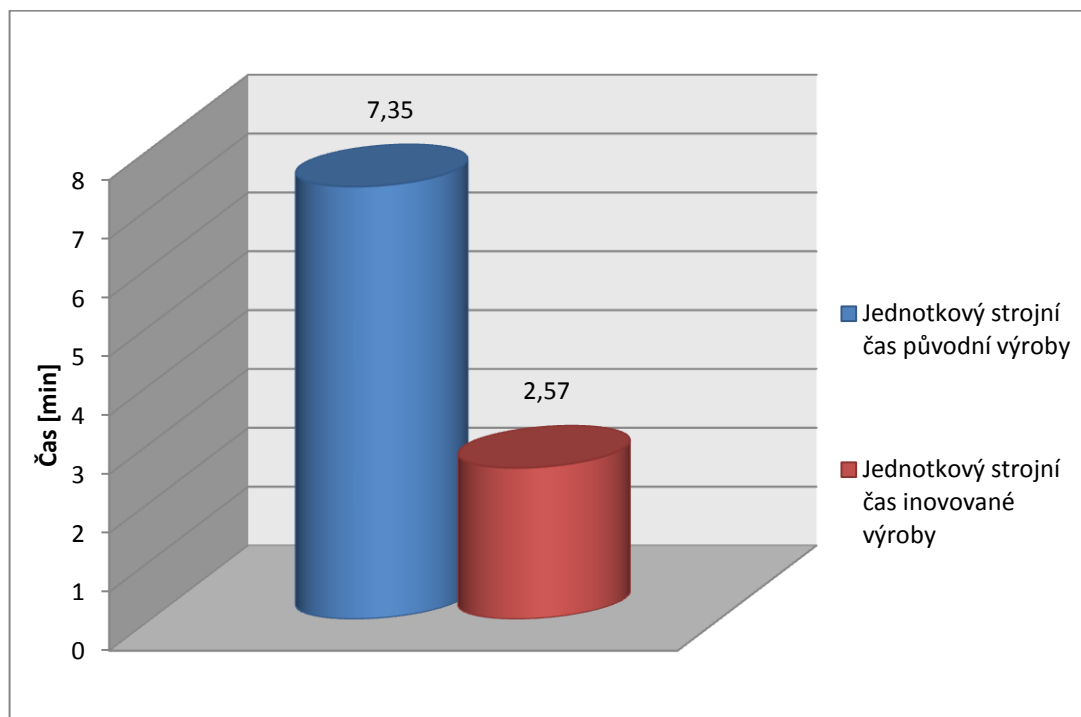
Operace	Čas operace [min]
Hrubování	0,86
Dokončování	1,71
Celkem	2,57

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola je zaměřena na porovnání původní a inovované výroby profilu T-drážky. Díky výměně původního monolitního nástroje za nový nástroj s VBD se výrazně zkrátily výrobní časy. Tím pádem klesnou také výdaje na výrobu, spojené s hodinovou sazbou stroje. Je však třeba rovněž posoudit náklady na výrobu nového nástroje a cenu VBD s náklady na nákup a údržbu původního nástroje.

4.1 Porovnání jednotkových strojních časů

Jednotkový strojní čas potřebný k obrobení součásti při použití původního monolitního nástroje je 7,35 min. Při náhradě tohoto nástroje novým, se tato doba zkrátí na 2,57 min. Zkrácení jednotkového strojního času je způsobeno tím, že je možné použít vyšších otáček a většího posuvu na zub. K úspoře času také dojde eliminací nepotřebných průjezdů nástroje. To je způsobeno tím, že nový speciální nástroj má větší šířku záběru než původní. Díky tomu je možné hrubovat profil T-drážky pouze na dva průjezdy. Při dokončování je použito čtyři průjezdů. Celková úspora času na výroby profilu T-drážky je 65 %. Jednotkový strojní čas potřebný na výrobu před a po zefektivnění výroby je zobrazen v grafické závislosti na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Porovnání jednotkových strojních časů.

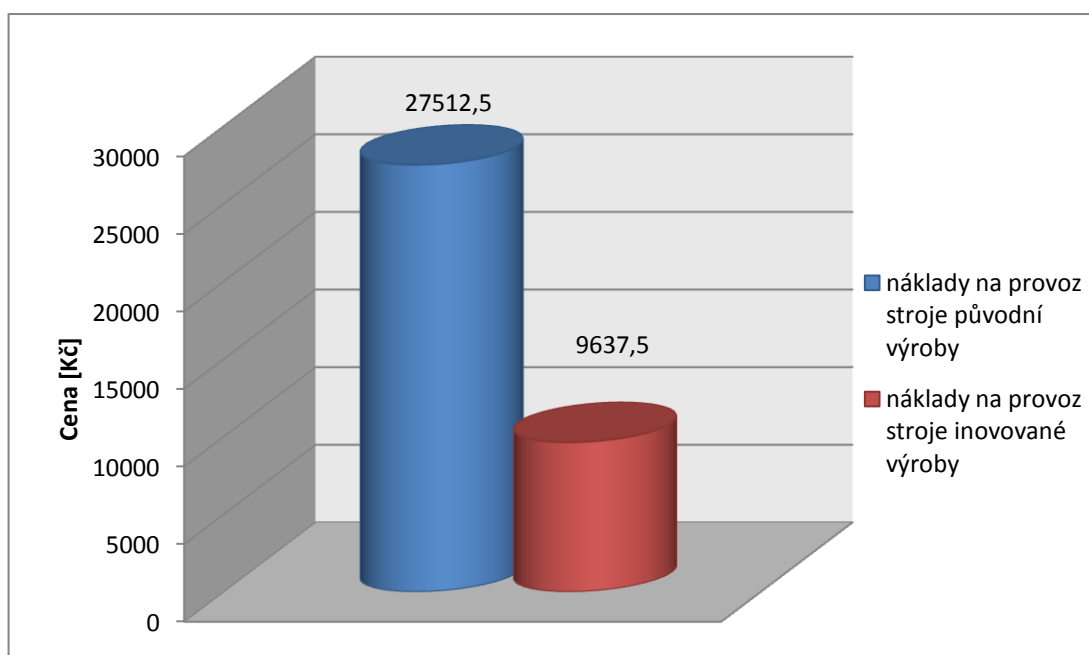
4.2 Náklady na provoz stroje

Vlivem redukce strojních časů dojde ke snížení nákladů spojených s provozem stroje. Výroba detailu T-drážky, na součásti tělesa upínače, probíhá na obráběcím centru Okuma MB-66 VB. Hodinová sazba tohoto stroje je 750 Kč/hod. V této částce jsou také započítány náklady na pracovníka obsluhujícího tento stroj. Úspory na provoz stroje jsou spočítány pro roční výrobu, která činí 300 ks. Firma Kastr si nepřeje zveřejňovat výrobní

časy potřebné na ostatní operace, a proto zde budou spočítány pouze náklady spojené s výrobou detailu T-drážky. Porovnání nákladů na provoz stroje je uvedeno v tab. 4.1 a v grafické závislosti na obr. 4.2.

Tab. 4.1 Jednotkový strojní čas původní a inovované výroby na 300 ks.

	Jednotkový strojní čas na 300 ks [hod]	Náklady na provoz stroje [Kč]
Původní výroba	36,69	27 512,5
Inovovaný proces	12,86	9 637,5



Obr.4.2 Porovnání nákladů na provoz stroje při obrábění T-drážky.

4.3 Náklady na nástroje

Pro úplné posouzení nákladů je třeba zohlednit také nákupní cenu roční zásoby původních monolitních nástrojů s výrobní cenou nového speciál nástroje. Je třeba rovněž započítat výdaje spojené s ostřením nástrojů, nebo nákupem VBD. Proto jsou na tuto problematiku zaměřeny následující kapitoly.

4.3.1 Náklady na nákup a ostření monolitního nástroje

Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.8.1, původní nástroj používaný pro obrábění detailu T-drážky je monolitní fréza SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908 vyráběná firmou Iscar. Jedná se o povlakovaný nástroj s 8 zuby. Jeho trvanlivost, která byla měřena přímo během výroby, byla stanovena na $T_f = 170$ min. Po uplynutí této doby je nutné nástroj znovu přebrousit a napovlakovat. Protože v dnešní době firma Kastr nedisponuje zařízením, které je pro tuto technologii potřebné provádí se napovlakování pomocí kooperace. Za tu je účtovaná cena 665 Kč. Po provedení prvního ostření však klesne trvanlivost nástroje o 30 %. Průměrný počet ostření před vyřazením frézy je $n_o = 5$.

$$S_f = \frac{t_{AS} \cdot N}{T_f + (T_{fo} \cdot a)} [ks] \quad (4.1)$$

kde:	S_f	[ks]	spotřeba monolitních fréz,
	t_{AS}	[min]	strojní čas na obrobení detailu T-drážky,
	N	[ks]	počet vyráběných kusů za rok,
	T_f	[min]	trvanlivost monolitní frézy,
	T_{fo}	[min]	trvanlivost monolitní frézy po ostření,
	a	[-]	počet přeastření nástroje.

$$S_f = \frac{6,3 \cdot 300}{170 + (119 \cdot 5)} = 2,47 ks = 3 ks$$

Tab. 4.2 Náklady na nákup a broušení monolitních fréz.

Nástroj	SD D32-8.0-R0.4-SP15 IC908
Počet kusů	3 [-]
Nákupní cena	1 564,3 [Kč]
Cena za ostření a povlakování	665 [Kč]
Počet možných ostření jednoho nástroje	5 [-]
Celkové náklady	14 667,9 [Kč]

4.3.2 Náklady na výrobu nového nástroje

Pro výrobu nového speciálního nástroje pro obrábění detailu T-drážky byl zvolen materiál 15 142.6. Ten je do firmy Kastr dovážen v podobě třímetrových válcovaných tyčí s $\varnothing 45$ mm. Ty jsou následně děleny na délku 36 mm. Zbytek tohoto materiálu je využitý při další výrobě. Z toho důvodu je zde uvedena cena pouze na potřebnou část materiálu. Aby se předešlo opakování celého výrobního procesu, při nesprávném obrobení speciálního nástroje, byly vyrobeny tři kusy. Během jejich výroby nenastaly žádné potíže, proto je možné zařadit všechny tři nové nástroje do výroby. Cena potřebného materiálu je zveřejněna v tab. 4.3.

Tab. 4.3 Náklady na materiál.

Délka polotovaru	0,036 [m]
Počet vyráběných kusů	3 [-]
Cena polotovaru	190 [Kč/m]
Celková cena	20,52 [Kč]

K ceně za materiál je nutné přičíst i náklady spojené s obráběním nového nástroje. To se provádí na třech strojích. Pásové pile BOMAR a obráběcích centrech Okuma LB3000 EX a Okuma MU500. Cena za obrábění je stanovena z hodinových sazeb strojů, v kterých jsou zahrnuty i náklady na obsluhu. Protože v současnosti není ve firmě Kastr zařízení potřebné pro nitridování a černění součástí, jsou tyto operace řešeny pomocí

kooperace s jiným podnikem. Cena této kooperace je 200 Kč. Všechny hodnoty potřebné k výpočtu nákladů, společně s celkovou cenou, jsou uvedeny v tab. 4.4.

Tab. 4.4 Náklady na výrobu nového speciálního nástroje.

Pracoviště	Operace	Jednotkový strojní čas [min]	Hodinová sazba [Kč/hod]	Cena [Kč]
BOMAR Proline	Dělit materiál	3 · 10	340	170
Okuma LB3000EX	Soustružit součást	3 · 25	500	625
Okuma MU500	Frézovat součást	3 · 30	650	975
Kooperace	Černit + nitridovat	-	-	200
Celkem	-	195	1 490	1 970

4.3.3 Náklady na nákup VBD

Na novém speciálním nástroji pro obrábění detailu T-drážky jsou použity vyměnitelné břitové destičky DGM 212R101 IN2015. Nákupní cena jednoho kusu je 263,7 Kč. Protože se ale nedá objednat pouze jeden kus, je třeba koupit celé balení, které obsahuje deset těchto destiček. Jejich trvanlivost, která byla změřena během výroby na obráběcím centru, byla stanovena na $T_{VBD} = 30$ min. Po uplynutí této doby dojde k otupení řezné hrany, a proto je třeba VBD otočit, případně vyměnit. Na každé VBD tohoto typu jsou čtyři řezné hrany.

$$S_{VBD} = \frac{t_{AS} \cdot N}{T_{VBD} \cdot b} \cdot n_{VBD} \quad [ks] \quad (4.2)$$

kde:	S_{VBD} [ks]	spotřeba vyměnitelných břitových destiček,
	t_{AS} [min]	strojní čas na obrobení detailu T-drážky,
	N [ks]	počet vyráběných kusů za rok,
	T_{VBD} [min]	trvanlivost vyměnitelných břitových destiček,
	b [ks]	počet břitů,
	n_{VBD} [ks]	počet VBD na nástroji.

$$S_{VBD} = \frac{2,1 \cdot 300}{30 \cdot 4} \cdot 6 = 31,5 \text{ ks} = 40 \text{ ks}$$

Tab. 4.5 Náklady na nákup VBD.

Název VBD	DGM 212R101 IN2015
Nákupní cena	263,7 [Kč/ks]
Potřebný počet kusů	40 [-]
Celková cena	10 548 [Kč]

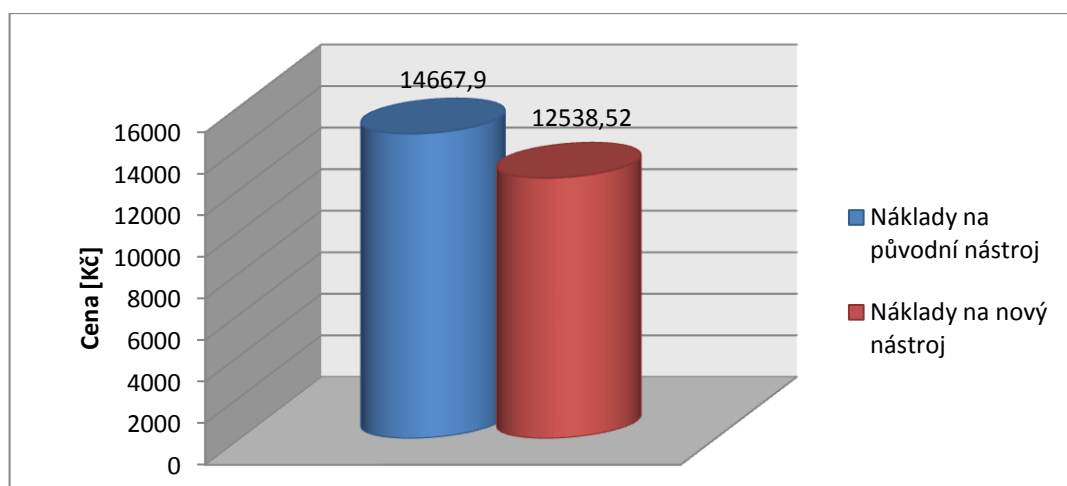
4.3.4 Porovnání nákladů na nástroje

Tato kapitola je zaměřena na porovnání nákladů na nástroje v původní a inovované výrobě. Ty jsou vypočítány v předchozích dvou kapitolách. Protože stopku

SD S-A-L100-C16-SP15, která slouží k upnutí původního nástroje, není nutné během výroby měnit, není její cena zahrnuta ve výpočtu. Porovnání cen obou provedení je patrné v tab. 4.6 a na obr. 4.3. Roční náklady na nástroj klesnou téměř o 15 %.

Tab. 4.6 Srovnání nákladů na nástroje

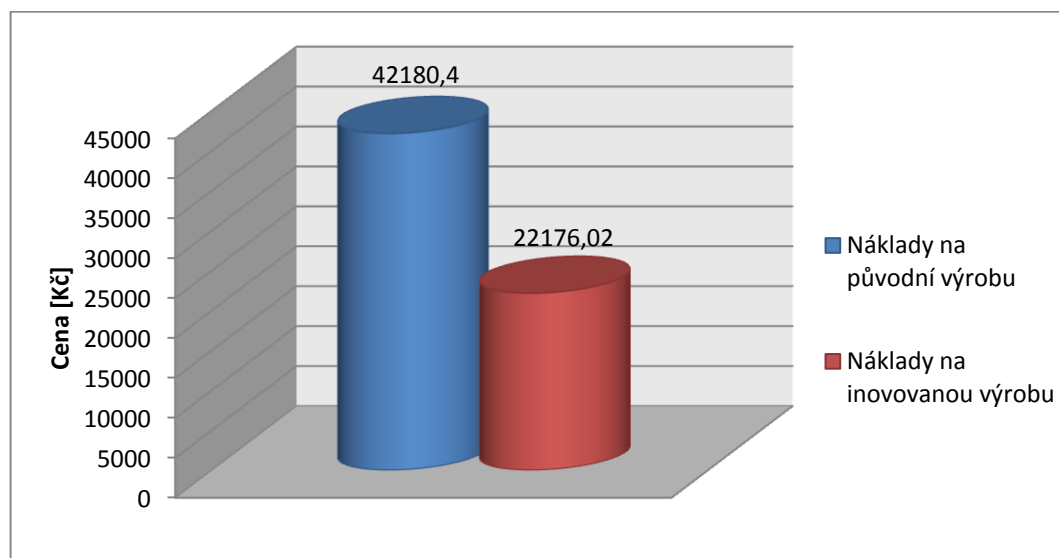
Celkové náklady na původní nástroj	14 667,9 [Kč]
Celkové náklady na nový nástroj	12 538,52 [Kč]



Obr. 4.3 Porovnání nákladů na nástroje.

4.4 Porovnání nákladů na výrobu detailu T-drážky před a po inovaci

Pro celkové porovnání všech nákladů je nutné zohlednit cenu nástrojů, výměnných břitových destiček, případně přeostření a napovlakování monolitního nástroje a výdaje spojené s provozem a obsluhou stroje. Jak už je napsáno v kapitole 4.2, náklady na obsluhu a provoz stroje se vztahují pouze k obrábění detailu T-drážky. Rozdíl ceny původní a inovované výroby je uvedený v tab. 4.7 a na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Celkové porovnání nákladů.

Tab. 4.7 Celkové porovnání nákladů.

	Náklady na obsluhu a provoz stroje [Kč]	Náklady na pořízení a údržbu nástrojů [Kč]	Celkové náklady na výrobu T-drážky [Kč]
Původní výroba	27 512,5	14 667,9	42 180,4
Inovovaná výroba	9 637,5	12 538,52	22 176,02

Z hodnot uvedených v tab. 4.7 je patrné, že největší část úspor je spojena se zkrácením výrobních časů. Toho je dosaženo díky větší šířce nového univerzálního nástroje. Celková úspora nákladů činí přibližně 53 %.

5 ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce je návrh nového speciálního nástroje pro obrábění detailu T-drážky ve firmě Kastr, díky kterému by mělo dojít ke zjednodušení a zrychlení výroby tělesa upínače KASTR CU-T 77. Práce je rozdělena do čtyř částí.

V úvodní části je popsán stávající stav výroby tělesa upínače, který obsahuje popis strojního zařízení, materiálu, technologií a technologického postupu. Následuje určení kritického místa výroby společně s návrhem možností její inovace. Tato část je uzavřena popisem původního monolitního frézovacího nástroje.

Důležitým bodem práce je návrh a výroba nového speciálního frézovacího nástroje pro obrábění detailu T-drážky. I zde je uvedeno strojní zařízení, na kterém tato výroba probíhá, zvolený materiál nového nástroje, technologie a technologický postup. Jsou zde rovněž představeny tangenciální vyměnitelné břitové destičky, které byly pro nový nástroj použity.

Následující část představuje způsob inovace výrobního procesu, který zahrnuje porovnání původního a nového nástroje z hlediska geometrie a řezných parametrů. Z důvodu lepšího upnutí nového nástroje v upínači, lze po tento nástroj použít vyšších otáček a větších posuvů na zub nástroje. Díky tomu jsou značně zkráceny výrobní časy, které byly na konci této části spočítány.

Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením, kde je nová výroba porovnávána se stávající. Ve výpočtech jsou zahrnuty náklady na nákup, výrobu a ostření nástrojů společně s náklady spojenými s provozem výrobních strojů.

Díky nahrazení původního nástroje novým se podařilo dosáhnout:

- snížení výrobního času detailu T-drážky o 4,78 min,
- snížení ročních nákladů na nástroj o 2 129,38 Kč díky použití VDB,
- celkové snížení roční nákladů na obrobení detailu T-drážky o 20 004,38 Kč, což činí pokles nákladů o 53 %,
- eliminace nutnosti korekce programu po přestřžení monolitního nástroje.

Lze konstatovat, že všechny cíle diplomové práce byly splněny.



Obr. 5 Nový speciální nástroj pro výrobu detailu T-drážky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Kastr. *O společnosti kastr* [online]. c2014 [vid. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.kastr.cz/firma.php>
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. 2003 [vid. 2017-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf4
4. ČEP, Robert. *Technologie II 2.díl* [online]. 2008 [vid. 2017-02-20]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
5. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. 2004 [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
6. KONDOR. *Dělení tyčového materiálu* [online] c2013 [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/deleni-tycoveho-materialu/t-155/>
7. KARAS. *Pásové pily na kov* [online]. c2017 [vid. 2017-03-01]. Dostupné z : <http://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/bomar/automaticke-pasove-pily/sloupove-automaty/bomar-pasova-pila-na-kov-proline-320-280-anc-3x400v-101-225-b1>
8. BOMAR. *Automatické pásové pily na kov* [online]. c2017 [vid. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.bomar-pily.cz/katalog/automaticke-pasove-pily-na-kov/sloupove-automaticke-pasove-pily/bomar-proline-320-280-anc-101-225-b1>
9. Misan s.r.o. *Katalog* [online]. c2017 [vid. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/katalog-detail/mb-66vb-okuma-ace-center-mb-66vb/>
10. Taima. *Rovinné brusky* [online]. c2014 [vid. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.taima.cz/rovinne-brusky/cnc-brusky/>
11. BOLZANO. *Přehled vlastností oceli 34CrNiMo6* [online]. [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_34CrNiMo6.pdf
12. ZÁKONY. *ČSN normy* [online]. c2017 [vid. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.zakony.cz/normy-4163/csn-norma-podrobnosti-27361>
13. GibbsCAM. *Proč si vybrat GibbsCAM* [online]. c2017 [vid. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://www.gibbscam.com/cs/solutions/pro-si-vybrat-gibbscam#.WNqMFm-LTIU>
14. Kastr, Kaderkova Strojírna. *Firemní zdroje* [vid. 2017-03-17].
15. PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
16. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013. ISBN 978-80-261-0260-1.

17. SlidePlayer. *Strojírenství Strojírenská technologie Tepelné zpracování kovů* [online]. c2017 [vid. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2763926/>
18. Techni Eshop. *Otočný šroubovák NOGA 3 NG1003* [online]. [vid. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.techni-eshop.cz/otocny-skrabak-noga-3-ng1003>
19. Veos. *Náradie pre stavbu, dielňu, domácnosť* [online]. c2011 [vid. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.veos.sk/pilnik-na-kov-200-2-mm-p1593>
20. Náradí Doležalová s.r.o. *Internetový obchod s náradím* [online]. [vid. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.narex-makita.cz/pneumaticke-naradi/pneu-brusky/extol-gd-170/>
21. MM Průmyslové spektrum. *Alkalické černění oceli* [online]. 2008 [vid. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli.html>
22. CHROMTech. *Alkalické černění oceli* [online]. [vid. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.chromtech.cz/nabidkamenu/cerneni>
23. Mitutoyo. *Coordinate Measuring Machines* [online]. [vid. 2017-03-30]. Dostupné z: [http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CNC%20CMM,%20CRYSTA-Apex%20S%207106/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/191-254/index.xhtml](http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CNC%20CMM,%20CRYSTA-Apex%20S%207106/$catalogue/mitutoyoData/PR/191-254/index.xhtml)
24. Opršál, Ladislav. *Návrh výroby jednoúčelového stupňovitého obráběcího nástroje*. Brno 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63 s. 3 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
25. Ecatalog Mitutoyo. *Coordinate Measuring Machines* [online]. c2017 [vid. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://ecatalog.mitutoyo.com/Crysta-Apex-S-5007009001200-Series-191-Standard-CNC-CMM-C1812.aspx>
26. CMT industrial solutions. *Catalogue* [online]. c2017 [vid. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.cmtindustrial.com/catalogue/group/103>
27. MM Průmyslové spektrum. *Nové trendy produktivního frézování* [online]. c2017 [vid. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/nove-trendy-produktivniho-frezovani>
28. GREENBAU. *MU - 500VA* [online]. [vid. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://greenbau.ro/mu-500va/>
29. MAQ CENTER. *Machining centers* [online]. [vid. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.maqcenter.com/en/products/machining-centers/multitasking/mu-500va-1.html>
30. PRECIZ s.r.o. *Převodník materiálů* [online]. c2012 [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.7225>
31. BOLZANO. *Přehled vlastností oceli 42CrMo4* [online]. [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf
32. Feron. *Materiálové normy* [online]. 2014 - 2017 [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php

33. Michovský - TOOLS s.r.o. *Kalibry a měřidla* [online]. [vid. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.nastroje.cz/kalibry-a-meridla>
34. Iscar. *eCatalog* [online]. c2017 [vid. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
ČSN	Česká státní norma
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EN	Evropská norma
HRC	Tvrdost podle Rockwella
HV	Tvrdost podle Vickerse
NC	Numerical Control
USB	Universal Serial Bus
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
D	[mm]	průměr nástroje
F_{ci}	[N]	řezná síla
F_{ceNi}	[N]	kolmá řezní síla
F_{fi}	[N]	posuvová řezná síla
F_{ftNi}	[N]	kolmá posuvová řezná síla
F_i	[N]	celková řezná síla
H	[mm]	hloubka odebírané vrstvy
KV	[%]	nárazová práce
L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvového pohybu
N	[ks]	počet vyráběných kusů za rok
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
S_f	[ks]	spotřeba monolitních fréz
S_{VBD}	[ks]	spotřeba vyměnitelných břitových destiček

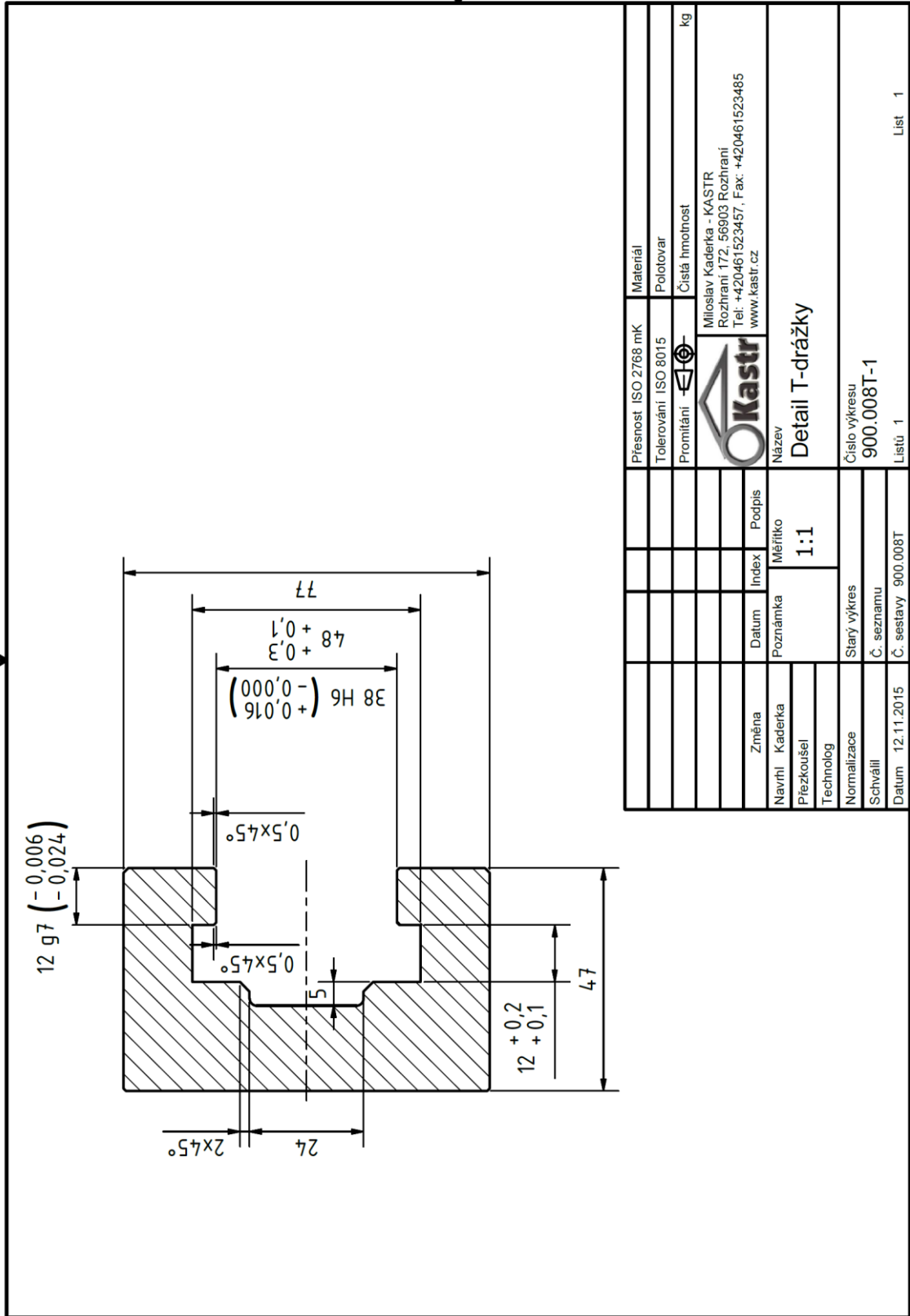
T_f	[min]	trvanlivost monolitní frézy
T_{fo}	[min]	trvanlivost monolitní frézy po ostření
T_{VBD}	[min]	trvanlivost vyměnitelných břitových destiček
Z	[%]	kontrakce
a	[ks]	počet přeastření nástroje
b	[ks]	počet břitů
l	[mm]	délka obráběné plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n_s	[min ⁻¹]	frekvence otáčení broušícího kotouče
n_w	[min ⁻¹]	frekvence otáčení obrobku
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
v_e	[m·min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
v_f	[mm·min ⁻¹]	posuvová rychlost
v_{fa}	[m·min ⁻¹]	axiální rychlost posuvu stolu
v_{fr}	[m·min ⁻¹]	radiální rychlost posuvu stolu
v_{ft}	[m·min ⁻¹]	tangenciální rychlost posuvu stolu
φ_i	[°]	úhel natočení zubu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres detailu T-drážky
Příloha 2 Výkres speciálního nástroje pro soustružení
Příloha 3 Výkres speciálního nástroje

PŘÍLOHA 1

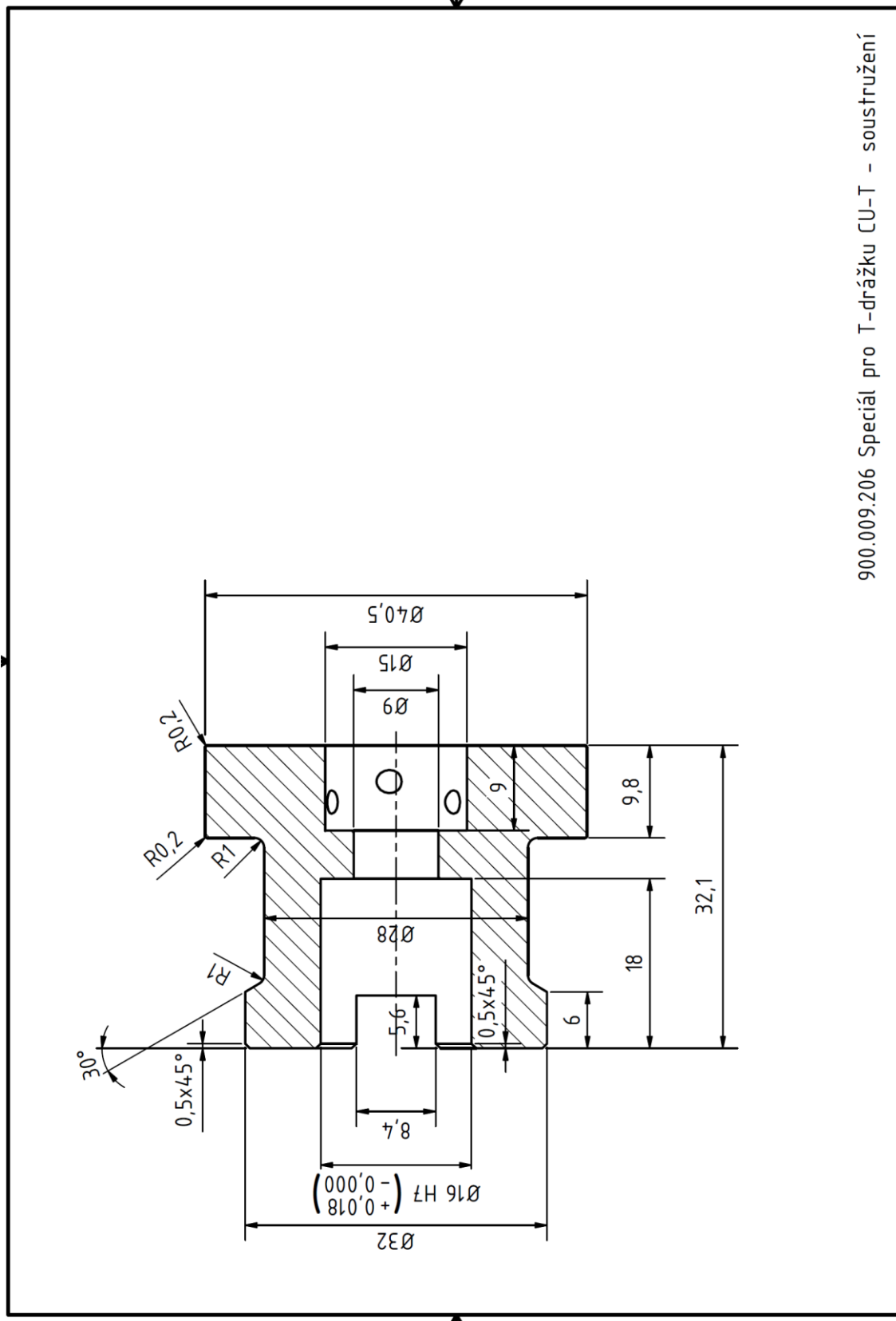
Výkres detailu T-drážky



Presnost ISO 2768 mK	Materiál	
Tolerování ISO 8015	Polotovár	
Promítání	Čistá hmotnost	kg
	Miloslav Kaderka - KASTR Rozhraní 172, 56903 Rozhraní Tel: +420461523457, Fax: +420461523485 www.kastr.cz	
Změna	Datum	Index
Navrhl Kaderka	Poznámka	Podpis
Prozkoušel		Merítko
Technolog		1:1
Normalizace	Starý výkres	
Schwábil	Č. seznamu	
Datum 12.11.2015	Č. sestavy 900.008T	
		Číslo výkresu 900.008T-1
		Listů 1
		List 1

PŘÍLOHA 2

Výkres speciálního nástroje pro soustružení



PŘÍLOHA 3

Výkres speciálního nástroje

