



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY STÍRACÍ DESKY

A TECHNOLOGICAL PREPARATION OF THE WIPING PLATE PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Balhar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. David Balhar
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Akademický rok:	2017/18

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:

Technologická příprava výroby stírací desky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologické přípravy výroby stírací desky, výroba, vyhodnocení.

Cíle diplomové práce:

- Teoretický rozbor problému
- Návrh alternativních výrobních technologií
- Realizace obrábění, technologicko–ekonomické vyhodnocení

Seznam doporučené literatury:

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

GUO, Y. B., LI, W., JAWAHIR, I. S. Surface Integrity Characterization and Prediction in Machining of Hardened and Difficult to Machine Alloys: a State-of-Art Research. Review and Analysis Mach. Sci. Technol., 2009, 13. pp. 437–470.

BARÁNEK, I. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. Slovensko: TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne. 112 s. ISBN 80-8075-013-0.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástrojů. VŠ učebnice. Brno: CERM, 2006. 230 s. ISBN 80-214-2374-9.

BARÁNEK, I. a ŠANDORA, J. Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky. Trenčín: TnUAD, 2004. 212 s. ISBN 80-8075-013-0.

SCHRADER, G.F., ELSHENNAWY A. K., DOYLE, L. E. Manufacturing processes and materials. [cit. 25. 10 2017]. Dostupné na World WideWeb:

http://books.google.cz/books?id=Nz2wXvmkAF0C&pg=PT214&dq=metal+casting+materials+isbn&hl=cs&ei=bnLJTSD1Mlr1sgbtoejqBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CEgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout technologickou přípravu výroby stírací desky. Vypracování je rozděleno do čtyř kapitol. První kapitola popisuje tvářecí nástroj (funkci a konstrukci). V druhé kapitole je přehled technologií, které jsou použity pro výrobu desky. Nejdůležitější je však třetí kapitola, protože se zabývá hlavním výstupem, a to samotným návrhem technologické přípravy výroby. Ve čtvrté kapitole je výroba vyhodnocena z ekonomického hlediska.

Klíčová slova

technologická příprava výroby, obrábění, technologický postup, tvářecí nástroj, stírací deska

ABSTRACT

The main aim of this master's thesis is to propose a technological preparation of the wiping plate production. Elaboration is divided into four chapters. The first chapter describes forming tool (function and construction). In the second chapter is technologies overview, which are used for the wiping plate production. The most important is the third chapter, because it deals with the main output, and the actual proposal of technological preparation of the production. In the fourth chapter, production is reviewed economically.

Key words

technological preparation of production, machining, technological process, forming tool, wiping plate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BALHAR, David. *Technologická příprava výroby stírací desky*. Brno 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 74 s. 1 příloha. prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologická příprava výroby stírací desky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21.5.2018

.....
Datum

.....
David Balhar

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu technického úseku Davidu Göltnerovi za zprostředkování diplomové práci ve firmě BRANO a.s. Poděkování patří také pracovníkům nástrojárny za ochotu a za pomoc zorientovat se ve výrobním procesu. Zejména CNC programátorovi Karlovi Neuwirthovi a mistrovi výroby Romanu Búdovi. Nakonec bych chtěl také poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 POSTUPOVÝ NÁSTROJ	9
1.1 Funkce postupového tvářecího nástroje	9
1.2 Stavba tvářecího nástroje	11
1.3 Stírací deska	12
2 POUŽITÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	15
2.1 Pálení laserem	15
2.2 Čelní frézování.....	16
2.3 CNC obrábění	18
2.4 Vrtání	21
2.5 Tepelné zpracování	24
2.6 Broušení	29
2.7 Elektroerozivní drátové řezání	35
3 VYPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉ PŘÍPRAVY VÝROBY	37
3.1 Volba polotovaru	41
3.2 Frézování základního tvaru.....	44
3.3 Vrtání otvorů.....	48
3.4 CNC frézování	50
3.5 Tepelné zpracování stírací desky	55
3.6 Broušení stírací desky	56
3.7 Elektroerozivní drátové řezání složitých kontur	59
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
4.1 Zhodnocení z hlediska časů operací	63
4.2 Zhodnocení z hlediska výrobních nákladů	65
ZÁVĚR.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71
SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

Téma diplomové práce poskytla firma Brano a.s., konkrétně pracoviště nástrojárna umístěna v hlavním sídle společnosti v Hradci nad Moravicí. Produktové portfolio tohoto podniku tvoří především součásti do automobilového průmyslu. Vyrábějí se zde dveřní systémy (zámky, otevírání dveří, apod.), zvedací zařízení, závěsy kapoty atd.

V produktech se nachází mnoho plastových a tvářených součástí, proto jsou ve firmě také umístěna pracoviště nástřihová dílna a nástrojárna, ve které se vyrábí potřebné tvářecí nástroje.

Diplomová práce spočívá ve vypracování technologické přípravy výroby stírací desky dle výkresu (viz příloha 1). Je to součást, která je montována v postupovém tvářecím nástroji a slouží ke stírání nástřihu ze střížníků. Práce se zaměřuje na všechny etapy výroby od volby polotovaru až po výrobu finálního výrobku.

1 POSTUPOVÝ NÁSTROJ

Vyráběná součást bude montována do postupového tvářecího nástroje a bude sloužit ke stírání nástřihu ze střížníků, aby na nich neulpíval. Hotový nástroj je zachycen na obr. 1.

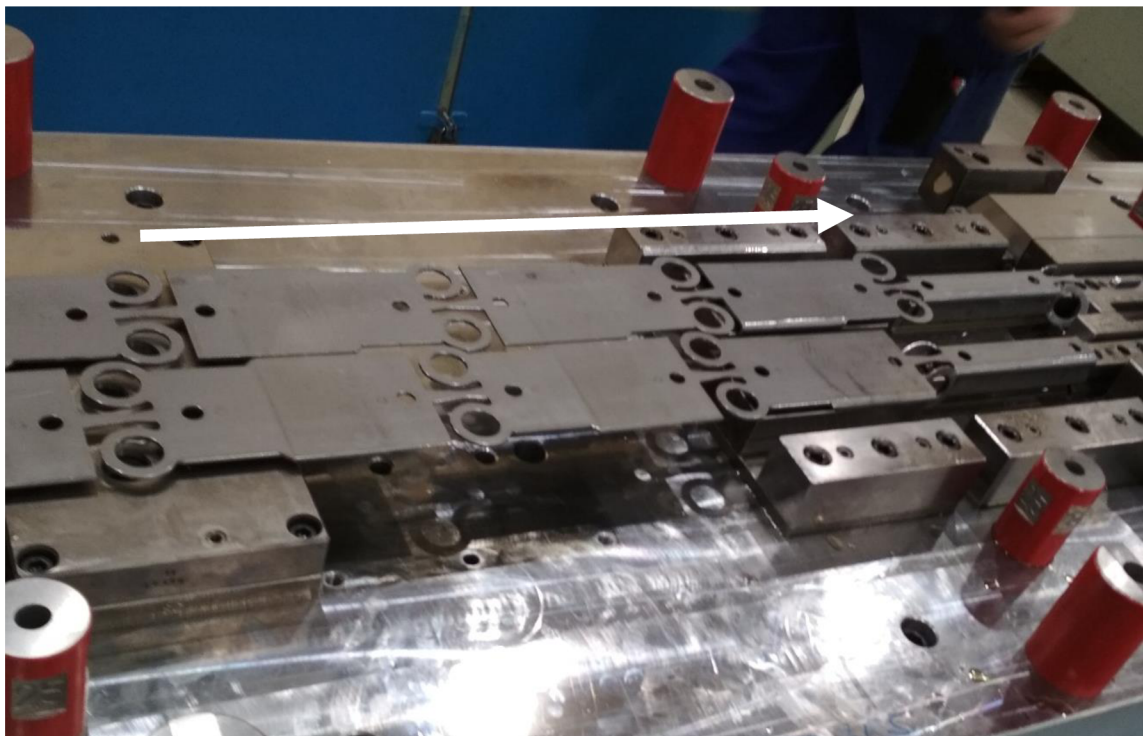


Obr. 1 Postupový tvářecí nástroj.

1.1 Funkce postupového tvářecího nástroje

Jedná se o typ tvářecího nástroje, který se vyskytuje velmi často. Slouží k výrobě výlisků z dlouhého ocelového pásu dodávaného ve svitcích. Výhodou je, že se jedná o vysoce produktivní technologii, proto se využívá pro sériovou a hromadnou výrobu. Na jeden zdvih vykoná nástroj více operací a posouváním pásu mezi zdvihy vzniká postupně finální výrobek. Při poslední operaci je výlisek odstřižen. Nevýhodou této technologie je nákladná výroba nástroje.

Část kovového pásu v nástroji se nazývá nástřih. Po zastavení stroje a odmontování horní části nástroje lze na nástřihu zřetelně vidět, jak jdou operace po sobě a také postupné vytváření hotové součásti. Část nástřihu lze vidět na obr. 2. Na obrázku jde vidět, že se nejedná pouze o stříhání, ale je zde také zařazena 1 ohybová operace. To znamená, že jde o sdružené postupové stříhadlo. Dále potom operace, kde figuruje zvolená stírací deska je na obr. 3. Šipka na obrázku znázorňuje směr postupného vytváření výlisků.



Obr. 2 Nástřih.



Obr. 3 Konkrétní operace.

1.2 Stavba tvářecího nástroje

Základní prvky nástrojů pro plošné tváření jsou pracovní části. Všechny tyto části musí být vůči sobě přesně geometricky polohovány, aby technologie splnila požadavky na přesnost. Z toho vyplývá, že musí být také přesnost výroby jednotlivých součástí vyšší [1].

V tab. 1 jsou uvedeny základní konstrukční prvky nástroje a jejich účel.

Tab. 1 Účel jednotlivých prvků ve střížném nástroji [1].

Název	Účel
Střížnice	Je to činná část upevněna na základové desce. Střížnice obsahuje střížné otvory s tzv. střížnými hranami, které mají tvar odpovídající stříhanému tvaru.
Střížník	Jedná se o protikus střížnice a je to pracovní část, která uskutečňuje samotné prostřížení plechu (nástřihu). Střížníky jsou nejvíce namáhány, proto se vyrábí z nástrojové oceli. Jejich horní část je zasazena v kotevní desce.
Základová deska	Je to deska, která slouží k upevnění na stole lisu. Bývá rozměrově větší než ostatní součásti. Pod otvory ve střížnici jsou tzv. skluzy, aby byl možný odvod výstřížků z pracovního prostoru. Materiál základové desky se volí buď běžná konstrukční ocel (např. 11500 dle ČSN), nebo u větších nástrojů šedá litina 42 2425 dle ČSN. Z důvodu vysoké hmotnosti nástroje je deska opatřena manipulačními otvory.
Upínací deska	Plní dvě funkce: <ul style="list-style-type: none"> • upnutí do beranu lisu, • podepření střížníků a spojení s kotevní deskou a vložkou. Materiál upínací desky: konstrukční ocel (např. 11500 dle ČSN), nebo šedá litina.
Kotevní deska	Slouží k uložení střížníků. Mají zahlobení, aby byly zachyceny stírací síly. Materiál kotevní desky: 11500 dle ČSN, nebo pro vyšší výkony nástrojová uhlíková ocel tepelně zpracovaná.
Vodící deska	Je použita k vedení střížníků, aby nedošlo k porušení materiálu vzpěrem. Použití vodící desky je podmíněno štíhlostním poměrem: $\frac{l}{d} > 4$... není potřeba vedení. l ... délka střížníku [mm] d ... průměr střížníku [mm]
Vodící lišta	Vede pás, nebo svitek v pracovním prostoru postupového nástroje. Avšak v této diplomové práci se jedná o nástroj, kde je vodící lišta nahrazena vodícími válečky (viz. obr. 6).
Hledáčky	Slouží k navedení pásu do požadované pozice. Jsou to válečky, které zapadnou do technologických otvorů vytvořených na nástřihu a tím je zajištěna správná délka kroku mezi zdvihy beranu lisu. Používají se při mechanizaci podávání polotovaru.

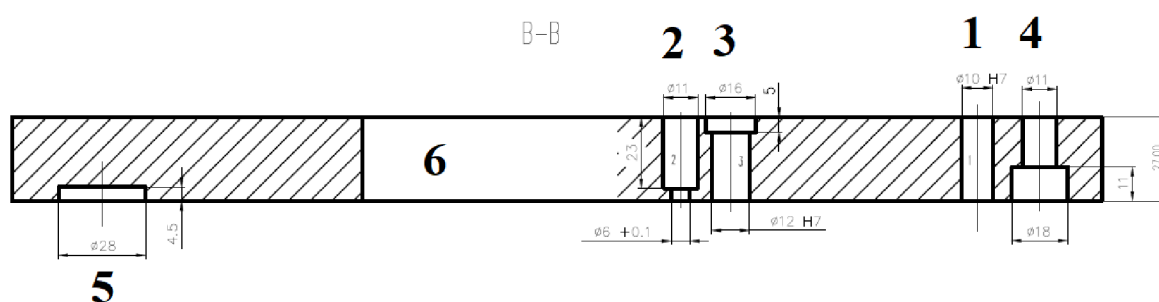
1.3 Stírací deska

V některých nástrojích je potřeba zajistit, aby nástřih neulpíval na střižnicích. Mohlo by to mít negativní vliv na tvářecí proces. K tomu slouží stírací deska. Tato diplomová práce se týká právě výroby jedné z několika stíracích desek ve vybraném postupovém stříhadle.

Stírací deska je pevně spojena s vodící deskou, proto při pohybu střižníků nahoru dochází k setření ocelového pásu a k zajištění bezpečného provedení následujícího zdvihu lisu.

Konkrétní vyráběná deska má několik různých otvorů, které jsou důležité pro správnou funkci nástroje. Jejich funkce je vysvětlena v tab. 2.

Vysvětlení funkcí jednotlivých prvků na desce viz tab. 2 (označení viz obr. 4):



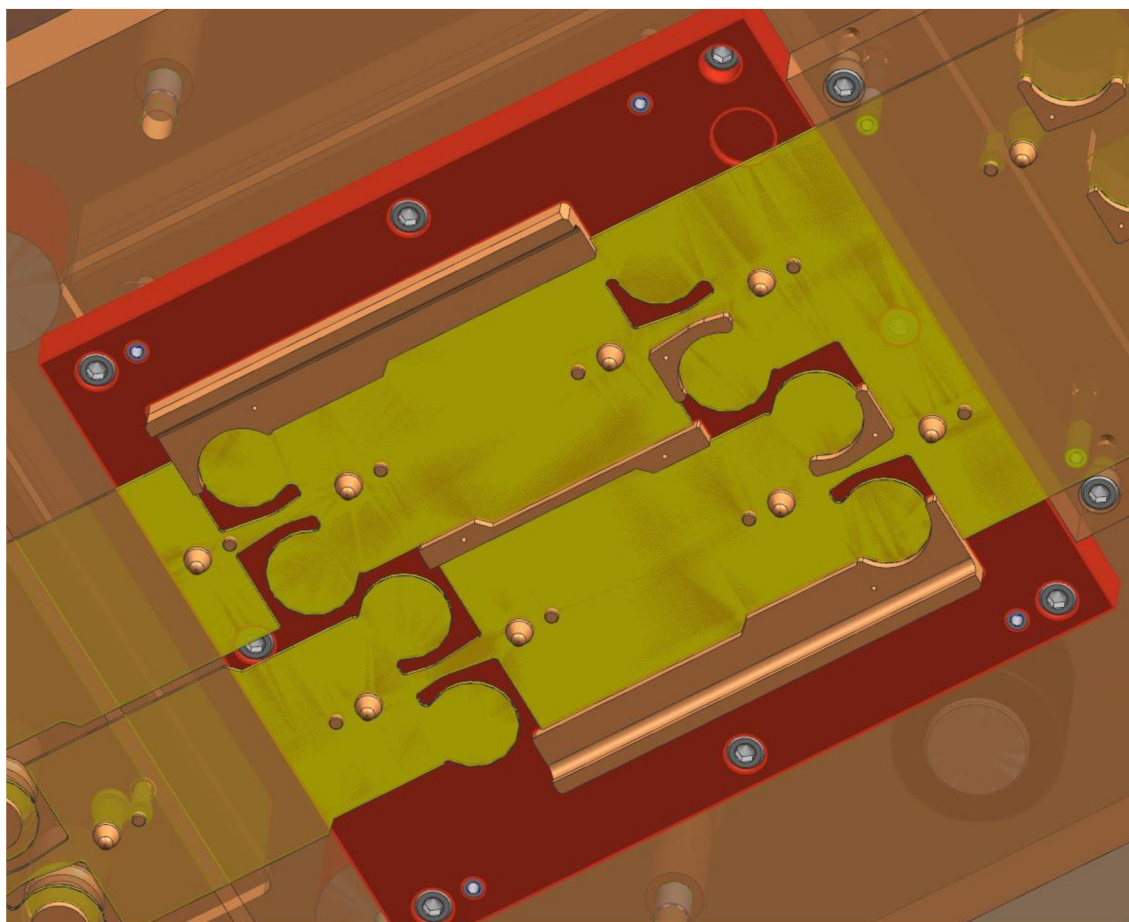
Obr. 4 Označení prvků.

Tab. 2 Funkce jednotlivých prvků stírací desky.

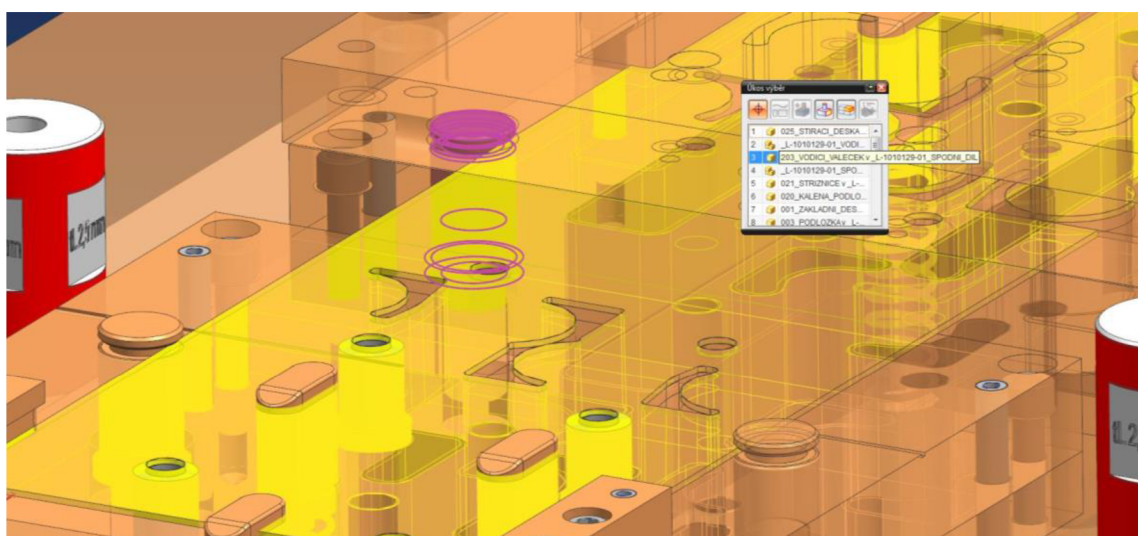
Číslo	Popis	Funkce
1	$\varnothing 10 H7$	(4X) Otvory určené k přesnému ustavení stírací desky.
2	$\varnothing 11$ $\varnothing 6^{+0,1}_0$	(8X) Otvory pro odlepovací kolíky. Slouží k oddělení nástřihu při pohybu nahoru.
3	$\varnothing 16$ $\varnothing 12 H7$	(8X) Otvory určené pro vedení hledáček. V nástřihu jsou technologické otvory, do kterých hledáčky zajedou a tím ustaví ocelový pás do přesné polohy.
4	$\varnothing 18$ $\varnothing 11$	(8X) Otvory pro šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, které slouží k připevnění stírací desky.
5	$\varnothing 28 - 4,5$	(1X) Zhloubení určené pro hlavu vodícího válečku, který je určen k vedení pásu (viz. obr. 6).
6	Tvarové otvory	Otvory důležité pro průchod střižníků. Mají tvar střižníku, ale velikosti zvětšené o vůli.

Na obr. 5 je možno vidět funkce jednotlivých otvorů.

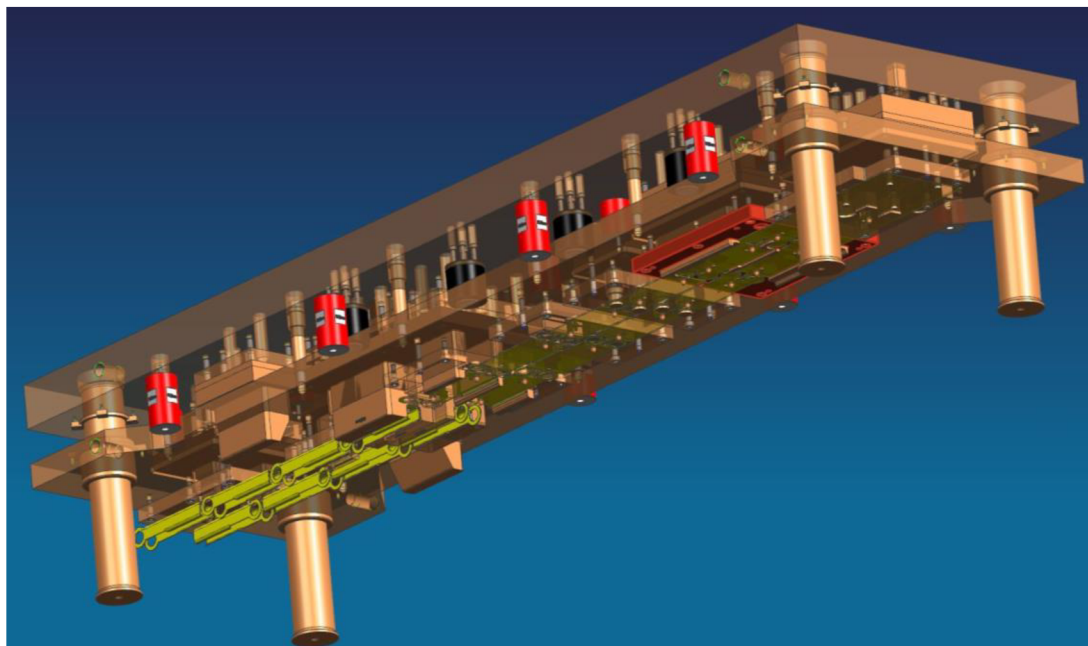
Poloha stírací desky vůči celému nástroji lze vidět na obr. 7. Na obrázku je pouze horní část nástroje. Je zřejmé že se jedná pouze o jednu z několika stíracích desek, které jsou v nástroji zakomponovány.



Obr. 5 Funkce otvorů na stírací desce.



Obr. 6 Vodící váleček.



Obr. 7 Horní díl nástroje.

2 POUŽITÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

K výrobě stírací desky je potřeba použít několik různých technologií, které je potřeba uvést a charakterizovat je.

Před samotným opracováváním se převezme polotovár. Poté se opracuje obrys desky. V případě této práce se základní tvar desky vyrobí frézováním, ale často se obrys vyrábí pomocí technologie pálení, které je z hlediska povrchu dostačující, protože se nejedná o funkční plochy.

Následuje CNC frézování odlehčovacích otvorů a vrtání, pro které je nutné vytvořit CNC program s pomocí CAM systému. Následuje kalení na požadovanou tvrdost. Po kalení se součást brousí na finální tloušťku a také jedna boční stěna z důvodu vytvoření technologické základny pro ustavování. Po kalení se dokončují přesnější kruhové otvory a kontury otvorů pro průchod střížníků pomocí elektrojiskrového řezání.

2.1 Pálení laserem

Dělení materiálu pomocí laseru je prováděno především v automatickém chodu. Princip laserového řezání je zesílení světla prostřednictvím emise záření. Vyzařuje se vysoká koncentrace laserové energie na poměrně malou plochu. Dochází k odpařování materiálu vlivem vysoké teploty, a proto se jedná o beztržkové opracování. Jednou z výhod technologie je tedy, že se nemusí řešit odpad ve formě třísek [2].

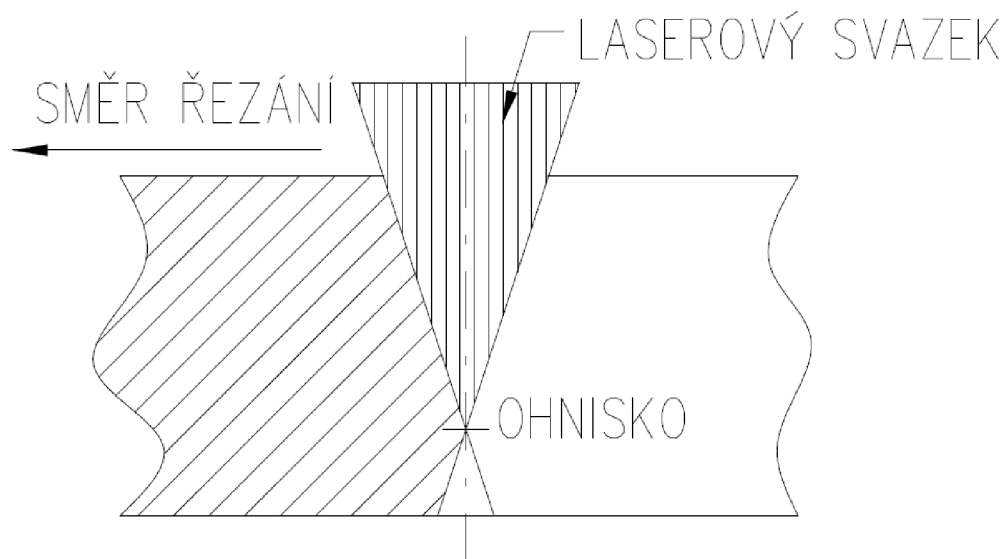
Další výhody použití laseru jsou [3]:

- vysoká rychlost řezání,
- dostatečně kolmý řez,
- dostačující přesnost.

Princip dělení materiálu pomocí laseru:

Pro řezání nástrojových ocelí se používá tavné řezání. Rovnoběžný laserový paprsek se koncentruje do ohniska, kde dochází k tavení až sublimaci materiálu. Vzniká spára, ve které se vyskytuje roztavený kov, proto je nutné ho odstranit. K tomu slouží tzv. řezný plyn se kterým tavenina odchází. Pro tavné řezání platí, že je zde vysoká spotřeba plynu. Jedná se většinou o proud dusíku o tlaku až 3,2 MPa. Plochy materiálu po řezu jsou lesklé, protože asistenční plyn má také inertní účinek [3,4].

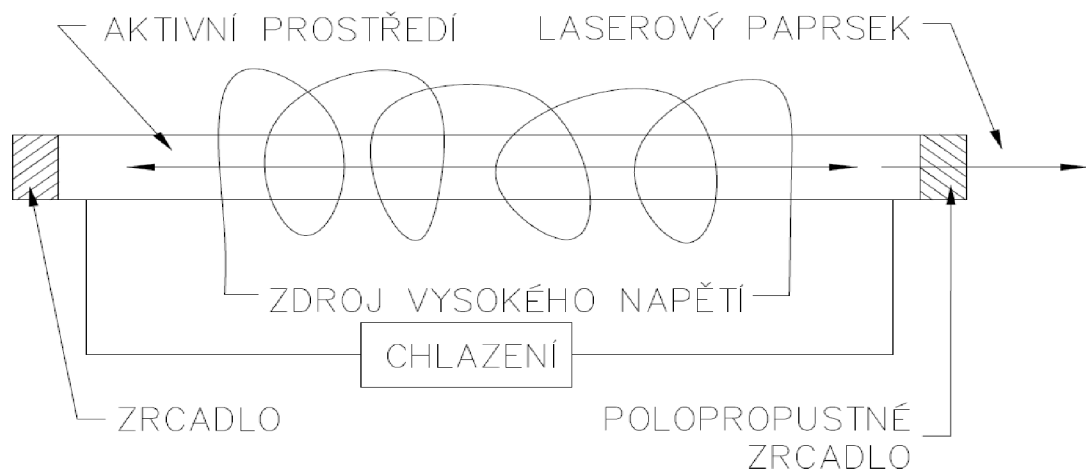
Schéma řezu při tavném řezání je na obr. 8. Pro oxidační řezání by byl použit řezný plyn kyslík a ohnisko by bylo blízko k hornímu povrchu. To se ale pro nástrojové oceli nepoužívá.



Obr. 8 Tavné řezání [3].

Princip vytvoření laserového paprsku

Na obr. 9 lze vidět schéma, které vysvětluje, jak laserový paprsek vzniká. Buzením pomocí vysokého napětí je dodávána laseru energie. Světlo se odrazí mezi dvěma zrcadly, kdy jedno je polopropustné a při dosažení určité intenzity jím projde světelný impulz jako laserový paprsek [5].



Obr. 9 Obecné schéma laseru [5].

2.2 Čelní frézování

Frézování patří mezi technologie třískového obrábění, kdy nástroj obsahuje více než jeden břit. Hlavní řezný pohyb koná nástroj (rotační pohyb). Nástroj pro frézování se nazývá fréza. Vedlejší pohyb koná stůl s obrobkem (posuv stolu).

Jak je již patrné z názvu, obrábění je prováděno čelem nástroje, na kterém jsou břity. Nejpoužívanější jsou nástroje s VBD (vyměnitelnými břitovými destičkami). Příklad takové frézy je na obr. 10. Jedná se o plošné frézování.



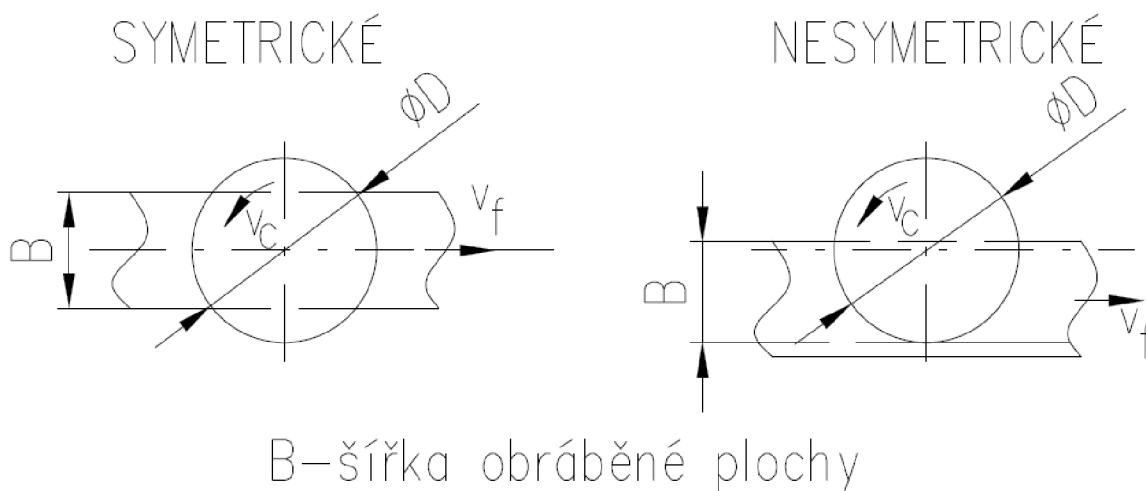
Obr. 10 Čelní fréza s VBD [6].

Důležité parametry procesu frézování jsou uvedeny v tab. 3. Jsou to parametry, které je potřeba vhodně zvolit, aby byla zajištěna co nejproduktivnější výroba.

Tab. 3 Základní parametry pro frézovací operace.

Parametr	Značka	Jednotka
Řezná rychlost	v_c	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$
Otáčky	n	$[\text{min}^{-1}]$
Posuv	f	$[\text{mm}]$
Posuv na zub	f_z	$[\text{mm}]$
Posuvová rychlost	v_f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
Šířka záběru hlavního ostří	a_p	$[\text{mm}]$
Tvar VBD	-	-
Úhel hřbetu VBD	γ	$[\text{°}]$
Úhel břitu VBD	β	$[\text{°}]$
Úhel čela VBD	α	$[\text{°}]$

U čelního frézování se může jednat o symetrické, nebo nesymetrické (viz obr. 11). Rozdíl je v poloze osy frézy vůči frézované ploše [7].



Obr. 11 Symetrické a nesymetrické frézování [7].

Základní vztahy pro frézováníŘezná rychlost v_c [8]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}] \quad (1)$$

Posuv na otáčku f_n [8]:

$$f_n = f_z \cdot z [mm] \quad (2)$$

Posuvová rychlost v_f [8]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n [mm \cdot \min^{-1}] \quad (3)$$

Vzhledem k ekonomickému hodnocení technologie je důležité zjistit čas práce na stroji. Kromě vedlejších časů (upínání obrobku apod.) lze vypočítat strojní čas t_{AS} [8]:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} [min] \quad (4)$$

2.3 CNC obrábění

Další potřebná technologie je CNC frézování. Jedná se o frézování, které je číslicově řízené počítačem. Řídící program je buď napsán ručně, nebo vygenerován pomocí CAM systému.

Pro řízení stroje jsou důležité vstupní informace, které jsou obsaženy v programu [7]:

- informace o pohybu frézy,
- řezné podmínky,
- organizace, posloupnost úkonů.

Tyto programy jsou uloženy do řídicího počítače, odkud jsou volány obsluhou stroje podle potřeby.

Program se skládá z jednotlivých bloků, které obsahují slova. Každé slovo má svůj význam.

Struktura bloku se skládá z těchto funkcí [7]:

- číslo bloku,
- přípravná funkce,
- rozměrová funkce (přemístění v osách),
- funkce posuvu,
- funkce rychlosti otáčení vřetena,
- funkce, která vyvolá potřebný nástroj dle čísla pozice v zásobníku.

Význam nejčastějších znaků v bloku je uveden v tab. 4.

Tab. 4 Význam znaků v bloku CNC programu [7].

Znak	Význam
N	Číslo bloku
G	Přípravná funkce
M	Pomocná funkce
X, Y, Z	Pohyb ve směru os X, Y, Z
A, B, C	Úhlový rozměr kolem os X, Y, Z
F	Funkce posuvu
S	Funkce otáčení vřetena
T	Funkce pro vyvolání nástroje

Rozdělení CNC strojů dle řízení

Pravouhlé řízení [9]

je to nejstarší typ řízení. Provádí pohyby rovnoběžně s osami stroje. Jakmile dokončí pohyb v jedné ose, potom může obrábět v ose jiné. Používá se pro stroje, které nejsou příliš náročné. Jedná se například o vrtačky, soustruhy nebo pily. U frézování lze použít pouze u obrábění pravouhlých obrobků.

Řídicí systémy se souvislým řízením [9]

tyto systémy umožňují výpočet korekce a geometrie pohybu. Rozdělují se dále podle počtu řízených os najednou.

Jednoosé obrábění (1D) [9]

Pohyb je umožněn pouze v jedné ose (např. vrtačky).

Dvouosé obrábění (2D) [9]

Pohyb je umožněn ve dvou osách. Využívá se hlavně u soustruhů (pohyb v osách x-z).

Dva a půl-osé obrábění (2,5D) [9]

Umožňuje lineární, nebo kruhovou interpolaci ve předem zvolené rovině (x-y, x-z, y-z). Používá se u frézky. Jde o najetí na hloubku řezu (např. osa z) a následně obrábí v kolmých osách (x-y).

Třiosé obrábění (3D) [9]

Umožňuje obrábět ve všech třech osách (x, y, z) najednou. Je zde propočítáván pohyb pohyb nástroje ve dvou osách v závislosti na třetí ose.

Čtyřosé obrábění (4D) [9]

Obrábění probíhá ve všech třech osách, a navíc je možnost nástroj naklopit kolem os do jakékoli podoby.

Pětiosé obrábění (5D) [9]

Jedná se o nejvyšší úroveň CNC stroje. Lze obrábět i velmi složité tvary (např. lopatky turbín).

CAM systémy

Vstupní data pro CAM systém jsou 3D modely. Tyto modely se vytváří v CAD systémech, nebo jednodušší se dají vytvořit přímo v CAM systému. Často se jedná o přídatné moduly vyšších CAD systémů.

Podstatou CAM systému je vytvořit pomocí 3D modelu dráhy obráběcích nástrojů. K tomu mají jednotlivé softwary k dispozici různé funkce. Existuje několik obráběcích strategií, které lze pro tvorbu drah využít. Možnosti a množství strategií se mírně liší pro různé CAM systémy.

Přehled nejpoužívanějších softwarů [10]:

- CATIA,
- PowerMILL,
- FeatureCAM,
- NX CAM,
- EdgeCAM,
- SolidCAM.

Podobně jako pro CAM systémy existují na trhu několik různých CNC softwarů od různých výrobců.

Zde jsou uvedeny 3 nejžádanější produkty:

- Heidenhain,
- Sinumerik (výrobce-Siemens AG),
- Fanuc.

2.4 Vrtání

Vrtání je technologie třískového obrábění, kdy vzniká kruhový otvor. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho obvykle nástroj (vrták). Osa nástroje je ve většině případů kolmo k ploše materiálu, do kterého vstupuje. Vedlejší pohyb (posuv) potom probíhá ve směru jeho osy a rovněž ho vykonává vrták [7].

Charakteristická vlastnost u technologie vrtání je, že řezná rychlost v_c není konstantní po celém ostří. Na obvodu je maximální a v ose nástroje je nulová. Proto se řeznou rychlostí rozumí řezná rychlost na obvodu a počítá se z průměru vrtáku [11].

Vrták bývá většinou dvoubřítý nástroj. Existuje několik druhů vrtáků pro různé aplikace, které se konstrukčně liší.

Zde jsou uvedeny některé ze základních druhů:

Středící vrták

Slouží k navrtání středícího důlku. Středící důlek je určen k lepšímu zavrtání nástroje při následné vrtací operaci (viz obr. 12).



Obr. 12 Středící vrták [12].

Šroubovitý vrták

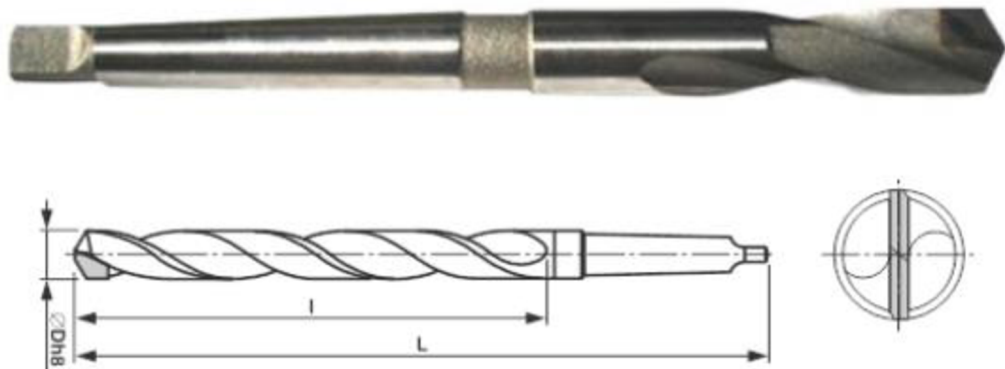
Je to nejběžnější typ vrtáku. Může být buď s kuželovou, nebo válcovou stopkou v závislosti na následném upínání do stroje. Kromě běžných středních délek mohou být krátké, ale i prodloužené. Na obvodu mají šroubovitou drážku, která slouží k odvodu třísek a umožňuje dobré chlazení. Tento nástroj je nejčastěji vyroben z rychlořezné oceli (viz obr. 13).



Obr. 13 Šroubovitý vrták [13].

Vrták s plátky ze SK

Jde o vrták obdobný, jako šroubovitý z hlediska funkce, ale místo běžné špičky má připájené destičky ze slinitého karbidu. Vrtáky jsou určeny pro vrtání přesných otvorů v tepelně zpracovaných ocelích a jiných hůře obrobitelných materiálech (viz obr. 14) [14].

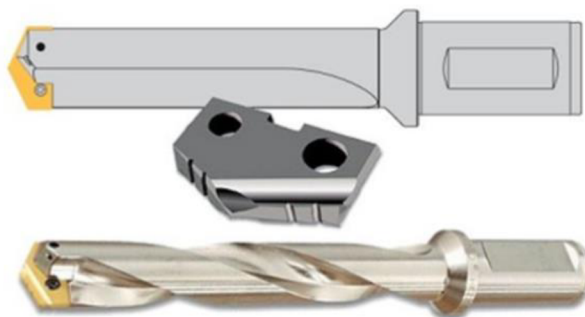


Obr. 14 Vrták s destičkami ze SK [14].

Kopinatý vrták

Je to nejstarší druh vrtáku a v současnosti se používá málo. Jeho výhodou je poměrně jednoduchá výroba, ale má také své nevýhody (viz obr. 15) [15]:

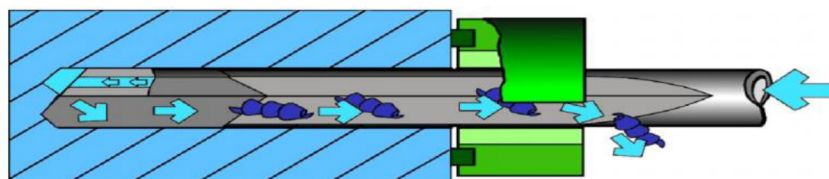
- špatný odvod třísek,
- špatná přesnost vrtaných děr,
- rychlé otupování ostří.



Obr. 15 Kopinatý vrták [15].

Hlavňový vrták

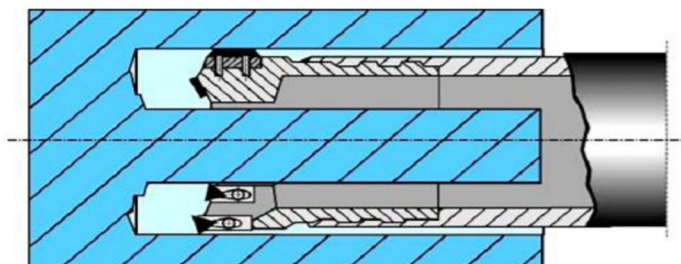
Vyznačuje se tím, že má jen jedno ostří. Používá se pro výrobu dlouhých, přesných a přímých děr. Mají kanálek, kterým je přiváděna procesní kapalina, která vyplachuje třísky ven z díry. Proces vyplachování je zřejmý z obr. 16.



Obr. 16 Dělový vrták [11].

Korunkový vrták

Jde o nástroj, kdy je obráběn průchozí otvor většího průměru. Kromě otvoru vzniká jádro, které lze následně využít. Funkce korunkového vrtáku je zřejmá na obr. 17.



Obr. 17 Korunkový vrták [11].

Vrtání lze provádět na různých typech strojů. Nejčastěji se provádí na vrtačce, CNC obráběcím centru, nebo na soustruhu. Na soustruhu jde o speciální případ, kdy je vrtáno v ose válcového obrobku a hlavní řezný pohyb koná obrobek. Tyto tři případy jsou uvedeny na obr. 18, 19 a 20.



Obr. 18 Vrtačka Proma PTB-16B/230 [16].



Obr. 19 CNC obráběcí centrum [17].



Obr. 20 Vrtání na soustruhu [18].

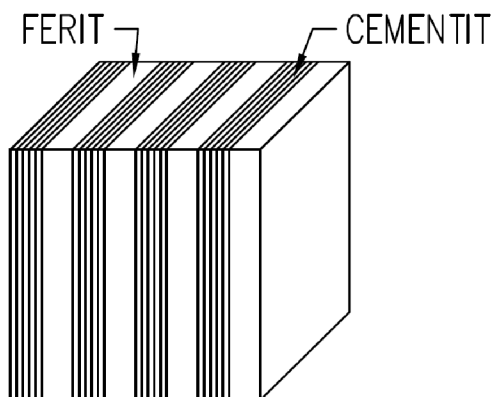
2.5 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování oceli znamená, že se obrobek zahřeje nad určitou teplotu a poté opět ochladí, čímž nastane překrystalizace a tím se změní mechanické vlastnosti materiálu. V této práci jsou důležité zejména tepelná zpracování, která se nazývají kalení a popouštění [19].

Kalení

Principem kalení je ohřátí nad teplotu překrystalizace a následné ochlazení, které proběhne tak rychle, že se přeměny částečně potlačí. Ocel se tedy nachází v nerovnovážném stavu. Nad teplotou horní přeměny je ocel ve stavu homogenního pevného roztoku v γ -železe. Teplota horní přeměny je pro oceli s různým obsahem uhlíku rozdílná (viz obr. 22).

Pohybuje se mezi 900–720 °C. Pod touto teplotou se oddělí krystaly Fe (α -železo) a zbývající tuhý roztok obohacující se uhlíkem až do obsahu 0,85 %. Při ochlazení oceli až na teplotu 720 °C se i pevný roztok (austenit) přemění na α -železo, ve kterém karbid železa není rozpustný. Stane se to z toho důvodu, že pevný roztok střídavě vylučuje Fe a karbid. Vzniká tak struktura s názvem perlit, která je schematicky znázorněna na obr. 21 [19].

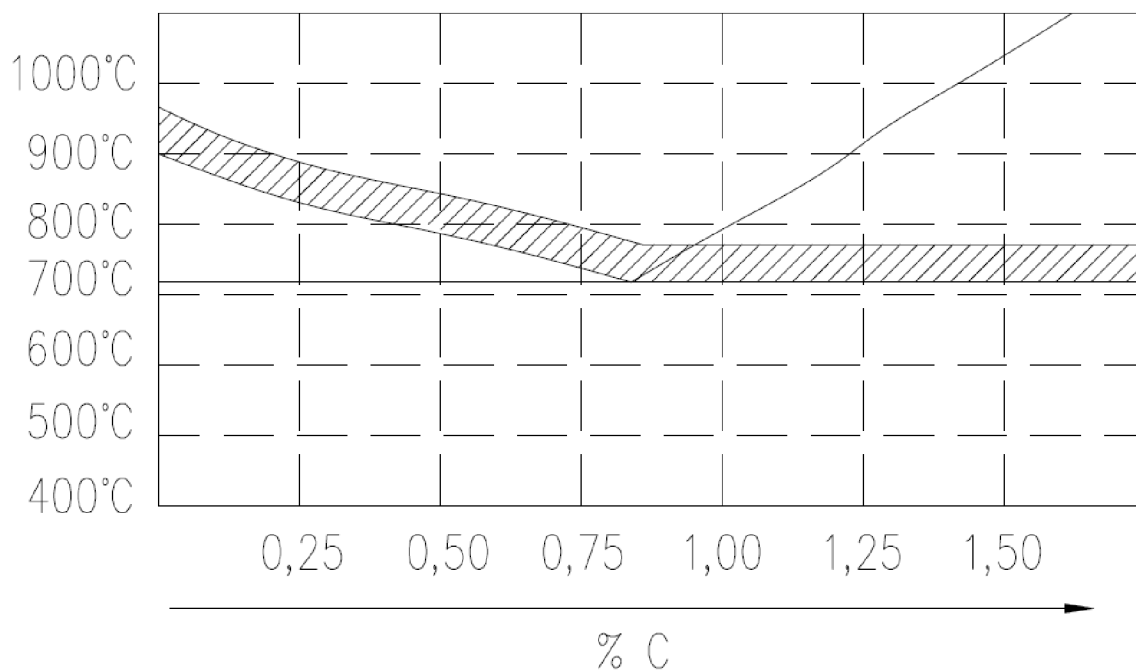


Obr. 21 Schématické znázornění perlitu [19].

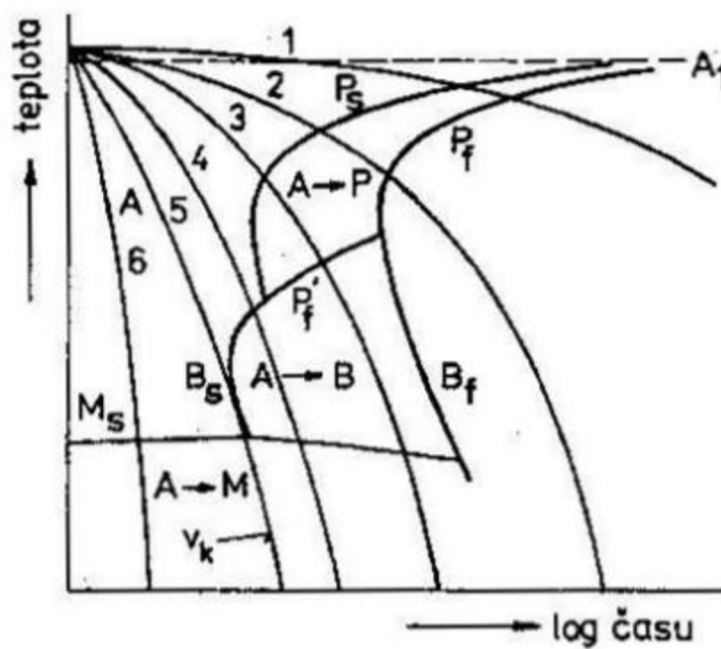
U ocelí nadeutektoidních, tedy s obsahem uhlíku nad 0,85 % horní i spodní přeměna je při stejné teplotě, a proto se neodlučuje železo (ferit). Dochází tedy k přímé přeměně austenitu na perlit. To se děje při velmi pomalém ochlazování. Při rychlém ochlazení se nestihne perlit vyvinout ve zřetelných destičkách, ale vzniknou destičky velice drobné. Při ještě větší rychlosti ochlazování se karbid už nemůže z α -železa uvolnit, i když je v něm nerozpustný a je s ním spoután i přesto. Vznikne tak nestálý krystalický útvar, který se nazývá martensit. Martensit se vyznačuje vlastností, že je velice tvrdý, a proto čím rychlejší bude ochlazování, tím více se v oceli vyskytuje a ocel je tím tvrdší [19].

Zjednodušeně lze říct, že kalení je proces, kdy je potřeba ocel zahřát nad teplotu horní přeměny a poté ocel rychle ochladit, aby vznikl tvrdý martensit. Obsah martensitu závisí, jak rychlé bude ochlazování. Pro jednotlivé materiály existují ARA diagramy, které znázorňují závislost rychlosti ochlazování na obsahu martensitu. Příklad ARA diagramu je uveden na obr. 23.

Oblast kalících teplot je na obr. 22. Ocel by se měla zahřát nad horní přeměnu přibližně o 30 °C [19].



Obr. 22 Oblast kalících teplot [19].



Obr. 23 Příklad ARA diagramu [20].

Jednou z nejdůležitějších vlastností oceli pro kalení je kalitelnost. Jedná se o schopnost oceli dosahovat vyšších tvrdostí po zakalení. Hlavní vliv na prokalitelnost má obsah uhlíku v oceli a teplota počátku a konce vzniku martenzitické struktury. Čím vyšší je obsah uhlíku, tím vyšší je tvrdost [21].

Další důležitou vlastností je prokalitelnost. To je schopnost získání požadované tvrdosti do určité hloubky po zakalení. Vysokou mají vysokolegované oceli. Čím vyšší je prokalitelnost, tím jsou stejnoměrnější hodnoty tvrdosti i na větších hladkých plochách [21].

Oceli určené ke kalení by měly mít také vysokou odolnost proti vzniku deformací, které mohou vznikat vlivem nerovnoměrného ohřevu, nebo nevhodného tvaru součástí. Nejnebezpečnější jsou pnutí vyvolána fázovými přeměnami při kalení v důsledku rozdílných objemů výchozí austenitické a konečné martenzitické nebo jiné fáze. Odstraňování těchto deformací je velmi nákladné, a proto je nutné na tuto problematiku brát ohled [21].

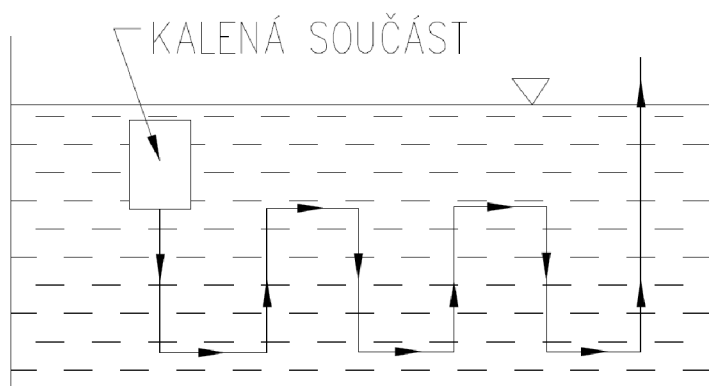
Rychlost ochlazování se dá nastavit vhodným kalícím prostředím. Kalící prostředí se dá rozdělit následovně [19]:

- voda a vodní roztoky,
- oleje, olejové emulze a tuky,
- vzduch.

Podle druhu materiálu se volí prostředí a podle tvaru a členitosti se volí pohyb součásti, nebo prostředí při chlazení [19].

Kalení ve vodě

Voda by měla být čistá bez kalu a jiných nečistot. Neměla by mít v sobě rozpuštěno mnoho kyslíčnicku uhličitého a kyslíku. Teplota vody se obvykle pohybuje mezi 20 až 40 °C. Přísada soli má určitý význam. Kalení do solných lázní má za následek, že se sníží objem plynů, které obklopují součást při zakalení. Tyto plyny snižují rychlost ochlazování, proto je potřeba plynný obal rozbít. Toho se dosahuje pohybem součásti dle obr. 24. U těžkých kusů je tento pohyb nahrazen prudkým prouděním vody. Naopak zpomalení ochlazování lze ovlivnit přísadami jako je např. mýdlová voda, glycerin, nebo vápenné mléko. Kalení do vody se používá především pro uhlíkové oceli s malým obsahem uhlíku u kterých je potřeba nejprudší zakalení [19].



Obr. 24 Technika pohybu součásti při kalení do vody [19].

Kalení v oleji

Kalení v oleji je mnohem méně prudké než kalení ve vodě. Je tomu tak proto, že oleje mají menší tepelnou vodivost a nízké výparné teplo. Netvoří se tak objemný plynový obal, ale pohyb součásti v lázni je nutný i zde, aby nedocházelo k vznícení a hoření par oleje. Teplota oleje se pohybuje mezi 30 a 60 °C. Olej se rychle otepluje, proto musí být zajištěno chlazení a promíchávání. Obecně platí, že čím řidší olej je, tím větší je rychlost ochlazování [19].

Kalení na vzduchu

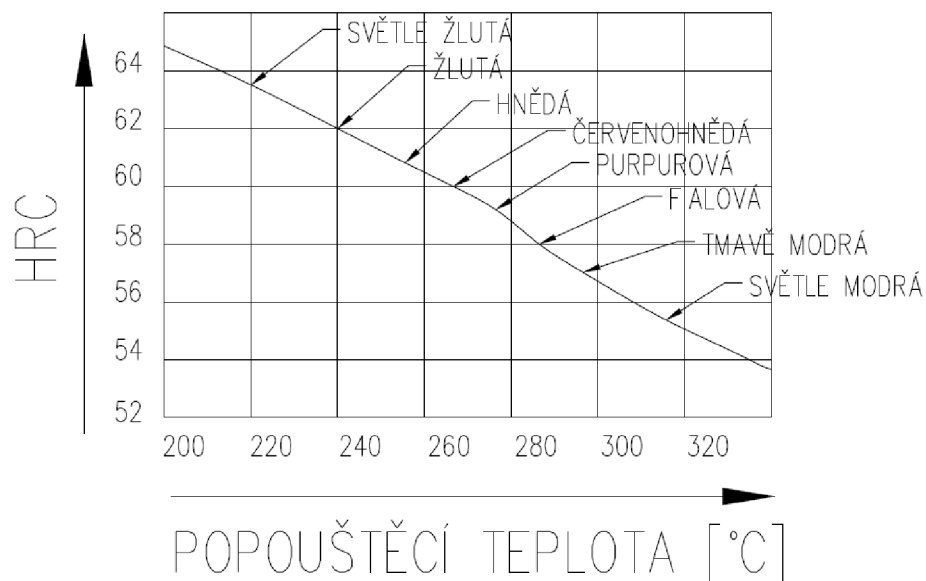
Jedná se o nejméně prudké kalení, a proto se používá u ocelí, které mají tak malou mezní rychlost ochlazování, že se martensit tvoří i při pozvolném ochlazování. Postačí klidný vzduch, nebo proudění vzduchu. Zdroj proudícího vzduchu jsou ventilátory a dmychadla. Proud musí být vhodně naveden, aby součást obklopoval rovnoměrně ze všech stran [19].

Popouštění

Popouštění je velice důležité tepelné zpracování, které následuje po kalení a udává materiálu konečné požadované vlastnosti. Po zakalení oceli je sice dosažena vysoká tvrdost a otěruvzdornost, ale na úkor nízké pevnosti a vysoké křehkosti.

Jde o zahřívání materiálu na popouštěcí teplotu. Křehký martensit, který je tvořený jehlicemi se pomocí postupného ohřívání začne měnit na jemnou zrnitou strukturu. Smyslem popouštění tedy je, aby ocel dosáhla vyšší pevnosti, nižší křehkosti a odolnost oceli proti nárazové práci [19].

Popouštěcí teploty se liší podle druhu oceli. Pro nástrojové oceli se jedná o teploty 150 až 350 °C a pro konstrukční oceli se jedná o vyšší teploty (450 až 650 °C). Na obr. 25 lze vidět, jak souvisí popouštěcí teplota s tvrdostí. Ocel se při různých teplotách odlišně zabarví, což lze na obrázku také vyčíst [19].



Obr. 25 Závislost HRC na popouštěcí teplotě pro uhlíkovou nástrojovou ocel [19].

2.6 Broušení

Když je součást tepelně zpracována, následuje technologie broušení, která vytváří finální rozměr a drsnost povrchu.

Broušení patří mezi abrazivní metody obrábění, kdy jsou používány nástroje s nedefinovanou geometrií břítu. Používá se u součásti, pro které je požadovaná vysoká přesnost. Pro aplikaci na konkrétní součást vytvářenou v rámci této diplomové práce se jedná o dokončovací metodu. Jde o jednu z nejvýznamnějších částí technologie výroby.

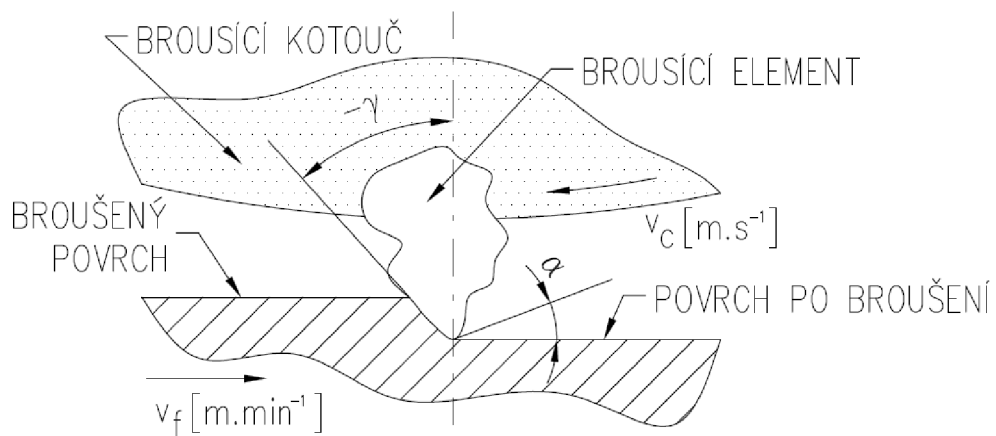
Pro nástroj (brousící kotouč) je typické, že zrna na jeho povrchu nejsou rozložena pravidelně a odebírají velké množství malých třísek. S rostoucí řeznou rychlostí roste úhel roviny stříhu a snižuje se primární plastická deformace v oblasti vytváření třísky. To má za následek, že se snižuje třecí síla. To vede ke zkrácení doby kontaktu mezi obrobkem a řezným klínem a po překročení mezní hodnoty se zmenšuje tepelné ovlivnění nástroje a obrobku [7].

Vlivem vysoké řezné rychlosti dochází k napětí v povrchové vrstvě obrobku. Kromě elastické a plastické deformace může docházet i ke změnám struktury. Podle velikosti změn dochází k tlakovému, nebo tahovému napětí. Tlakové napětí je žádoucí, protože zlepšuje odolnost proti otěru a zlepšuje únavovou pevnost. Tahové napětí má negativní vliv, protože snižuje únavovou pevnost [7].

Obecně má na brousící proces největší vliv [22]:

- počet zrn v kontaktu,
- doba kontaktu zrn s obráběným materiálem,
- kinematika broušení (vnější rotační, vnitřní rotační, nebo rovinné plochy),
- řezné podmínky,
- vlastnosti brousícího kotouče (zrnitost, pórovitost, brusivo, rozměry),
- materiál obrobku,
- upnutí obrobku,
- teplota v kontaktu zrn s obráběným materiálem,
- opotřebení,
- procesní kapalina.

Záběr brousícího elementu a jeho teoretická geometrie je naznačena na obr. 26.



Obr. 26 Brousíci element v záběru [7].

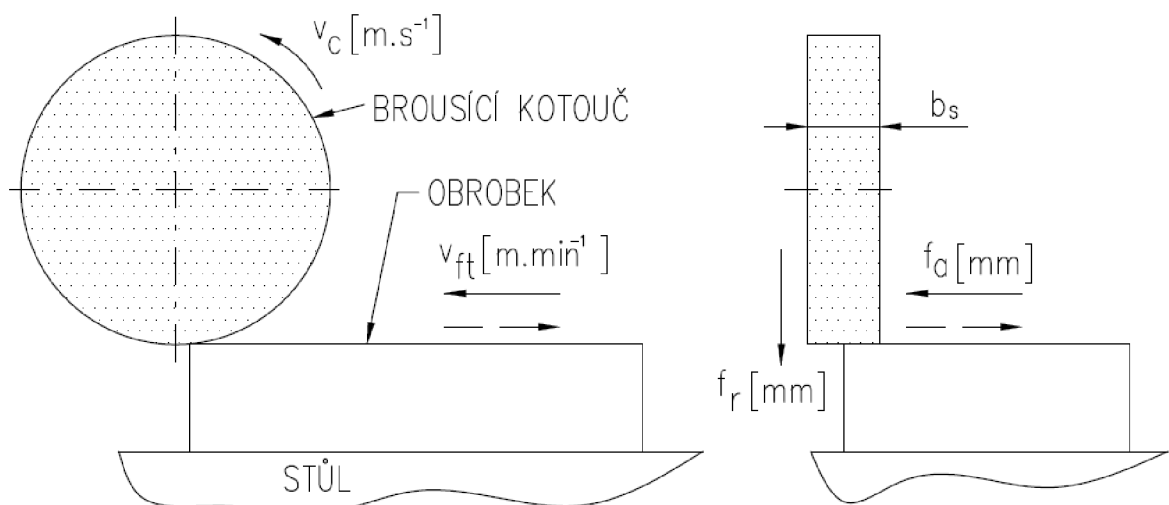
Pro tuto konkrétní diplomovou práci je použito rovinné broušení, protože se na desce brousí pouze dvě protější rovné plochy desky. Předchozí operace je požadována technologie frézování na čisto. Rovinné broušení se dá rozdělit na obvodové a čelní.

Obvodové broušení

Jde o přesnější technologii, protože se obrábí pouze úzkým kotoučem a vlivem vzniklého tepla dochází k relativně malým deformacím obrobku. Při broušení se obrobek může otáčet, nebo posouvat přímočaře [7].

Brousíci kotouč koná obvodovou rychlost v_c a obrobek koná podélný vratný pohyb posuvovou rychlostí v_{ft} . V úvrati se brousíci nástroj posouvá v axiálním směru vůči obrobku o hodnotu f_a . Při obroušení celé plochy se nastaví další hloubka broušení v radiálním směru o hodnotu f_r . Tyto pohyby jsou znázorněny na obr. 27 [7].

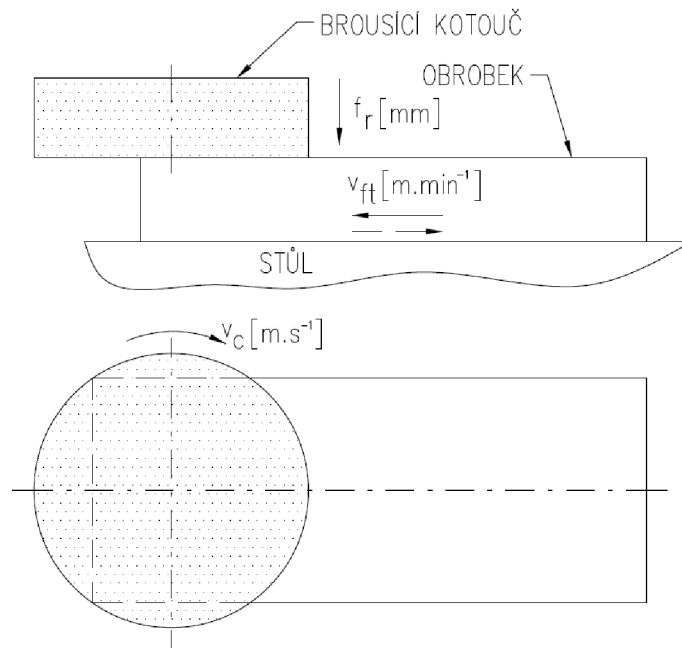
Kruhové otáčení obrobku se provádí u broušení velmi přesných čelních ploch, jako jsou čela kotoučových fréz, nebo okružních pil [7].



Obr. 27 Obvodové broušení [7].

Čelní broušení

Je to méně přesné broušení než obvodem brousícího kotouče, ale je výkonnější. Součást má přímočarý pohyb, nebo se otáčí. Pohyby pro přímočarý pohyb stolu jsou uvedeny na obr. 28 [7].



Obr. 28 Čelní broušení [7].

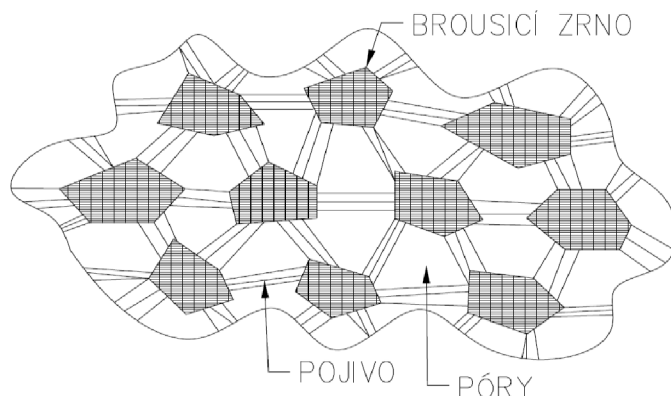
Doporučené hodnoty parametrů při broušení jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Parametry broušení [7].

Typ broušení		Radiální posuv	Axiální posuv	Tangenciální rychlost posuvu stolu
		f_r [mm]	f_a [mm]	v_{ft} [m · min ⁻¹]
Obvodové broušení	Hrubování	0,01 až 0,04	$(0,4 \text{ až } 0,7) \cdot b_s$	8 až 30
	Na čisto	0,005 až 0,01	$(0,2 \text{ až } 0,3) \cdot b_s$	15 až 20
Čelní broušení	Hrubování	0,015 až 0,04	-	4 až 12
	Na čisto	0,005 až 0,01		2 až 3

Brousicí materiály

Základem pro brousicí nástroj jsou brousicí elementy, které jsou při broušení ve styku s obrobkem a konají tak řezný proces. Tato zrna jsou pojivem uspořádána do požadovaného tvaru (brousicího kotouče). Ve stavbě brousicího kotouče vznikají také póry, jak lze vidět na obr. 29 [7].



Obr. 29 Stavba brousicího kotouče [7].

Standardní materiály pro broušení [7]:

- materiály na bázi Al_2O_3 ,
- materiály na bázi SiC,
- diamant,
- kubický nitrid bóru.

Každý brousicí kotouč musí být označený kódem, který nese veškeré potřebné informace o nástroji. Tab. 6 vysvětluje jednotlivé znaky kódu.

Tab. 6 Označení brousicího kotouče [7].

X	XX		XX		XX /	XX
Druh brousicího materiálu	Zrnitost	Tvrdost	Struktura	Druh pojiva	Doplňující znak	Maximální obvodová rychlost
Příklad:	A99 30L 5V 00/40					

Druh brousicího materiálu

Obecně platí, že elektrokorund se používá pro broušení oceli, oceli na odlitky, temperované litiny a tvrdých bronzů.

Karbid křemíku se používá na šedou litinu, mosaz, měď, lehké kovy, slinuté karbidy, sklo a keramiku [7].

V tab. 7 je uvedeno několik příkladů a jejich použití.

Tab. 7 Příklady brousicího materiálu [7].

Označení	Název	Využití
A98	Elektrokorund růžový	Vysoce legované oceli velké pevnosti před kalením
A99	Elektrokorund bílý – barvený červeně	Nástrojové, rychlořezné, kalené a korozivzdorné oceli
A99B	Elektrokorund bílý	Rychlořezné, kalené a korozivzdorné oceli
C48	Karbid křemíku černý	Šedá a temperovaná litina, mosaz, hliník, keramika, organické a minerální materiály
90MA	Monokrystalický korund	Titanová slitina 58 až 64 HRC
CBN	Kubický nitrid bóru	Kalené nástrojové a rychlořezné oceli Má vysokou tvrdost a tepelnou odolnost

Zrnitost

Čím lepší má být drsnost povrchu, tím jemnější zrnitost se volí. Čím větší je hodnota zrnitosti, tím je zrno jemnější (8 až 550) [7, 23].

Tvrdost

Tvrdost znamená soudržnost hmoty a souvisí s uvolňováním zrn při otupení. Pro tvrdší broušené materiály se používají měkčí nástroje a pro měkčí materiály se používají naopak nástroje tvrdé. Označují se velkými písmeny. Označení je podle abecedy postupně G až W, což odpovídá od nejměkčího brousicího kotouče po nejtvrdší [7, 23].

Struktura (sloh)

Struktura brousicího nástroje představuje vzdálenost mezi jednotlivými zrny. Čím vyšší je hodnota, tím větší je vzdálenost mezi zrny. Jinými slovy se jedná o pórovitost. Čím houževnatější materiál se obrábí, tím více porézní nástroj je potřeba. Proto je na tvrdší (křehčí) materiály potřeba použít hutnější brousicí kotouče. Hodnoty jsou od 1 (nejhutnější) po 18 (zvláště pórovité). Označení 10VS a 18VS odpovídá vysokoporézní struktuře [7, 23].

Pojivo

Pojivo spojuje jednotlivá sousední zrna. Vlastnost pojiva ovlivňuje tzv. „samoostření“ nástroje [7, 23]. Rozdělují se následující pojiva [7, 23]:

- Keramické pojivo má univerzální použití, ale takové nástroje jsou křehké a škodí jim rázy a vyšší tlaky. V průběhu skladování se jeho vlastnosti nemění.
- Magnezitové pojivo se používá při jemném výbrusu bez tepelného ovlivnění. Takové kotouče jsou křehké. Pevnost se v průběhu skladování snižuje. Materiálu škodí vlhkost, kyselé i zásadité prostředí.
- Pryžové pojivo se používá při jemném ostření nástrojů, broušení vnějších válcových ploch, a jako zvlášť pružné nástroje pro čištění a leštění.
- Polyuretanové pojivo se používá při jemném broušení a leštění.
- Šelakové pojivo se používá při leštění kamene.

Označení brousicích kotoučů dle druhu pojiva [7, 23]:

- Keramické V
- Umělá pryskyřice B
- Magnezitové Mg
- Pryžové R

Dosahovaná kvalita povrchu

Nejdůležitější parametry broušení jsou přesnost rozměrů a drsnost povrchu. Dosahované parametry pro rovinné broušení lze vidět v tab. 8.

Tab. 8 Dosahované parametry přesnosti a drsnosti pro rovinné broušení [24].

Druh operace	Přesnost rozměrů IT		Drsnost Ra [μm]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
Hrubování	10	9 až 11	2,4	1,6 až 3,2
Dokončování	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
Na jemno	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4

Kinematika broušení:

Zde jsou uvedeny vztahy důležité pro proces broušení.

Řezná rychlost v_c [24]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} [m \cdot s^{-1}] \quad (5)$$

Ekvivalentní tloušťka broušení h_{eq} [24]:

$$h_{eq} = \frac{v_{ft}}{60 \cdot v_c} \cdot a_e \text{ [mm]} \quad (6)$$

Strojní čas t_{AS} se pro rovinné obvodové broušení spočítá [24]:

$$t_{AS} = 2 \cdot \frac{l_t}{1000 \cdot v_{ft}} \cdot \frac{l_a}{f_a} \cdot \frac{p}{a_e} \text{ [min]} \quad (7)$$

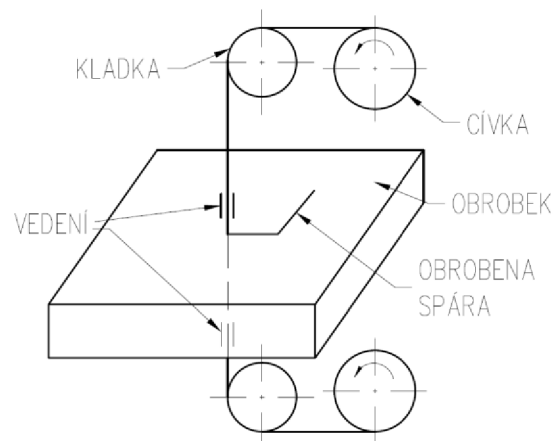
2.7 Elektroerozivní drátové řezání

Je vhodné se také zmínit o technologii WEDM (Wire Electric Discharge Machining), což v překladu znamená drátové elektroerozivní obrábění.

Obrábění metodou WEDM se provádí pomocí drobných elektrických výbojů, které vznikají mezi nástrojem (elektroda), který je ve formě drátu, a obrobkem. Schéma WEDM je na obr. 30. Celý nástroj je ponořen v dielektriku, jak lze vidět na obr. 31. Vzhledem k principu oddělování materiálu je zde důležité, aby byl obrobek elektricky vodivý [7, 25, 26].

Princip odebrání materiálu je takový, že elektrické výboje mezi nástrojem a obrobkem dokážou natavit mikroskopické částice na povrchu obrobku a prouděním dielektrika jiskrovou mezerou je lze z místa řezu vyplavit. Pracovní mezera mezi obrobkem a drátem se pohybuje v rozmezí 0,005 až 0,5 mm.

Technologie je velice vhodná zejména pro obrábění otvorů složitého tvaru, jak tomu bývá v maticích tvářecích nástrojů (např. střížnice, vodící desky, stírací desky). Pohyb suportu stroje je zajištěn CNC systémem, který svou přesností odpovídá nástrojářským obrobkům. Průměr drátu se pohybuje mezi 0,03 až 0,35 mm a je vyroben většinou z mosazi, nebo z molybdenu pro jemnější řezy. Drát se pomalu opotřebovává, proto je pomocí kladek pomalu odvíjen mimo pracovní část na místo určené pro odpad [7, 25, 26].



Obr. 30 Schéma WEDM [7].



Obr. 31 WEDM, pohled do lázně dielektrika.

Stejně jako u každé jiné technologie se zde objevují jak výhody, tak nevýhody. Zde jsou uvedeny některé z nich.

Výhody [27]:

- možnost výroby složitých tvarů,
- obrábění velmi tvrdých materiálů s velkou přesností,
- možnost obrábět tenkostěnné materiály bez jakéhokoliv poškození, protože nedochází k přímému styku nástroje s obrobkem,
- hrany jsou bez otřepů,
- po obrobení není potřeba povrch už nijak dokončovat.

Nevýhody [27]:

- velmi pomalý proces,
- poměrně drahé zařízení.

3 VYPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉ PŘÍPRAVY VÝROBY

Je potřeba vypracovat technologickou přípravu výroby součásti (stírací deska) dle výkresu (viz příloha 1). Je možné rozdělit organizaci výroby do několika etap:

- volba polotovaru,
- frézování technologických základů,
- vrtání,
- přesné CNC frézování,
- tepelné zpracování,
- broušení,
- elektrojiskrové drátové řezání (WEDM).

Nejprve byl vypracován technologický postup (viz tab. 9). Použité nástroje a měřidla jsou číslovány a uvedeny v tab. 10.

Tab. 9 Technologický postup.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP						
Název součásti: STÍRACÍ DESKA			Číslo výkresu: L-1010129-01		Hmotnost [kg]: 23,7	
Materiál: 90MnCrV8 (ČSN 19 312)			Polotovar: 4HR_35x350x375			
Č. op.	Pracoviště	Popis práce	Nástroj	t _{AS} [min]	t _{AC} [min]	Cena [Kč]
00/00	OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCFV 2080	UPNOUT DO STROJNÍHO SVĚRÁKU ZA ROZMĚR 350 A FRÉZOVAT 370 NA 360±0,1	1	0,51	1,00	9,50
01/01		OTOČIT, UPNOUT ZA 350 A FRÉZOVAT 360 NA 350±0,1	1	0,51	1,00	9,50
02/02		UPNOUT ZA OBROBENÝ ROZMĚR 350 A FRÉZOVAT 350 NA 330±0,1	1	0,67	1,20	11,40
03/03		OTOČIT, UPNOUT ZA ROZMĚR 350 A FRÉZOVAT 330 NA 320±0,1	1	0,51	1,00	9,50
04/04		UPNOUT ZA ROZMĚR 320 A FRÉZOVAT 35 NA 30±0,1	1	2,32	2,80	26,60

05/05		OTOČIT, UPNOUT ZA ROZMĚR 320 A FRÉZOVAT 30 NA 27,6±0,1	1	2,32	2,80	26,60
06/06	RUČNÍ PRAC.	RUČNÍ SRAŽENÍ HRAN RAZIT OZNAČENÍ	-	-	4,00	19,33
07/07	OTK	KONTROLOVAT POSUVNÝM MĚŘÍTKEM ROZMĚRY 350x320x27,6	2	-	0,40	1,93
08/08	OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCFV 2080	UPNOUT POMOCÍ UPÍNEK, VRTAT PILOTNÍ OTVORY PRO ELETROJISKROVÉ DRÁTOVÉ ŘEZÁNÍ Ø4 17x	3	0,66	3,00	28,50
09/09		VRTAT Ø6 ^{+0,1} ₀ 8x	4	0,32	0,32	3,04
10/10		VRTAT Ø11 8x	5	0,36	0,36	3,42
11/11		FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø11 DO HLOUBKY 23,3 8x	6	1,60	1,60	15,20
12/12		FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø16 DO HLOUBKY 5,3 8x	6	0,77	0,77	7,32
13/13		FRÉZOVAT ODLEHČOVACÍ DRÁŽKY 5 mm OD KONTURY TVAROVÝCH OTVORŮ 2x	7	3,67	3,67	34,87
14/14	OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCFV 2080	OTOČIT SOUČÁST, UPNOUT POMOCÍ UPÍNEK, FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø18 DO HLOUBKY 11,3 8x	6	1,42	4,00	38,00
15/15		FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø28 DO HLOUBKY 4,8	6	0,25	0,25	2,38
16/16		KONTROLOVAT VIZUÁLNĚ	-	-	0,50	2,42
17/17	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	KALIT, POPUSTIT NA TVRDOST 50 AŽ 54HRC	-	-	-	710,00
18/18	OTK	KONTROLOVAT TVRDOST 50 AŽ 54HRC	8	-	0,50	2,42

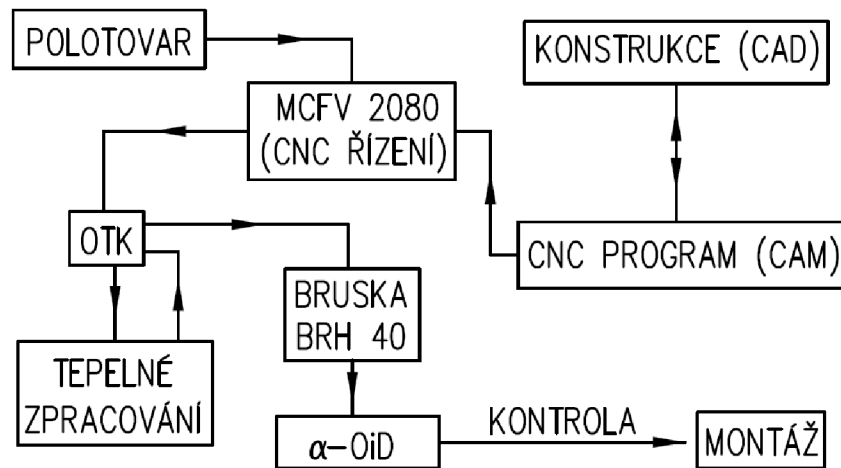
19/19	BRUSKA NA PLOCHO BRH 40	UPNOUT NA MAGNETICKÝ STŮL, BROUSIT ROZMĚR 27,6 NA 27,3±0,05	9	13,98	16,00	80,00
20/20		OTOČIT SOUČÁST, UPNOUT NA MAGNETICKÝ STŮL, BROUSIT ROZMĚR 27,3 NA 27±0,01	9	13,98	13,98	69,90
21/21	OTK	KONTROLOVAT TLOUŠŤKU SOUČÁSTI 27 TŘMENOVÝM MIKROMETREM, KONTROLOVAT DRSNOST DRSNOMĚREM	10, 11	-	5,00	24,17
22/22	DRÁTOVÁ ŘEZAČKA ROBOCUT <i>α-OiD</i>	UPNOUT OBROBEK, NAVLÉKNOUT DRÁT, OBROBIT 4xØ10H7	12	70,77	80,00	573,33
23/23		NAVLÉKNOUT DRÁT, OBROBIT 8xØ12H7	12	169,83	175,00	1254,2
24/24		NAVLÉKNOUT DRÁT, OBROBIT 2x KONTURU S PILOTNÍM OTVOREM NA SOUŘADNICÍCH [-7,766 ; 108,44] [68,766 ; 181,356]	12	110,56	120,00	860,00
25/25		NAVLÉKNOUT DRÁT, OBROBIT 2x KONTURU S PILOTNÍM OTVOREM NA SOUŘADNICÍCH [105,766 ; 29,700] [175,766 ; 260,300]	12	449,63	460,00	3296,7
26/26		NAVLÉKNOUT DRÁT, OBROBIT KONTURU S PILOTNÍM OTVOREM NA SOUŘADNICI [203,866 ; 147,825]	12	131,61	138,00	989,00
27/27	OTK	ZKONTROLOVAT VÁLCOVÝM KALIBREM 4xØ10H7 A 8xØ12H7	13, 14	-	0,50	2,42

28/28		KONTROLOVAT POSUVNÝM MĚŘÍTKEM ROZMĚRY 2x210,2H10 2x27,55H10 2x33,2H10 136,2H10 2x10,55H10 4,9H10	15	-	5,00	24,17
29/29	EXPEDICE	UMÍSTIT NA PALETU, PŘEDAT K MONTÁŽI	-	-	-	-
VYPRACOVAL: Bc. DAVID BALHAR			CELKEM:	976,25	1042,7	8135,8

Tab. 10 Seznam nástrojů.

Číslo	Nástroj	Číslo	Nástroj
1	Čelní fréza CoroMill® 345 Fréza: 345 - 080Q27-13M VBD: 345R-1305M-PM Sandvik Coromant, s.r.o.	9	Brousící kotouč: 49C80K9V100 40 300×32×76 TYROLIT CEE k.s.
2	Posuvné měřítko Vernier Caliper, 0–600 mm Mitutoyo, s.r.o.	10	Digitální třmenový mikrometr 25–50 mm, DIGIMATIC Mitutoyo, s.r.o.
3	Šroubovité vrták Ø4 RT 100 S GÜHRING s.r.o.	11	Drsnoměr Surftest SJ-210 Mitutoyo, s.r.o.
4	Šroubovité vrták Ø6 RT 100 S GÜHRING s.r.o.	12	Mosazný drát Ø 0,25 DIN-K160 (8 kg) PENTA TRADING, s.r.o.
5	Šroubovité vrták Ø11 RT 100 S GÜHRING s.r.o.	13	Válečkový kalibr Ø10H7 Dle DIN EN ISO 1938 UNIMETRA, s.r.o.
6	Stopková fréza Ø10 RF 100 U GÜHRING s.r.o.	14	Válečkový kalibr Ø12H7 Dle DIN EN ISO 1938 UNIMETRA, s.r.o.
7	Fréza: LMT KIENINGER (GWV) Ø16 VBD: WPB 16 N 10 LMT Czech Republic s.r.o.	15	Posuvné měřítko Digital ABS Caliper CoolantProof IP67 Mitutoyo, s.r.o.
8	Tvrdoměr Rockwell HR-110MR Mitutoyo, s.r.o.		

Na obr. 32 je zobrazeno schéma výroby, na kterém lze také vidět, jak se obrobek postupně pohybuje mezi jednotlivými pracovišti.



Obr. 32 Schéma výroby.

3.1 Volba polotovaru

Materiál součásti je požadován dle výkresu 90MnCrV8 (dle ČSN 19312). Maximální rozměry vyráběné součásti jsou 27x320-350 [mm].

Celkové přídavky na délku se počítají pomocí vztahu (4.1):

$$p_c = 0,05 \cdot l_{max} + 2 \text{ [mm]} \quad (8)$$

Přídavky na délku ve všech třech osách:

$$p_{c1} = 0,05 \cdot l_{max} + 2 = 0,05 \cdot 27 + 2 = 3,35 \text{ mm}$$

$$p_{c2} = 0,05 \cdot l_{max} + 2 = 0,05 \cdot 320 + 2 = 18 \text{ mm}$$

$$p_{c3} = 0,05 \cdot l_{max} + 2 = 0,05 \cdot 350 + 2 = 19,5 \text{ mm}$$

Teoretické rozměry polotovaru se vypočítají dle vztahu (4.2):

$$l_{pt} = l_{max} + p_c \text{ [mm]} \quad (9)$$

Teoretické rozměry polotovaru:

$$l_{pt1} = l_{max} + p_{c1} = 27 + 3,35 = 30,35 \text{ mm}$$

$$l_{pt2} = l_{max} + p_{c2} = 320 + 18 = 338 \text{ mm}$$

$$l_{pt3} = l_{max} + p_{c3} = 350 + 19,5 = 369,5 \text{ mm}$$

Ve skutečnosti se musí zvolit rozměry nejbližší vyšší normalizované ($l_p \geq l_{pt}$).

Na základě předchozího výpočtu je zvolen polotovar o rozměrech 35x350x375.

Materiál polotovaru

Součást bude z materiálu 90MnCrV8 (dle ČSN 19312).

Jedná se o nástrojovou ocel vhodnou pro nástroje pracující za studena. Je to nízko legovaná ocel určená ke kalení v oleji se střední prokalitelností a s malými rozměrovými změnami po tepelném zpracování [28]. Jak již bylo zmíněno v kapitole o tepelném zpracování nejdůležitější vlastnosti nástrojových ocelí jsou [21]:

- tvrdost (pevnost),
- kalitelnost a prokalitelnost,
- odolnost proti opotřebení a popouštění,
- houževnatost.

Tvrdost materiálu zároveň představuje odolnost proti otěru, proto je velice důležitá, protože při práci nástroje zde působí mechanismy opotřebení adheze a abraze. Abraze je vydírání funkčního povrchu a adheze nalepování částic a vytrhávání materiálu. Odolnost proti popouštění ovlivňují zejména prvky Cr, Mo, W a V [21].

Základní parametry zvoleného materiálu 90MnCrV8 jsou uvedeny v tab. 11, 12, 13.

Tab. 11 Chemické složení tavby [28].

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	W [%]	V [%]
0,85–0,95	0,10–0,40	1,80–2,20	0,20–0,50	-	-	0,05–0,20

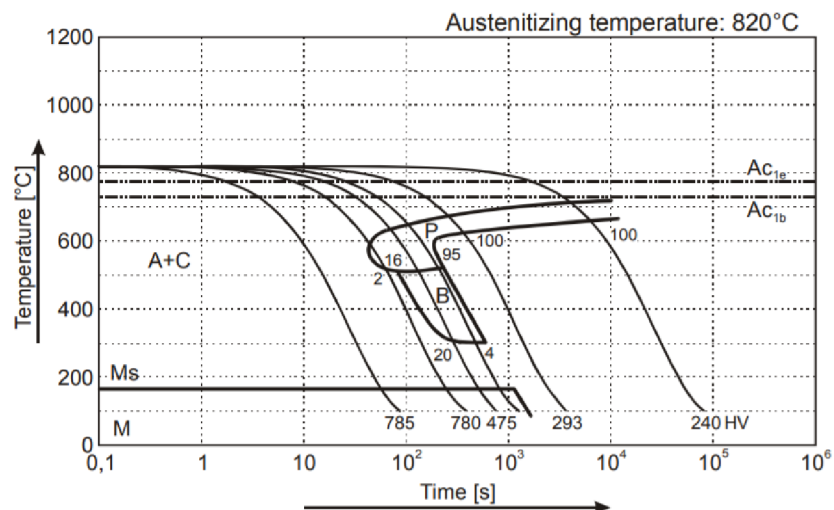
Tab. 12 Doporučené tepelné zpracování [28].

Žihání na měkko		Kalení		Popouštění					
Teplota [°C]	680–710	Teplota [°C]	740–800	Teplota popouštění [°C]	100	200	300	400	500
Tvrdost max. HB	230	Prostředí	olej	Tvrdost HRC	62	60	55	50	44
		Tvrdost HRC	63						

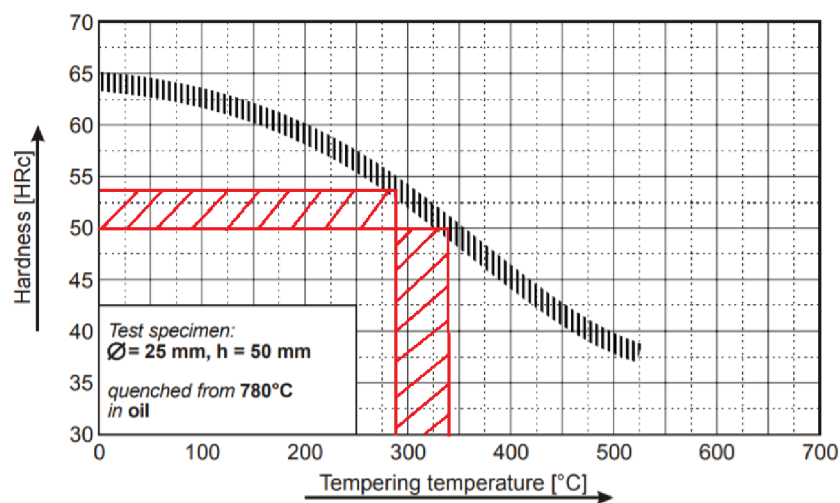
Tab. 13 Základní vlastnosti materiálu [28].

Prokalitelnost při kalení do oleje [mm]	Rozměrové změny po kalení	Odolnost proti opotřebení	Odolnost proti tlakovému namáhání	Houževnatost
40	velmi malé	dobrá	zvýšená	Zvýšená
Modul pružnosti při 20 °C [$10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]		Hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]		
210		7 850		

Pro tepelné zpracování je také důležitý IRA diagram a popouštěcí diagram, které jsou pro zvolený materiál uvedeny na obr. 33 a 34. V popouštěcím diagramu je vyznačena červenou čarou situace, která odpovídá této diplomové práci.



Obr. 33 IRA diagram [29].



Obr. 34 Popouštěcí diagram [29].

3.2 Frézování základního tvaru

Pro obrábění základního tvaru byla zvolena technologie čelní frézování.

Obráběcí stroj: MCFV 2080 od firmy TAJMAC – ZPS, a.s. (viz obr. 35).



Obr. 35 Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080.

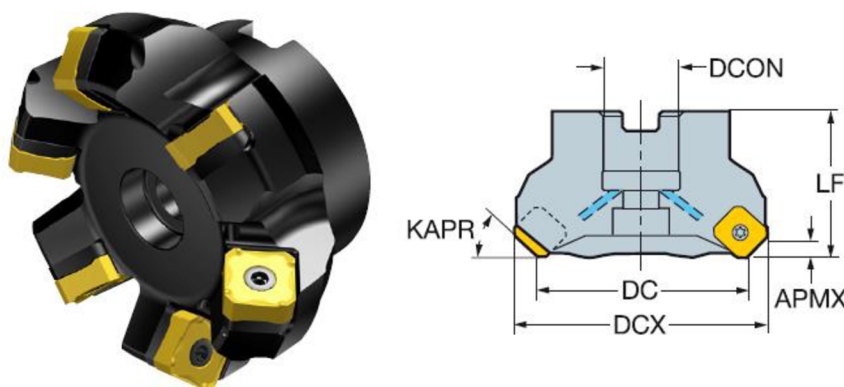
Základní technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 14. Řídicí systém stroje je HEIDENHAIN.

Tab. 14 Technické parametry stroje MCFV 2080 [30].

Pojezdy		Stůl	
Osa x (pracovní stůl) [mm]	2 030	Pracovní plocha [mm]	2 200x780
Osa y (křížový suport) [mm]	810	Počet T-drážek x šířka [mm] x rozteč [mm]	5x18x160
Osa z (vřeteník) [mm]	810	Maximální zatížení [kg]	3 000
Vzdálenost čela vřetena od stolu [mm]	110-920	Zásobník nástrojů	
Max. pracovní posuv [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	30	Počet míst v zásobníku	24
Rychloposuv [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	30	Doba výměny nástroje [s]	4,5
Zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	2,5	Maximální délka nástroje [mm]	300
Provozní příkon [kW]		35	
Hmotnost stroje [kg]		14 600	

Nástroj:

Byla zvolena čelní fréza od firmy Sandvik Coromant, s.r.o. Konkrétně se jedná o čelní frézu CoroMill® 345 (viz. obr. 36) s řezným průměrem 80 mm.



Obr. 36 Čelní fréza CoroMill® 345 [31].

Kód frézy: 345-080Q27-13M

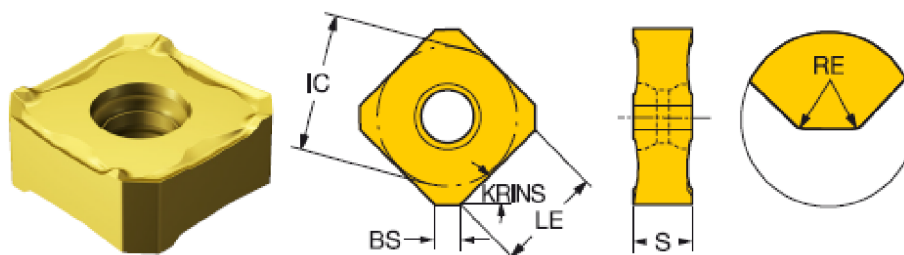
Kód VBD: 345R-1305M-PM / GC4230

Základní parametry nástroje jsou uvedeny v tab. 15.

Tab. 15 Základní parametry zvolené čelní frézy [31].

Fréza						
APMX [mm]	Počet zubů z	DCON [mm]	DCX [mm]	KAPR [°]	LF [mm]	DC [mm]
6,00	6	27,0	94,1	45°	50,0	80,0
VBD						
RE [mm]	IC [mm]	LE [mm]	S [mm]	BS [mm]		
0,8	13,0	8,8	5,60	2,0		

Vysvětlení rozměrů VBD je uveden na obr. 37.



Obr. 37 VBD 345R-1305M-PM [31].

Vysvětlení GC4230:

jedná se o středně tvrdou nástrojovou třídu s CVD povlakem určenou pro aplikaci středního frézování při běžných řezných podmínkách za sucha i za mokra [31].

Řezné podmínky:

Dle katalogu [31] jsou doporučené následující řezné podmínky:

Posuv na zub: $f_z = 0,3\text{mm}$

Max. tloušťka třísky: $h_{ex} = 0,21\text{mm}$

Řezná rychlost v_c dle h_{ex} podle tab. 16. Tabulka je určena pro obrábění konkrétní skupiny ocelí, která zahrnuje ocel použitou pro stírací desku.

Tab. 16 Doporučená řezná rychlost dle h_{ex} [31].

h_{ex} [mm]	0,1	0,2	0,3
v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	325	315	300

Na základě tab. 16 byla zvolena řezná rychlost:

$$v_c = 315 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Posuv na otáčku:

$$f_n = f_z \cdot z = 0,3 \cdot 6 = 1,8 \text{ mm}$$

z ...počet zubů [-]

Otáčky:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 315}{\pi \cdot 80} = 1253,35 \text{ min}^{-1}$$

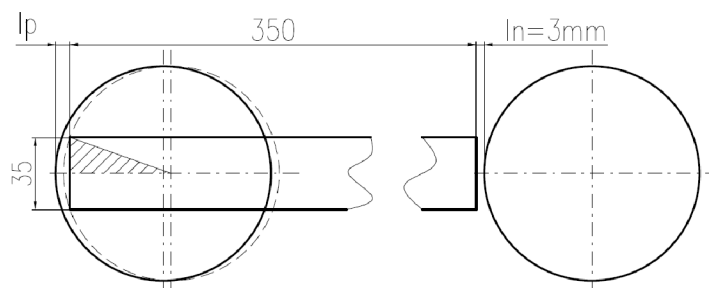
Posuvová rychlost:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n = 0,3 \cdot 6 \cdot 1253,35 = 2256,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pro strojní časy bude použitý výše zmíněný vztah:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} [\text{min}]$$

Na obr. 38 je náčrt potřebný pro výpočet strojního času pro první čtyři operace.



Obr. 38 Náčrt pro výpočet strojního času.

l_p ... délka přeběhu [mm]

l_n ... délka náběhu [mm]

$$l_n = 3 \text{ mm}$$

Výpočet délky přeběhu pro hrubování:

$$l_p = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{35}{2}\right)^2} + 3 = \frac{80}{2} - \sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 - \left(\frac{35}{2}\right)^2} + 3 = 7,03 \text{ mm}$$

Pro dokončování se počítá s přejezdem celé frézy, proto:

$$l_p = D + 3 = 80 + 3 = 83 \text{ mm}$$

Celková dráha frézy se spočítá:

$$L = l_n + l + l_p$$

l ... délka obráběné součásti

Pro první dvě a čtvrtou operaci je počet hrubovacích průjezdů $i = 2$

Pro třetí operaci je počet hrubovacích průjezdů $i = 3$

Strojní časy t_{as} se poté počítají:

$$t_{AS1,2,4} = \frac{(3 + 350 + 7,03) \cdot 2}{2256,02} + \frac{(3 + 350 + 83)}{2256,02} = 0,51 \text{ min}$$

$$t_{AS3} = \frac{(3 + 350 + 7,03) \cdot 3}{2256,02} + \frac{(3 + 350 + 83)}{2256,02} = 0,67 \text{ min}$$

Strojní čas pro operaci 04/04 a 05/05 $t_{AS04,05}$:

Počet úběrů: $i = 2$

Délka obrobku: $l = 350 \text{ mm}$

Šířka obrobku: $b = 320 \text{ mm}$

Počítá se s přejezdem celé frézy jak pro hrubovací, tak pro dokončovací operaci. Je volena šířka úběru (B) 70 % průměru frézy.

$$B = 0,7 \cdot D = 0,7 \cdot 80 = 56 \text{ mm}$$

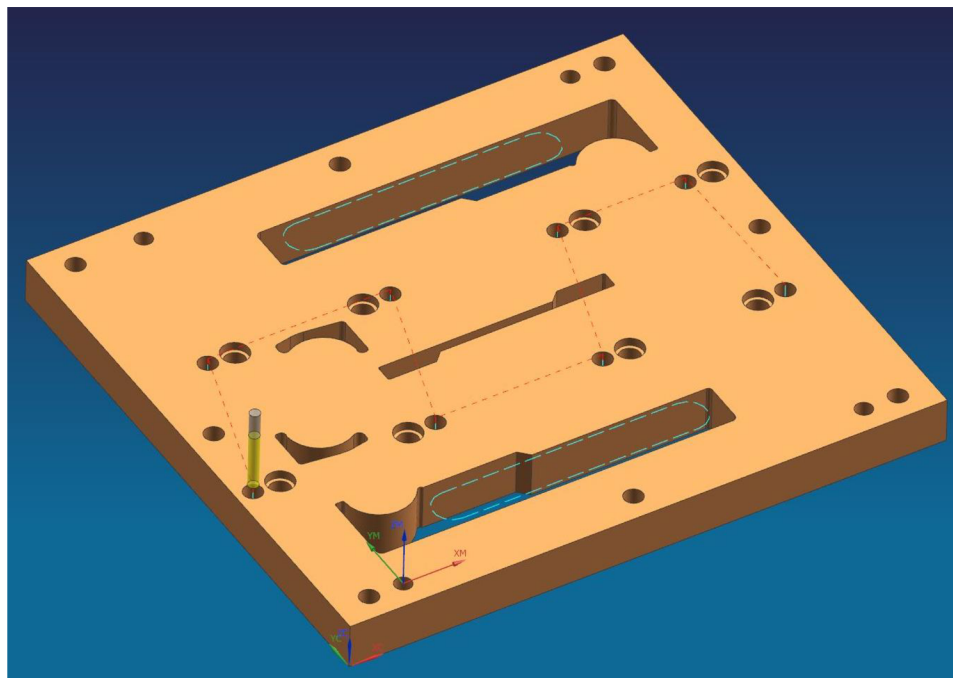
Počet průjezdů na šířku obrobku:

$$k = \frac{b}{B} = \frac{320}{56} = 5,71 = 6 \text{ průjezdů}$$

$$t_{AS04,05} = \frac{L \cdot i}{v_f} \cdot k = \frac{(3 + 350 + 83) \cdot 2}{2256,02} \cdot 6 = 2,32 \text{ min}$$

3.3 Vrtání otvorů

Pro vrtání byly vytvořeny dráhy nástrojů v CAM systému NX. Na obr. 39 je náhled na dráhy v CAM systému. Světle modrá čárkovaná čára představuje odlehčující otvory obráběné před tepelným zpracováním, aby se součást nedeformovala. Týká se to operace 13/13.

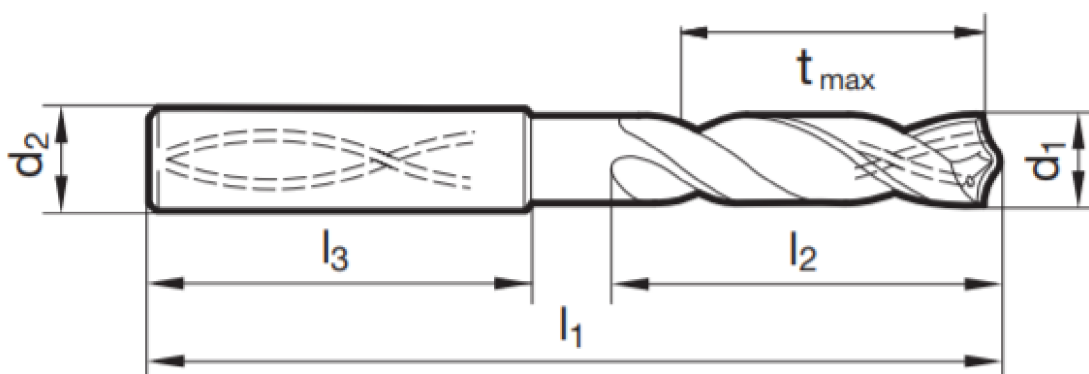


Obr. 39 CAM-tvorba drah vrtáku.

Obráběcí stroj: MCFV 2080 od firmy TAJMAC – ZPS, a.s.

Nástroje: Byly zvoleny vrtáky od firmy GÜHRING s.r.o. typu RT 100 S [32].

Na obr. 40 je zobrazen nákres vrtáku. Vrták $\varnothing 4$ je odlišný, protože musela být zvolena prodloužená verze, aby bylo možné vrtat do požadované tloušťky.



Obr. 40 Vrták typu RT 100 S [32].

Rozměry použitých vrtáků jsou uvedeny v tab. 17.

Tab. 17 Rozměry používaných vrtáků [32].

Průměr vrtáku d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	t_{max} [mm]
Ø4	6,0	75,0	37,5	36,0	31,5
Ø6	6,0	82,0	44,0	36,0	35,0
Ø11	12,0	118,0	71,0	45,0	54,5

V tab. 18 jsou uvedeny doporučené řezné podmínky dle katalogu výrobce.

Tab. 18 Rozměry používaných vrtáků [32].

Průměr vrtáku d_1 [mm]	Posuv na otáčku f [mm]	Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]
Ø4	0,1	70 až 120
Ø6	0,15	70 až 120
Ø11	0,25	70 až 120

Řezná rychlost byla zvolena $v_c = 100 m \cdot min^{-1}$

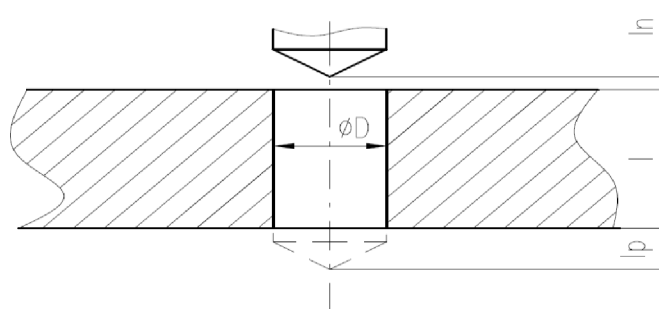
Výpočet otáček:

$$n_{\phi 4} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 4} = 7957,75 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{\phi 6} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 6} = 5305,17 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{\phi 11} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 11} = 2893,73 \text{ min}^{-1}$$

Strojní časy: na obr. 41 je nárt operace vrtání potřebné pro výpočet strojního času t_{AS} .



Obr. 41 Náčrt operace vrtání [7].

Pro všechny otvory je stanovena délka náběhu $l_n = 1 \text{ mm}$.

Délka přeběhu se spočítá pro každý vrtaný otvor zvlášť:

Úhel špičky $\varepsilon_r = 118^\circ$

$$l_{p\phi 4} = \frac{D}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{\varepsilon_r}{2}\right) + 1 = \frac{4}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) + 1 = 2,20 \text{ mm}$$

$$l_{p\phi 6} = \frac{D}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{\varepsilon_r}{2}\right) + 1 = \frac{6}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) + 1 = 2,80 \text{ mm}$$

$$l_{p\phi 11} = \frac{D}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{\varepsilon_r}{2}\right) + 1 = \frac{11}{2} \cdot \tan\left(90 - \frac{118}{2}\right) + 1 = 4,31 \text{ mm}$$

Tloušťka vrtaného materiálu $l = 27,6 \text{ mm}$

Strojní časy se potom spočítají:

$$t_{AS\phi 4} = \frac{l_n + l + l_p}{f \cdot n} \cdot k = \frac{1 + 27,6 + 2,20}{0,1 \cdot 7957,75} \cdot 17 = 0,04 \cdot 17 = 0,66 \text{ min}$$

$$t_{AS\phi 6} = \frac{l_n + l + l_p}{f \cdot n} \cdot k = \frac{1 + 27,6 + 2,80}{0,15 \cdot 5305,17} \cdot 8 = 0,04 \cdot 8 = 0,32 \text{ min}$$

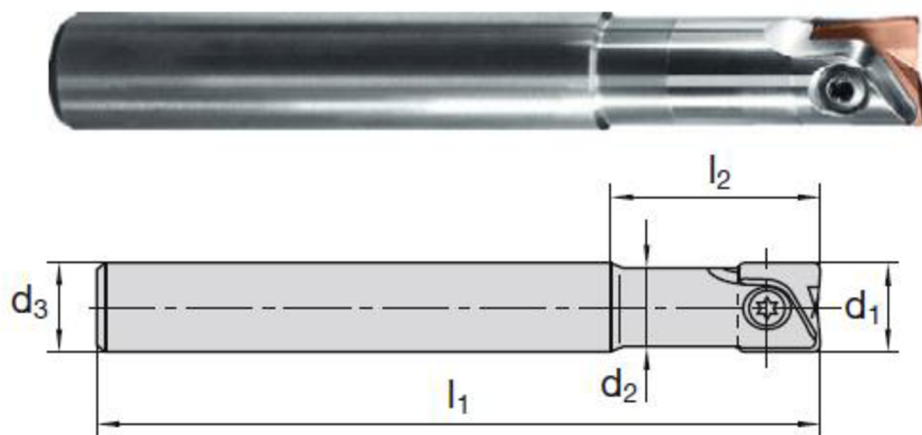
$$t_{AS\phi 11} = \frac{l_n + l + l_p}{f \cdot n} \cdot k = \frac{1 + 27,6 + 4,31}{0,25 \cdot 2893,73} \cdot 8 = 0,05 \cdot 8 = 0,36 \text{ min}$$

k ... počet vrtaných děr [-]

3.4 CNC frézování

Pro CNC obrábění odlehčovacích drážek a zahloubení byl použitý opět obráběcí stroj MCFV 2080 od firmy TAJMAC – ZPS, a.s.

Pro obrábění odlehčovacích drážek byl zvolen nástroj od firmy LMT Czech Republic s.r.o. (LMT KIENINGER) [33]. Konkrétně se jedná o typ nástroje GWV s karbidovou stopkou a je na obr. 42.



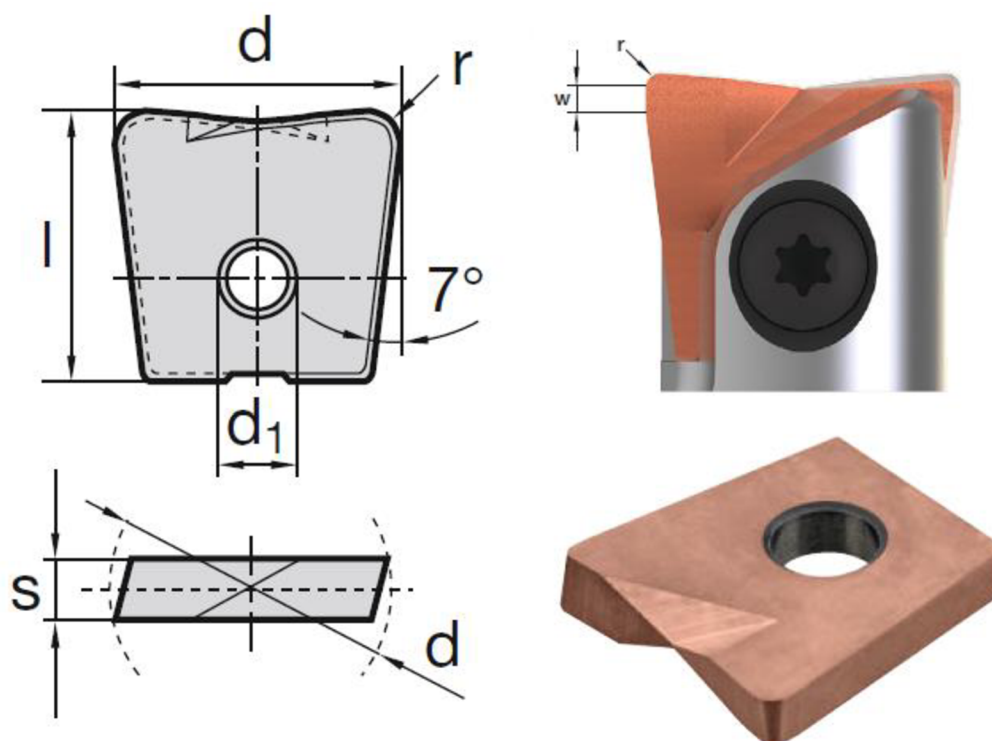
Obr. 42 Nástroj LMT KIENINGER (GWV) [33].

Rozměry nástroje jsou uvedeny v tab. 19.

Tab. 19 Rozměry zvoleného nástroje LMT KIENINGER (GWV) [33].

Katalogový kód	d_1 [mm]	l_2 [mm]	l_1 [mm]	d_3 [mm]	d_2 [mm]	Počet břitů z [-]
EBG V16.016AN175- C-I	16	57	177	16	14	2

Pro tento nástroj je doporučena VBD WPB-N / LCKP10M, která je zobrazena na obr. 43 a její rozměry jsou uvedeny v tab. 20.



Obr. 42 VBD WPB-N [33].

Tab. 20 Rozměry zvolené VBD (WPB 16 N 10 / LCKP10M) [33].

Katalogový kód	l [mm]	d [mm]	s [mm]	d_1 [mm]	r [mm]	w [mm]
WPB 16 N 10	16	16	3	5	1	1

Doporučené řezné podmínky (pro průměr 16 mm) dle katalogu pro obrábění nástrojových ocelí jsou uvedeny v tab. 21.

Tab. 21 Doporučené řezné podmínky dle katalogu LMT KIENINGER [33].

v_c [$m \cdot min^{-1}$]	a_{pmax} [mm]	f_{zmax} [mm]
180-200	$r + w$	0,40

Vysvětlení LCKP10M:

Jedná se o vysoce otěruvzdorný materiál VBD. Je povlakován metodou PVD vrstvou TiAlN. Řezný materiál je určen pro nízké až střední zatížení a šířku záběru hlavního ostří.

Řezné podmínky:

Dle tab. 21 byly zvoleny následující řezné podmínky:

Řezná rychlost: $v_c = 190 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv na zub: $f_z = 0,40 \text{ mm}$

Šířka záběru hlavního ostří: $a_p = r + w = 1 + 1 = 2 \text{ mm}$

Výpočty:

Posuv na otáčku:

$$f_n = f_z \cdot z = 0,4 \cdot 2 = 0,8 \text{ mm}$$

Otáčky:

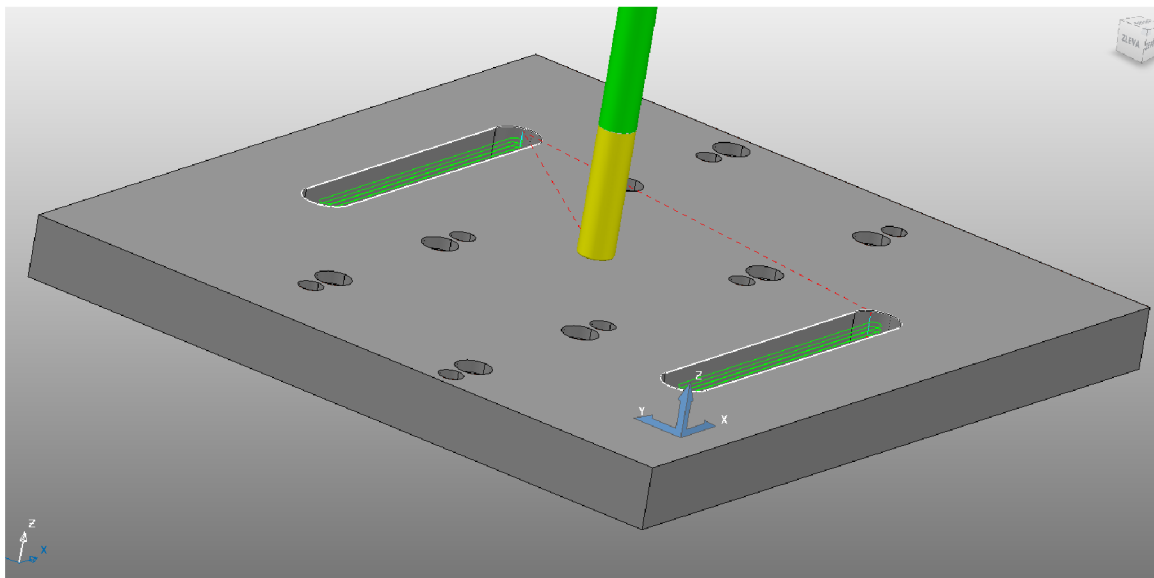
$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 190}{\pi \cdot 16} = 3779,93 \text{ min}^{-1}$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n = 0,4 \cdot 2 \cdot 3779,93 = 3023,94 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Strojní čas:

Strojní čas byl zjištěn pomocí softwaru PowerMill (viz náhled na obr. 43).

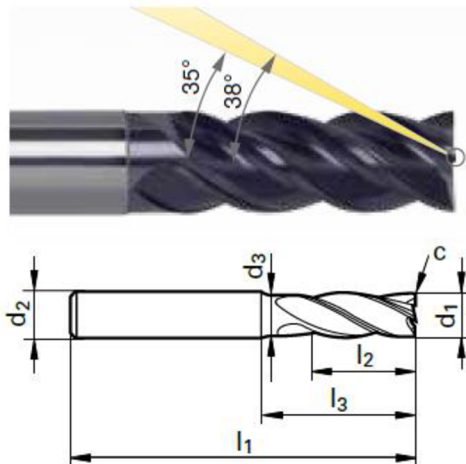


Obr. 43 Obrábění odlehčovacích drážek.

Byl zjištěn strojní čas pro obrobení obou drážek t_{AS} :

$$t_{AS} = 3,67 \text{ min}$$

Pro obrábění všech zahloubení byla použita stopková fréza od firmy GÜHRING, s.r.o. Konkrétně se jedná o typ frézy s obchodním označením RF 100 U a lze vidět na obr. 44 [34].



Obr. 44 Stopková fréza RF 100 U [34].

Byla použita fréza s řezným průměrem 10 mm a její rozměry jsou uvedeny v tab. 22.

Tab. 22 Rozměry použité stopkové frézy RF 100 U [34].

Katalogový kód	d_1 h10 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	c [mm×45°]
RF 100 U 10.000	10,000	10,000	9,500	80,00	30,00	38,00	0,20

Zvolená fréza má počet zubů $z = 4$.

Doporučené řezné podmínky dle katalogu (pro průměr 10 mm) jsou uvedeny v tab. 23.

Tab. 23 Doporučené řezné podmínky dle katalogu GÜHRING, s.r.o. [33].

v_c [$m \cdot \text{min}^{-1}$]	a_{pmax} [mm]	a_e [mm]	f_z [mm]
180	$3 \times d_1$	$0,15 \times d_1$	0,07

Řezné podmínky:

Dle tab. 23 byly zvoleny následující řezné podmínky:

Řezná rychlost: $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv na zub: $f_z = 0,07 \text{ mm}$

Šířka záběru hlavního ostří: $a_p = (\max(3 \times d_1)) = (\max(3 \times 10)) = 30 \text{ mm}$

Pracovní (radiální) záběr: $a_e = 0,15 \times d_1 = 0,15 \times 10 = 1,5 \text{ mm}$

Výpočty:

Posuv na otáčku:

$$f_n = f_z \cdot z = 0,07 \cdot 4 = 0,28 \text{ mm}$$

Otáčky:

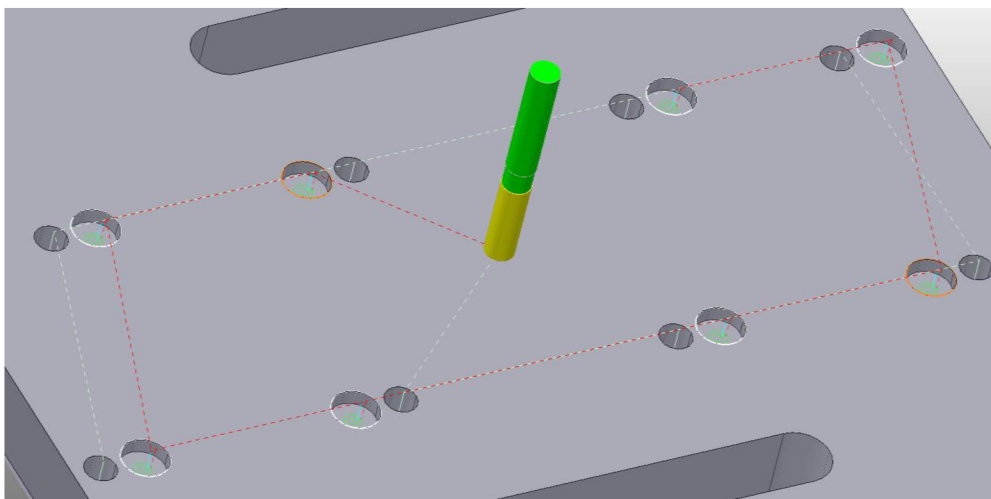
$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 10} = 5729,58 \text{ min}^{-1}$$

Posuvová rychlost:

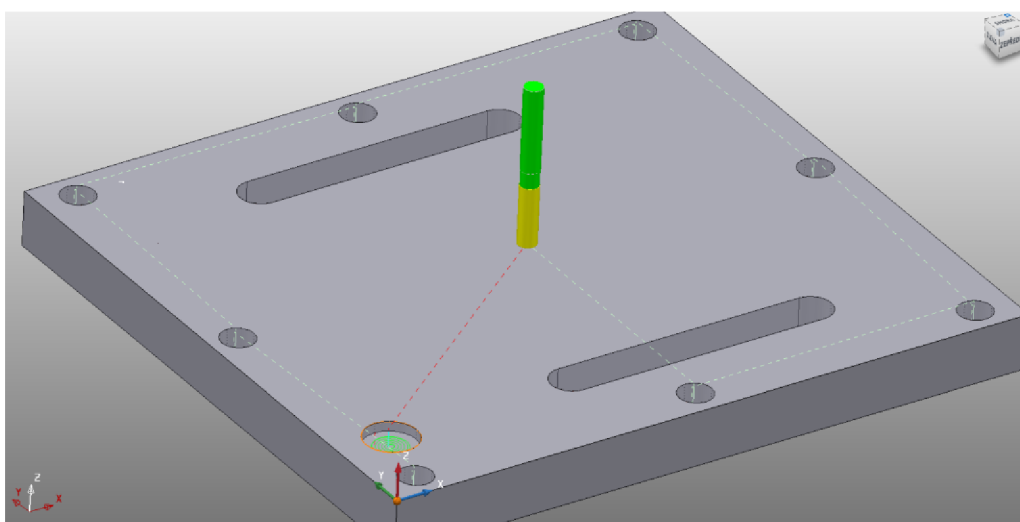
$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n = 0,07 \cdot 4 \cdot 5729,58 = 1604,28 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Strojní čas:

Strojní časy byly zjištěny pomocí softwaru PowerMill (viz náhled na obr. 45 a obr. 46) a jsou uvedeny v tab. 24.



Obr. 45 Obrábění zhloubení.



Obr. 46 Obrábění zhloubení (druhá strana).

Tab. 24 Strojní časy obrábění zahloubení.

Rozměr zahloubení [mm]	Ø11 – 23,3 (8x) $t_{ASØ11}$	Ø16 – 5,3 (8x) $t_{ASØ16}$	Ø18 – 11,3 (8x) $t_{ASØ18}$	Ø28 – 4,8 (1x) $t_{ASØ28}$
Strojní čas t_{AS} [min]	1,60	0,77	1,42	0,25

3.5 Tepelné zpracování stírací desky

Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností je potřeba obrobek kalit a následně popustit. Pro ohřev byla použita vakuová pec. Příklady pecí od firmy BMI jsou na obr. 47.



Obr. 47 Příklady pecí od firmy BMI [35].

Parametry tepelného zpracování byly voleny na základě tab. 12, která byla uvedena v kapitole o polotovaru.

Kalení:

Kalící teplota by se měla pohybovat v rozmezí hodnot 740 až 800 °C, proto je volena střední hodnota 770 °C. Ochlazování probíhá v oleji.

Popouštění:

Na výkrese je předepsaná hodnota tvrdosti 50–54HRC. Pro dosažení 50HRC odpovídá popouštěcí teplota 400 °C a pro 55HRC odpovídá teplota 300 °C. Na základě těchto doporučení je zvolena hodnota popouštěcí teploty 350 °C. Na popouštěcí teplotě je nutno setrvat přibližně 2 hodiny.

Pro ověření, zda bylo dosaženo tvrdosti v rozmezí 50 až 54 HRC slouží měření pomocí přístroje na měření tvrdosti dle Rockwella a nazývají se tvrdoměry.

Např. Tvrdoměr Rockwell HR-110MR od firmy Mitutoyo, s.r.o. (viz obr. 48).



Obr. 48 Tvrdoměr Rockwell HR-110MR [36].

3.6 Broušení stírací desky

Stroj:

K dispozici je bruska na plocho BRH 40 a je na obr. 49.



Obr. 49 Bruska na plocho BRH 40.

Základní parametry stroje jsou uvedeny v tab. 25.

Tab. 25 Technické parametry stroje BRH 40 [37].

Upínací plocha stolu [mm]	400 × 1 500
Podélný pohyb stolu – osa x [mm]	1700
Příčný pohyb stolu – osa z [mm]	470
Svislý pohyb stolu – osa y [mm]	580
Otáčky vřetena [min^{-1}]	1 470, 1 720
Maximální hmotnost obrobku [kg]	500
Celkový příkon stroje [kW]	5,5
Hmotnost stroje [kg]	4 400

Nástroj:

Byl použitý brousicí kotouč od firmy TYROLIT CEE k.s. s označením 49C80K9V100 40 a je na obr. 50.



Obr. 50 Brousicí kotouč 49C80K9V100 40.

Vysvětlení jednotlivých znaků označení kotouče:

- 49C druh brousícího materiálu - karbid křemíku zelený,
80 jemná zrnitost,
K měkký brousící materiál,
9 velmi otevřená struktura brousícího materiálu (velká vzdálenost mezi zrny),
V keramický druh pojiva,
40 maximální obvodová rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

Rozměry kotouče (průměr \times šířka \times vrtání) [mm]: 300 \times 32 \times 76

Otáčky brousícího kotouče: $n_s = 2540 \text{ min}^{-1}$

Parametry brousícího procesu:

Tangenciální rychlost posuvu stolu:

$$v_{ft} = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pracovní (radiální) záběr:

$$a_e = 0,03 \text{ mm}$$

Axiální posuv:

$$f_a = 9 \text{ mm}$$

Přídavek na broušení:

$$p = 0,3 \text{ mm}$$

Výpočty vychází ze vztahů v kapitole o broušení.

Řezná rychlost v_c :

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 300 \cdot 2540}{60 \cdot 1000} = 39,90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ekvivalentní tloušťka broušení h_{eq} :

$$h_{eq} = \frac{v_{ft}}{60 \cdot v_c} \cdot a_e = \frac{20}{60 \cdot 39,9} \cdot 0,03 = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

Strojní čas t_{AS} :

$$t_{AS} = 2 \cdot \frac{l_t}{1000 \cdot v_{ft}} \cdot \frac{l_a}{f_a} \cdot \frac{p}{a_e} = 2 \cdot \frac{370}{1000 \cdot 20} \cdot \frac{340}{9} \cdot \frac{0,3}{0,03} = 13,98 \text{ min}$$

Běžně se používají vyjiskřovací dvojzdvihy, které způsobí, že je lepší drsnost povrchu. V tomto konkrétním případě není potřeba vyjiskřovací pohyby aplikovat.

Vzhledem k tomu, že broušení je dokončovací technologie, je potřeba zkontrolovat jakost (drsnost) broušeného povrchu. Základní parametry, popisující drsnost povrchu, jsou dva (Ra a Rz) a měří se pomocí drsnoměru (viz obr. 51).

- Ra...střední aritmetická odchylka profilu [μm],
- Rz...výška nerovnosti profilu [μm].



Obr. 51 Drsnoměr SurfTest SJ-210 od firmy Mitutoyo, s.r.o. [38].

3.7 Elektroerozivní drátové řezání složitých kontur

Stroj:

Byla použita drátová řezačka od firmy Fanuc, s.r.o.

Zvolený model: ROBOCUT α -0iD (viz obr. 52)



Obr. 52 Drátová řezačka ROBOCUT α -0iD od firmy Fanuc, s.r.o.

Základní parametry stroje jsou uvedeny v tab. 26.

Tab. 26 Základní parametry stroje ROBOCUT α -0iD [39].

Pracovní plocha (x×y×z) [mm]	700×600×250
Maximální úhel naklonění [°]	30°
Hmotnost [kg]	1800
Rozměry stroje [mm]	2330×2530
Řídicí systém CNC	FANUC Series 310is-WA
Průměr řezacího drátu [mm]	0,10 až 0,30
Rychlost odvinu drátu [$m \cdot \text{min}^{-1}$]	0 až 15
Maximální cívka drátu	DIN-K200 (16 kg)

Použitá cívka drátu:

Byl použitý mosazný drát od firmy PENTA TRADING, s r.o. a je na obr. 53.

Průměr drátu: $\varnothing 0,25 \text{ mm}$

Cívka: DIN-K160 (8 kg)



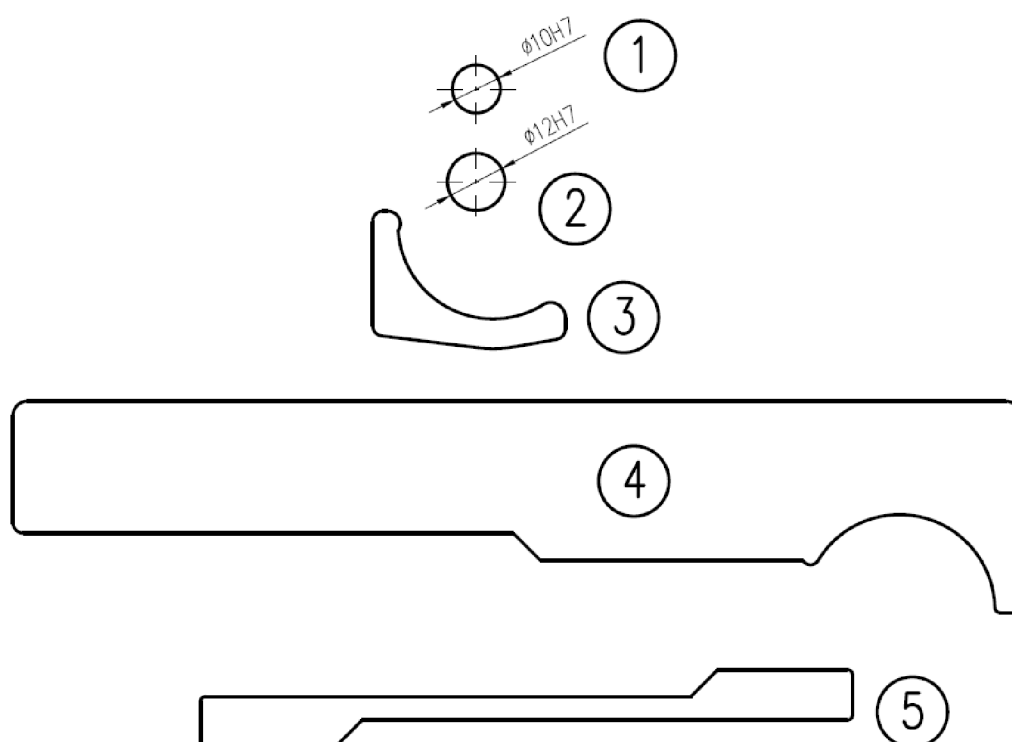
Obr. 53 Cívka drátu DIN-K160 (8 kg).

Rychlosti posuvu pro jednotlivé řezy jsou uvedeny v tab. 27.

Tab. 26 Základní parametry stroje ROBOCUT α -0iD [39].

-	1. řez (f_1)	2. řez (f_2)	3. řez (f_3)
Rychlost posuvu f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	4,00	5,15	8,41

Očíslování jednotlivých kontur je uvedeno na obr. 54.



Obr. 54 Očíslování kontur.

Počet kontur, jejich obvody a počet řezů jsou uvedeny v tab. 28.

Tab. 27 Informace o jednotlivých tvarech.

Číslo kontury [-]	Počet kontur k [-]	Obvod o [mm]	Počet řezů n [-]
1	4	31,42	3
2	8	37,70	3
3	2	124,45	2
4	2	506,14	2
5	1	296,30	2

Výpočet strojních časů:

$$t_{AS1} = \left(\frac{o_1}{f_1} + \frac{o_1}{f_2} + \frac{o_1}{f_3} \right) \cdot k = \left(\frac{31,42}{4,00} + \frac{31,42}{5,15} + \frac{31,42}{8,41} \right) \cdot 4 = 17,69 \cdot 4 = 70,77 \text{ min}$$

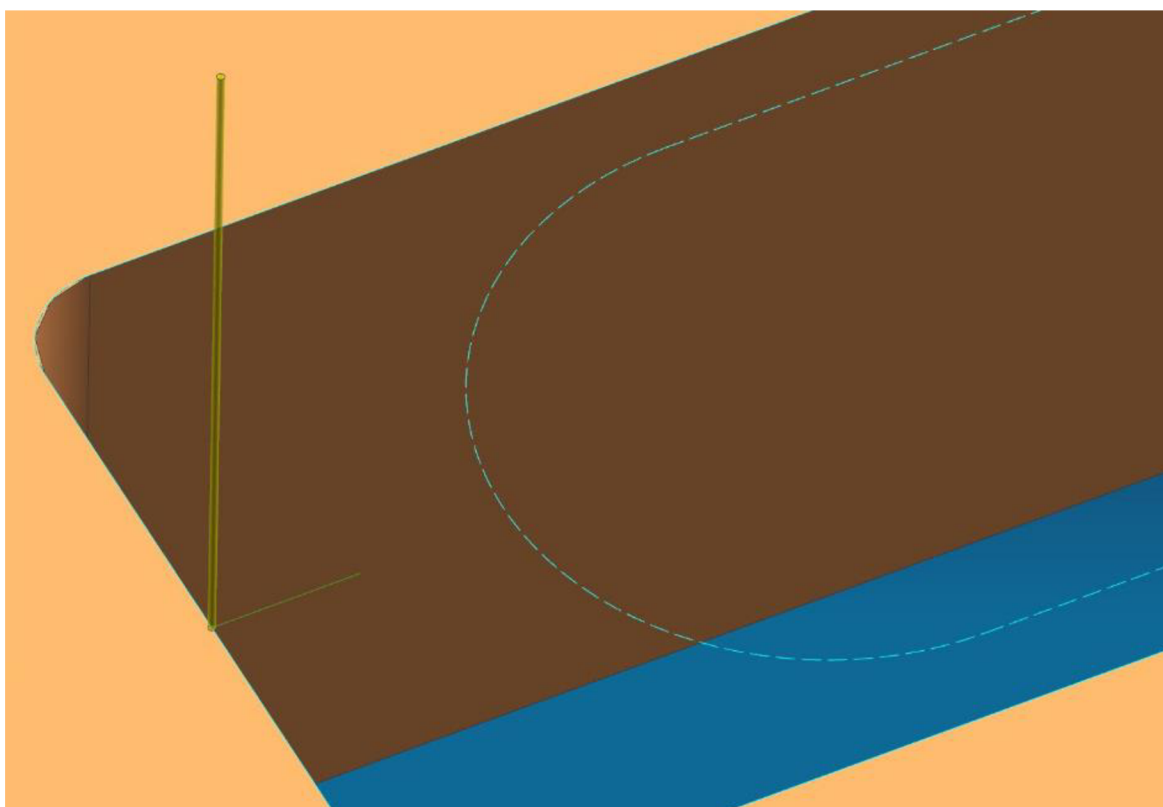
$$t_{AS2} = \left(\frac{o_2}{f_1} + \frac{o_2}{f_2} + \frac{o_2}{f_3} \right) \cdot k = \left(\frac{37,70}{4,00} + \frac{37,70}{5,15} + \frac{37,70}{8,41} \right) \cdot 8 = 21,23 \cdot 8 = 169,83 \text{ min}$$

$$t_{AS3} = \left(\frac{o_3}{f_1} + \frac{o_3}{f_2} \right) \cdot k = \left(\frac{124,45}{4,00} + \frac{124,45}{5,15} \right) \cdot 2 = 55,28 \cdot 2 = 110,56 \text{ min}$$

$$t_{AS4} = \left(\frac{o_4}{f_1} + \frac{o_4}{f_2} \right) \cdot k = \left(\frac{506,14}{4,00} + \frac{506,14}{5,15} \right) \cdot 2 = 224,82 \cdot 2 = 449,63 \text{ min}$$

$$t_{AS5} = \left(\frac{o_5}{f_1} + \frac{o_5}{f_2} \right) \cdot k = \left(\frac{296,30}{4,00} + \frac{296,30}{5,15} \right) \cdot 1 = 131,61 \cdot 1 = 131,61 \text{ min}$$

Na obr. 55 je ukázka ze softwaru NX CAM.



Obr. 55 Dráha elektrojiskrového drátového řezání v softwaru NX CAM.

4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole je návrh technologické přípravy výroby stírací desky zhodnocen ekonomicky. Budou zde porovnávány časy operací a náklady na jednotlivé etapy výroby.

4.1 Zhodnocení z hlediska časů operací

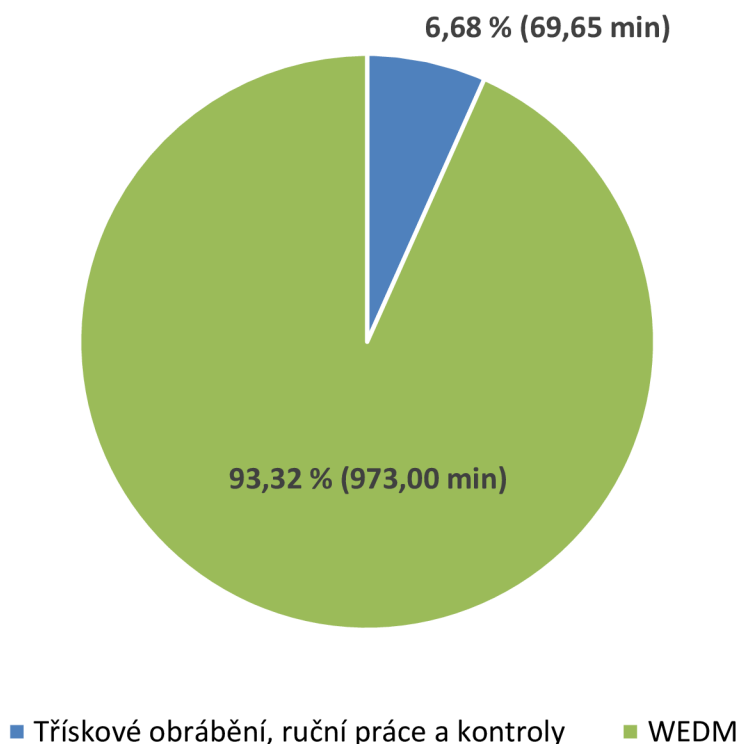
Čas celkové výroby součásti byl stanoven na 1042,65 min. Do časů však není započítáno tepelné zpracování, protože se provádí externě mimo firmu BRANO a.s.

V tab. 28 je uvedeno, jaký podíl časů je využito pro WEDM a třískové obrábění (včetně kontrol). To je také graficky znázorněno na obr. 56.

Tab. 28 Rozložení celkových časů t_{AC} .

		Třískové obrábění, ruční práce a kontroly	WEDM
t_{AC}	[min]	69,65	973,00
	[%]	6,68	93,32

Rozložení výrobních časů



Obr. 56 Grafické znázornění rozložení celkových časů t_{AC}

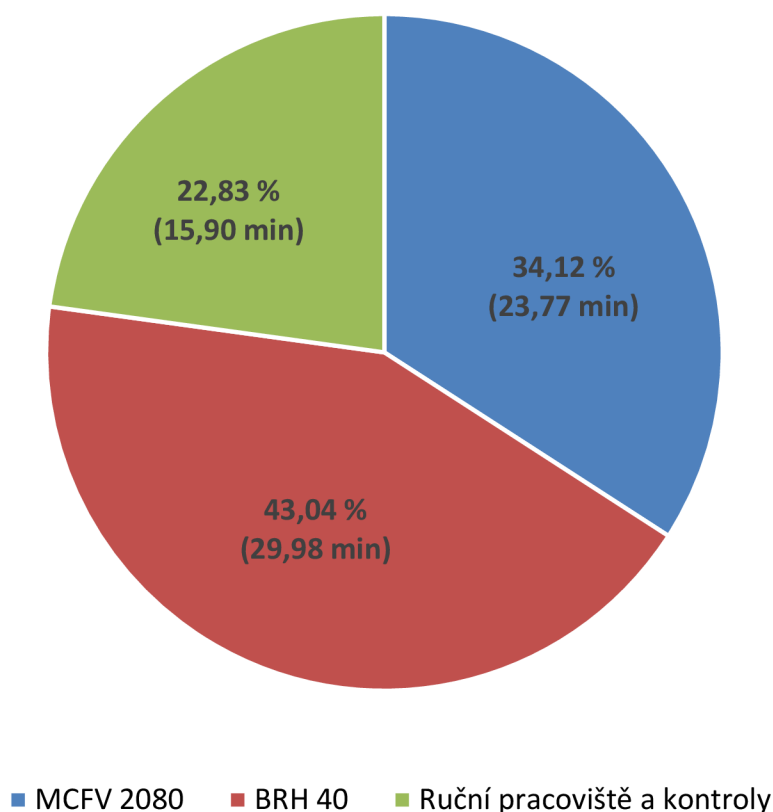
Z grafu je zřejmé, že technologie WEDM je časově mnohem náročnější než ostatní technologie ve výrobním procesu. Zabírá 93,32 % celkového času výroby.

Aby bylo také jasné rozložení časů mezi třískovým obráběním a kontrolou, je v následující tabulce (viz tab. 29) a grafu (viz obr. 57) uvedeno rozložení celkových výrobních časů mezi obrábění na obráběcím centru MCFV 2080, broušení na brusce BRH 40 a ruční pracoviště včetně kontroly.

Tab. 29 Rozložení celkových časů t_{AC} mezi MCFV 2080, BRH 40 a ruční práce (včetně kontroly).

-		MCFV 2080	BRH 40	Ruční práce a kontroly
t_{AC}	[min]	23,77	29,98	15,90
	[%]	34,12	43,04	22,83

Rozložení výrobních časů



Obr. 57 Grafické znázornění rozložení celkových časů t_{AC} mezi MCFV 2080, BRH 40 a ruční práce (včetně kontroly).

Z grafu vychází, že nejvíce času je nutno věnovat broušení (43,04 %), o něco méně obrábění na MCFV 2080 (34,12 %) a nejméně potom ručnímu obrábění a kontrole (22,83 %).

4.2 Zhodnocení z hlediska výrobních nákladů

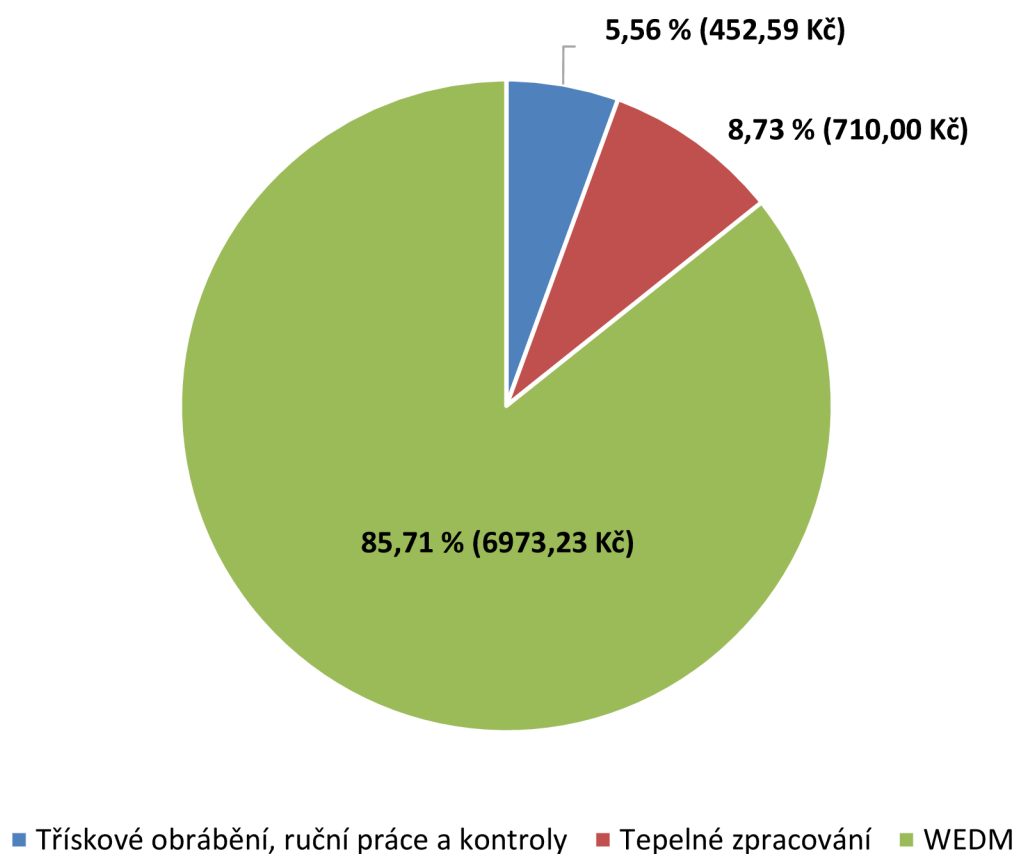
Náklady na celkovou výrobu desky byla stanovena na 8135,82 Kč.

V tab. 30 je uvedeno, jak jsou rozloženy náklady na výrobu. To je také graficky znázorněno na obr. 58.

Tab. 30 Rozložení nákladů na výrobu stírací desky.

-		Třískové obrábění, ruční práce a kontroly	Tepelné zpracování	WEDM
Náklady	[Kč]	452,59	710,00	6973,23
	[%]	5,56	8,73	85,71

Rozložení nákladů na výrobu stírací desky



Obr. 58 Rozložení nákladů na výrobu.

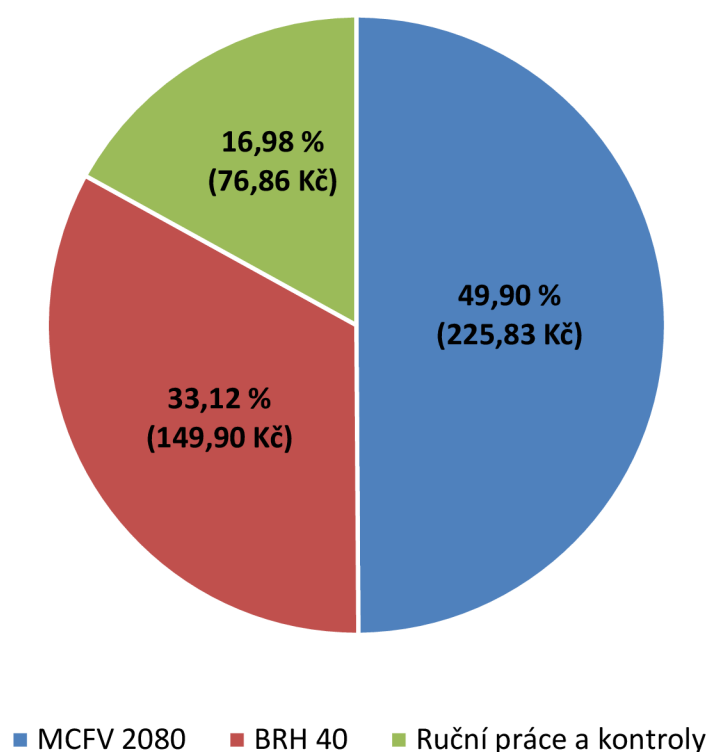
Na výrobě stírací desky je nejdražší technologie WEDM (85,71 %). Zbytek nákladů tvoří tepelné zpracování (8,73 %) a třískové obrábění včetně ručních prací a kontroly (5,56 %).

Rozložení nákladů mezi třískovým obráběním a kontrolou je uvedeno v následující tabulce (viz tab. 31) a grafu (viz obr. 59). Náklady jsou rozloženy stejně jak u celkových výrobních časů mezi MCFV 2080, BRH 40 a ruční pracoviště včetně kontroly.

Tab. 31 Rozložení nákladů na výrobu mezi MCFV 2080, BRH 40 a ruční práce (včetně kontroly).

-		MCFV 2080	BRH 40	Ruční práce a kontroly
Cena	[Kč]	225,83	149,90	76,86
	[%]	49,90	33,12	16,98

Rozložení nákladů na výrobu



Obr. 59 Rozložení nákladů na výrobu mezi MCFV 2080, BRH 40 a ruční práce (včetně kontroly).

Z těchto technologií zabírá téměř polovinu nákladů (49,9 %) obrábění na MCFV 2080, asi třetinu (33,12 %) broušení a zbylých 16,98 % ruční pracoviště a kontrola.

ZÁVĚR

Tato práce pojednává o technologické přípravě výroby stírací desky. Deska bude následně použita v postupovém tvářecím nástroji.

- Stírací deska byla vyrobena (viz obr. 60) dle navrhnuté technologické přípravy výroby. Veškeré konstrukční požadavky byly splněny a lze říci, že vyrobená součást vyhovuje. Po montáži do postupového nástroje součást plní svou funkci správně.
- Velká časová náročnost výroby je dána především použitím technologie WEDM, která zabírá 93,32 % času (973,00 min). Celkový čas výroby byl stanoven na 1042,65 min. Další menšinové položky jsou obrábění na obráběcím centru MCFV 2080 (23,77 min), broušení na brusce BRH 40 (29,98 min) a ruční práce včetně kontrol (15,90 min).
- Celkové výrobní náklady stírací desky se odhadují na 8136 Kč. Výrobní náklady na již zmiňovanou technologii WEDM odpovídá 85,71 % z celkových nákladů, což je přibližně 6973 Kč. Další nákladové položky jsou tepelné zpracování (710 Kč), obrábění na MCFV 2080 (226 Kč), broušení na BRH 40 (150 Kč) a ruční práce včetně kontrol (77 Kč).
- Z technicko ekonomického zhodnocení vyplývá, že výši výrobních nákladů ovlivňuje především technologie WEDM, proto by se u typově podobných součástí mělo pořádně zvážit, zda je použití této technologie nezbytné.



Obr. 60 Vyrobena součást (stírací deska).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s.: obr., tabulky, grafy, schémata; 21 cm. ISBN 80-01-01003-1.
2. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.: il. ISBN 04-234-80.
3. MRŇA, Libor. *Řezání laserem* [online]. [cit. 14. února 2018]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/studium/index.php?stranka=opory>
4. Technický týdeník Business Media CZ, s.r.o., *Laserové řezání: volba a vlastnosti asistenčních plynů* [online]. [cit. 14. února 2018]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/laserove-rezani-volba-a-vlastnosti-asistencnich-plynu_28272.html
5. KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás* [online]. 2004, [cit. 19. února 2018]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>
6. Sandvik Coromant, s.r.o., *CoroMill 210 - Čelní frézování s vysokými rychlostmi posuvu a ponorné frézování* [online]. [cit. 19. února 2018]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_210/Pages/assortment.aspx
7. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2
8. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*, [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2003 [vid. 25. února 2018]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
9. SVOBODA, Rostislav. *Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení. FANUC Czech s.r.o.* [online]. 26. května 2015 [cit. 26. února 2018]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-řízení/>
10. TENLINKS, Inc. *Directory of CAD, CAM and CAE: CAM Products and Companies*. [online]. 2013 [cit. 28. února 2018]. Dostupné z: <http://www.tenlinks.com/cam/products.htm>
11. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 2. část*, [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2004 [vid. 28. února 2018]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
12. M&V, s.r.o., Divize STIMZET, *Vrták středící 60°- tvar A* [online]. [cit. 7. března 2018]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/csn221110_cz.html
13. M&V, s.r.o., Divize STIMZET, *Vrták s kuželovou stopkou vysoce výkonný s 8 % kobaltu* [online]. [cit. 7. března 2018]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/zvse221148_cz.html
14. M&V, s.r.o., Divize STIMZET, *Vrták s kuželovou stopkou střední s ostrím ze slimitého karbidu* [online]. [cit. 7. března 2018]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/zvse221332_cz.html

15. Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Neklanova 1806, 413 26 Roudnice n.L., příspěvková organizace, *Kopinatý vrták* [online]. [cit. 7. března 2018].
Dostupné z: <http://kvalifikace.sosasource.cz/2-2-2-3-3-kopinaty-vrtak/>
16. SA Trade s.r.o., *PTB-16B/230 - Stolní vrtačka* [online]. [cit. 7. března 2018].
Dostupné z: <https://www.promacz.cz/ptb--16b230--vrtacka.html>
17. PROFIKA s.r.o., *5-ti osé CNC formařské centrum Hi-Mold 560/5A* [online]. [cit. 7. března 2018]. Dostupné z:
<http://www.profika.cz/cnc-stroje/5-ti-ose-cnc-formarske-centrum-hi-mold5605a>
18. PROXXON, s.r.o., *Proxxon 24020 - Hlavička vrtací pro soustruh PD 230/E* [online]. [cit. 7. března 2018]. Dostupné z: http://www.tntrade.cz/proxxon-24020-hlavicka-vrtaci-pro-soustruh-pd-230-e_d155909.html
19. KORECKÝ, Jan. *Kalení oceli: Pomůcka k výcviku kaličů v průmyslu*. 2. vyd., Praha: Prace, 1951, 191 s.
20. Münsterová, Eva a Eva Molliková. *Fázové přeměny při tepelném zpracování* [online]. [cit. 16. března 2018]. Dostupné z:
<http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/podklady-pro-vyuku-zimni-semestr>
21. MORÁVEK, Otakar a Vladislav BABOROVSKÝ. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*. Praha: SNTL, 1972. Řada strojírenské literatury.
22. NESLUŠAN, Miroslav. *Dynamické aspekty brúsenia kovov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2008. ISBN 978-80-8070-857-3.
23. HOLEŠINSKÝ, Ladislav. *Značení brousicích kotoučů* [online]. [cit. 20. března 2018]. Dostupné z:
http://www.sszepreperov.cz/dum/ov/7B_VY_32_INOVACE_OV_1ROC_11.pdf
24. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 3. část*, [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2005 [vid. 20. března 2018].
Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
25. SVOBODA, Rostislav. *Elektroerozivní drátové řezání. Poznejte princip EDM strojů* [online]. 6. října 2015 [cit. 4. dubna 2018]. ISSN 2533-4271.
Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/elektroerozivni-dratove-rezani-poznejte-princip-edm-stroju/>
26. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
27. Precipart Group, Ltd., Learn about the advantages of electrical discharge machining [online]. [cit. 5. dubna 2018]. Dostupné z:
<https://www.precipart.com/blog/advantages-of-electrical-discharge-machining/>
28. Bohdan Bolzano, s.r.o., *Materiálový list oceli 90MnCrV8* [online]. [cit. 7. dubna 2018]. Dostupné z:
http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_90MnCrV8doc1.pdf

29. Toolsteel, s.r.o., *1.2842 / 19 312 / 19 313 / 90MNCRV8 / O2* [online]. [cit. 7. dubna 2018]. Dostupné z: http://toolsteel.cz/wp-content/uploads/2017/02/1.2842_cz_2.pdf
30. TAJMAC-ZPS. a.s., *Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080* [online]. [cit. 8. dubna 2018]. Dostupné z: http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv2080_cz.pdf
31. Sandvik Coromant, s.r.o., *Rotační nástroje* [online]. 2017 [cit. 9. dubna 2018]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/default.aspx#query=%7B%22n%22:%22%22,%22i%22:%22%22,%22r%22:%5B%7B%22n%22:%22TIBPAvailability%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22Available%22%7D%5D%7D,%7B%22n%22:%22TIBPMetadataLanguage%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22cs-cz%22%7D%5D%7D%5D,%22c%22:%5B%5D%7D>
32. GÜHRING, s.r.o., *Guehring drilling tools* [online]. [cit. 11. dubna 2018]. Dostupné z: <https://www.guehring.de/en/about-guehring/newsroom/downloads.php>
33. LMT Czech Republic s.r.o., *Katalog frézovacích nástrojů LMT 2014* [online]. [cit. 17. dubna 2018]. Dostupné z: http://www.lmt-fette.cz/fette/katalogy-ke-stazeni/hlavni-katalogy/art_27/katalogy-hlavni.aspx
34. GÜHRING, s.r.o., *RF 100 - High-performance end mills with unequal helix angle* [online]. [cit. 27. dubna 2018]. Dostupné z: <https://www.guehring.de/en/about-guehring/newsroom/downloads.php>
35. Ecosond, s.r.o., *Vakuové pece B.M.I.* [online]. [cit. 28. dubna 2018]. Dostupné z: <http://www.ecosond.cz/cs/zastoupeni-znacek/b.m.i.html>
36. Mitutoyo, s.r.o., *Tvrdoměry Rockwell HR-110MR* [online]. [cit. 9. května 2018]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/HR100%252F200%252F300%252F400/Tvrdom%C4%9Bry%20Rockwell/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/963-210-20/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/HR100%252F200%252F300%252F400/Tvrdom%C4%9Bry%20Rockwell/$catalogue/mitutoyoData/PR/963-210-20/index.xhtml)
37. SOVEX, s.r.o., *BRUSKA ROVINNÁ BRH 40 B/1500* [online]. [cit. 9. května 2018]. Dostupné z: <http://www.sovex.cz/katalog/brusky/rovinne/bruska-rovinna-brh-40-b1500>
38. Mitutoyo, s.r.o., *Surftest SJ-210* [online]. [cit. 11. května 2018]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/1292249246959/Surftest%20SJ-210/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/178-560-01D/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/1292249246959/Surftest%20SJ-210/$catalogue/mitutoyoData/PR/178-560-01D/index.xhtml)
39. Fanuc, s.r.o., *FANUC 0iD* [online]. [cit. 13. května 2018]. Dostupné z: <http://www.penta-edm.cz/text-fanuc-0id/>

Symbol	Jednotka	Popis
A	[-]	austenit
a_e	[mm]	pracovní (radiální) záběr
Al₂O₃	[-]	oxid hlinitý
a_p	[mm]	šířka záběru hlavního ostří
B	[-]	bainit
B_f	[-]	bainit finiš
b_s	[mm]	šířka brousícího kotouče
B_s	[-]	bainit start
C	[-]	uhlík
Cr	[-]	chrom
D	[mm]	průměr frézy
d	[mm]	průměr
d_s	[mm]	průměr brousícího kotouče
f	[mm]	posuv
f_a	[mm]	axiální posuv při broušení
Fe	[-]	železo
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_r	[mm]	radiální posuv při broušení
f_z	[mm]	posuv na zub
h_{eq}	[mm]	ekvivalentní tloušťka broušení
i	[-]	počet úběrů
L	[mm]	dráha nástroje
l	[mm]	délka
l_a	[mm]	dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru
l_{max}	[mm]	maximální délka obrobku
l_p	[mm]	skutečná délka polotovaru
l_{pt}	[mm]	teoretická délka polotovaru

l_t	[mm]	dráha pohybu stolu brusky v tangenciálním směru
M	[-]	martensit
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
Ms	[-]	martensit start
n	[min ⁻¹]	otáčky
n_s	[min ⁻¹]	otáčky broušícího kotouče
P	[-]	perlit
p	[mm]	přídavek na broušení
p_c	[mm]	celkový přídavek
Pf	[-]	perlit finiš
Ps	[-]	perlit start
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[μm]	výška nerovnosti profilu
Si	[-]	křemík
SiC	[-]	karbid křemíku
t_{AC}	[min]	celkový čas operace
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
V	[-]	vanad
v_c	[m · min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm · min ⁻¹]	posuvová rychlost
v_{ft}	[m · min ⁻¹]	tangenciální rychlost posuvu stolu při broušení
W	[-]	wolfram
z	[-]	počet zubů
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břitu
γ	[°]	úhel čela

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres stírací desky L-1010129-01 (informativní výkres z firmy, firma si
nepřeje zveřejňovat kompletní výkres)