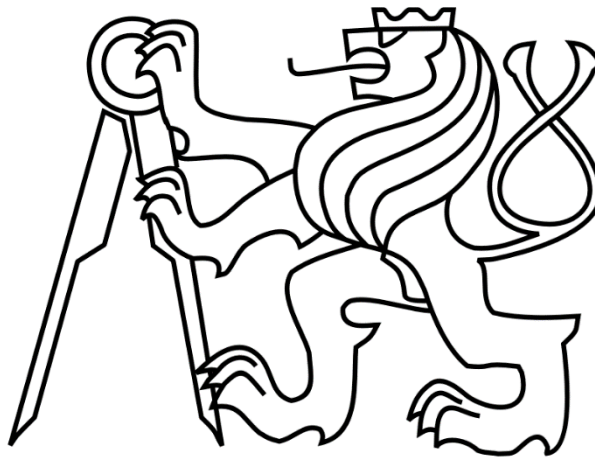


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Návrh využití CNC frézovacího stroje pro dělení a broušení kovových
vzorků

2020

Bc. Marek Čáp

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čáp** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **457647**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní stroje a zařízení**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh využití CNC frézovacího stroje pro dělení a broušení kovových vzorků.

Název diplomové práce anglicky:

Design of cutting and grinding technology of metal samples by the CNC milling machine.

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Nově navrhnete automatizovaný způsob dělení kovových vzorků pomocí rozbrušovacího kotouče a broušení roviny dělení na jedné části vzorku. Navrhnete způsob provedení obou operací, upínací přípravek, nástroje a vhodné technologické podmínky. Návrh realizujte a experimentálně ověřte funkčnost řešení. Návrh provedte pro zkušební 3osý frézovací stroj Bridgeport s řídicím CNC systémem Heidenhain TNC530 umístěný v laboratoři Ú-12135. Vzorky pro dělení jsou ocelové destičky o základně 110x110 mm s tloušťkou 8-20mm na kterých je proveden zkušební kovový návar. Úkolem je maximálně využít možnosti stroje pro vytvoření příčné plochy vzorku kvalitou blízké metalografickému výbrusu.; Osnova práce: Rešerše v oblasti vhodných dělicích kotoučů, brousících kotoučů, orovnávačů, postupů přípravy metalografických výbrusů; Návrh technologického postupu; Návrh speciálních nástrojů a návrh upínacího přípravku; Doporučení pro úpravy stroje; Návrh řezných podmínek pro dělení a broušení; Experimentální ověření funkčnosti řešení; Rozsah grafické části: minimálně 3 sestavné výkresy (přípravek, dělicí nástroj, brusný nástroj), minimálně 5 výrobních výkresů; Rozsah textové části: 60 - 80 stran

Seznam doporučené literatury:

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. a II. Brno: CERM, 1999; MACEK, K. a kol. Strojírenské materiály. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2003; MACEK, K. a kol. Nauka o materiálu cvičení. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2007; Šebestová, H., Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii, web (studijní text k předmětům SLO/ZNM2 a SLO/BTM2);

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Smolík, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

Ing. Jan Smolík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 17.7.2020

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Smolíkovi, Ph.D. a konzultantům, panu Ing. Ivanu Divišovi a Ing. Tomáši Fornůskovi za jejich cenné rady a připomínky, konzultace a vedení práce. Dále chci poděkovat své rodině, blízkým a příbuzným za podporu při studiu.

Anotace

Autor:	Bc. Marek Čáp
Název DP:	Návrh využití CNC frézovacího stroje pro dělení a broušení kovových vzorků.
Rozsah práce:	94 str., 72 obr., 19 tab.
Akademický rok vyhotovení:	2019/2020
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí DP:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Konzultanti:	Ing. Ivan Diviš Ing. Tomáš Fornůsek
Zadavatel tématu:	ČVUT FS, Ú12135
Využití:	Dělení a broušení kovových vzorků ke zkoumání kvality návarů.
Klíčová slova:	Rozbrušovací kotouč, rozbrušování, brusný kotouč, broušení, navařování, upínání vzorku, upínání nástroje, technologický postup, metalografický výbrus
Anotace:	Diplomová práce řeší aplikaci technologie rozbrušování a broušení v tříosém frézovacím CNC stroji BRIDGEPORT VMC 500. Je navržen upínač vzorku a vyřešeno upnutí rozbrušovacího a brusného nástroje do vřetena. Jsou vysvětleny technologické postupy procesů, provedeny experimenty a doporučeny technologické parametry procesů pro návary z konstrukční oceli.

Annotation

Author:	Marek Čáp
Title of thesis:	Design of cutting and grinding technology of metal samples by the CNC milling machine.
Extent:	94 p., 72 fig., 19 tab.
Academic year:	2019/2020
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12135 - Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Consultants:	Ing. Ivan Diviš Ing. Tomáš Fornůsek
Submitter of the Theme:	ČVUT FS, Ú12135
Application:	Cutting and grinding of metal samples to examine the quality of welds.
Keywords:	Cut-off wheel, cutting, grinding wheel, grinding, welding, sample clamping, tool clamping, technological process, metallographic cut
Annotation:	Thesis solves application of cutting and grinding technology in 3axis milling CNC machine BRIDGEPORT VMC500. The sample clamp is designed and the clamping of the cutting and grinding tool to the spindle is solved. The technological procedures of the processes are explained, experiments are performed and the technological parameters of the processes for structural steel welds are recommended.



Obsah

Přehled použitých veličin a jednotek.....	9
1 Úvod.....	11
2 Cíl práce.....	12
3 Stav řešené problematiky.....	14
3.1 Rozbrušování.....	14
3.1.1 Rozbrušovací kotouče.....	15
3.1.2 Výrobci rozbrušovacích kotoučů.....	17
3.1.3 Procesní parametry.....	21
3.1.4 Rozbrušovací pily.....	23
3.2 Broušení.....	31
3.2.1 Brusné kotouče.....	32
3.2.2 Procesní parametry.....	34
3.2.3 Orovnávání.....	34
3.2.4 Filtrační jednotky.....	35
3.3 Metalografický výbrus.....	36
3.3.1 Postup provedení výbrusu.....	36
3.3.2 Brusné papíry a folie, leštící plátna.....	39
3.3.3 Procesní parametry.....	40
3.3.4 Brusky a leštičky.....	41
3.4 Upínání a upevňování.....	44
3.4.1 Upínání rozbrušovacích a brusných kotoučů.....	44
3.4.2 Upevňování vzorků.....	45
3.5 Technologie navařování.....	46
3.5.1 Technologie WAAM.....	47
3.5.2 Hybridní stroj s technologií WAAM (WELDPRINT MCV 5X) ...	47
4 Návrh automatizovaného způsobu dělení a broušení vzorků.....	49
4.1 Upínač vzorku.....	50
4.1.1 Popis konstrukce.....	52
4.1.2 Montáž a demontáž.....	55
4.2 Rozbrušování.....	56



4.2.1	Volba rozbrušovacího kotouče	57
4.2.2	Upínací rozhraní a jeho montáž	60
4.2.3	Postup rozbrušování.....	62
4.3	Broušení.....	66
4.3.1	Volba brusného kotouče	66
4.3.2	Upínací rozhraní a jeho montáž	68
4.3.3	Postup broušení.....	72
4.4	Kontrolní výpočet bezpečnosti krytování	74
4.5	Doporučení pro úpravy stroje	76
5	Experimentální ověření funkčnosti.....	77
5.1	Rozbrušování	77
5.2	Broušení	79
5.3	Výsledky experimentu	82
6	Závěr	83
	Seznamy	85
	Seznam obrázků	85
	Seznam tabulek.....	87
	Seznam použité literatury	88
	Seznam použitého softwaru.....	93
	Seznam příloh.....	93
	Výkresová dokumentace	93
	Elektronické přílohy	94



Přehled použitých veličin a jednotek

Symbol	Jednotka	Název veličiny
D_{br}	[mm]	Průměr brusného kotouče
D_E	[mm]	Vnitřní průměr upínací příruby brusného kotouče
D_{Emax}	[mm]	Maximální vnitřní průměr upínací příruby brusného kotouče
D_F	[mm]	Vnější průměr upínací příruby brusného kotouče
D_{Fmin}	[mm]	Minimální vnější průměr upínací příruby brusného kotouče
D_{roz}	[mm]	Průměr rozbrušovacího kotouče
D_{roz_tab}	[mm]	Průměr rozbrušovacího kotouče z tabulky normy ČSN EN ISO 16089
E_{trans}	[Nm]	Translační energie úlomků brusného kotouče
F_{br}	[mm/min]	Strojní posuv při broušení
F_{roz}	[mm/min]	Strojní posuv při rozbrušování
H	[mm]	Průměr díry brusiva
H_{br}	[mm]	Průměr díry brusiva brusného kotouče
H_{roz}	[mm]	Průměr díry brusiva rozbrušovacího kotouče
H_{roz_tab}	[mm]	Průměr díry rozbrušovacího kotouče z tabulky normy ČSN EN ISO 16089
M	[mm]	Radiální šířka brusiva
m_{br}	[kg]	Hmotnost brusného kotouče
n_{BPmax}	[/min]	Maximální otáčky vřetena stroje BRIDGEPORT VMC500
n_{br}	[/min]	Pracovní otáčky technologického procesu broušení
n_{roz}	[/min]	Pracovní otáčky technologického procesu rozbrušování
Q	[-]	Poměr průměru díry brusiva a průměru brusiva
R	[mm]	Styková plocha příruby a brusného kotouče
T_{roz}	[mm]	Šířka rozbrušovacího kotouče
T_{roz_tab}	[mm]	Šířka rozbrušovacího kotouče z tabulky normy ČSN EN ISO 16089
t_{BP}	[mm]	Tloušťka plechu krytování stroje BRIDGEPORT VMC500
t_{br_min}	[mm]	Minimální tloušťka plechu krytování stroje pro broušení
t_{roz_min}	[mm]	Minimální tloušťka plechu krytování stroje pro rozbrušování
U_{br}	[mm]	Úběr materiálu při broušení



v_{br}	[m/s]	Pracovní rychlost broušení
v_{roz}	[m/s]	Pracovní rychlost rozbrušování
v_{roz_tab}	[m/s]	Pracovní rychlost rozbrušování z tabulky normy ČSN EN ISO 16089
α	[°]	Úhel úlomků brusného kotouče



1 Úvod

Strojírenský průmysl produkuje širokou škálu výrobků. Jsou-li to mechanicky namáhané dílce, mají omezenou životnost a časem dojde k defektu (trhlina, ulomení, ...). Zatímco součásti malých rozměrů se většinou vymění za nové, u některých velkých dílů by to bylo finančně nevýhodné řešení. Pokud je defekt malý, tak se kovové díly tohoto typu opravují (např. bloky motorů, tvářecí formy apod). Jedním ze způsobů opravy je odstranění poškozené části dílce a její zpětné vytvoření pomocí aditivní technologie navařování.

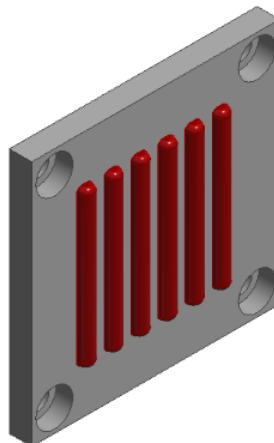
Jednou z mnoha dalších aplikací technologie navařování je například vytvoření funkčních ploch na odlitku z kvalitnějšího materiálu, než je samotný odlitek. Dílec tak má díky tomu požadované mechanické vlastnosti (otěruvzdornost, houževnatost, ...) jen v místě navaření, kde je namáhán a zbytek součásti může být z levnějšího materiálu.

U všech aplikací aditivní technologie navařování je požadováno, aby návary byly dostatečně pevně navařené k základu a i k sobě navzájem bez vad. Pro dokonalé provedení je nutné odladit parametry procesu.

Cílem diplomové práce je návrh technických prostředků pro rozbrušování a broušení návarů v CNC stroji BRIDGEPORT VMC500 tak, aby po aplikaci těchto technologických procesů bylo možné zkoumat případné vady návarů.

2 Cíl práce

V diplomové práci je řešen návrh technických prostředků pro automatizované dělení vzorků (viz Obr. 1) technologií rozbrušování a broušení roviny řezu ve frézovacím stroji BRIDGEPORT VMC500.



Obr. 1 Vzorek ve výchozím stavu – destička s návary (červeně) o rozměrech 110x110x8-12 mm

Je zpracována rešerše v oblasti rozbrušovacích kotoučů a jejich výrobců, procesních parametrů rozbrušování, rozbrušovacích pil, brusných kotoučů a jejich orovnávaní a procesních parametrů broušení. Dále se pak rešerše věnuje typům filtračních jednotek řezné kapaliny, metalografickému výbrusu a jeho procesním parametrům, bruskám a leštičkám, upínání rozbrušovacích a brusných kotoučů a upevňování vzorků. Poslední kapitola rešerše pojednává o technologii navařování metodou WAAM a je zmíněn hybridní stroj pro tuto technologii.

První podkapitola vlastního řešení vysvětluje konstrukci upínače vzorku. Je popsána sestava upínače – funkční části jednotlivých dílů a funkce normalizovaných prvků. Schematicky je naznačena montáž a demontáž upínače.

Druhá a třetí podkapitola vlastního řešení se zabývá volbou rozbrušovacího a brusného kotouče, konstrukcí jejich upínacích rozhraní a technologickými postupy obou procesů.

Je představen výpočet bezpečnosti krytování stroje při případné destrukci řezného nebo brusného nástroje. Jsou doporučeny dodatečné úpravy stroje.



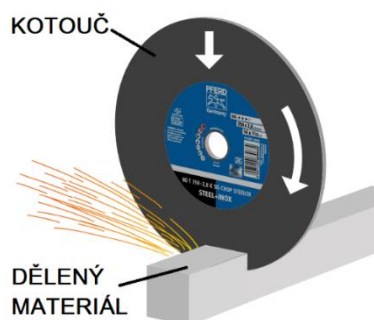
Nakonec jsou představeny provedené experimenty technologie rozbrušování a broušení návarů z konstrukční oceli v CNC stroji. Výstupem experimentů jsou doporučené technologické parametry pro oba procesy.

3 Stav řešené problematiky

3.1 Rozbrušování

Dělení materiálu obecně je jedna ze základních technologických operací. V technologickém sledu bývá často na prvním místě. Provádí se, pokud chceme získat vhodný tvar polotovaru nebo již hotového výrobku, zkrátit obrobek, zkoumat strukturu materiálu atd.

Technologická operace rozbrušování je realizována pomocí rozbrušovacího kotouče, který koná rotační pohyb okolo své osy a pohyb (přísuv) do děleného materiálu. Rotační pohyb je řešen strojně (viz Obr. 2 - šipka kopírující obvod kotouče), přísuv může být realizován taktéž strojně anebo manuálně (šipka ve svislém směru).



Obr. 2 Znárodnění technologie rozbrušování [1]

Odebírání materiálu se děje pomocí brusných zrn v kotouči. Mezi nimi a děleným materiálem vzniká za obou pohybů kotouče obrušovací účinek – zrna oddělují řezaný materiál, ale samy se lámou a vylamují. To má za následek jak žádoucí úběr materiálu, tak nežádoucí opotřebení a úbytek kotouče.

Jelikož mají zrna většinou přibližně tvar „koule s ostrými výstupky“, chovají se při rozbrušování jako nástroj s negativní geometrií při obrábění. Vznikají velké řezné síly a z toho plyne i velké vzniklé teplo. V každém případě je tento vznik tepla nežádoucí, zvláště pokud chceme povrch řezu poté zkoumat. Tento problém se řeší intenzivním



chlazením přivedeným do řezného procesu. Dá se říci, že rozbrušování je ekvivalent broušení, co se týče principu odebrání materiálu a použitého nástroje.

3.1.1 Rozbrušovací kotouče

Rozbrušovací kotouče se skládají z dvou až třech hlavních složek. Tyto jednotlivé složky nám svým složením specifikují druh kotouče. Mají vliv na jeho řezné vlastnosti a následně určují, pro jaký materiál je jejich použití vhodné. Základními složkami rozbrušovacího kotouče jsou:

- Brusivo
- Pojivo
- Výztuhy

U brusiva rozlišujeme tzv. zrnitost, která souvisí s velikostí zrn. Dřívější označení zrnitosti vyjadřovalo velikost zrna v mikrometrech vydělenou deseti. Tedy čím větší číslo, tím větší zrno a tím větší hrubost. Dnešní označení vychází z evropské normy FEPA. Ta definuje zrnitost jako číslo udávající počet ok síta na jeden palec (25,4 mm), kterým ještě brusivo při prosívání propadne. Toto značení má tedy opačnou logiku – čím větší číslo, tím menší zrno a tím menší hrubost. [2] Slovní popis zrnitosti dle FEPA je v Tab. 1.

Zrnitost dle FEPA	Slovní popis
7,8,10,12	velmi hrubá
14,16,20,22,24,30	hrubá
36,40,46,54,60	střední
70,80,90,100,120	jemná
150,180,220,240	velmi jemná
280,320,400,500,600	zvlášť jemná
800,1000,1200	extra jemná

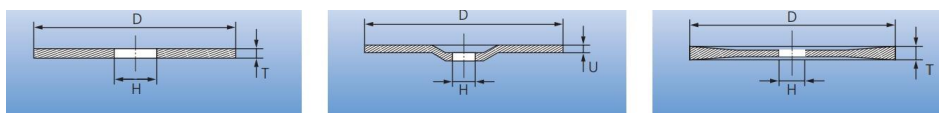
Tab. 1 Slovní popis zrnitosti dle FEPA [2]

Jako brusivo se nejčastěji používá karbid křemíku (SiC), korund (Al_2O_3), kubický nitrid boru (CBN) a diamant.

Co se týče pojiva, jsou brusná zrna v rozbrušovacích kotoučích nejčastěji pojena pomocí umělé pryskyřice. Dalšími typy pojiv mohou být například kovy, galvanicky nanesené kovy nebo keramika. [3] Pojivo se podílí velkou částí na tvrdosti kotouče. Ta souvisí s druhem použitého pojiva a poměrem množství pojiva ku množství zrn. Čím více pojiva ku brusivu, tím menší tvrdost. [4]

Výztuha sklotextilními vlákny je u kotoučů, u kterých je požadavek na zvládnutí vyšších obvodových rychlostí. [5] Zároveň je s vyztuženým kotoučem bezpečnější práce a odolává lépe bočnímu zatížení. [3]

Dále se mohou kotouče lišit svým tvarem. Příklady tvarů jsou na Obr. 3. Vlevo je nejčastější rovné provedení, které má univerzální použití. Uprostřed se nachází zalomené provedení vhodné pro slévárny. Jeho výhodou spočívá v tom, že upínací příruba nevyčnívá nad boční plochu kotouče. Vpravo je kuželové provedení. Tento tvar má za následek jen malé tření na bocích kotouče. Z toho plyne jeho vhodnost použití pro hluboké řezy. [6]



Obr. 3 Příklady tvarů rozbrušovacích kotoučů [6]

Pokud se zaměříme na rozměry, nejčastěji lze najít rozbrušovací kotouče s vnějším průměrem přibližně od 150 do 400 mm a tloušťkou od 1 do 3 mm. Vnitřní průměr je důležitý z hlediska středění kotouče v upínacím rozhraní. Čep rozhraní by měl s vnitřním průměrem kotouče pasovat tak, aby došlo k minimálnímu radiálnímu házení. Velikosti tohoto vnitřního průměru jsou nejčastěji od 12 do 32 mm. Samozřejmě ale existují provedení s rozměry mimo tyto zmíněné hodnoty, záleží na konkrétní aplikaci kotouče a na výrobci.

Značení rozbrušovacích kotoučů má často každý výrobce své specifické, ale existuje i jednotné značení podle normy ČSN EN 12413+A1. Příklad značení podle této normy je v Tab. 2.



41	A	30	L	BF	80
1	2	3	4	5	6
1	provedení kotouče (41 = přímé, 42 = zalomené)				
2	označení brusiva (A = korund, C = karbid křemíku, ...)				
3	hodnota zrnitosti				
4	stupeň tvrdosti (A až Z – A je nejměkčí, Z nejtvrdší)				
5	pojivo (BF = umělá pryskyřice, ...)				
6	maximální obvodová rychlost				

Tab. 2 Značení rozbrušovacího kotouče podle normy ČSN EN 12413+A1 [7]

3.1.2 Výrobci rozbrušovacích kotoučů

V této části budou uvedeni někteří výrobci, kteří se rozbrušovacími kotouči zabývají. Bude zmíněno, jaký typ kotoučů společnosti nabízí – konkrétně s jakým typem brusiva, jakých velikostí, pro jaké účely atd.

- **Struers**

Společnost Struers je světový výrobce vybavení a spotřebního materiálu pro metalografickou preparaci povrchů pevných materiálů. [8] Firma nabízí poměrně široké spektrum rozbrušovacích kotoučů dle použitého brusiva – korundové (Al_2O_3), karborundové (SiC), diamantové a CBN kotouče.

Korundových rozbrušovacích kotoučů nabízí Struers nejvíce. S vnějšími průměry se pohybují od 125 do 508 mm a tloušťku mají od 0,5 do 3,5 mm. Jsou určeny pro materiály od tvrdosti 75 do 1400 HV, tudíž mají využití pro extrémně tvrdé i měkké slitiny železa. Příklad takového kotouče je na Obr. 4.



Obr. 4 Rozbrušovací kotouč Struers 66A25 [9]

Karborundové kotouče Struers jsou k dispozici s vnějším průměrem od 150 do 508 mm s tloušťkou od 0,5 do 3,5 mm. Používají se na neželezné měkké kovy a velmi houževnaté kovy. Tomu odpovídají tvrdosti od 50 do 375 HV.

CBN kotoučů má firma v portfoliu méně. S vnějšími průměry od 125 do 406 mm a tloušťkou od 0,6 do 1,8 mm je lze využít pro extrémně tvrdé slitiny železa s tvrdostí od 500 do 1400 HV.

Diamantové kotouče lze pořídit o vnějších průměrech od 70 do 350 mm a tloušťce od 0,15 do 1,8 mm. Řežou se jimi materiály tvrdosti 500 až 2000 HV – extrémně tvrdé slitiny železa, slinuté karbidy, tvrdá keramika, minerály atd.

- **Tyrolit**

Společnost Tyrolit patří mezi přední světové výrobce kompozitních brusných, rozbrušovacích, řezných, vrtacích a ořnůvacích nástrojů i systémové poskytovatele nástrojů a strojů pro stavební průmysl. [10] V nabídce lze najít rozbrušovací kotouče pro úhlové a přímé brusky, benzínové rozbrušovací pily a stacionární rozbrušovačky. Dále budou uvedeny jen kotouče pro stacionární rozbrušovačky.

Rozbrušovací kotouče Tyrolit pro stacionární rozbrušovačky jsou k dispozici ve třech kvalitativních řadách. Řada „STANDARD“ a „BASIC“ je vhodná pouze na ocel. S řadou „PREMIUM“ lze dělit klasickou i ušlechtilou ocel, neželezné kovy, litiny a kámen (viz Tab. 3).

Kvalitativní řada	Specifikace	Ocel	Ušlechtilá ocel	Neželezné kovy	Kámen	Litina
★★★ PREMIUM	... BF71 ...	•				
	... BF02 ...	•				
	...BF14...	•				
	... BF97 ...		•			
	... BF68 ...		•			
	... BFXM ...		•			
	... BF98 ...		•			
	... BF59 ...			•		
	... BF33 ...				•	
	C...BF71...				•	
	DC CI					•
★★ STANDARD	A46S-BF	•				
★ BASIC	A46S-BF	•				

Tab. 3 Kvalitativní řady kotoučů Tyrolit a jejich použití pro jednotlivé materiály [3]

Tyrolit nabízí mnoho typů rozbrušovacích kotoučů. Níže budou uvedeny některé z nich.

Na dělení oceli lze vybrat kotouče o vnějším průměru od 300 do 600 mm a tloušťce od 2,5 do 6 mm v rovném provedení. Jako brusivo obsahují korund, jsou spojené umělou pryskyřicí a vyztužené skelnou tkaninou. Zrnitost je hrubá až střední.

Na ušlechtilou ocel nabízí Tyrolit kotouče o vnějším průměru od 250 do 600 mm a tloušťce od 2,5 do 7 mm. Brusivem je korund, pojivem umělá pryskyřice. Mají v sobě výtuhu ze skelné tkaniny a mohou být v přímém i zalomeném provedení. Zrnitost je hrubá až střední.

Chceme-li dělit neželezné kovy, můžeme použít kotouče s vysokou řezivostí¹, vnějším průměrem od 300 do 500 mm a tloušťkou od 3,5 do 5,5 mm. Jako brusivo je použit korund, jako pojivo umělá pryskyřice, zrnitost je tvrdá a provedení přímé.

Pro běžnou a nerezovou ocel lze zvolit kotouče LAB. Tato řada se využívá k řezání laboratorních vzorků, kde se požaduje rychlé řezání bez prasklin, deformací obrobku nebo narušení struktury. [3] K dispozici jsou kotouče o vnějším průměru od 230 do 432 mm a tloušťce od 1,5 do 3 mm. Brusivem a pojivem je opět korund s umělou

¹ Vlastnost nástroje umožňující efektivním způsobem odebírat materiál [60]

pryskyřicí. Zrnitost je střední až jemná, provedení je přímé. Neobsahují výztuhu, tudíž je nutné se při aplikaci vyvarovat bočnímu zatížení. Kotouč z této řady je na Obr. 5.



Obr. 5 Kotouč Tyrolit A80BM50 [3]

- **PFERD**

Společnost PFERD je z Německa a specializuje se na vývoj, produkci, podporu a distribuci nástrojových řešení pro práci na površích materiálů a na jejich dělení. [11] Nabízí rozbrušovací kotouče pro dělení oceli, nerez, litiny a kamene. [12] Kotouče jsou vyráběny ve dvou řadách – Univerzální řada PS-FORTE (PSF) pro všeobecné použití v průmyslu a řemeslech a Výkonová řada SG-ELASTIC (SG), což je nejširší řada nástrojů pro profesionální použití v průmyslu a řemeslech.[7]

Na dělení oceli nabízí PFERD kotouče o vnějším průměru od 300 do 600 mm, tloušťce od 2,8 do 8 mm a s korundovým brusivem pojeným umělou pryskyřicí s vlákny. Zrnitost je hrubá, provedení přímé. Kotouč z této řady je na Obr. 6.



Obr. 6 Rozbrušovací kotouč PFERD 80 T 350-2,8 A 36 K PSF-CHOP/25,4 [13]



Pro ušlechtilou ocel lze vybrat kotouče o vnějším průměru od 150 do 400 mm o tloušťce od 1 do 4 mm. Brusivo a pojivo je opět korund s umělou pryskyřicí. Zrnitost je hrubá až střední, provedení přímé.

Na dělení litiny jsou k dispozici kotouče o tloušťce od 1 do 8 mm a vnějším průměru od 150 do 600 mm. Provedení je přímé, zrnitost hrubá až střední. Jako pojivo je použita opět umělá pryskyřice a brusivo je buď korund nebo karbid křemíku.

3.1.3 Procesní parametry

Podle teploty vznikající mezi rozbrušovacím kotoučem a děleným materiálem se rozlišuje řezání za studena, za tepla a za horka. Těmto jednotlivým skupinám náleží určité hodnoty teploty materiálu, obvodové rychlosti a specifického řezného výkonu². Tyto hodnoty jsou zapsány v Tab. 4. Rozmezí obvodové rychlosti je stejné, protože je ve všech případech snaha dosáhnout maximální provozní rychlosti, která závisí na výztuze kotoučů. Teplotu procesu lze tedy měnit řezným výkonem. Řezný výkon souvisí s velikostí kotouče a děleného materiálu a se zvoleným přísuvem kotouče. Pokud je tedy požadována změna teploty procesu, provede se to nejnadhěji změnou přísuvu – čím menší přísuv, tím menší teplota. Rozbrušovací pily, které jsou na trhu k dispozici, disponují nejčastěji přísuvy od 0,05 do 20 mm/s.

Provozní podmínky		Řezání za studena	Řezání za tepla	Řezání za horka
Provozní parametry	Teplota materiálu [°C]	do 100	100 až 600	více než 600
	Obvodová rychlost [m/s]	50 až 100	50 až 100	50 až 100
	Specifický řezný výkon [cm ² /s]	4 až 15	8 až 20	15 až 35

Tab. 4 Procesní parametry rozbrušování [7]

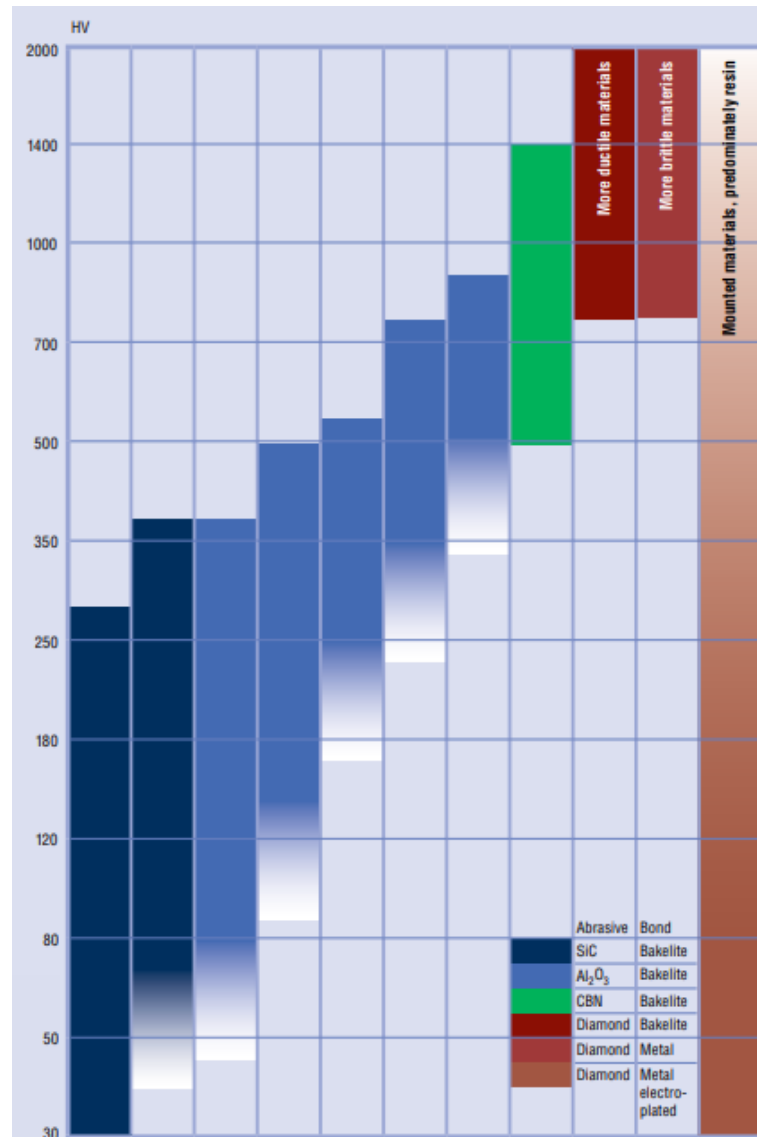
² Plocha řezu vzniklá za určitý čas



Broušení i rozbrušování za studena zanechává na materiálu zbytková tlaková pnutí a zlepšuje únavovou životnost. Tento příznivý účinek je způsoben brusnou řeznou silou, která má v této aplikaci na povrch stejný vliv jako například otryskávání. Naproti tomu rozbrušování za tepla nebo za horka způsobuje zbytková tahová pnutí a únavovou životnost zhoršují. Mezi nežádoucí účinky takto děleného materiálu může patřit například špatná integrita povrchu, jeho popraskání, zbarvení, ztvrdnutí nebo změkčení atd. Konkrétní projevy jsou závislé na druhu materiálu a předchozím tepelném zpracování. [14]

Při realizaci technologie rozbrušování je vhodné do řezu přivádět chladící médium a chladit jak samotný proces, tak i kotouč s řezaným materiálem. Většinou se používá emulze ze směsi vody a oleje, čistý minerální olej nebo čistý syntetický olej. Tato chladiva jsou do řezu přiváděna pod nízkým tlakem. Existují i alternativní metody přívodu chladícího média – například dodávka pomocí vysokotlaké trysky, pomocí mlhy atd. Chlazením se snižuje riziko teplotního poškození jednotlivých částí, drsnost povrchu řezu a úbytek kotouče a zvyšuje se efektivita procesu. Další funkce chlazení je výplach třísek z oblasti řezu. [15]

Při volbě vhodného rozbrušovacího kotouče hraje zásadní roli druh brusiva. Čím je tvrdší dělený materiál, tím je nutné zvolit i tvrdší brusivo. Je to patrné z Obr. 7, což je návod na volbu kotouče od firmy Struers. Na svislé ose je vynesena tvrdost děleného materiálu. Poté se od této hodnoty bude pokračovat vpravo dokud se nedostane do sloupce příslušné barvy. Tmavě modrou barvou je brusivo SiC, světle modrou Al₂O₃, zelenou CBN a tmavě i světle hnědou diamant. Z diagramu vyplývá, že čím tvrdší materiál chceme dělit, tím tvrdší brusivo musí kotouč obsahovat.



Obr. 7 Návod na volbu kotouče společnosti Struers [16]

3.1.4 Rozbrušovací pily

Rozbrušovací pily jsou běžné stroje pro dělení materiálu. V metalografii slouží k přípravě vzorku. Pomocí nich se vyřízne ta část, kterou poté lze zkoumat. Při rozbrušovacím procesu dochází k poškození roviny řezu až do hloubky 1 mm. Aby k tomuto poškození docházelo co nejméně, musí se vhodně zvolit řezné podmínky (přísuv, chlazení, ...), popř. je optimalizovat. Velikost řezného kotouče udává maximální velikost děleného vzorku. [17]

V této kapitole budou uvedeny některé druhy rozbrušovacích pil od různých výrobců.

- **Discotom-6 [18]**

Stolní rozbrušovací pila Discotom-6 vyrábí firma Struers. Pila se ovládá buď ručně nebo strojním posuvem do materiálu, tudíž je vhodná pro velkou škálu aplikací. Posuv lze volit mezi hodnotami od 0,1 do 2,5 mm/s. Pohon vřetena má výkon 3,7 kW a je konstruováno pro upnutí kotoučů o průměru 250 mm. Discotom-6 umožňuje dělit materiál až o průměru 80 mm. V automatickém režimu je stůl posuvný a zajišťuje dělení vzorků o délce až 140 mm a tloušťce 65 mm. Na stole je šest T-drážek o velikosti 10 mm pro upevnění upínacích nástrojů. Vzhled pily je na Obr. 8 a parametry v Tab. 5.



Obr. 8 Rozbrušovací pila Discotom-6 [18]

Motor	3,7 kW, 3420 ot/min
Upínání	6 T-drážek 10 mm
Chlazení	Recirkulační chladicí jednotka 65 l
Řezná kapacita	max. Ø 80 mm, 140 x 65 mm
Pracovní stůl	386 x 225 mm
Řezné kotouče	Ø 250 mm
Rozměry	794 x 640 x 458 mm
Hmotnost	123 kg

Tab. 5 Parametry rozbrušovací pily Discotom-6 [18]

- **AbrasiMet 250 [19]**

Manuální rozbrušovací pilu AbrasiMet 250 (viz Obr. 9) nabízí firma Buehler, jejíž distributor je v České republice například firma HANYKO Praha s.r.o. Stroj je ve stolním provedení s elektronickou brzdou. Lze do něj upnout rozbrušovací kotouč o průměru 254 mm, který umožňuje dělit materiál až do průměru 95 mm. Na kotouč je přivedeno recirkulační chlazení (pro zlepšení kvality řezné plochy) a je napojen na trojfázový motor o výkonu 3 kW. Přítlak kotouče je řešen ručně pomocí páky. Stůl z nekorodující oceli má v sobě T-drážky 12 mm. Parametry stroje jsou v Tab. 6.



Obr. 9 Rozbrušovací pila AbrasiMet 250 [19]



Motor	3,0 kW, 380 V, 50 Hz, 2800 ot/min
Upínání	dvojitě rychloupínání před a za kotoučem nebo individuální upínače na T-drážky
Chlazení	recirkulační nucené s čerpadlem o výkonu 75 W, dodávající chladící kapalinu do 2 nastavitelných trysek a oplachovací trysky
Řezná kapacita	max. Ø 95 mm
Pracovní stůl	240 x 250 mm
Řezné kotouče	Ø 254 x 32 x d mm volitelné dle druhu řezaného materiálu
Rozměry	711 x 737 x 572 mm (WxDxH)
Hmotnost	91 kg

Tab. 6 Parametry stroje AbrasiMet 250 [19]

• AbrasiMatic 300 [20]

Metalografická pila AbrasiMatic 300, taktéž od firmy Buehler, je konstruována na minimální hloubku poškození řezaného materiálu, vysokou produktivitu, opakovatelnost řezných podmínek, snadnou a bezpečnou obsluhu a co nejmenší ekologickou zátěž pracovního prostředí. Dělení materiálu je plně automatické (ve dvou nebo třech osách – záleží na verzi), ale současně je k dispozici i možnost manuálního ovládání. Automatický režim je vybaven funkcí SMARTCUT, která omezuje řeznou sílu tak, aby byly zachovány optimální řezné podmínky. Stůl se pohybuje v osách X, Y, kotouč v ose Z. Přísuv kotouče do řezu je na ose Y a pohybuje se v hodnotách 0,05-1 mm/s. Do pily lze upnout kotouč o průměru 305 mm a dělit materiál až do průměru 110 mm. Stůl je opět z nekorodující oceli a má v sobě T-drážky 12 mm. Vzhled pily s vyznačením pohybových os je na Obr. 10 a parametry v Tab. 7.



Obr. 10 Pila AbrasiMatic 300 [20]

Motor	3,7 kW / 380 V (220 V), 2600 ot/min
Max. posuvy v osách Y, Z	Posuv v ose X (vertikální pohyb): 150 mm Posuv v ose Y (předo-zadní posuv stolu): 260 mm
Rychlost posuvu řezného kotouče v ose Y	0,05 – 1,0 mm/s
Upínání	dvojitě rychloupínání před a za kotoučem nebo individuální upínače na T-drážky
Chlazení	Nucený oběh s vlastním čerpadlem o kapacitě 90 l, rychlost proudění 22 l/min
Řezné kotouče	Ø 305 x 32 x d mm (12") volitelné dle druhu řezaného materiálu
Řezná kapacita	Ø 110 mm
Pracovní stůl	365 x 254 mm
Rozměry	834 x 610 x 685 mm (WxDxH)
Hmotnost	165 kg

Tab. 7 Parametry stroje AbrasiMatic 300 [20]

- **CUTLAM 3.1 Auto [21] [22]**

Stroj CUTLAM 3.1 Auto vyrábí francouzská firma LAMPLAN. Jedná se o rozbrušovací pilu s pohybem ve dvou nebo třech osách. Pohyby mohou být realizovány manuálně, poloautomaticky nebo automaticky. Lze do ní upnout kotouč o průměru 250 až 300 mm a dělit materiál až do průměru 110 mm. Je vybavena funkcí „smart motion“, která podle přípustného kroutícího momentu působícího na kotouč v řezu upravuje rychlost přísuvu do materiálu. To umožňuje dělit materiály různých tvrdostí bez nutnosti manuální změny hodnoty přísuvu. Stroj je na Obr. 11 a jeho parametry v Tab. 8.



Obr. 11 Stroj CUTLAM 3.1 Auto [21]

Motor	3,8 kW, 1000-4000 ot/min
Max. posuvy v osách Y, Z	Posuv v ose Z (vertikální pohyb): 200 mm Posuv v ose Y (předo-zadní posuv stolu): 300 mm
Rychlost posuvu řezného kotouče v ose Y	0,1 – 20 mm/s
Upínání	T-drážky 12 mm
Chlazení	Recirkulační systém o kapacitě 60 l, rychlost proudění 13 l/min
Řezné kotouče	Ø 250–300 mm
Řezná kapacita	Ø 110 mm
Pracovní stůl	575 x 300 mm
Rozměry	900x700x1000 mm
Hmotnost	210 kg

Tab. 8 Parametry stroje CUTLAM 3.1 Auto [22]

- **Brillant 220 [23]**

Metalografickou rozbrušovací pilu Brillant 220 vyrábí německá firma ATM. Je určena k přesnému dělení velmi malých i větších vzorků. Pohybové osy X, Y, Z (manuálně i automaticky ovládané) umožňují dělení s vysokou přesností řezu, přičemž je možno do paměti uložit předdefinované programy jako poloha stolu, počet řezů, úroveň citlivosti snímání řezného odporu apod. Lze do pily upnout kotouč o průměru 75 až 203 mm a dělit s ním vzorek o maximálním průměru 75 mm. Rychlost přísuvu kotouče v automatickém režimu je volitelná od 0,005 do 3 mm/min. Stroj je na Obr. 12 a jeho parametry v Tab. 9.



Obr. 12 Stroj Brillant 220 [23]

Motor	0,75 kW, 300-5000 ot/min
Max. posuvy v osách Y, Z	Posuv v ose Z (vertikální pohyb): 80 mm Posuv v ose Y (předo-zadní posuv stolu): 80 mm
Rychlost posuvu řezného kotouče v ose Y	0,005-3 mm/s
Upínání	T-drážky 8 mm
Chlazení	rychlost proudění 8 l/min
Řezné kotouče	Ø 75–203 mm
Řezná kapacita	max. Ø 75 mm
Pracovní stůl	300 x 210 mm
Rozměry	710 x 570 x 485 mm
Hmotnost	82 kg

Tab. 9 Parametry stroje Brillant 220 [24]

- **SERVOCUT 302-AA-AX [25]**

Rozbrušovací pilu SERVOCUT 302-AA-AX nabízí firma Metkon. Má tři automaticky řízené lineární osy – dvě na stole a jednu na kotouči. Je uzpůsobená pro upnutí kotouče o průměru 250–300 mm a je možné tímto dělit materiál až o průměru 110 mm. Přísuv při řezu lze měnit od 0,02 do 5 mm/s. Vzhled pily je na Obr. 13 a její parametry v Tab. 10.

*Obr. 13 Stroj SERVOCUT 302-AA-AX [25]*

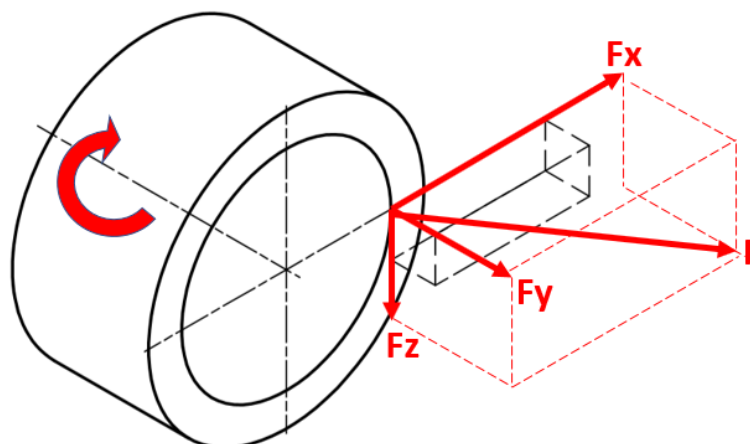
Motor	4 kW, 600-4000 ot/min
Max. posuvy v osách Y, Z	Posuv v ose Z (vertikální pohyb): 125 mm
	Posuv v ose Y (předo-zadní posuv stolu): 220 mm
Rychlost posuvu řezného kotouče v ose Y	0,02-3 mm/s
Upínání	T-drážky 12 mm
Řezné kotouče	max. Ø 300 mm
Řezná kapacita	max. Ø 110 mm
Pracovní stůl	490 x 275 mm
Rozměry	940 x 990 x 760 mm
Hmotnost	250 kg

Tab. 10 Parametry stroje SERVOCUT 302-AA-AX [25]

3.2 Broušení [26]

Proces broušení spočívá v rychlostním mikrořezání povrchových vrstev obrobku velmi jemnými zrny brusiva. Řezné rychlosti se běžně pohybují do 50 m/s. Touto technologií lze dosáhnout vysoké kvality povrchu – drsnosti v řádu desetin μm , geometrické přesnosti tvaru v jednotkách μm atd. Dva základní typy broušení jsou obvodové (brousí se obvodem kotouče) a čelní (brousí se čelem kotouče).

Při rovinném broušení se projevují řezné síly (viz Obr. 14) posuvné F_x , radiální F_y a tangenciální F_z . Tyto síly dají součtem výslednou řeznou sílu F .



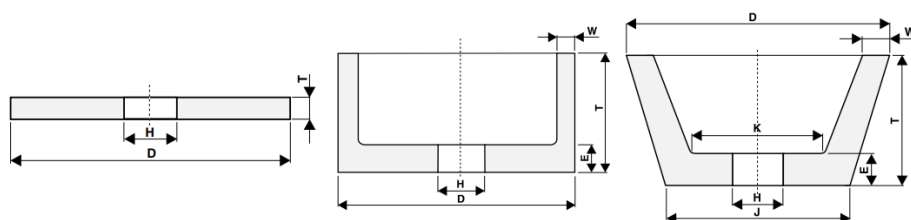
Obr. 14 Řezné síly při broušení (hrncovitý kotouč)

Skoro všechna mechanická práce při tomto technologickém procesu se přeměňuje v teplo, jehož většina (cca 80 %) přechází do obrobku a zbytek poté do kotouče, třísky a řezné kapaliny. Vznik tepla závisí na typu kotouče, řezných podmínkách, mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu atd. Indikátorem přítomnosti velkého množství tepla je proud jisker, který může vznikat i při přívodu chlazení. Toto teplo lze snížit technologicky (výběr optimálního způsobu broušení, vhodného typu kotouče, řezných podmínek, ...) nebo konstrukčně (zdokonalováním čistících a chladících zařízení, vhodnou konstrukcí kotoučů, ...).

Nejlepší kvality povrchu dosáhneme při největší možné řezné rychlosti, malé hodnotě úběru materiálu (ale ne menší než 5 μm) a podélného posuvu, jemné zrnitosti brusiva a s orovnaným brusným kotoučem.

3.2.1 Brusné kotouče

Brusné kotouče jsou řezné nástroje složené ze zrn brusiva stmelených pojivem v celek. Jsou charakterizovány těmito vlastnostmi: geometrický tvar, velikost, druh brusiva, pojivo, zrnitost, tvrdost, struktura a koncentrace brusiva.



Obr. 15 Tvary brusných kotoučů – vlevo rovný, uprostřed hrncový, vpravo miskovitý [27]

Kotouče mohou být různých tvarů (viz Obr. 15) – ploché, s jednostranným vybráním, hrncovité, miskovité, talířovité, prstencové a kuželové. Brusiva jsou přírodní (přírodní diamant, korund, křemík) a umělá (umělý diamant, kubický nitrid boru, elektrokorund, karbid křemíku, ...). Jako pojiva se běžně používají umělé pryskyřice a keramická nebo magnezitová pojiva. Zrnitosti jsou v rozsahu od 8 do 400 dle FEPA. Konkrétní rozdělení zrnitosti je v Tab. 11. Tvrdost souvisí s materiálem pojiva, poměru zrna a pojiva a na použité výrobní technologii (lisovací tlak apod.). Tvrdosti jsou

označovány písmeny F až Z s tím, že F je velmi měkký kotouč a Z velmi tvrdý. Bližší rozdělení je v Tab. 12.

Zrnitost FEPA (čistá zrna)			
Hrubé	Střední	Jemné	Velmi jemné
8	30	70	220
10	36	80	240
12	40	90	280
14	46	100	320
16	54	120	400
20	60	150	
22		180	
24			

Tab. 11 Rozdělení zrnitosti brusných kotoučů [27]

Tvrдост		
F, G	velmi měkká	rovinné broušení
H, I, J	měkká	
K, L, M, N, O	střední	Doporučeno pro vnější a vnitřní broušení, ostření a stolní brusky
P, Q, R, S	tvrdá	
T, U, V, W, X, Z	velmi tvrdá	

Tab. 12 Rozdělení tvrdosti brusných kotoučů [27]

Při volbě vhodného brusného kotouče se berou v úvahu tyto hlavní parametry: zrnitost a tvrdost. Kotouč s hrubší zrnitostí je vhodný pro větší úběry materiálu nebo pro broušení materiálů se sklony k mazlavosti. Současně ale platí, že čím jemnější zrnitost, tím má broušený povrch lepší kvalitu. Co se týče tvrdosti kotouče, volí se pro tvrdé broušené materiály měkké kotouče a naopak. [28] Pro efektivní broušení musí být zajištěno, aby tvrdost brusiva byla minimálně 1,5 až 2krát větší než tvrdost broušeného materiálu. Otáčky brusného kotouče volíme dle jeho pracovní rychlosti, která je určena výrobcem a souvisí nejvíce s druhem použitého pojiva.

3.2.2 Procesní parametry

Volba procesních parametrů u rovinného broušení závisí na požadované kvalitě povrchu (hrubování, hlazení, jemné broušení) a zda jde o obvodové či čelní broušení. Doporučené pracovní podmínky pro čelní rovinné broušení jsou uvedeny v Tab. 13.

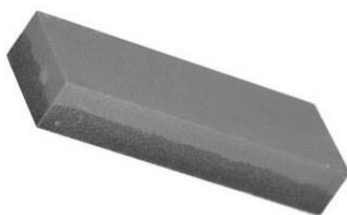
Druh broušení	Úběr [mm]	Zrnitost kotouče	Pracovní rychlost [m/s]	Posuv [mm/min]
Hrubování	0,1 - 0,02	30-46	20-35	20-30
Hlazení	0,05 – 0,005	46-80		
Jemné broušení	0,008 – 0,002	08-120		

Tab. 13 Doporučené pracovní podmínky pro čelní rovinné broušení [29]

3.2.3 Orovnávání

Brusným procesem se může kotouč zanášet třískami a otupovat. Následkem toho ztrácí řezivost a místo aby odebíral materiál, začíná se nadměrně ohřívat. Procesem orovnávaním ostříme a upravujeme tvar otupených a zanesených kotoučů tak, že odebereme jejich opotřebovanou pracovní plochu. [30]

Orovnávání můžeme provádět např. za pomoci orovnávacího diamantového trnu nebo kamenů. Orovnávací kameny mají podobné složení jako brusné kotouče, ale vyznačují se velmi hrubým zrnem. Mohou mít například kruhový nebo čtvercový tvar. V současné době je na trhu k dispozici i varianta dvojí zrnitosti – hrubší zrno pro odstranění větších nerovností a jemnější pro přesnější dokončení (viz Obr. 16). Diamantový trn má značnou výhodu v odolnosti proti opotřebení a v malé styčné ploše mezi ním a kotoučem. Tím lze získat přesný geometrický tvar kotouče.



Obr. 16 Orovnávací kámen dvouzrnný [31]

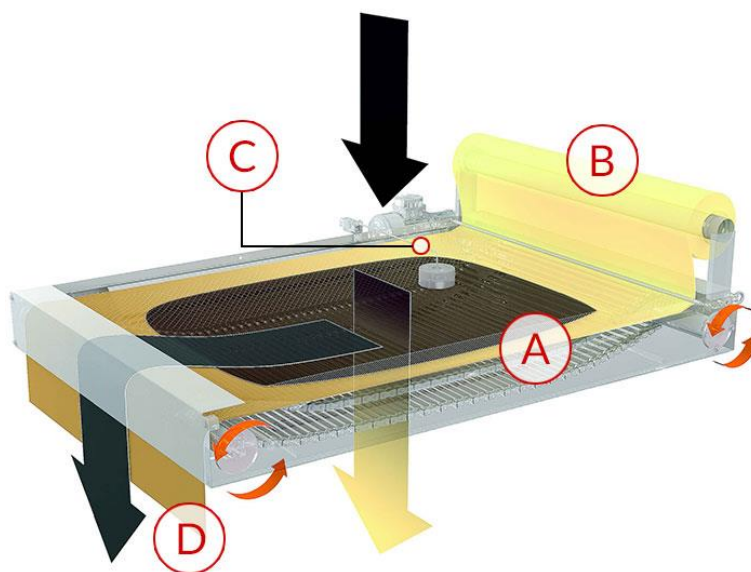


Obr. 17 Orovnávací diamantový trn [32]

3.2.4 Filtrační jednotky

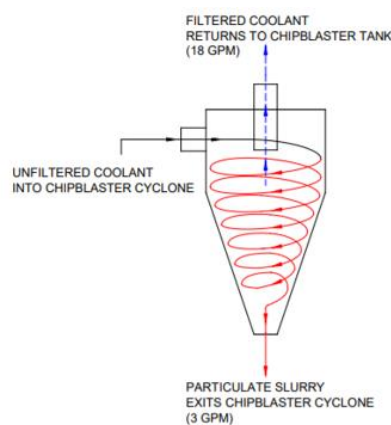
Při procesu rozbrušování i broušení se nám kotouče opotřebovávají a do chladicí kapaliny se tak uvolňují částice brusiva, které mohou mít velikost stovky až desítky μm . Tyto částice je zapotřebí z chladiva odfiltrovat, protože by mohly způsobit poškození komponent stroje nebo negativně ovlivňovat technologické procesy.

Nejčastějším typem filtrační jednotky nabízené na trhu jsou jednotky pásové. Princip funkce je naznačen na Obr. 18. Znečištěná chladicí kapalina (A) je přivedena na filtrační tkaninu (B), gravitačním prostupem přes ní je zbavena nečistot a dále odčerpávána zpod tkaniny k dalšímu využití. Pokud dojde k zanesení tkaniny, stoupne hladina v jednotce, čímž se zvedne i plovák (C) a tím se dá signál motoru k výměně zanesené tkaniny (D). Maximální velikost odfiltrovatelných částic je dána typem použité tkaniny.



Obr. 18 Princip funkce pásového filtru [33]

Dále lze najít filtrační jednotky, které pracují na principu odstředivé energie. Jedním ze zástupců tohoto odvětví je jednotka Cyclone Filtration od firmy ChipBLASTER (viz Obr. 19 vlevo). Znečištěná kapalina je pod tlakem přivedena do kužele (viz Obr. 19 vpravo). Dojde k její rotaci a nečistoty jsou působením odstředivé síly přitlačovány na stěnu kužele. Postupně se přesouvají kuželem dolů, kde jsou pod nižším tlakem odsávány. Čistá kapalina je vyšším tlakem odváděna ze středu rotace nahoru. Lze se tímto způsobem zbavit částic až o velikosti 5 μm . Výhodou tohoto typu filtrace je, že pracuje bez filtrační tkaniny.



Obr. 19 Filtrační jednotka Cyclone Filtration od firmy ChipBLASTER (vlevo) a princip její funkce (vpravo) [34]

3.3 Metalografický výbrus

Metalografickým výbrusem se rozumí metalografický vzorek, jehož jedna plocha je připravena pro metalografickou analýzu. Před začátkem přípravy je nutné definovat účel, ke kterému bude vzorek sloužit. V závislosti na materiálu vzorku, použité mikroskopické metody a toho, co bude analyzováno, je nutné zvolit odpovídající postup přípravy. [35]

3.3.1 Postup provedení výbrusu [35]

- Odběr

Pokud je materiál vzorku měkký a snadno obrobitelný, může se obvykle odebrat vzorek pomocí řezání nebo odfrézování. Vzorky z tvrdých a těžko obrobitelných



materiálů se odebírají odlamováním, pomocí elektrojiskrových řezaček nebo rozbrušováním za pomoci chladicí kapaliny.

Při odebírání nesmí u vzorku dojít k mechanickému nebo tepelnému ovlivnění jeho struktury. Je tedy nežádoucí, aby byl vzorek plasticky deformován a jeho teplota dosáhla teploty případných fázových transformací.

Místo nebo místa odběru musí charakterizovat účel zkoumání. U svařenců se nejčastěji provádějí odběry kolmé na osu svarového spoje, aby se mohla zkoumat tepelně ovlivněná oblast svaru.

• **Preparace**

Preparace vzorku pro následující ruční zpracování se provádí, pokud je vzorek malých nebo nevhodných rozměrů a bylo by nebezpečné s takovýmto vzorkem pracovat. Pro následující poloautomatické zpracování se dělá preparace, aby byl zajištěn jednotný tvar vzorku, který je určen tvarem držáku přístroje. Preparaci lze realizovat zaléváním vzorku za studena nebo zalisováním za tepla.

Zalévání za studena spočívá v umístění vzorku do formy tak, aby se plocha určená ke zkoumání dotýkala dna formy. Poté se forma naplní zalévací hmotou a nechá vytvrdit. Formy mohou být hliníkové, skleněné, fenolové, silikonové atd. Volí se v závislosti na druhu zalévací hmoty a bývá doporučena jejím výrobcem. Jako zalévací hmota se používají tekuté epoxidové, práškové akrylátové nebo polyesterové pryskyřice smíchané s tvrdidlem.

Zalisování za tepla se děje v teplotní komůrce lisu, kde je vložený vzorek a pryskyřice ve formě sypkého prášku. Toto se poté pod tlakem 30 až 50 kN a při teplotě 100 až 180 °C zalisuje. Za tepla lze zalisovat pouze ty vzorky, u kterých vlivem teploty nebo tlaku nedojde ke změně struktury. Doba přípravy se pohybuje do deseti minut.

• **Broušení**

Cílem broušení je minimalizování povrchových nerovností vzorku. Je charakterizováno úbytkem hmotnosti vzorku – obrusem. Obrus je definován jako



množství materiálu odebrané za jednotku času při broušení a udává se obvykle v $\mu\text{m}/\text{min}$. Broušení lze provádět ručně nebo mechanizovaně.

Pokud se vykonává ruční broušení, pohybuje se po brusném papíru vzorkem stále jedním směrem. Poté se vzorek opláchne vodou, následuje přechod na papír s menší drsností a brousí se ve směru kolmém na směr předchozí. Broušení na tomto papíru je prováděno, dokud nezmizí drážky z předchozího broušení. Tento postup se opakuje do té doby, dokud není vyčerpáno nejjemnější brusivo.

K mechanizovanému broušení se používají metalografické brusky. Brusný papír je uchycený na vodorovném rotujícím kotouči brusky a vzorek je na něj přitlačován. Přitlačování může být buď ručně anebo definovanou přitlačnou silou při poloautomatickém broušení. Dále je zde možnost použít plně automatické zařízení pro přípravu vzorků od rovinného broušení až po finální čištění a sušení. Přechod na brusný papír s nižší drsností je stejný jako u ručního broušení – oplach vodou a poté broušení ve směru kolmém na směr předchozí.

- **Leštění**

Proces leštění má za úkol deformovat vrcholy povrchové nerovnosti. K úbytku materiálu již dochází jen minimálně. Provádí se mechanicky nebo elektrolyticky.

Mechanické leštění je téměř totožné s broušením, co se principu týče. Na rotující leštící kotouč s leštícím médiem (emulzí) je přitlačován vzorek. Vzorkem se pohybuje proti směru otáčení kotouče, dokud není dosaženo zrcadlového lesku. Poté se opláchne a osuší. Na takto zpracovaném vzorku je už možné hodnotit a pozorovat necelistvosti a vměstky v materiálu. Mechanické leštění může probíhat i na více kroků – předleštění, střední leštění a finální leštění.

Při elektrolytickém leštění je vzorek zapojený jako anoda v elektrolytu. Katoda je z korozi-vzdorné oceli. Průchodem elektrického proudu se na vzorku vytvoří anodický film, jehož tloušťka není všude stejná. Maximální tloušťka je v prohlubních vzorku, minimální na jeho výstupcích. Proudová hustota je největší tam, kde je tloušťka filmu nejmenší. Tím se výstupky rozpouštějí a povrch vzorku se uhlazuje.

- **Leptání**

Leptání vzorku se provádí, pokud je požadavek na vyvolání jeho mikrostruktury. Metod je několik – záleží na materiálu výbrusu a požadavcích pro následné sledování.

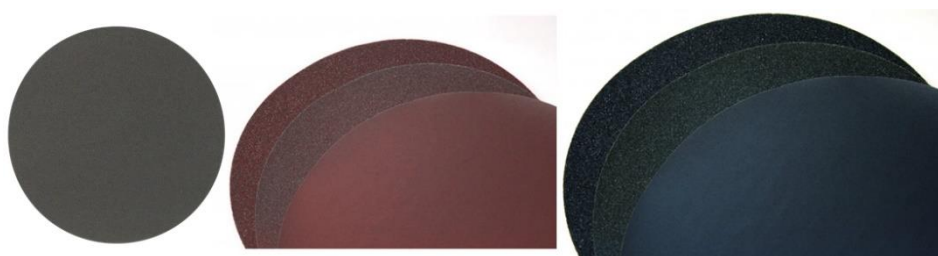
Při chemickém leptání se nechávají na povrch vzorku působit chemická leptadla, která zviditelní strukturu díky rozdílné rozpouštěcí schopnosti jednotlivých strukturních částí.

Elektrolytické leptání se aplikuje na kovy a slitiny, které odolávají účinkům běžných leptadel. Vzorek se rozpouští v elektrolytu za průchodu elektrického proudu, princip je stejný jako u elektrolytického leštění. Struktura se následně vyvolá jako u chemického leptání.

Poslední metodou je tepelné leptání. Vzorek se zahřeje na vyšší teplotu a na vyleštěném povrchu vzniká oxidická vrstva. Jednotlivé strukturní objekty (zrna, hranice zrn atd.) mají různé oxidační schopnosti, a tak se na nich vytvářejí vrstvy různých tlouštěk. Tyto vrstvy propouštějí různé vlnové délky dopadajícího světla, což má za následek to, že se při pozorování mikroskopem jeví různě barevně.

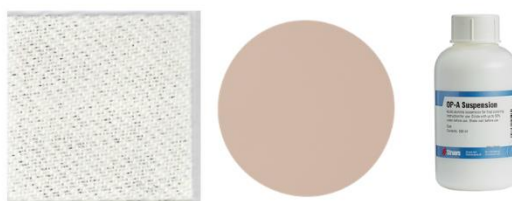
3.3.2 Brusné papíry a folie, lešticí plátna

Broušení lze provádět pomocí brusných papírů nebo folií. Nejběžnějším typem prodáváním na trhu jsou papíry a folie s brusivem SiC (viz Obr. 20 vlevo), Al₂O₃ (viz Obr. 20 veprostřed) nebo Al₂O₃ + ZnO₂ (zirkon korund – viz Obr. 20 vpravo). Tento brousící spotřební materiál se prodává o zrnitostech od 60 do 4000 dle normy FEPA a v průměrech od 30 do 350 mm. Prodejci jsou např. Struers nebo Metalco.



Obr. 20 Typy brusných papírů [36] [37] [38]

Leštící plátna lze například koupit s potahovým materiálem ve formě syntetického plátna, přírodní tkaniny (např. Metalco – viz Obr. 21 vlevo), vlny, netkané textilie, hedvábí nebo tkaného polyesteru (např. Struers). Dále jsou k dispozici taková plátna, která již v sobě mají částice leštícího materiálu z výroby. Tyto produkty nabízí například firma Struers s průměrem pláten 200 mm a diamantovými nebo Al_2O_3 částicemi o velikosti 30 – 0,05 μm (viz Obr. 21 uprostřed). Z leštidel ve formě prášku je běžně ke koupi Al_2O_3 (viz Obr. 21 vpravo), diamant nebo SiO_2 .



Obr. 21 Vlevo plátno z přírodní tkaniny, uprostřed plátno s oxidem hlinitým, vpravo suspenze oxidu hlinitého [39] [40] [41]

3.3.3 Procesní parametry [35]

Proces broušení se obvykle provádí pomocí brusných papírů s brusivem SiC nebo Al_2O_3 o zrnitosti 60 až 2400 dle normy FEPA, které postačují pro většinu aplikací.

Při broušení na metalografických bruskách se otáčky kotouče pohybují běžně od hodnoty 30 do 150 otáček za minutu. Při rychlostech vyšších je nutné vzorek chladit vodou nebo jiným chladícím médiem, aby nedošlo vlivem vyšší teploty ke změně struktury vzorku. Přítlačná síla vzorku na kotouč se pohybuje obvykle v rozmezí od 1 do 100 N.

K leštění se využívá leštících kotoučů s potahovým materiálem nejčastěji ve formě sametu, saténu, flanelu, kordu nebo jiné textilie. Částicemi leštidla v podobě prášku, pasty nebo suspenze mohou být Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , SiO_2 nebo diamant. Typ potahového materiálu a leštidla se volí podle leštěného materiálu. Dále platí, že pokud je prováděno leštění na více kroků, volí se pro předleštění tvrdší potahové materiály (např. tvrdé syntetické plátno) s hrubšími částicemi (25-6 μm) a pro finální leštění potahové materiály měkké (např. filcové plátno) s jemnými částicemi (3-1 μm). Protože již nevzniká velké

množství tepla, není nutné chladit tak intenzivně. Přítlačné síly jsou menší než při broušení.

3.3.4 Brusky a leštičky

Brusky a leštičky slouží k přípravě vzorku. Mohou být buď manuální, automatické nebo plně automatické. V manuálním provedení obsahuje stroj pouze pracovní kotouč, na který se upevní brusný papír a při broušení je vzorek držen v ruce. Automatické provedení disponuje navíc unašečem a držákem, kam se upínají vzorky. Unašeč rotuje a vytváří přítlačnou sílu na kotouč. Brusné papíry se vzorky se opět mění ručně. U plně automatické brusky a leštičky se mění ručně pouze vzorky. Tento stroj už provádí zbytek činností dle nastavených parametrů – výměnu brusných papírů, přítlačnou sílu, rotaci unašeče, čištění vzorku atd.

- **SMARTLAM 2.0 [42]**

Manuální brusku a leštičku SMARTLAM 2.0 (viz Obr. 22) nabízí firma LAMPLAN. Má volitelné otáčky pracovního kotouče a je ovládána pomocí dotykového displeje s možností programování a uložení až 9 programů. Parametry této brusky a leštičky jsou v Tab. 14.



Obr. 22 Stroj SMARTLAM 2.0 [42]

Pracovní kotouč	Ø 200 až 300 mm
Otáčky kotouče	20 až 650/min
Výkon	0,75 kW
Rozměry	450x300x650 mm
Hmotnost	30 kg

Tab. 14 Parametry stroje SMARTLAM 2.0 [42]

- **ACCURA 102 [43]**

ACCURA 102 (viz Obr. 23) je automatická bruska a leštička od firmy Metkon. Lze na ní provádět velmi hrubé broušení až po velmi jemné broušení a leštění. Má programovatelnou přípravu vzorků, pneumaticky nastavitelný centrální nebo individuální systém zatížení síly, rychloupínací systém pro centrální i individuální držáky vzorků a funkci automatického čištění a sušení disků jedním tlačítkem. Parametry stroje ACCURA 102 jsou v Tab. 15.



Obr. 23 Stroj ACCURA 102 [44]

Pracovní kotouč	Ø 250 až 300 mm
Otáčky kotouče	50 až 750/min
Otáčky unašeče	50-150/min
Individuální přítlak	5 až 100 N
Centrální přítlak	30 až 500 N
Výkon	1,1 kW
Rozměry	730 x 790 x 730 mm
Hmotnost	200 kg

Tab. 15 Parametry stroje ACCURA 102 [44]

- **SAPHIR X-CHANGE [45]**

Stroj SAPHIR X-CHANGE vyrábí firma ATM. Jedná se o plně automatickou brusku a leštičku, která umožňuje plně automatickou přípravu vzorků bez jakékoliv lidské pomoci. Obsahuje brousící a lešticí stanici s automatickou hlavou, automatickou dávkovací jednotku, stanici pro čištění vzorků, sedimentační jednotku a zásobník na brusné a lešticí disky s jejich automatickou výměnou. Všechny procesy (broušení, leštění, čištění vzorků, dávkování lešticích kapalin, výměna brusných a lešticích disků) jsou prováděny plně automaticky dle programu. Parametry stroje jsou v Tab. 16 a vzhled na Obr. 24.

*Obr. 24 Stroj SAPHIR X-CHANGE [45]*



Pracovní kotouč	Ø 200 až 250 mm
Otáčky kotouče	50 až 600/min
Otáčky unašeče	140/min
Individuální přítlak	5 až 100 N
Centrální přítlak	20 až 350 N
Výkon	0,9 kW
Rozměry	1320 x 1500 x 800 mm
Hmotnost	250 kg

Tab. 16 Parametry stroje SAPHIR X-CHANGE [45]

3.4 Upínání a upevňování

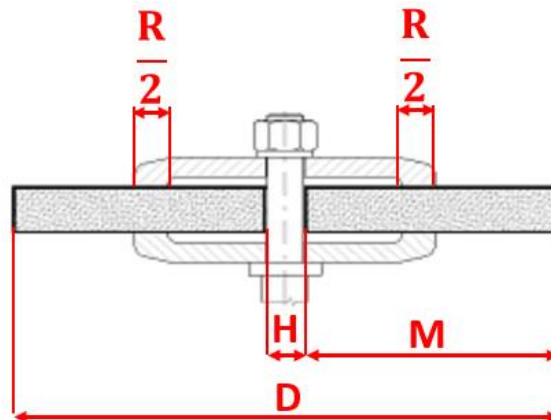
V následujících kapitolách budou zmíněny způsoby upínání rozbrušovacích a brusných kotoučů a upevňování vzorků.

3.4.1 Upínání rozbrušovacích a brusných kotoučů [46]

Upínací rozhraní rozbrušovacích a brusných kotoučů musí mít definované minimální rozměry dle normy ČSN EN ISO 16089 – Obráběcí stroje – Bezpečnost – Stacionární brusky. Dále norma definuje možné metody upnutí, z nichž je nejčastější řešení pomocí přírub (viz Obr. 25). Požadavky na tento typ upnutí jsou následující:

- Stykové plochy jsou po upnutí kolmé k ose rotace
- Soustřednost s osou rotace by měla být $\leq 0,02$ mm
- Na vnitřním průměru upínací plochy musí být vždy vybrání o velikosti minimálně 1 mm
- Pro ploché rozbrušovací kotouče v pevně umístěném řezacím stroji s vnějším průměrem $D \leq 800$ mm a maximální provozní rychlostí $v_s \leq 63$ m/s je vnější průměr příruby $D_F \geq 0,2 \cdot D$
- Pro ploché, talířovité, miskovité a hrncovité brusné kotouče ve stacionární brusce, které mají $H \leq 0,2 \cdot D$ je vnější průměr příruby $D_F \geq 0,33 \cdot D$
- Pro ploché, talířovité, miskovité a hrncovité brusné kotouče ve stacionární brusce, které mají $H > 0,2 \cdot D$ je vnější průměr příruby $D_F \geq H + 2 \cdot 0,17 \cdot M$

- U přírub s vnitřním vybráním musí být styková plocha R alespoň $1/6$ průměru příruby D_F ($R > 0,17 * M$)



Obr. 25 Upnutí brusného kotouče pomocí přírub [47]

3.4.2 Upevňování vzorků

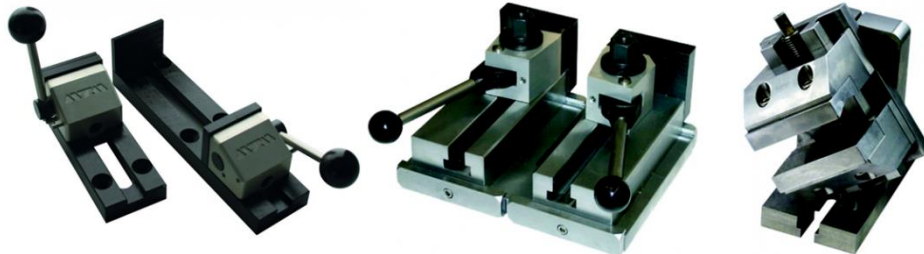
V této kapitole bude nejdříve zmíněno upínání vzorků do rozbrušovacích pil a poté do brusek a leštiček.

Součástí většiny rozbrušovacích pil jsou stoly s T-drážkami různých velikostí, kam se upevňují upínací prvky. Když je oddělená část vzorku malá, nechá se odpadnout do pracovního prostoru pily. Pokud je ale větších rozměrů, musí se upnout obě části vzorku (viz Obr. 26) kvůli přesnosti řezu a případné kolizi větší části s kotoučem.



Obr. 26 Dvojitě upnutí děleného vzorku [48]

Nejčastějšími upínacími prvky jsou různá provedení svěráků. Například rychloupínací (viz Obr. 27 vlevo), křížové (viz Obr. 27 uprostřed) nebo úhlové (viz Obr. 27 vpravo).



Obr. 27 Svěráky na upínání vzorků [49] [50] [51]

Automatické a plně automatické brusky a rozbrušovačky mají k upevnění vzorku držáky. Držáky v sobě mají různé tvary děr (viz Obr. 28 vlevo a veprostřed), podle kterých provádíme preparaci při přípravě vzorku. Existují ale i držáky pro obecný tvar vzorku (viz Obr. 28 vpravo).



Obr. 28 Různé typy držáků brusek a leštiček [52] [53] [54]

3.5 Technologie navařování

Navařování je technologie, při které se na základní nebo na již navařený materiál pokládá nová vrstva materiálu. Lze to realizovat pomocí plamene, elektrického oblouku nebo laseru. [55]



3.5.1 Technologie WAAM [56]

Metoda WAAM patří mezi tzv. aditivní metody výroby, kde se materiál přidává, nikoli ubírá, jako je tomu například u obrábění. Zkratka této metody pochází z anglického „Wire and Arc Additive Manufacturing“.

V principu jde o kladení návarových housenek vedle sebe (resp. na sebe) ve vrstvách. Součásti jsou tedy tvořeny postupným navařováním jednotlivých vrstev po trajektorii budoucího obrysu součásti (vždy zezdola nahoru) s konstantní nebo adaptivní tloušťkou návarové „stěny“, případně ukládáním materiálu do těchto obrysů k vytvoření plných částí. Pro zpracování metodou WAAM mohou být použity všechny svařitelné materiály, jako jsou konstrukční i vysokolegované oceli, hliník, titan, nikl, měď a jejich slitiny. Díky této metodě lze vytvořit takové výrobky a geometrické tvary, které jsou obráběním nevyrobitelné.

Nejvíce je pro metodu WAAM využito navařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách TIG a MIG/MAG. V ochranné atmosféře TIG lze nanést okolo jednoho kilogramu materiálu za hodinu. Metodou MIG/MAG lze nanést i několik kilogramů za hodinu, avšak je zde nižší stabilita oblouku a větší rozstřík během tvorby housenek. Lze ale tyto nežádoucí projevy snížit modifikováním metody.

3.5.2 Hybridní stroj s technologií WAAM (WELDPRINT MCV 5X) [57]

WELDPRINT MCV 5X (viz Obr. 29) je hybridní pětiosý stroj s technologií třískového obrábění a navařování metodou WAAM. Jeho kinematická struktura obsahuje pojezdy ve třech lineárních osách na straně vřetene (X, Y, Z) a dvou rotačních osách na straně obrobku (A, C). Rotační osy dohromady tvoří takzvanou kolébku. Parametry stroje jsou v Tab. 17.



Obr. 29 Stroj WELDPRINT MCV 5X [57]

Pojezd v ose X	1100 mm
Pojezd v ose Y	590 mm
Pojezd v ose Z	415 mm
Sklopná osa A	$\pm 110^\circ$
Otočná osa C	360°
Upínací plocha stolu	$\varnothing 520$ mm
Maximální zatížení stolu	400 kg
Rychloposuv v osách X, Y, Z	40 m/min
Požadovaný zástavbový prostor stroje	5865x7670 mm
Výška	3300 mm
Hmotnost	17 300 kg

Tab. 17 Parametry stroje WELDPRINT MCV 5X [57]



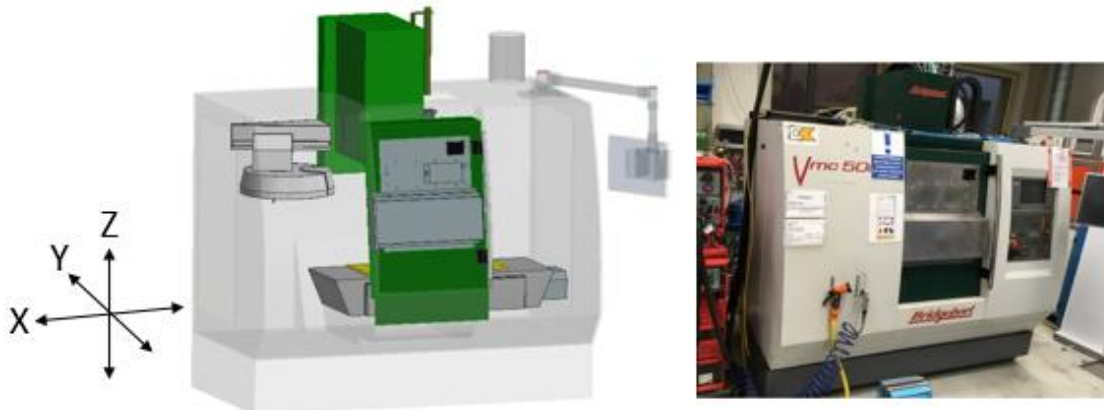
4 Návrh automatizovaného způsobu dělení a broušení vzorků

V této kapitole bude popsáno vlastní řešení úkolu formulovaného v zadání diplomové práce. Vzorek ve výchozím stavu (viz Obr. 1) je destička s návary různých materiálů. Navařenými materiály, jejichž dělení má být řešeno v rámci této práce jsou konstrukční ocel (11 375), nástrojová ocel (Castolin DC) a nerezová ocel. V Tab. 18 jsou uvedeny tvrdosti těchto materiálů, které jsou klíčové pro volbu rozbrušovacího a brusného kotouče.

Materiál	Tvrdost [HV]
Konstrukční ocel (11 375)	250
Nerezová ocel	240
DO04 Castolin (19 552)	500

Tab. 18 Navařované materiály a jejich tvrdosti

V první podkapitole vlastního řešení bude vysvětleno upevnění vzorku do stroje BRIDGEPORT VMC500 (viz Obr. 30) s nástrojovým rozhraním SK40, ve kterém budou experimenty probíhat. Pohyby v tomto stroji v ose X a Y koná stůl, pohyb v ose Z koná vřeten. Druhá a třetí podkapitola se bude věnovat technickým prostředkům nutným pro aplikaci technologie rozbrušování a broušení návarů na vzorku ve výše zmíněném CNC stroji. V konečném stavu po aplikaci těchto technologií by mělo být možné na vzorku zkoumat nehomogenitu návaru a jeho propojení se základním materiálem návarové destičky (např. póry, bubliny, vměstky atp.), dále hloubku a způsob provaření a ovlivněné oblasti základové destičky návarem.

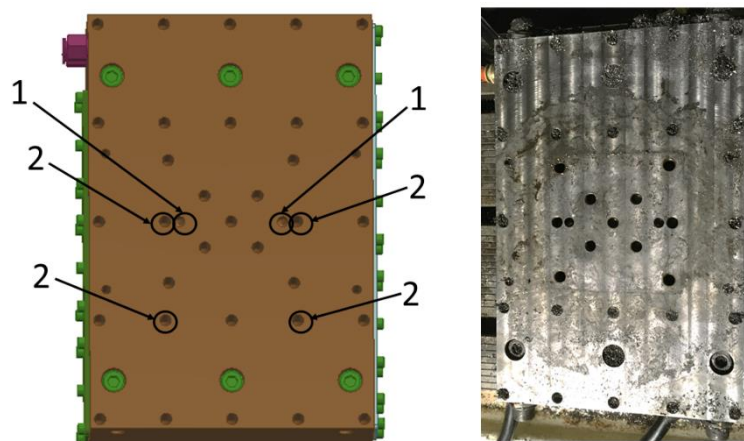


Obr. 30 Zjednodušený model stroje BRIDGEPORT VMC500 (vlevo) a jeho foto (vpravo)

4.1 Upínač vzorku

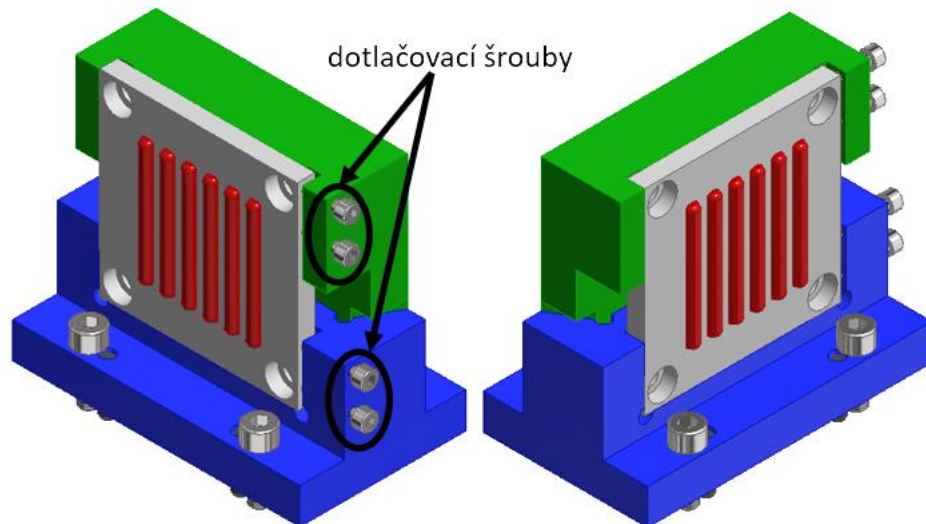
Upínač vzorku musí být konstruován tak, aby bylo pomocí něj možno na jedno upnutí vzorek bezpečně rozdělit technologií rozbrušování, následně pohodlně demontovat část upínače s polovinou vzorku a poté rovinu řezu druhé poloviny vzorku brousit.

Do stroje se upínač upevní na desku, která je na stole stroje. Z desky se využijí opozicované díry na Obr. 31 vlevo – pozice 1 (hladké díry) pro kolíky na vymezení vůle a pozice 2 (závitové díry) pro šrouby M10.



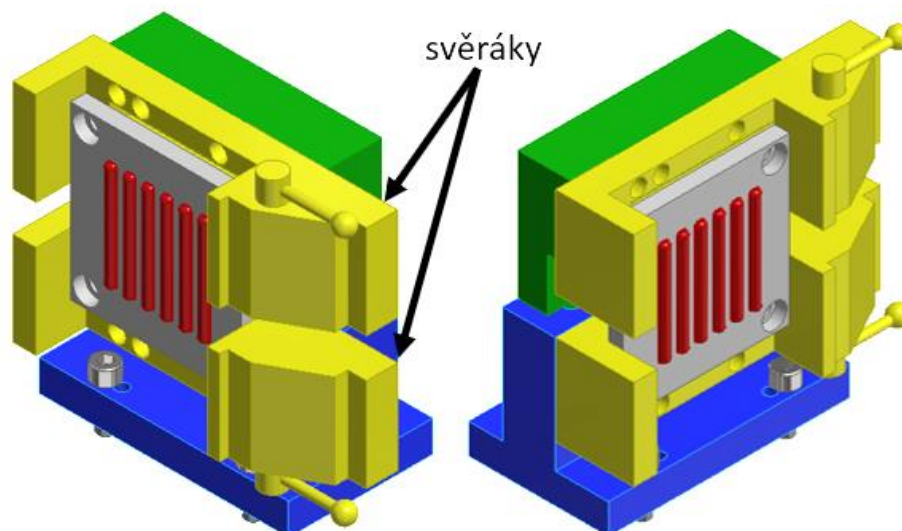
Obr. 31 Deska na stole stroje k upevnění upínače vzorku (vlevo model, vpravo foto)

První varianta konstrukčního řešení upínače je na Obr. 32. Upevnění vzorku je zde realizováno dotlačením pomocí šroubů ze strany a vzorek je usazen ve vybráních na obou částech upínače.



Obr. 32 Upínač vzorku – první varianta

Druhou variantou řešení upínače je použití metalografických svěráků (viz Obr. 33) namísto dotlačování vzorku šrouby na plochy v dílech upínače. Tímto způsobem jsou vzorky upevňovány v metalografických rozbrušovacích pilách.

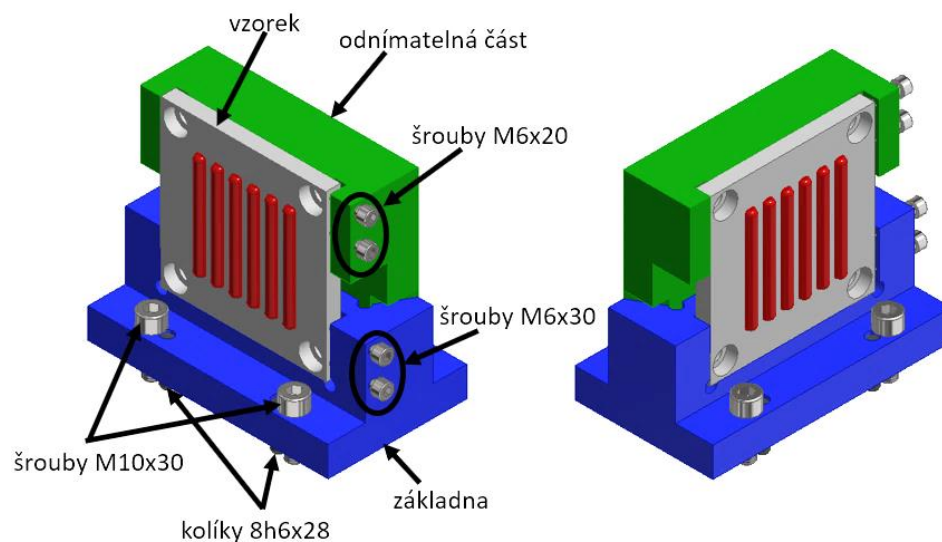


Obr. 33 Upínač vzorku – druhá varianta

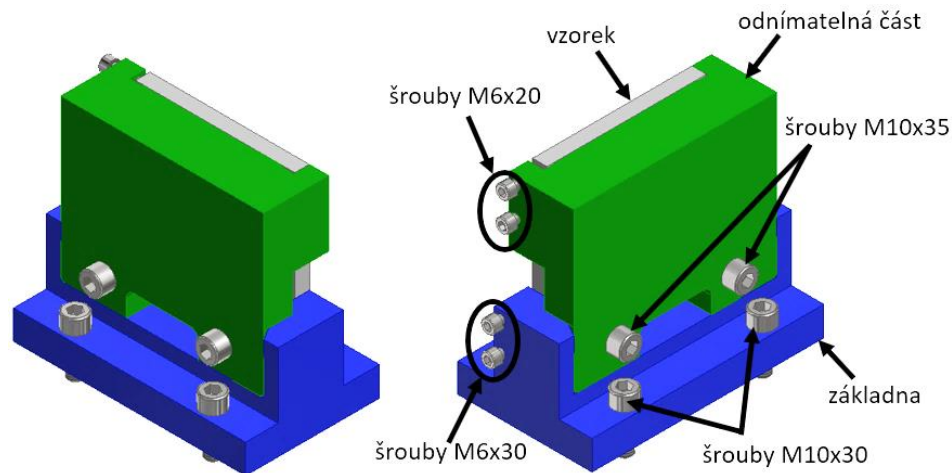
Použití metalografických svěráků je sice osvědčené a funkční řešení, avšak jejich prodejní cena je příliš vysoká. Z tohoto důvodu byla vybrána první varianta upínače s dotlačováním vzorku ze strany na plochy obou dílů upínače.

4.1.1 Popis konstrukce

Konstrukce upínače (viz Obr. 34 a Obr. 35) obsahuje dva vyráběné díly – základnu upínače a odnímatelnou část upínače. Jejich detailní popis je níže. Dále se skládá z normalizovaných prvků. Dva kusy válcových kalených kolíků (DIN 6325) o délce 28 mm a o průměru 8 mm s tolerancí h6 slouží k vymezení vůle mezi deskou na stole stroje (díry pro kolíky viz Obr. 31, pozice 1) a základnou. Dalšími normalizovanými prvky jsou šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem (ISO 4762). Čtyři kusy těchto šroubů velikosti M10x30 upevňují základnu k desce (závitové díry viz Obr. 31, pozice 2). Další dva šrouby velikosti M10x35 (viz Obr. 35) k sobě spojují základnu a odnímatelnou část. Poslední čtveřice šroubů – 2xM6x30 a 2xM6x20 dotlačuje vzorek na plochy v základně a odnímatelné části a tím ho i upevňuje v upínači jako celku.

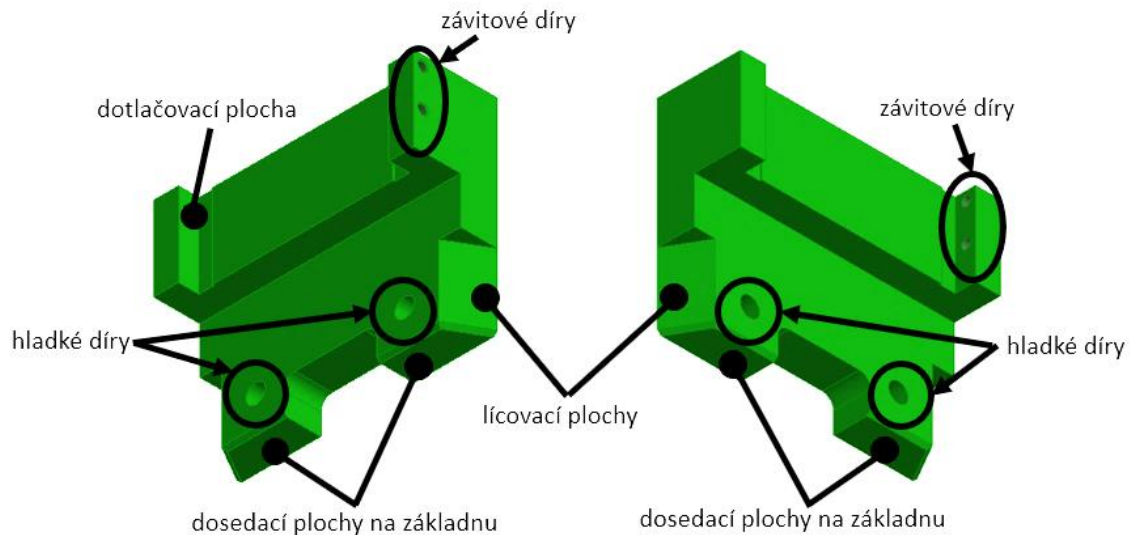


Obr. 34 Popis konstrukce upínače s upnutým vzorkem – pohled zepředu

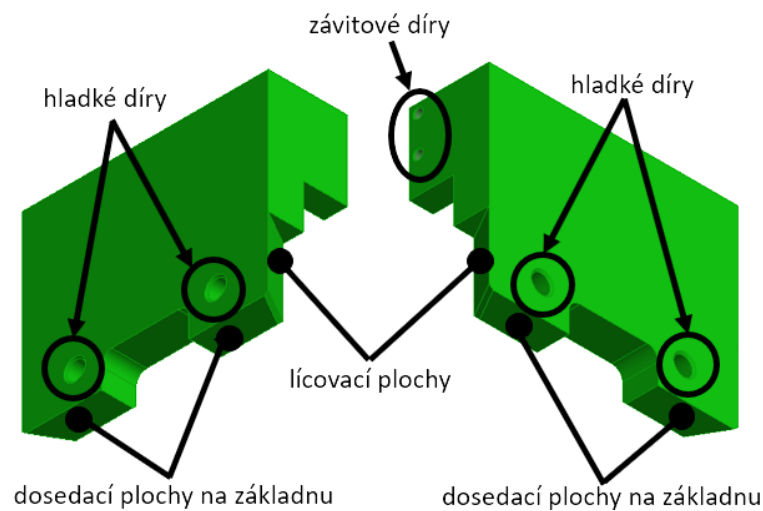


Obr. 35 Popis konstrukce upínače s upnutým vzorkem – pohled zezadu

Jedním z vyráběných dílců je odnímatelná část (viz Obr. 36 a Obr. 37). Závitové díry v ní jsou dělané pro šrouby M6x20, přes které se vzorek upevní na dotlačovací plochu. Tato plocha má geometrickou toleranci rovinnosti 0,05. Hladké díry jsou průměru 10,5 mm skrz celý díl a slouží k prostrčení dvou šroubů M10x35, kterými je k sobě odnímatelná část a základna spojena. K vymezení vůle v podélném směru mezi odnímatelnou částí a základnou slouží lícovací plochy. Svírají mezi sebou úhel 60°, mají geometrickou toleranci rovinnosti 0,05 a drsnost Ra 1,6. Současně jsou pro ně v základně vyrobeny stejné lícovací plochy tak, aby tvořily protikus. Oba vyráběné dílce se mimo lícovacích ploch dotýkají ještě dosedacími plochami, na které nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.



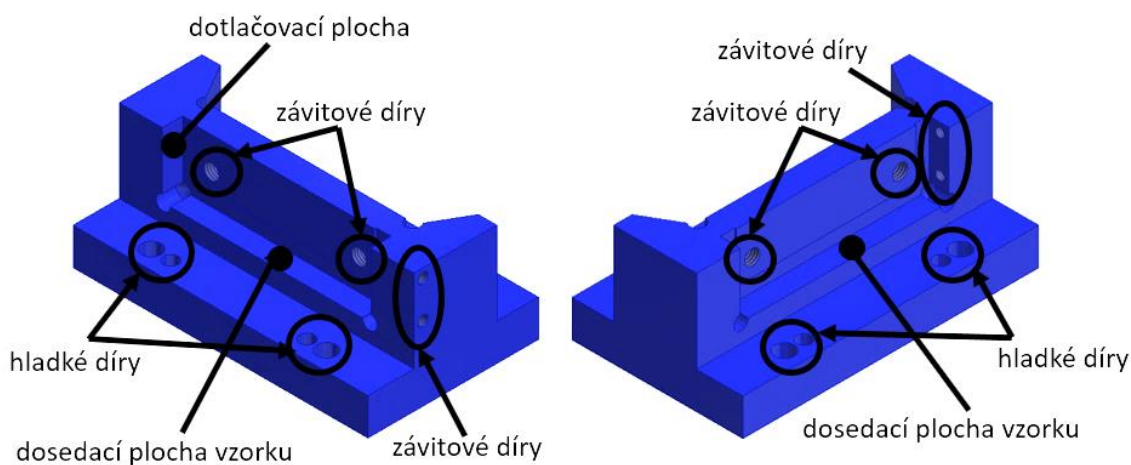
Obr. 36 Odnímatelná část upínače – pohled zepředu



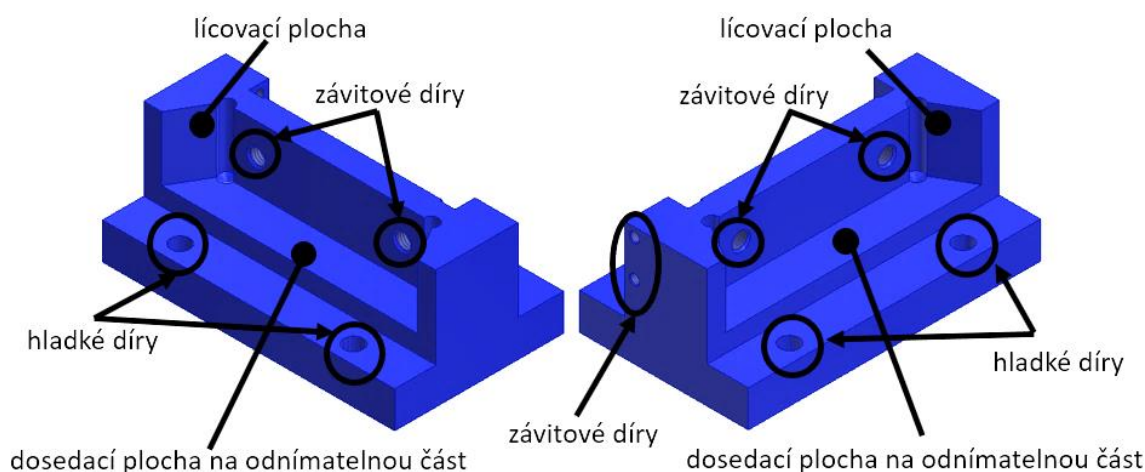
Obr. 37 Odnímatelná část upínače – pohled zezadu

Dalším vyráběným dílcem je základna upínače (viz Obr. 38 a Obr. 39). Závitové díry z boku jsou vyrobeny pro šrouby M6x30, pomocí kterých je vzorek dotlačován na plochu s tolerancí rovinnosti o hodnotě 0,05. Dále je vzorek v kontaktu se základnou na dosedací ploše, na kterou nejsou kladeny zvláštní požadavky geometrické tolerance. Lícovací plochy jsou konstruované jako protikus k plochám na odnímatelné části. Svírají spolu úhel 60°, mají drsnost Ra 1,6 a geometrickou toleranci rovinnosti o hodnotě 0,05. Dosedací plocha odnímatelné části se řídí všeobecnou tolerancí mK. Závitové díry z čela jsou pro šrouby M10x35. Těmi se dotlačí odnímatelná část k základně přes lícovací plochy. Ve spodní části je celkem 6 hladkých děr – dvě díry o průměru 8H7 jsou pro

kolíky 8h6 a čtyři díry s průměrem 10,5 slouží k prostrčení šroubů M10x30 a upevnění základny k desce stolu.



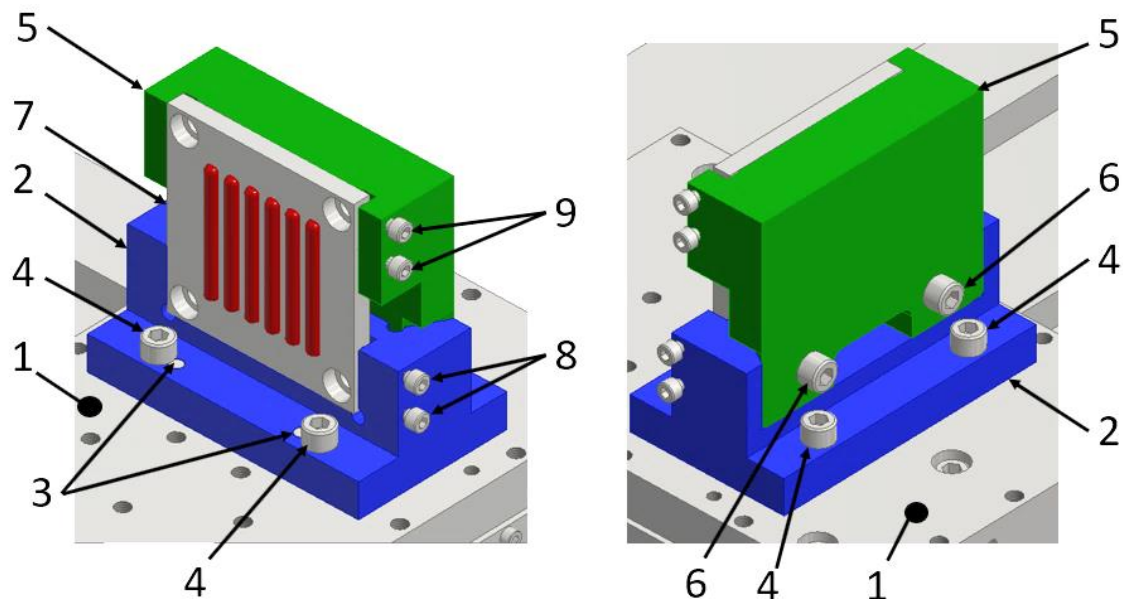
Obr. 38 Základna upínače – pohled zepředu



Obr. 39 Základna upínače – pohled zezadu

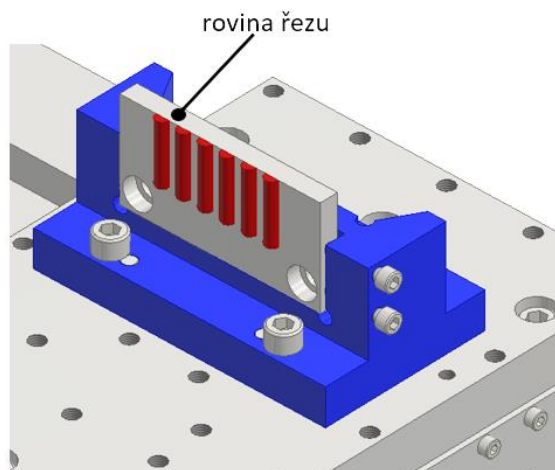
4.1.2 Montáž a demontáž

Při začátku montáže (pozice viz Obr. 40) se základna (pozice 2) položí na desku na stole (pozice 1) tak, aby byly díry pro kolíky a šrouby spolu souosé. Následně se do děr v základně a v desce stolu zasunou kolíky (pozice 3) k vymezení vůle mezi komponentami a šrouby M10x30 (pozice 4) se základna k desce upevní. V dalších dvou krocích se ustaví odnímatelná část (pozice 5) k základně tak, aby spolu byly v kontaktu lícovací a dosedací plochy. Komponenty se k sobě upevní pomocí dvou šroubů M10x35 (pozice 6). Nakonec se do upínače vloží vzorek (pozice 7) a dotlačí se na příslušné plochy dvěma šrouby M6x30 (pozice 8) v základně a dvěma šrouby M6x20 (pozice 9) v odnímatelné části. Takto upnutý vzorek je připraven na rozbrušování.



Obr. 40 Opozicované díly upínače k montáži

Po technologické operaci rozbrušování je nutné demontovat polovinu upínače s rozbrušenou polovinou vzorku. Povolí se dva šrouby M10x35 (pozice 6) a dojde k odebrání odnímatelné části (pozice 5). Vzorek je nyní připraven k broušení v rovině řezu (viz Obr. 41).

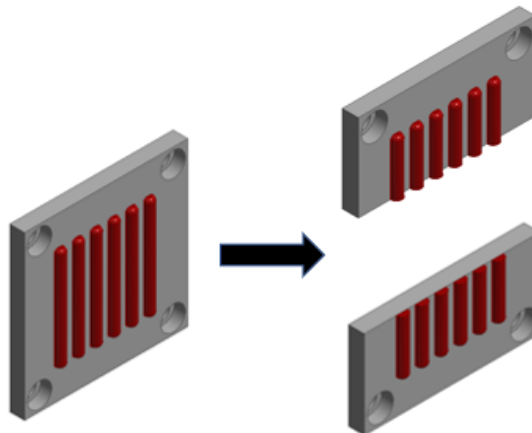


Obr. 41 Vzorek v upínači připravený na broušení v rovině řezu

4.2 Rozbrušování

Technologií rozbrušování, používané standardně při přípravě metalografických výbrusů, je vzorek rozdělen na dvě části podélně přes návary dle Obr. 42. V této kapitole

bude popsána volba rozbrušovacího kotouče, upínací rozhraní kotouče (do vřetena stroje BRIDGEPORT VMC500) a jeho montáž a technologický postup rozbrušování.



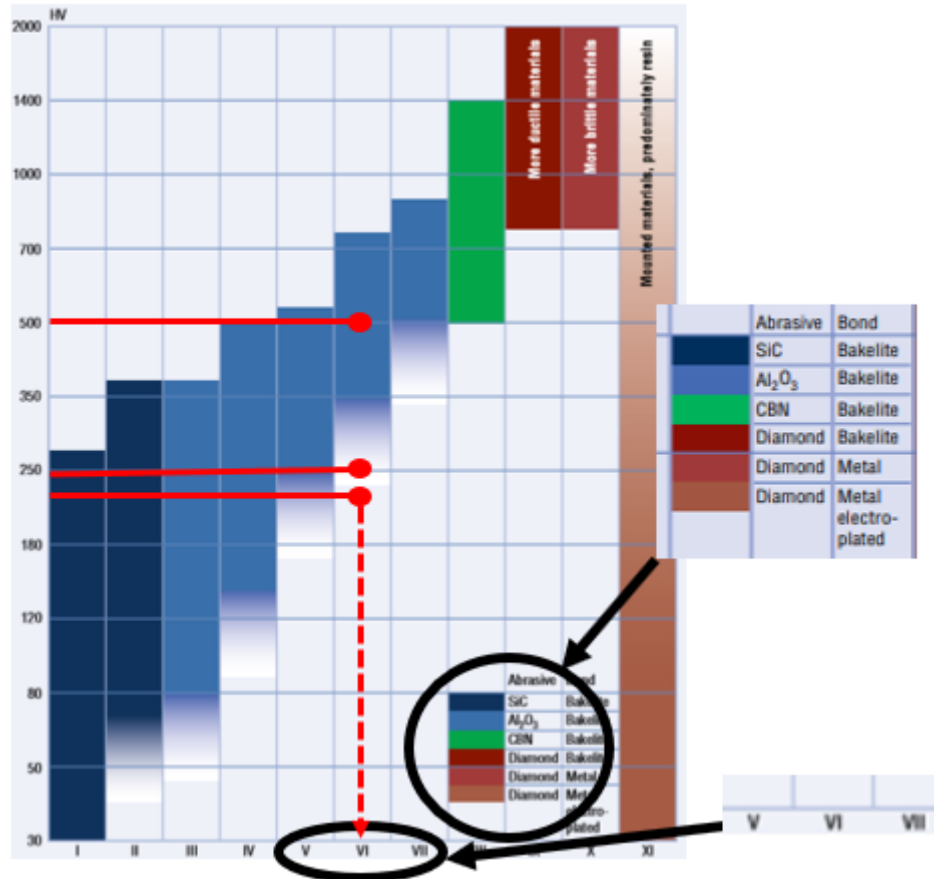
Obr. 42 Schéma rozdělení vzorku technologií rozbrušování

4.2.1 Volba rozbrušovacího kotouče

Na základě kapitoly 3.1.2 v rešerši je vybrán německý výrobce Struers mající širokou škálu rozbrušovacích kotoučů přímo pro metalografické aplikace v rozbrušovacích pilách. Vhodný kotouč se zvolí dle tabulky tvrdosti návarů (viz Tab. 18) a návodu od společnosti Struers (viz Obr. 7).

V prvním kroku se na svislé ose najde tvrdost HV dělených materiálů a jsou vyneseny vodorovné čáry (viz Obr. 43). Následně se volí vhodný sloupec typu kotouče s odpovídajícím brusivem (označený římskou číslicí na vodorovné ose), který všechny čáry protínají. V ideálním případě (dělíme-li materiály s podobnou hodnotou tvrdosti) vodorovné čáry protínají sloupec přibližně uprostřed jeho délky. Pozvolný přechod barvy spodní části sloupce značí, že kotouč může být použit i pro materiály s menší tvrdostí. Pro dělené materiály návarů vychází dle jejich tvrdosti v úvahu sloupec s označením V, VI a VII. Při použití typu VII, by materiál byl zaručeně rozbrúšen, avšak je to neekonomické řešení – byl by použit kvalitnější a dražší typ kotouče, než je pro danou aplikaci zapotřebí. Na druhou stranu použití typu V by bylo ekonomičtější, ale kvůli tvrdosti návarů z nástrojové oceli (500 HV) by byl kotouč využíván téměř na jeho limitu a tím by stoupalo riziko nedokonalého řezu a destrukce při procesu. Z těchto důvodů je v prvním kroku vybrán sloupec s kotouči typu VI. Jedná se o rozbrušovací kotouče

s brusivem Al_2O_3 a pryskyřičným pojivem. Je tak zaručeno jisté rozbroušení všech navařených materiálů i s ohledem na ekonomičnost.



Obr. 43 Určení vhodného rozbroušovacího kotouče dle návodu od firmy Struers – krok I [16]

V druhém kroku se přistoupí k tabulce viz Obr. 44. Označí se svislý sloupec s římskou číslicí z předchozího kroku. Standardně se dále určí typ rozbroušovací pily, pro kterou je kotouč vybírán (viz Obr. 44 první svislý sloupec zleva). Jelikož bude ale proces rozbroušování realizován v CNC frézovacím stroji, není možné se tímto postupem dále řídit a vyvstává zde možnost volby rozměru kotouče. Hlavním faktorem pro volbu vhodného rozměru kotouče je velikost děleného vzorku – délka 110 mm a tloušťka maximálně 25 mm i s návary. Z kapitoly 3.1.4 v rešerši vyplývá, že dělení vzorku podobných rozměrů lze realizovat například v rozbroušovací pile Discotom-6, do níž se upíná kotouč o průměru 250 mm a tloušťce 1,5 mm s upínacím otvorem 32 mm. Je tedy vybrán kotouč této velikosti a v tabulce je označen příslušný vodorovný řádek (viz Obr. 44).

Cut-off machine	Std. wheel size* (mm)	Application											
		I Non-ferrous soft metals	II Very ductile metals (Ti)	III Soft ferrous metals	IV Medium soft ferrous metals	V Medium hard ferrous metals	VI Hard ferrous metals	VII Very hard ferrous metals	VIII Extremely hard ferrous metals	IX Sintered car- bides, hard ceramics	X Minerals and ceramics	XI Plastics and resins, mounted materials	
Magnutom-500	508 x 3.5 x 32	10S51			30A51	40A51 42A51 ¹⁰	50A51 52A51 ¹⁰	60A51 62A51 ¹⁰	80C41 ¹	80D51 ¹¹	M0D51 ¹⁰	E0D36 ⁹	
Exotom-100/-150 Magnutom-400	432 x 3.0 x 32	10S43	20S43		30A43	40A43 42A43 ¹⁰	50A43 52A43 ¹⁰ 58A43 ¹⁰	60A43 62A43 ¹⁰ 66A43 ¹⁰ 68A43 ¹⁰	80C41 ¹	80D35 ²	M0D35 ²	E0D36 ⁹	
Axilom-5 (1,950 rpm)	350 x 2.5 x 32	10S35	20S35	20A35	20A35	30A35	40A35	50A35 56A35 ¹²	60A35 66A35 ¹²	80C35 ⁶	80D35 ² 87D35 ²⁰	M0D35 ²	E0D36 ⁹
Labotom-15 (2,350 rpm)		10S35	20S35	30A35	40A35	50A35 56A35 ¹²	60A35 66A35 ¹²	80C35 ⁶	80D35 ² 87D35 ²⁰	80C35 ⁶	80D35 ² 87D35 ²⁰	M0D35 ²	E0D36 ⁹
Exotom/Unitom-2/-5/-50 (2,775 rpm)		10S35	30S35	20A35	30A35	40A35	50A35 56A35 ¹² 58A35 ¹⁰	60A35 66A35 ¹² 68A43 ¹⁰	80C35 ⁶	80D35 ² 87D35 ²⁰	80C35 ⁶	80D35 ² 87D35 ²⁰	M0D35 ²
Unitom/Discotom-50/-60/-65/-100	300 x 2.0 x 32	10S30	20S30		30A30	40A30	50A30	60A30 66A30 ¹⁰	80C31 ⁴	80D31 ⁴	M0D31 ⁴	E0D30 ³	
Discotom-5/-6/-10/Labotom-3/-5	250 x 1.5 x 32	10S25	20S25	20A25	30A25 33A25 ⁹	40A25 46A25 ¹¹	54A25 50A25 ¹¹ 56A25 ¹²	60A25 66A25 ¹²	80C25 ⁵	80D25 ⁵	M0D25 ⁵	E0D25 ⁵	
Discotom/Labotom	230 x 1.5 x 22	10S24	20S24		30A24	40A24	50A24	60A24					
Discoplan-1S	200 x 1.0 x 22									B4D20	M4D20		

250 x 1.5 x 32

54A25
50A25¹¹
56A25¹²

Obr. 44 Určení vhodného rozbrušovacího kotouče dle návodu od firmy Struers – krok 2 [16]

V té kolonce, kde se tento řádek překrývá se svislým sloupcem, jsou již konkrétní obchodní označení vhodných kotoučů pro danou aplikaci od firmy Struers – 54A25, 50A25 a 56A25. Kotouče 54A25 jsou doporučené pro ruční dělení, 50A25 jsou pro strojní dělení a stejně tak 56A25, které mají navíc 3D hexagonální segmenty pro lepší chlazení v místě řezu. Nakonec je zvolen rozbrušovací kotouč s označením 50A25 (viz Obr. 45), protože proces rozbrušování bude realizován strojně a typ 56A25 je cenově dražší.

Rozbrušovací kotouč Struers 50A25 má tedy větší průměr 250 mm ($D_{roz} = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$), tloušťku 1,5 mm, upínací otvor 32 mm, brusivo Al_2O_3 , pryskyřičné pojivo a pracovní rychlost 50 m/s ($v_{roz} = 50 \text{ m/s}$). Je nutné zkontrolovat, že vřeteno stroje BRIDGEPORT VMC500 je schopno pracovní rychlosti kotouče dosáhnout. Maximální otáčky vřetena jsou $n_{BPmax} = 6500 \text{ /min}$.

$$n_{roz} = \frac{v_{roz}}{\pi * D_{roz}} * 60 = \frac{50}{\pi * 0,25} * 60 \doteq 3820 \text{ /min} \quad (1)$$

$$n_{roz} = 3820 \text{ /min} < n_{BPmax} = 6500 \text{ /min} \quad (2)$$

Stroj dle rovnice (2) je schopen dosáhnout pracovních otáček rozbrušovacího kotouče.



Obr. 45 Rozbrušovací kotouč Struers s označením 50A25 [58]

4.2.2 Upínací rozhraní a jeho montáž

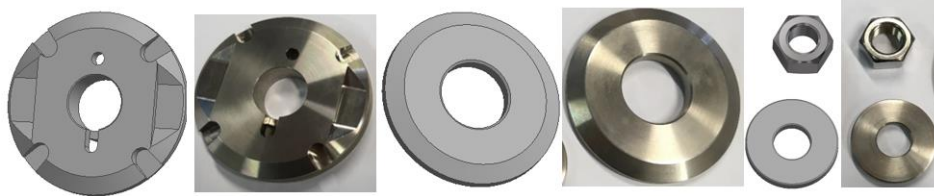
Rozměry upínacích rozhraní rozbrušovacích kotoučů (zejména průměry přírub) se řídí normou ČSN EN ISO 16089 – Obráběcí stroje – Bezpečnost – Stacionární brusky, která bere v úvahu i konkrétní vlastnosti kotouče (pojivo, provozní rychlost, ...). Konstrukčně jsou možnosti řešení upínacího rozhraní tyto:

- Konstrukce celého rozhraní dle normy
- Zakoupení a modifikace části rozhraní přímo z rozbrušovací pily

Dále se k oběma možnostem musí navrhnout řešení upnutí rozhraní do vřetena stroje BRIDGEPORT VMC500 s kuželem SK40. Z hlediska funkčního řešení a menší konstrukční náročnosti je zvolena druhá varianta – je zakoupeno upínací rozhraní rozbrušovací pily Discotom-6 (viz Obr. 46 a Obr. 47), které je konstruováno přímo pro upnutí vybraného rozbrušovacího kotouče z předchozí kapitoly 50A25.

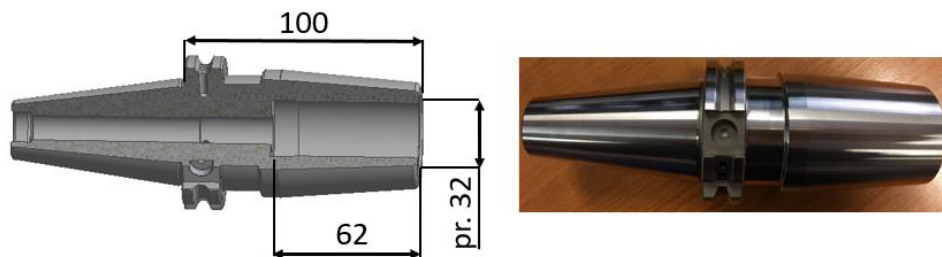


Obr. 46 Upínací rozhraní rozbrušovací pily Discotom-6



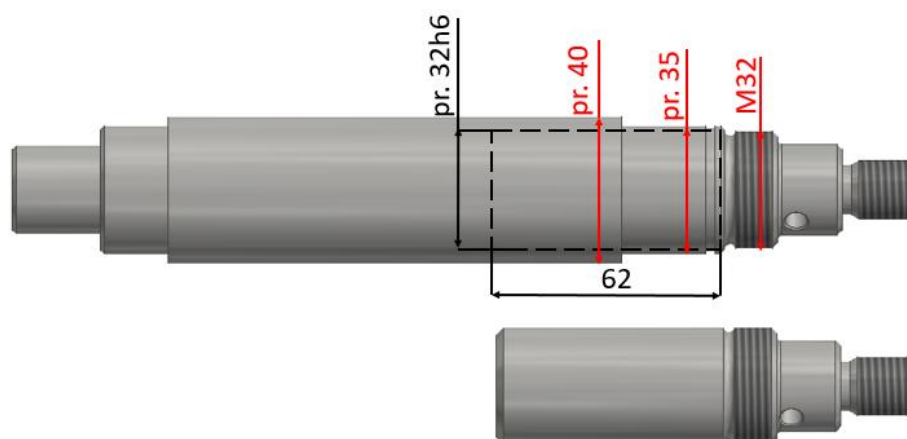
Obr. 47 Díly upínacího rozhraní rozbrušovacího kotouče a jejich modely – vnitřní příruba (vlevo), vnější příruba (uprostřed) a podložka s maticí (vpravo)

Vřeteno musí být konstrukčně upraveno do vhodného upínače s kuželem SK40 tak, aby byla co nejvíce zachována jeho tuhost. Z toho vyplývá požadavek na co možná nejmenší úpravu jeho průměrů (viz Obr. 49 červeně) a na tuhé vyložení upínače co se týče vzdálenosti od čela vřetene. Je tedy vybrán tepelný upínač Kemmler (viz Obr. 48) s upínacím průměrem 32 mm, maximální upínací hloubkou 62 mm a vyložení 100 mm.



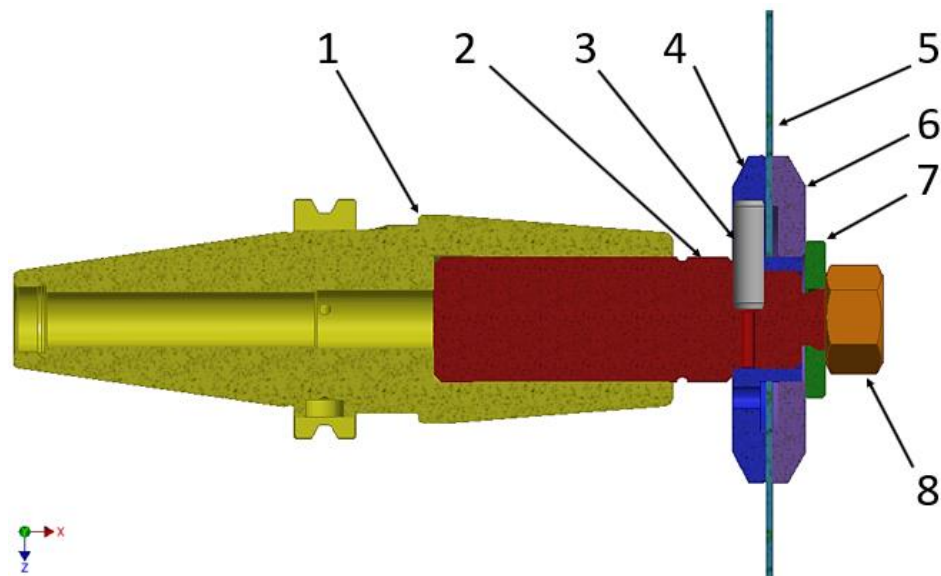
Obr. 48 Model a foto tepelného upínače Kemmler SK40-32-100

Vřeteno je obrobena (viz Obr. 49 černě) tak, aby vyhovovalo usazení do tohoto upínače. Za závitem M32 je zkráceno na délku 62 mm a původní průměr 35 a 40 mm je obrobena na hodnotu 32h6 (dle požadavku výrobce Kemmler) o drsnosti Ra 0,2.



Obr. 49 Schéma obrobění hřídele rozbrušovací pily Discotom-6 (nahore) a model stavu po obrobění (dole)

Konečné konstrukční řešení upnutí rozbrušovacího kotouče Struers 50A25 do vřetena stroje BRIDGEPORT VMC500 je na Obr. 50.



Obr. 50 Sestava upraveného upínacího rozhraní rozbrušovacího kotouče s tepelným upínačem

Při montáži se nejdříve upevní upravené vřeteno (pozice 2) v tepelném upínací (pozice 1) a vytvoří se tím pevný celek. Dále se do díry ve vřeteni vloží kolík (pozice 3). Na vřeteno se nasune vnitřní příruba (pozice 4) a zaindexuje se pomocí kolíku, prostřednictvím kterého se také z vřetena na vnitřní přírubu přenáší kroučící moment. Současně díra v ose příruby slouží k vystředění na vřetenu. V dalším kroku se nasadí rozbrušovací kotouč (pozice 5), vnější příruba (pozice 6) a podložka (pozice 7). Dotažení dílů k sobě se provede maticí (pozice 8), která se našroubuje na koncový čep vřetena. Tento čep má levotočivý závit, aby se při řezu mohlo kotoučem otáčet ve směru hodinových ručiček.

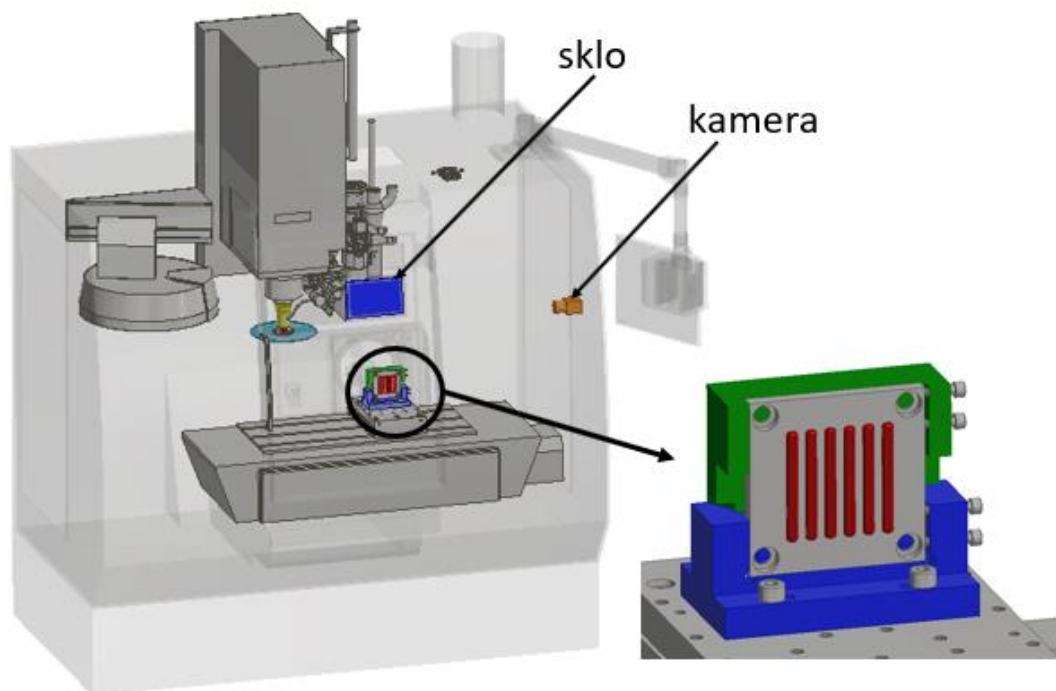
4.2.3 Postup rozbrušování

Navržený postup rozbrušování v sobě musí odrazet tyto vstupní požadavky a omezení:

- Kotouč se otáčí ve směru hodinových ručiček
- Proces je sledován obsluhou stroje

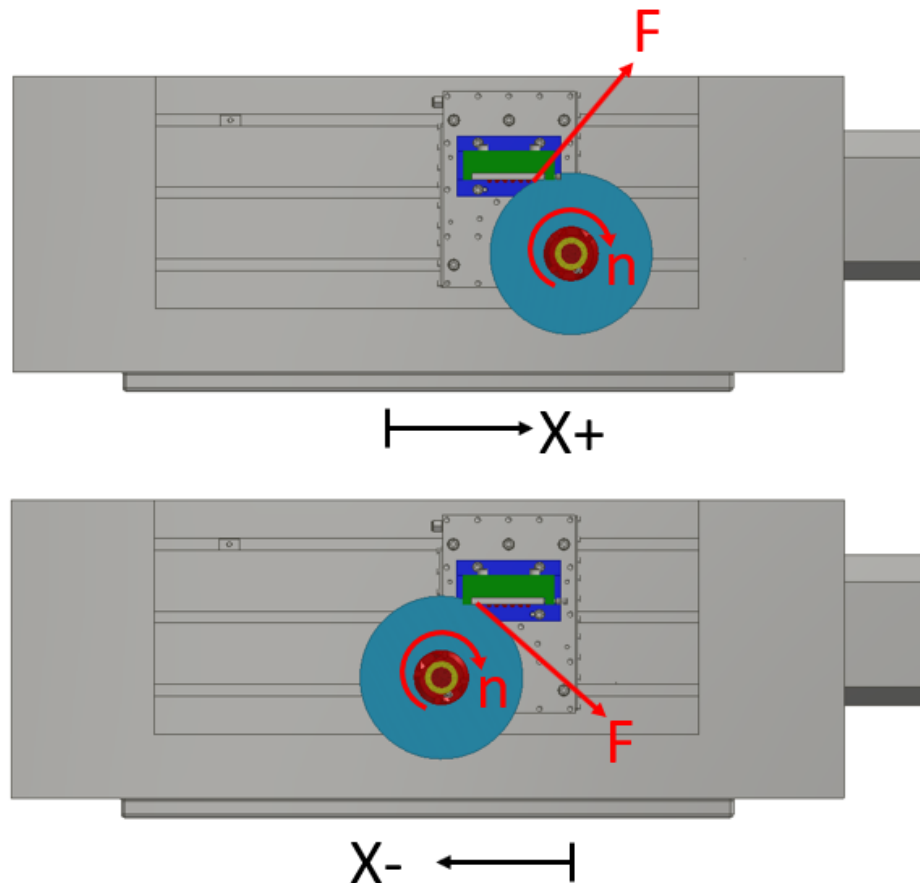
- Řezná síla směřuje do upínače
- Deska na stole stroje s upevněným upínačem není uprostřed zdvihu osy X

První možností sledování procesu ve stroji BRIDGEPORT VMC500 je přes tvrzené sklo o rozměrech 12x9 cm umístěné v posuvných dveřích, tzn. ze strany obsluhy. Druhá možnost je toto sklo překrýt posuvným plechem o tloušťce 1,5 mm a sledovat proces na řídicím panelu skrze kameru, která snímá proces opět ze strany obsluhy. Z toho vyplývá, že upínač se vzorkem musí být na desce stroje otočen směrem k obsluze (viz Obr. 51).



Obr. 51 Možnosti sledování procesu ve stroji a umístění upínače vzorku

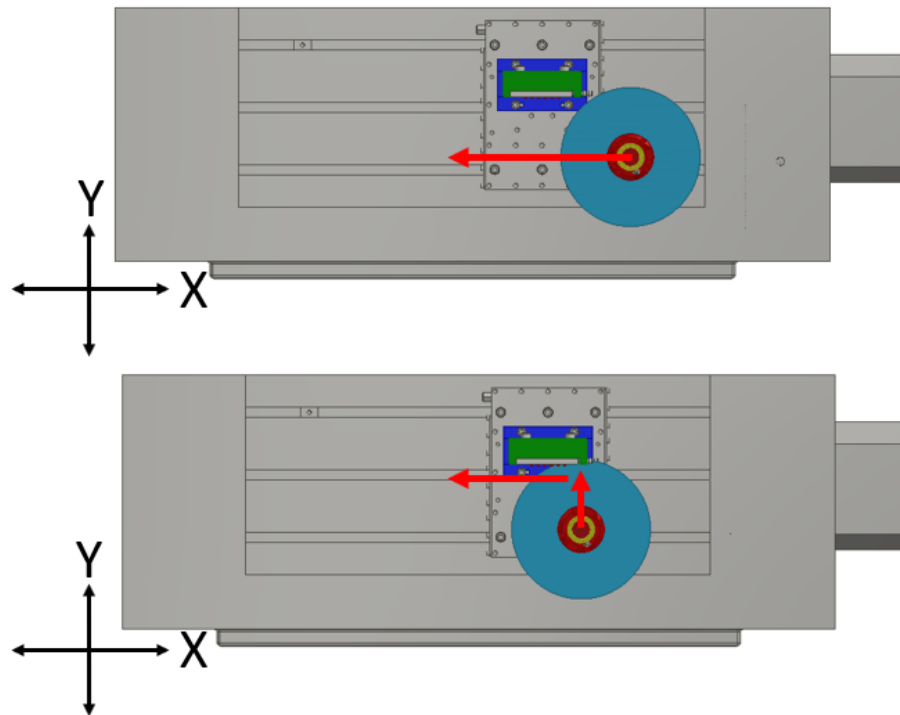
Dalším požadavkem je, aby řezná síla směřovala směrem do upínače. Tento požadavek je nutný z hlediska bezpečnosti. Při nedostatečném dotlačení vzorku na příslušné plochy by výsledná řezná síla směřující ven z upínače mohla způsobit vymrštění vzorku. Jestliže je dán smysl otáčení kotouče, ovlivňuje směr řezné síly pouze směr pohybu stolu v ose X. V tomto případě je nutné, aby se stůl pohyboval do kladného směru (viz Obr. 52), což pro NC programování znamená pohyb nástroje do směru záporného.



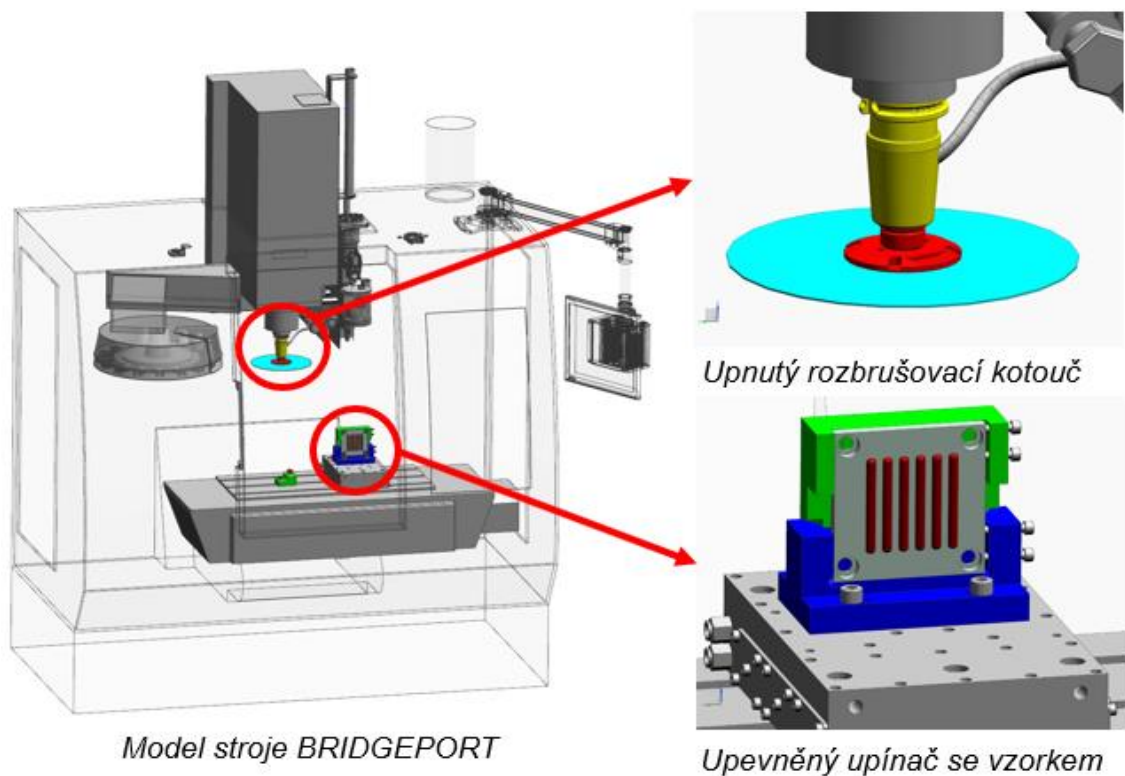
Obr. 52 Závislost směru řezné síly rozbrušování na směru pohybu stolu – pohled shora

Posledním omezením je pracovní prostor stroje, zejména zdvih osy X (500 mm). Upínač vzorku není uprostřed zdvihu osy X, ale je posunut přibližně o 130 mm do kladného směru. Dalším faktorem je průměr rozbrušovacího kotouče (250 mm). V ideálním případě by rozbrušování probíhalo pouze při jednom lineárním pohybu v ose X (viz Obr. 53 nahoře) avšak kvůli výše zmíněným důvodům se musí do řezu najet již v ose Y a poté až pokračovat v ose X (viz Obr. 53 dole).

Celkový pohled do modelu stroje BRIDGEPORT VMC 500 před začátkem procesu rozbrušování je na Obr. 54.



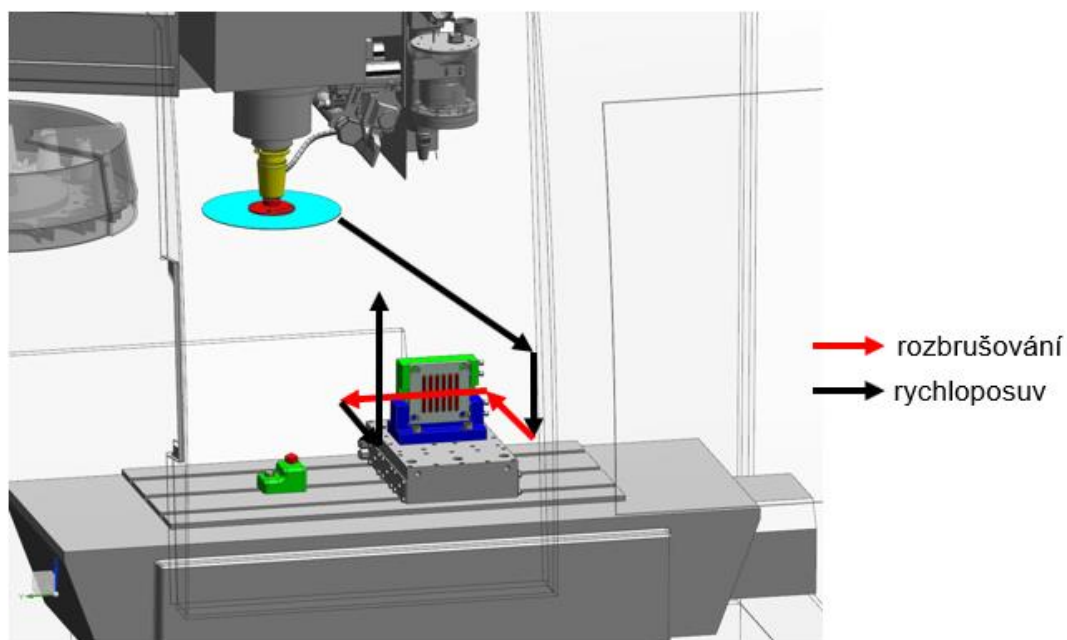
Obr. 53 Proces rozbrušování ideální (nahore) a reálný (dole)



Obr. 54 Pohled do stroje BRIDGEPORT VMC 500 před začátkem procesu rozbrušování

Vezmeme-li v úvahu všechny požadavky a omezení, bude proces rozbrušování realizován dle Obr. 55. Pro jednoduchost je zde uvažováno, že vřeteno koná lineární

pohyby ve všech třech osách. Vřeteno přijede rychloposuvy do rozbrušovací hladiny v ose Z. Dojde k jeho roztočení na pracovní otáčky a zapnutí chlazení. Následují pomalé lineární posuvy v ose Y a X, při kterých je vzorek rozbrušován. Po dokončení odjede kotouč v ose Y a poté v ose Z do bezpečné vzdálenosti.



Obr. 55 Schéma procesu rozbrušování ve stroji BRIDGEPORT VMC 500

4.3 Broušení

Broušení je další technologický proces po rozbrušování. Broušením je požadováno dosažení co nejlepší kvality povrchu z hlediska malé hodnoty drsnosti Ra a lesklosti. V této kapitole bude popsán proces volby brusného kotouče, konstrukce jeho upínacího rozhraní (do vřetena stroje BRIDGEPORT VMC500) a technologický postup broušení.

4.3.1 Volba brusného kotouče

Při volbě vhodného brusného kotouče pro technologii broušení v CNC stroji jsou kladeny tyto požadavky:

- Tvar – broušení čelem
- Co největší zrnitost
- Vhodnost pro materiály návarů



- Broušení za mokra

Z důvodu vertikálního upnutí vzorku ve stroji (viz Obr. 41) a vertikální osy vřetena není možné provádět broušení obvodem, ale pouze čelem. To ovlivňuje možný tvar kotouče, který lze použít – připadá v úvahu miskovitý, hrncovitý nebo talířovitý. Dále se musí brát ohled na co největší zrnitost – čím větší zrnitost, tím menší hodnota drsnosti Ra broušeného povrchu. Současně musí být také kotouč vhodný pro materiály návarů. Posledním požadavkem je schopnost kotouče brousit za mokra. Tím je zaručeno, že je možné do procesu přivádět chladicí kapalinu a zamezit nežádoucímu nadměrnému vzniku tepla.

S přihlédnutím na požadavky v předchozím odstavci byl pro konstrukční ocel a DO04 Castoline vybrán brusný kotouč od firmy Tyrolit s označením T6 125x63x32-15x13 98A120L9V32 (viz Obr. 56 červeně). Jde o hrncovitý kotouč se světle růžovým korundem jako typem brusiva, zrnitostí 120, tvrdostí L, keramickým pojivem, pracovní rychlostí 32 m/s ($v_{br} = 32 \text{ m/s}$) a vnějším průměrem 125 mm ($D_{br} = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$). Vzhled kotouče je na Obr. 57. Pro nerezovou ocel byl zvolen brusný kotouč též od firmy Tyrolit s označením T6 125x63x32-8x13 98A40J9V32 (viz Obr. 56 zeleně). Vnější průměr a pracovní rychlost má stejnou jako kotouč předchozí, má však rozdílnou tvrdost (J) a zrnitost (40).

Je nutné provést kontrolu, zda otáčky vřetena stroje BRIDGEPORT ($n_{Bmax} = 6500 \text{ /min}$) budou dostatečné k dosažení pracovní rychlosti kotoučů.

$$n_{br} = \frac{v_{br}}{\pi * D_{br}} * 60 = \frac{32}{\pi * 0,125} * 60 \doteq 4890 \text{ /min} \quad (3)$$

$$n_{br} = 4890 \text{ /min} < n_{Bmax} = 6500 \text{ /min} \quad (4)$$

Dle rovnice (4) je tedy vřeteno schopno dosáhnout pracovních otáček brusných kotoučů.

Tvar **6**
D x T x H - W x E

Objedn. číslo	Původní objedn. číslo	Tvar	Rozměr	Specifikace	Min. objednácní množství						
<i>Broušený materiál</i>		ocel (90a 11)	ocel (-56HR)	ocel (-67HR)	neroz	brzdíkov, SiC	litina	kámen	barevné kovy	silný litinu	plast, sklolaminát
<i>Použití</i>		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			D x T x H - W x E	umělý korund světle růžový , pojivo keramické							
429344	571 61 - 1065.09	6	100x50x20 - 7,5x10	98A 60 K 9 V 32		1					
429345	571 61 - 1066.09	6	100x50x20 - 7,5x10	98A 60 L 9 V 32		1					
429347	571 61 - 1077.09	6	100x50x20 - 7,5x10	98A 80 K 9 V 32		1					
429362	571 61 - 1293.09	6	125x63x32-15x13	98A 120 L 9 V 32		1					
429363	571 61 - 1301.09	6	125x63x32 - 8x13	98A 40 J 9 V 32		1					
429367	571 61 - 1315.09	6	125x63x32 - 8x13	98A 60 K 9 V 32		1					
429389	571 61 - 1603.09	6	150x80x32 - 12,5x16	98A 40 J 9 V 32		1					
429386	571 61 - 1612.09	6	150x80x32 - 12,5x16	98A 46 K 9 V 32		1					
429397	571 61 - 1634.09	6	150x80x51 - 12,5x16	98A 60 K 9 V 32		1					
429413	571 61 - 2065.00	6	200x80x150 - 15x16	98A 46 K 9 V 32		1					
429428	571 61 - 3059.00	6	300x100x225 - 20x20	98A 36 M 7 V 32		1					
429432	571 61 - 3573.00	6	350x100x275 - 25x20	98A 40 L 8 V 32		1					
429435	571 61 - 4015.00	6	400x100x310 - 25x20	98A 24 O 6 V 32		1					
429436	571 61 - 4028.00	6	400x100x310 - 25x20	98A 40 K 9 V 32		1					
429443	571 61 - 4046.00	6	400x100x325 - 25x20	98A 40 K 9 V 32		1					

Obr. 56 Nabízené hrncovité kotouče firmy TYROLIT s vyznačením vybraných brusných kotoučů [27]



Obr. 57 Brusný kotouč TYROLIT 98A120L9V32

4.3.2 Upínací rozhraní a jeho montáž

Rozměry upínacího rozhraní brusných kotoučů se řídí stejnou normou jako u kotoučů rozbrušovacích – ČSN EN ISO 16089 – Obráběcí stroje – Bezpečnost – Stacionární brusky. Nejdříve se provedou výpočty základních rozměrů, které norma předepisuje. Jedná se o vnější a vnitřní průměr opěrných ploch upínacích přírub. Výchozími parametry jsou vnější průměr brusiva $D_{br} = 125 \text{ mm}$ a průměr díry brusiva $H_{br} = 32 \text{ mm}$. V prvním kroku se rozměr D_{br} vynásobí hodnotou 0,2 (viz rovnice (5)) a porovná se, zdali je větší než rozměr H_{br} (viz rovnice (6)).



$$D_{br} = 125 \text{ mm} \rightarrow 0,2 * D_{br} = 25 \text{ mm} \quad (5)$$

$$H_{br} = 32 \text{ mm} > 0,2 * D_{br} = 25 \text{ mm} \quad (6)$$

V dalším kroku se vypočte radiální šířka brusiva M pomocí rovnice (7).

$$M = \frac{D - H_{br}}{2} = \frac{125 - 32}{2} = 46,5 \text{ mm} \quad (7)$$

Pokud nám porovnání hodnot vyšlo jako dle rovnice (6), vypočítá se minimální vnější průměr upínací příruby D_F následovně:

$$D_{Fmin} \geq H_{br} + 2 * 0,17 * M = 32 + 2 * 0,17 * 46,5 = 47,81 \text{ mm} \quad (8)$$

Maximální vnitřní průměr opěrné plochy D_{Emax} musí být takový, aby styková plocha R zakrývala alespoň 1/6 zvoleného průměru D_F . Hodnotu D_{Emax} poté získáme z rovnice (9).

$$D_{Emax} = D_F - R \quad (9)$$

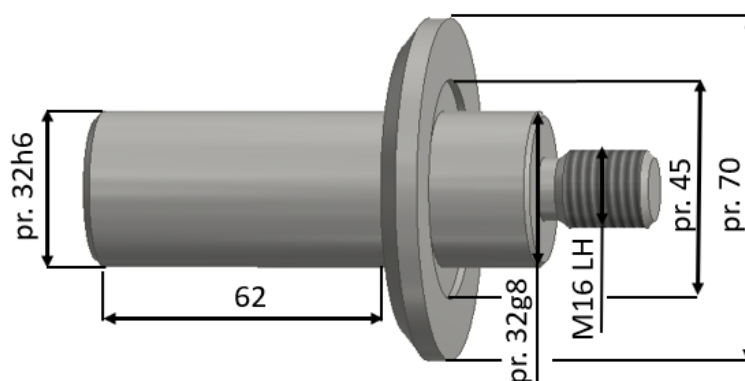
Je zvolen vnější průměr opěrné plochy $D_F = 70 \text{ mm}$. Dopočítají se rozměry R a D_{Emax} pro konstrukční návrh upínacího rozhraní.

$$R = \frac{1}{6} * D_F = \frac{1}{6} * 70 \doteq 11,7 \text{ mm} \quad (10)$$

$$D_{Emax} = D_F - R = 70 - 11,7 = 58,3 \text{ mm} \quad (11)$$

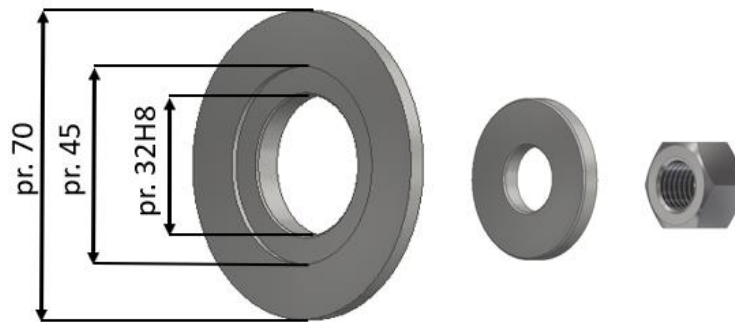
Pro vnitřní průměr opěrné plochy je zvolen rozměr $D_E = 45 \text{ mm}$.

Pro upnutí rozhraní do stroje byl zvolen stejný tepelný upínač Kemmler SK40-32-100 (viz Obr. 48) jako u upínacího rozhraní rozbrušovacího kotouče. Hřídel pro broušení (viz Obr. 58) je konstruována jako jeden celek s vnitřní přírubou. Konec o průměru 32h6 mm, délce 62 mm a drsnosti povrchu Ra 0,2 je upravený pro tepelný upínač. Zároveň je i geometricky tolerován souosostí na průměr 0,01 s průměrem 32g8. Tento průměr 32g8 dále slouží pro vystředění kotouče a vnější přírubby na hřídeli. Přibližně uprostřed délky je vyrobena opěrná plocha kotouče mezi průměry D_F (70 mm) a D_E (45 mm). Na druhém konci hřídele je čep s levotočivým závitem M16 kvůli otáčení kotouče po směru hodinových ručiček.



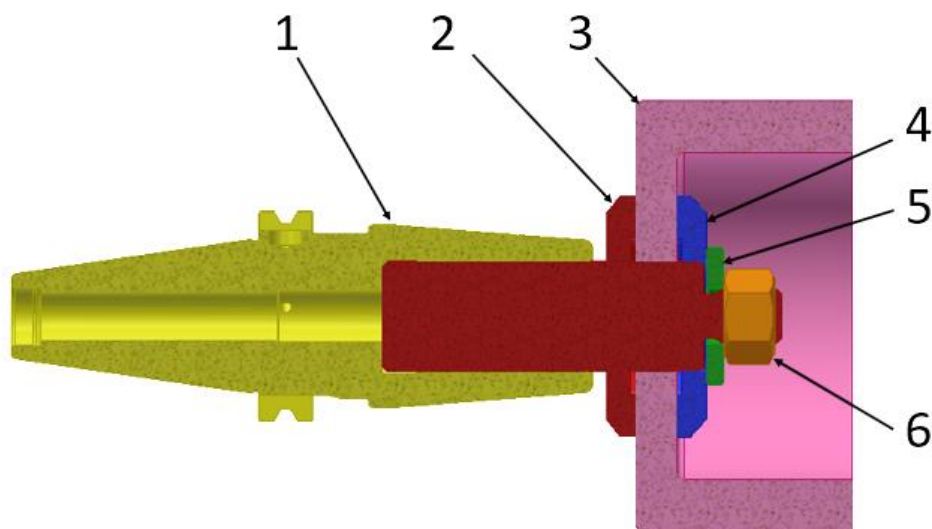
Obr. 58 Model hřídele pro broušení

Dalšími díly upínacího rozhraní brusného kotouče jsou vnější příruba (viz Obr. 59 vlevo), podložka (viz Obr. 59 uprostřed) a levotočivá matice DIN934 M16 (viz Obr. 59 vpravo). Na vnější přírubě jsou vyrobeny totožné opěrné plochy kotouče jako na hřídeli o průměrech 70 mm a 45 mm. Průměr 32H8 slouží k vystředění přírubby na hřídeli. Tyto dvě komponenty jsou navzájem uloženy s lícováním H8/g8. V podložce nejsou žádné zvláštní funkční rozměry.



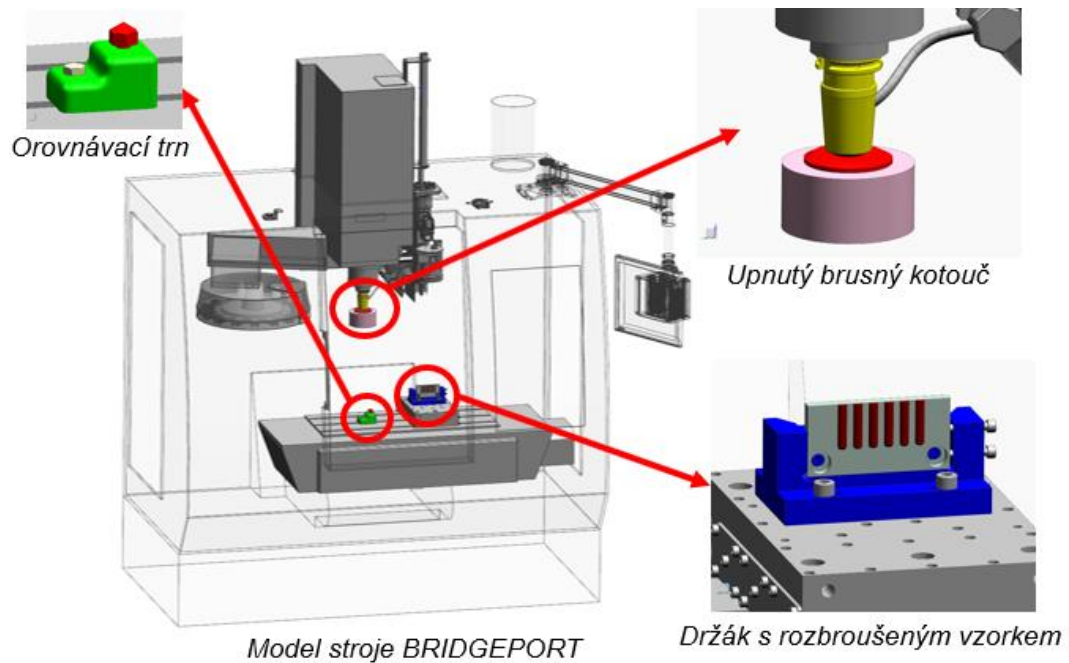
Obr. 59 Díly upínacího rozhraní brusného kotouče – vnější příruba (vlevo), podložka (uprostřed) a matice M16 LH (vpravo)

Model sestavy upínacího rozhraní brusného kotouče je na Obr. 60. Při montáži se hřídel broušení (pozice 2) upevní v tepelném upínači (pozice 1), se kterým tak vytvoří pevný celek. Poté se nasune brusný kotouč (pozice 3), vnější příruba (pozice 4) a podložka (pozice 5). Dotažení dílů k sobě je zajištěno levotočivou maticí M16 (pozice 6).



Obr. 60 Sestava upínacího rozhraní brusného kotouče s tepelným upínačem

Pohled do stroje před začátkem broušení je na Obr. 61. Nezbytnou součástí je orovnávací trn. Pomocí něj se před každým brousícím cyklem kotouč orovná, aby se obnovila jeho řezivost a dosáhlo se požadované kvality povrchu.



Obr. 61 Pohled do stroje BRIDGEPORT VMC 500 před začátkem procesu broušení

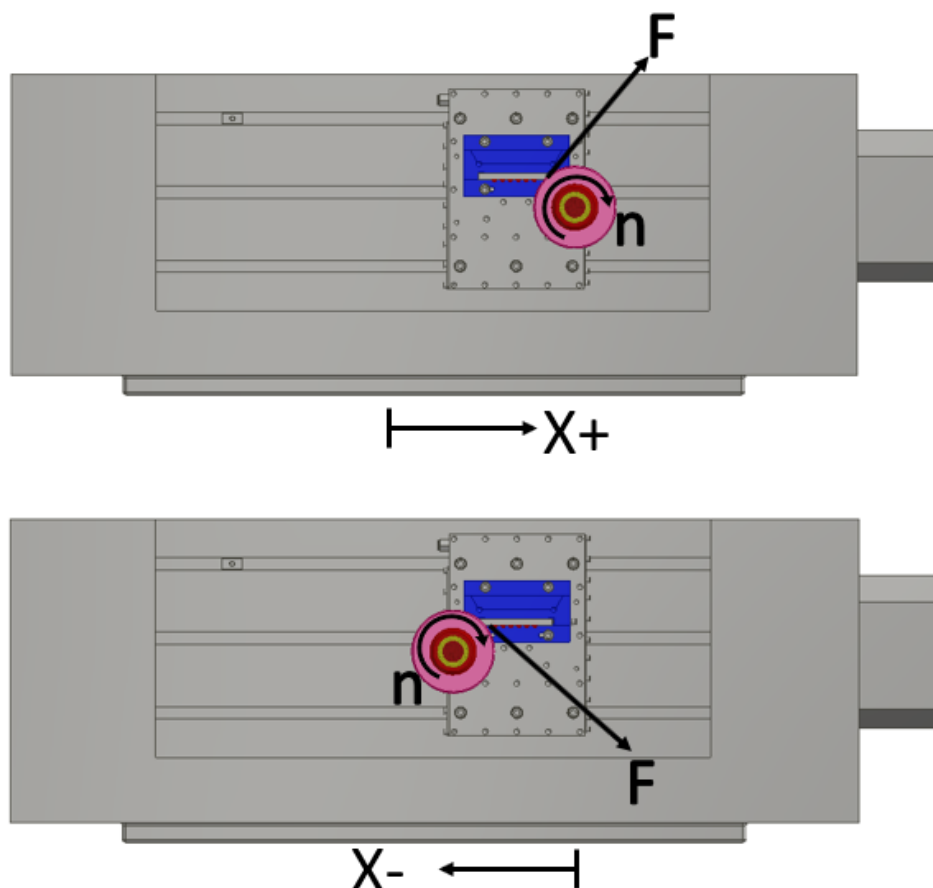
4.3.3 Postup broušení

Navržený postup broušení se musí řídit obdobnými požadavky a omezeními jako při rozbrušování:

- Kotouč se otáčí ve směru hodinových ručiček
- Proces je sledován obsluhou stroje
- Síla od procesu broušení směřuje do upínače
- Osa vřetena Z nemá dostatečnou opakovatelnost nastavení polohy

Sledovatelnost procesu, která určuje natočení upínače vzorku, je již vyřešena z předchozího procesu rozbrušování. Umístění vzorku mimo střed zdvihu osy X postup broušení z důvodu menších rozměrů brusného kotouče neovlivní.

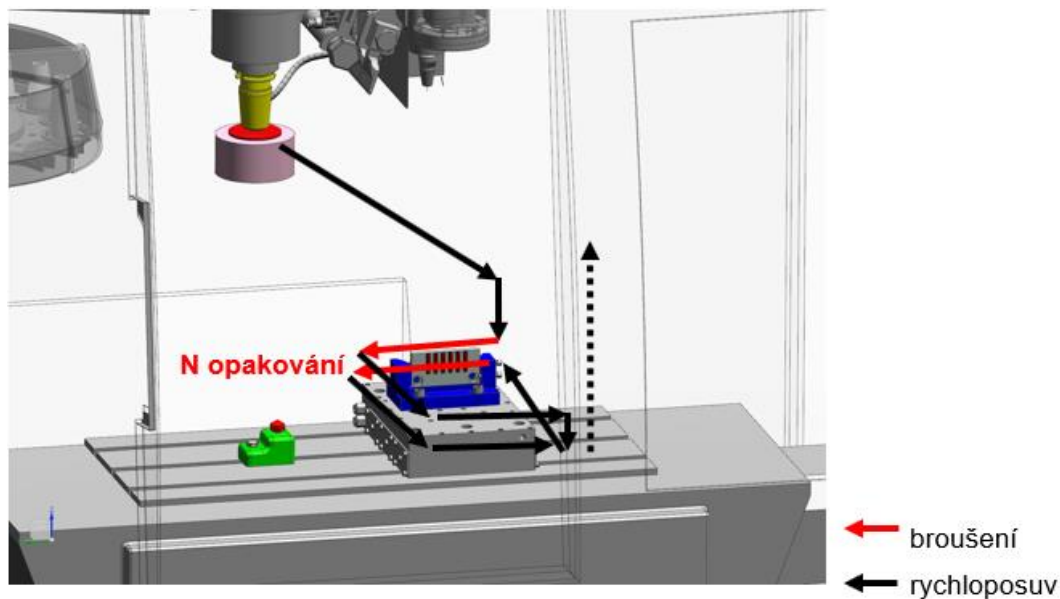
Co se týče síly od broušení, je případ stejný jako při rozbrušování. Je požadováno, aby síla směřovala do upínače. Pokud by směřovala ven a vzorek byl nedokonale dotlačen k příslušným plochám upínače, hrozilo by jeho vysmeknutí a odlétnutí. Při otáčkách kotouče po směru hodinových ručiček se tedy stůl bude muset pohybovat do kladného směru osy X (viz Obr. 62). Pro NC program to znamená brousit do záporného směru osy X, protože se programuje dráha nástroje.



Obr. 62 Závislost směru řezné síly broušení na směru pohybu stolu – pohled shora

Dalším omezením ovlivňujícím postup broušení je nedostatečná opakovatelnost nastavení polohy. Běžné frézovací stroje jako je BRIDGEPORT VMC500 nejsou konstruovány na velice přesné opakovatelné nastavení polohy jako je požadováno při broušení. Z toho vyplývá, že pokud se sjede vřetenem v ose Z do hladiny úběru (v záporném směru), nesmí se z této hladiny vyjet zpět do kladného směru osy. Po dokončení jednoho cyklu broušení lze pouze sjet opět o daný úběr do záporného směru. Vyjet do kladného směru se může až po dokončení všech brousících cyklů.

Proces broušení bude s přihlédnutím na požadavky a omezení vykonáván dle Obr. 63. Lineárními posuvy se najede do výchozího bodu broušení a zapnou se otáčky vřetena s chlazením. Provede se první brusný pohyb v ose X. Následuje odjetí v ose Y a zpětný pohyb v ose X. Dále probíhá proces v předem definovaném počtu stejných cyklů – sjede se v ose Z o daný úběr, přijede se ke vzorku v ose Y, proběhne broušení v ose X, opět se odjede v ose Y a zpětně přejede v ose X. Po dokončení stanoveného počtu cyklů vyjede vřeteno do bezpečné vzdálenosti v ose Z.



Obr. 63 Schéma procesu broušení ve stroji BRIDGEPORT VMC 500

4.4 Kontrolní výpočet bezpečnosti krytování

Při procesu rozbrušování i broušení může dojít k destrukci nástroje. Krytování stroje musí tedy mít dostatečnou tloušťku plechu k pohlcení kinetické energie od odletujících částí nástroje. Bezpečný způsob krytování předepisuje opět norma ČSN EN ISO 16089 – Obráběcí stroje – Bezpečnost – Stacionární brusky. Krytování stroje BRIDGEPORT VMC500 má tloušťku plechu $t_{BP} = 2,5 \text{ mm}$.

Minimální tloušťka plechu stroje pro rozbrušování se určí z tabulky v normě podle průměru a šířky kotouče, průměru díry v kotouči a řezné rychlosti. Parametry procesu rozbrušování ve stroji BRIDGEPORT VMC500 jsou: $D_{roz} = 250 \text{ mm}$, $T_{roz} = 1,5 \text{ mm}$, $H_{roz} = 32 \text{ mm}$, $v_{roz} = 50 \text{ m/s}$. Nejvíce se těmito reálným hodnotám přibližují tabulkové hodnoty: $D_{roz_tab} = 250 \text{ mm}$, $T_{roz_tab} = 4 \text{ mm}$, $H_{roz_tab} = 32 \text{ mm}$, $v_{roz_tab} = 63 \text{ m/s}$. Podle těchto tabulkových hodnot by minimální tloušťka plechu stroje měla být $t_{roz_min} = 2 \text{ mm}$. Podle rovnice (12) tedy krytování stroje pro technologii rozbrušování vyhovělo. Nutno dodat, že t_{roz_min} je pro $T_{roz_tab} = 4 \text{ mm}$ a $v_{roz_tab} = 63 \text{ m/s}$, kdežto reálná hodnota šířky kotouče a řezné rychlosti je $T_{roz} = 1,5 \text{ mm}$ a $v_{roz} = 50 \text{ m/s}$. Tím je menší i skutečná kinetická energie rozbrušovacího kotouče a krytování tak vyhovuje s dostatečnou rezervou.



$$t_{BP} = 2,5 \text{ mm} > t_{roz_min} = 2 \text{ mm} \quad (12)$$

Minimální tloušťka plechu stroje pro broušení se určí podle výpočtu v normě. Výchozími hodnotami jsou hmotnost brusného kotouče $m_{br} = 0,9 \text{ kg}$, průměr brusiva $D_{br} = 125 \text{ mm}$, průměr díry brusiva $H_{br} = 32 \text{ mm}$ a pracovní rychlost kotouče $v_{br} = 32 \text{ m/s}$. Nejdříve se vypočítá parametr Q – poměr H_{br} a D_{br} .

$$Q = \frac{H_{br}}{D_{br}} = \frac{32}{125} = 0,26 \quad (13)$$

Následuje výpočet translační energie úlomků E_{trans} , která je největší pro úhel úlomků $\alpha = 67^\circ$.

$$E_{trans} = \frac{2}{9\pi} * m_{br} * \frac{(1 - Q^3)^2}{(1 - Q^2)^2} * \frac{(\sin \alpha)^2}{\alpha} * v_{br}^2 \quad (14)$$

$$E_{trans}(\alpha = 67^\circ) = 0,051 * m_{br} * \frac{(1 - Q^3)^2}{(1 - Q^2)^2} * v_{br}^2 \quad (15)$$

$$E_{trans}(\alpha = 67^\circ) = 0,051 * 0,9 * \frac{(1 - 0,26^3)^2}{(1 - 0,26^2)^2} * 32^2$$

$$E_{trans}(\alpha = 67^\circ) = 78,4 \text{ Nm}$$

Pomocí vypočtené translační energie úlomků se z empirického vzorce určí minimální tloušťka plechu krytování pro broušení.

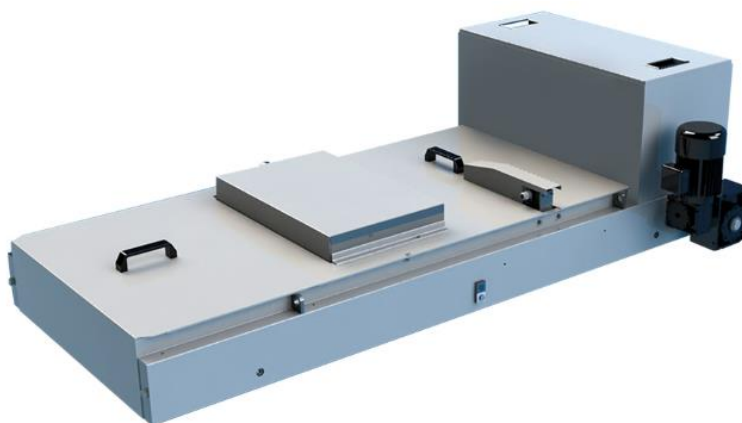
$$t_{br_min} = 0,4 * E_{trans}^{0,37} = 0,4 * 78,4^{0,37} = 2,01 \text{ mm} \quad (16)$$

$$t_{BP} = 2,5 \text{ mm} > t_{br_min} = 2,01 \text{ mm} \quad (17)$$

Podle normy ČSN EN ISO 16089 vyhovělo krytování stroje BRIDGEPORT VMC500 svou tloušťkou plechu pro technologii rozbrušování (viz rovnice (12)) i pro technologii broušení (viz rovnice (17)).

4.5 Doporučení pro úpravy stroje

Jelikož nejsou frézovací stroje konstruovány na technologii rozbrušování a broušení v jejich pracovních prostorech, nemají z výroby dostatečnou schopnost odfiltrovat použité jemné brusivo z chladicí kapaliny. Z tohoto důvodu je vhodné ke stroji připojit filtrační jednotku používanou ve větších rozbrušovacích pilách nebo bruskách. Takováto jednotka je například pásový filtr PF100 od firmy Astos Machinery (viz Obr. 64). Je schopný filtrovat 100 litrů rezné kapaliny za minutu a jeho jemnost filtrace se odvíjí od typu použité filtrační tkaniny.

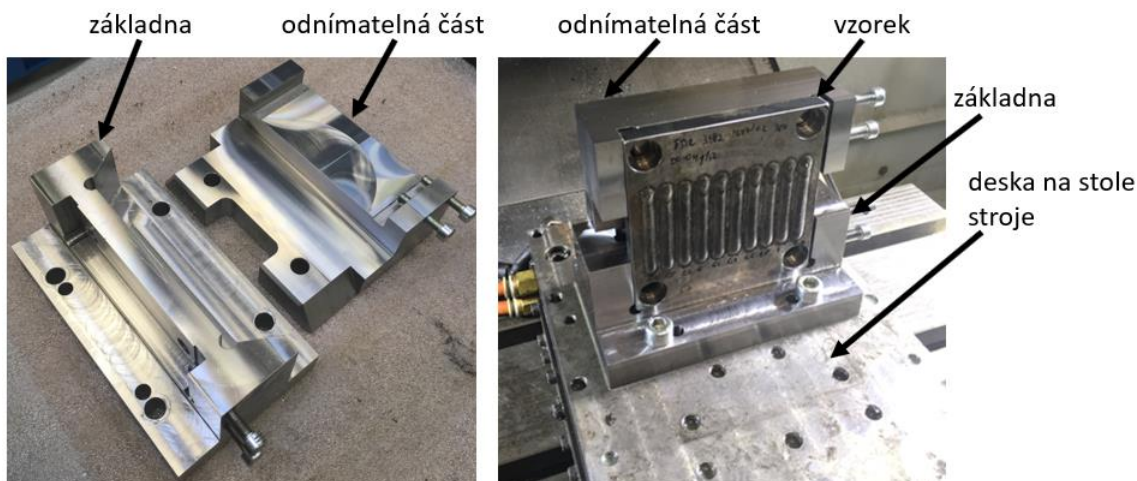


Obr. 64 Pásový filtr PF100 od společnosti Astos Machinery [59]

5 Experimentální ověření funkčnosti

V této kapitole budou popsány experimenty rozbrušování a broušení návarů z konstrukční oceli v CNC stroji technologickými prostředky a postupy navrhnutými ve vlastním řešení. Výstupem z experimentů budou doporučené vhodné technologické parametry u obou procesů pro návary z konstrukční oceli.

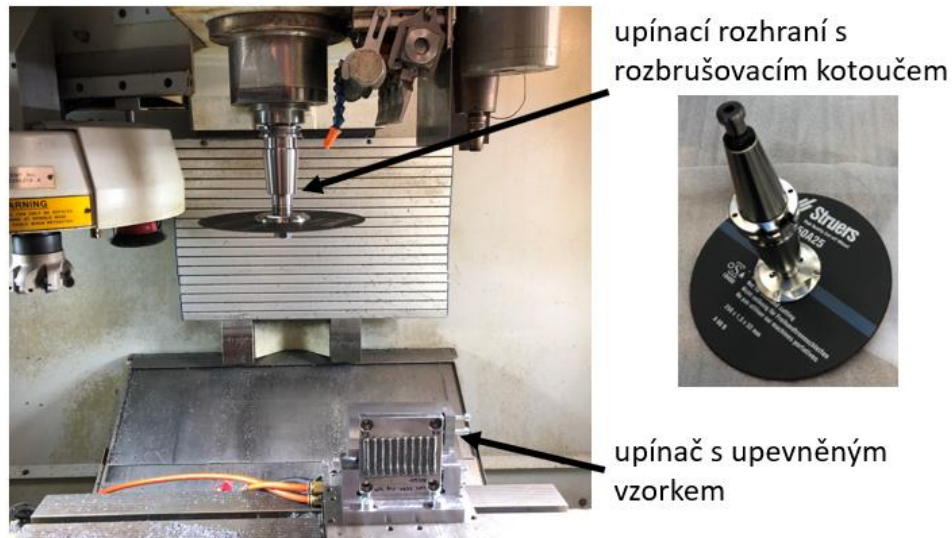
Navrhnuté díly upínače (základna a odnímatelná část) jsou na Obr. 65 vlevo. Díly se pomocí normalizovaných prvků před začátkem technologie rozbrušování smontují a upevní ve stroji. Do takto smontovaného celku se zasadí a dotlačí vzorek (viz Obr. 65 vpravo).



Obr. 65 Díly upínače (vlevo) a upínač s upevněným vzorkem ve stroji (vpravo)

5.1 Rozbrušování

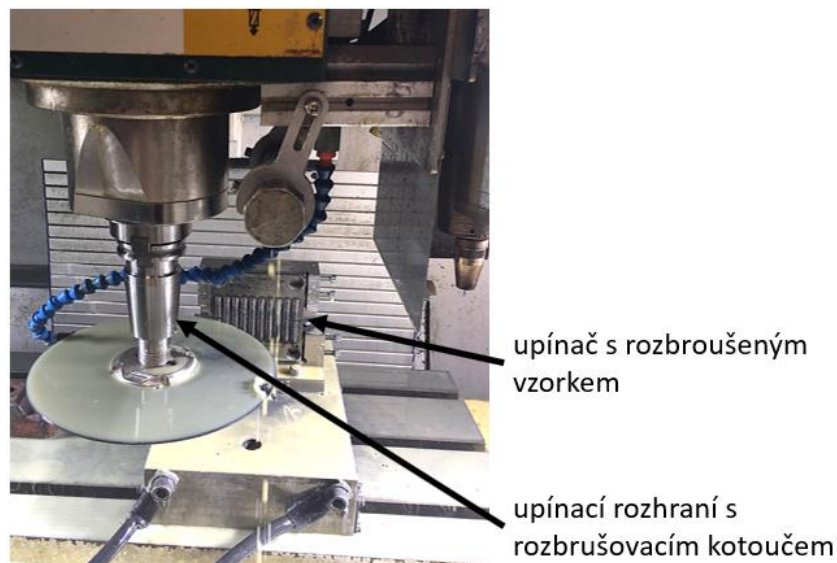
Po montáži upínače se vzorkem se do vřetena stroje nasadí upínací rozhraní s rozbrušovacím kotoučem. Reálný pohled do stroje před začátkem rozbrušování je na Obr. 66.



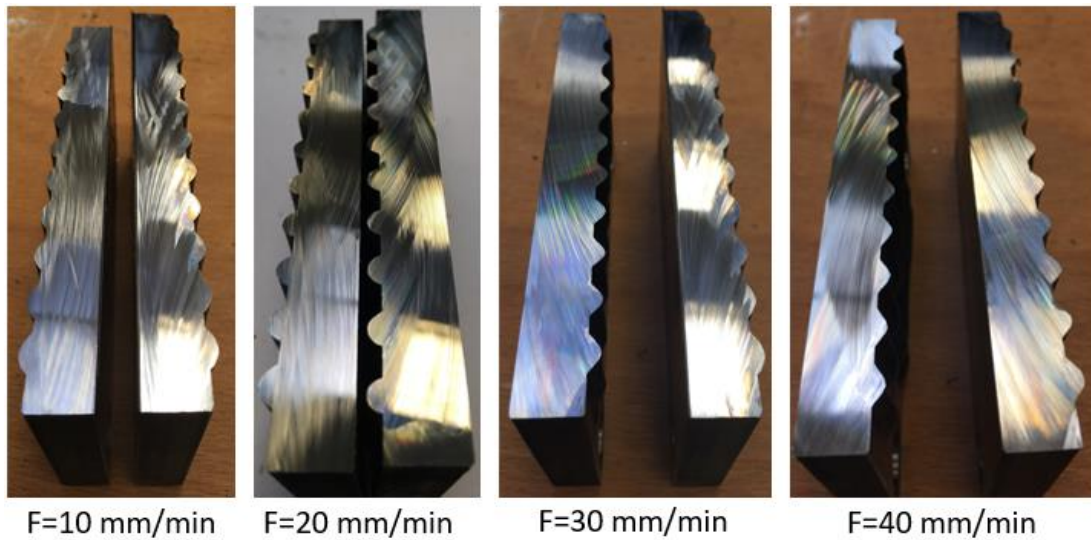
Obr. 66 Reálný pohled do stroje před začátkem rozbrušování

U technologického procesu rozbrušování je hlavním testovaným parametrem hodnota posuvu. Minimální hodnota strojního posuvu dosažitelného u rozbrušovací pily Discotom-6 je 0,1 mm/s, což odpovídá 6 mm/min. Minimální hodnota testovaného strojního posuvu je zvolena $F_{roz} = 10 \text{ mm/min}$. Dále jsou testovány posuvové rychlosti $F_{roz} = 20 \text{ mm/min}$, 30 mm/min a 40 mm/min .

Reálný pohled do stroje po dokončení rozbrušování (před odjetím v ose Z) je na Obr. 67 a vzorky s návary z konstrukční oceli rozbrušené různými posuvy jsou na Obr. 68.



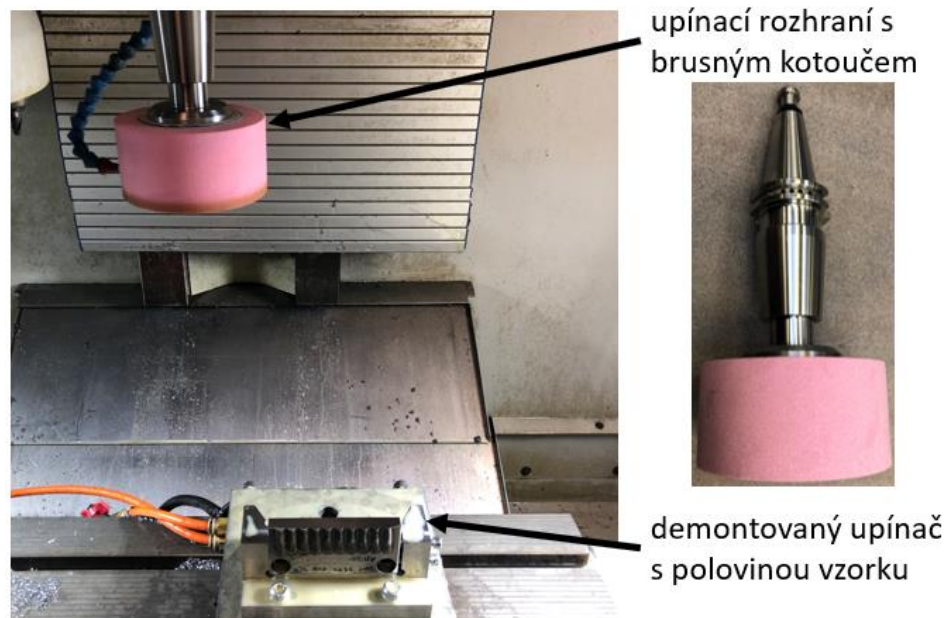
Obr. 67 Reálný pohled do stroje po dokončení rozbrušování



Obr. 68 Vzorky s návary z konstrukční oceli rozbroušené různými hodnotami posuvu

5.2 Broušení

Po rozbrušování se demontuje polovina upínače a ve vřeteni se vymění řezný nástroj za brusný. Reálný pohled do stroje před začátkem broušení je na Obr. 69.



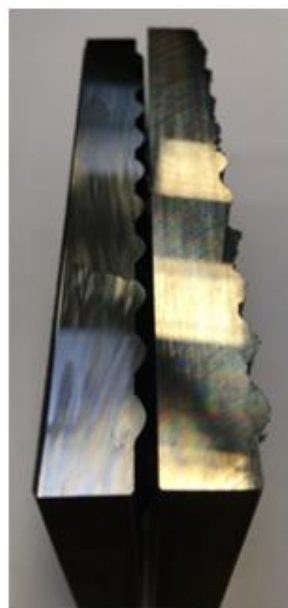
Obr. 69 Reálný pohled do stroje před začátkem broušení

Testovanými parametry při broušení je velikost posuvu v závislosti na úběru materiálu. Úběry materiálu $U_{br} = 0,005 \text{ mm}, 0,01 \text{ mm}$ a $0,02 \text{ mm}$ jsou kombinovány

s posuvovými rychlostmi $F_{br} = 100 \text{ mm/min}$, 500 mm/min a $F_{br} = 2500 \text{ mm/min}$. V Tab. 19 jsou tyto kombinace vyznačené. V buňkách je napsáno pořadí experimentu a odkaz na obrázek výsledku. Na obrázku je vedle sebe většinou porovnán povrch rozbroušený (vlevo) a broušený (vpravo). Písmeno X znamená, že v průběhu experimentu byl jeden z parametrů vyhodnocen jako nevhodný a nebylo nutné ho dále testovat. Testy s kombinací parametrů odpovídající příslušné buňce s písmenem X tedy neproběhly.

$U_{br} [mm]$		0,005	0,01	0,02
$F_{br} [mm/min]$	100	X	1. Obr. 70 vlevo	6. Obr. 71 vpravo
	500	4.Obr. 71 vlevo	2. Obr. 70 uprostřed	5. Obr. 71 uprostřed
	2500	X	3. Obr. 70 vpravo	X

Tab. 19 Testovaná velikost úběru broušení v závislosti na posuvu



F=100 mm/min
U=0,01 mm

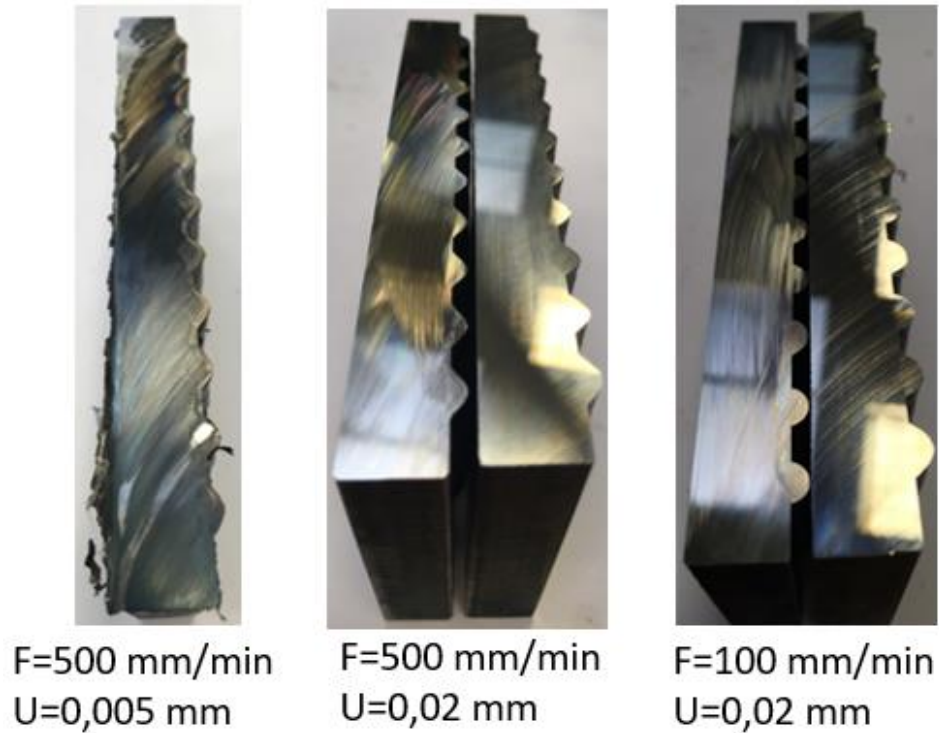


F=500 mm/min
U=0,01 mm



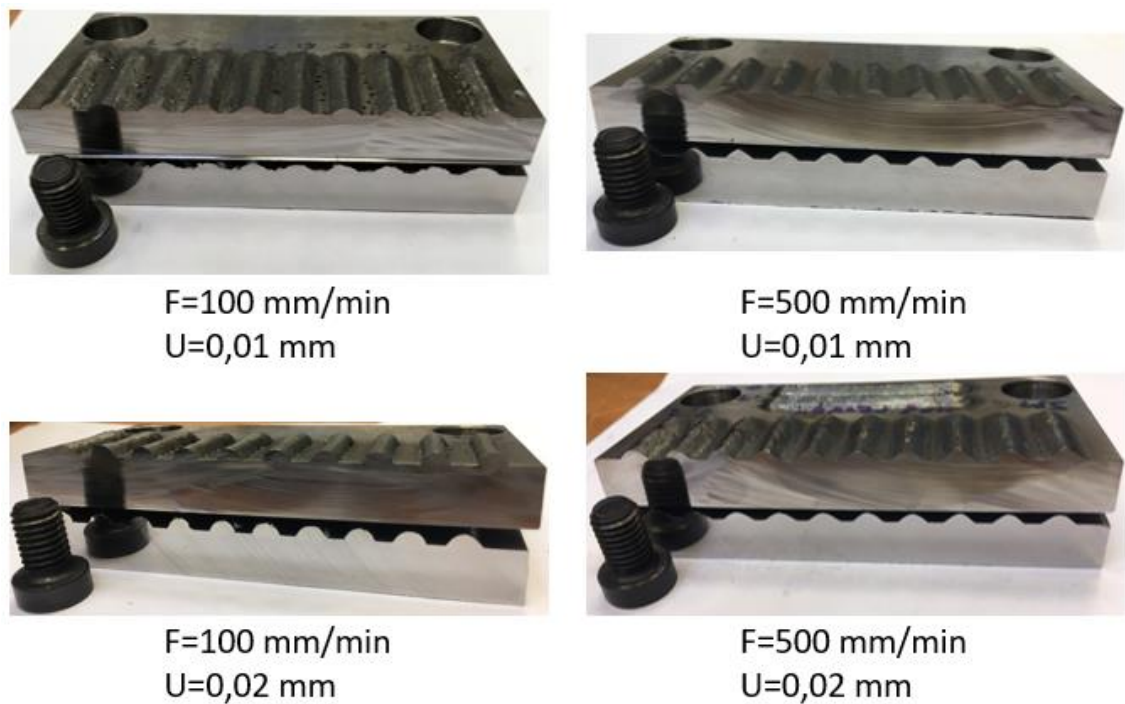
F=2500 mm/min
U=0,01 mm

Obr. 70 Výsledné povrchy po broušení návarů z konstrukční oceli I



Obr. 71 Výsledné povrchy po broušení návarů z konstrukční oceli II

Další porovnání rozbroušené plochy vzorku s plochou broušenou je na Obr. 72. Lze porovnat i lesk vůči předmětu (šroubu) postavenému před plochami.



Obr. 72 Porovnání vrchní rozbroušené plochy se spodní broušenou plochou vzorku s návarý z konstrukční oceli



5.3 Výsledky experimentu

Co se týče technologického procesu rozbrušování ocelové destičky s návary z konstrukční oceli, vyšly na základě experimentu výsledky nejlépe pro posuvy $F_{roz} = 10 \text{ mm/min}$ a 20 mm/min (viz Obr. 68). U vyšších hodnot 30 mm/min a 40 mm/min se na povrchu proti světlu začínaly objevovat duhové odlesky značící přítomnost většího množství tepla při procesu, což je nežádoucí.

Pokud by byl požadavek na zkrácení doby rozbrušování a tím pádem na vyšší posuvové rychlosti, je nutné řez účinněji chladit (například přidáním další chladicí trysky). Následovaly by experimenty s vylepšeným chlazením pro zjištění nové mezní rychlosti posuvu, při které se duhové odlesky povrchu ještě neobjeví.

Špatné výsledky u technologického procesu broušení ocelové destičky s návary z konstrukční oceli vyšly pro parametr posuvu $F_{br} = 2500 \text{ mm/min}$ a úběru $U_{br} = 0,005 \text{ mm}$. Hodnota posuvu byla příliš vysoká, brusný kotouč nestíhal dostatečně odebírat materiál, docházelo k nadměrnému vzniku tepla a pálení povrchu i přes zapnuté chlazení (viz Obr. 70 vpravo). Naopak parametr úběru byl příliš malý. Po 3 až 4 klidných cyklech nastalo opět pálení povrchu. Toto bylo nejspíše způsobeno nedostatečnou přesností polohování vřetena v ose Z.

Jako dobré se při broušení ukázaly kombinace posuvů $F_{br} = 100 \text{ mm/min}$ a 500 mm/min s úběry materiálu $U_{br} = 0,01 \text{ mm}$ a $0,02 \text{ mm}$ (viz Obr. 72). Posuv 100 mm/min vykazoval dobrou lesklost povrchu, avšak i lehké duhové zabarvení. Naproti tomu při posuvu 500 mm/min se duhové zabarvení téměř nevyskytovalo, ale lesklost byla menší. Pokud by tedy byl požadavek na rychlejší provedení procesu, je vhodné volit posuv 500 mm/min . Při požadavku na lesklost povrchu lze zvolit posuv 100 mm/min , je však nutné proces broušení lépe chladit.

Experimentální ověření nebylo provedeno pro návary z nerezové oceli a DO04 Castolin, ale navržené technické prostředky (kotouče, postupy atd.) by měly být schopné tyto netestované materiály návarů dělit a brousit. Jelikož většinu rozbrušovaného a broušeného objemu tvoří zejména základová navařovací destička, lze předpokládat, že budou výsledky provedené na návarech z konstrukční oceli dobře přenositelné i na nerezovou ocel a DO04 Castolin.

6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout automatizovaný způsob dělení kovových vzorků pomocí rozbrušovacího kotouče a broušení roviny dělení na jedné části vzorku ve frézovacím stroji BRIDGEPORT VMC500.

Byla vytvořena rešerše v oblasti rozbrušovacích kotoučů a jejich výrobců, procesních parametrů rozbrušování a rozbrušovacích pil. Další část rešerše byla věnována brusným kotoučům, jejich možnostem orovnávaní, procesním parametrům broušení a typům filtračních jednotek chladící kapaliny. Poté byl vysvětlen postup provedení metalografického výbrusu a byly uvedeny procesní parametry při jeho provádění. V souvislosti s tím byly zmíněny brusné papíry, folie, lešticí plátna a stroje určené k broušení a leštění. Následující kapitola rešerše pojednávala o upínání rozbrušovacích a brusných kotoučů a jejich omezeních bezpečnostní normou. V této kapitole byly také ukázány možné způsoby upevňování zkoumaných vzorků. Poslední kapitola rešerše uváděla technologii navařování metodou WAAM a obsahovala i informace o hybridním stroji s touto technologií.

V první části vlastního řešení byla vysvětlena konstrukce upínače vzorku. Byly popsány stěžejní tvarové plochy a díry jednotlivých částí upínače a vysvětlena funkce normalizovaných prvků použitých v celkové sestavě upínače. Schematicky byla znázorněna montáž a demontáž upínače pro procesy rozbrušování a broušení. Byla zmíněna další možná varianta konstrukčního řešení upínače s použitím metalografických svěráků pro upevnění vzorku.

V řešení technologických prostředků procesu rozbrušování byl ukázán proces volby vhodného rozbrušovacího kotouče 50A25. Dále pak byla popsána konstrukční úprava koupeneho upínacího rozhraní rozbrušovací pily Discotom-6 pro tepelný upínač Kemmler SK40-32-100, který tímto vytvořil s upínacím rozhraním rezný nástroj. Byl zvolen technologický postup rozbrušování s ohledem na počáteční požadavky a omezení.

V následující kapitole vlastního řešení byly zvoleny vhodné brusné kotouče. Bylo navrženo upínací rozhraní brusného kotouče odpovídající předpisům v normě ČSN EN ISO 16089 a popsány jednotlivé části s jejich funkčními plochami a prvky. K tomuto rozhraní byl k upnutí do vřetena stroje vybrán také tepelný upínač Kemmler



SK40-32-100, který s rozhraním vytvořil brusný nástroj. Byl zvolen technologický postup broušení zvažující počáteční požadavky a omezení.

Byla zkontrolována bezpečnost krytování stroje při případné destrukci řezného nebo brusného nástroje. Tloušťka plechu kontrolnímu výpočtu podle normy ČSN EN ISO 16089 vyhověla.

Nakonec byly provedeny experimenty procesu rozbrušování a broušení vzorku s návary z konstrukční oceli pomocí automatizovaného procesu řízeného vytvořeným NC kódem. Jako vhodné parametry rozbrušování byly vyhodnoceny posuvy 10 mm/min a 20 mm/min. Při nutnosti urychlit proces volbou větších posuvů je nutné zdokonalit chlazení ve stroji pro zachování odpovídající kvality řezu. Dobrá kvalita broušeného povrchu byla dosažena při posuvech 100 mm/min a 500 mm/min v kombinaci s úběry 0,01 mm a 0,02 mm. Posuvem 100 mm/min byl vytvořen povrch s větší lesklostí, avšak byl tepelně ovlivněn. Bylo by tedy žádoucí chlazení zdokonalit. Na druhou stranu povrch při posuvu 500 mm/min vykazoval menší lesklost, ale i menší tepelné ovlivnění.

Navrženou automatizovanou technologii s připravenými nástroji, přípravky, postupy a NC kódy lze uplatnit při výzkumu metody WAAM na Ústavu výrobních strojů a zařízení FS ČVUT v Praze, ale navržený postup i technická řešení jsou dobře přenositelné i na jiné stroje. Samotný stroj BRIDGEPORT by měl být při širším využití techniky dělení a broušení vzorků rozšířen o filtrační jednotku řezné emulze. Pro uplatnění ve výzkumném programu metody WAAM bude třeba dále řešit návrh vhodných nástrojů a procesních parametrů pro další druhy zpracovávaných materiálů. Tato práce předkládá návrh možného postupu pro takovéto budoucí hledání vhodných procesních parametrů.

Provedené testy ukázaly, že s jistými omezeními lze CNC frézovací stroj využít jako metalografický dělicí a také brousící stroj. Je zde otevřená možnost hlouběji zkoumat možnosti a limity frézovacích strojů uplatněných pro některé méně náročné operace broušení, které jsou jinak velmi nákladné a vyžadují samostatné brousící stroje.

Bylo vytvořeno 6 sestavných a 6 výrobních výkresů.



Seznamy

Seznam obrázků

Obr. 1 Vzorek ve výchozím stavu – destička s návary (červeně) o rozměrech 110x110x8-12 mm	12
Obr. 2 Znázornění technologie rozbrušování [1].....	14
Obr. 3 Příklady tvarů rozbrušovacích kotoučů [6]	16
Obr. 4 Rozbrušovací kotouč Struers 66A25 [9]	18
Obr. 5 Kotouč Tyrolit A80BM50 [3].....	20
Obr. 6 Rozbrušovací kotouč PFERD 80 T 350-2,8 A 36 K PSF-CHOP/25,4 [13].....	20
Obr. 7 Návod na volbu kotouče společnosti Struers [16]	23
Obr. 8 Rozbrušovací pila Discotom-6 [18].....	24
Obr. 9 Rozbrušovací pila AbrasiMet 250 [19]	25
Obr. 10 Pila AbrasiMatic 300 [20]	27
Obr. 11 Stroj CUTLAM 3.1 Auto [21].....	28
Obr. 12 Stroj Brillant 220 [23].....	29
Obr. 13 Stroj SERVOCUT 302-AA-AX [25]	30
Obr. 14 Řezné síly při broušení (hrncovitý kotouč)	31
Obr. 15 Tvary brusných kotoučů – vlevo rovný, uprostřed hrncový, vpravo miskovitý [27].....	32
Obr. 16 Orovnávací kámen dvouzrný [31]	34
Obr. 17 Orovnávací diamantový trn [32].....	35
Obr. 18 Princip funkce pásového filtru [33]	35
Obr. 19 Filtrační jednotka Cyclone Filtration od firmy ChipBLASTER (vlevo) a princip její funkce (vpravo) [34]	36
Obr. 20 Typy brusných papírů [36] [37] [38]	39
Obr. 21 Vlevo plátno z přírodní tkaniny, uprostřed plátno s oxidem hlinitým, vpravo suspenze oxidu hlinitého [39] [40] [41].....	40
Obr. 22 Stroj SMARTLAM 2.0 [42]	41
Obr. 23 Stroj ACCURA 102 [44]	42
Obr. 24 Stroj SAPHIR X-CHANGE [45].....	43
Obr. 25 Upnutí brusného kotouče pomocí přírub [47]	45
Obr. 26 Dvojité upnutí děleného vzorku [48].....	45



Obr. 27 Svěráky na upínání vzorků [49] [50] [51]	46
Obr. 28 Různé typy držáků brusek a leštiček [52] [53] [54]	46
Obr. 29 Stroj WELDPRINT MCV 5X [57].....	48
Obr. 30 Zjednodušený model stroje BRIDGEPORT VMC500 (vlevo) a jeho foto (vpravo)	50
Obr. 31 Deska na stole stroje k upevnění upínače vzorku (vlevo model, vpravo foto)..	50
Obr. 32 Upínač vzorku – první varianta	51
Obr. 33 Upínač vzorku – druhá varianta.....	51
Obr. 34 Popis konstrukce upínače s upnutým vzorkem – pohled zepředu	52
Obr. 35 Popis konstrukce upínače s upnutým vzorkem – pohled zezadu.....	53
Obr. 36 Odnímatelná část upínače – pohled zepředu	54
Obr. 37 Odnímatelná část upínače – pohled zezadu	54
Obr. 38 Základna upínače – pohled zepředu	55
Obr. 39 Základna upínače – pohled zezadu	55
Obr. 40 Opozicované díly upínače k montáži.....	56
Obr. 41 Vzorek v upínači připravený na broušení v rovině řezu.....	56
Obr. 42 Schéma rozdělení vzorku technologií rozbrušování.....	57
Obr. 43 Určení vhodného rozbrušovacího kotouče dle návodu od firmy Struers – krok 1 [16].....	58
Obr. 44 Určení vhodného rozbrušovacího kotouče dle návodu od firmy Struers – krok 2 [16].....	59
Obr. 45 Rozbrušovací kotouč Struers s označením 50A25 [58].....	60
Obr. 46 Upínací rozhraní rozbrušovací pily Discotom-6	60
Obr. 47 Díly upínacího rozhraní rozbrušovacího kotouče a jejich modely – vnitřní příruba (vlevo), vnější příruba (uprostřed) a podložka s maticí (vpravo)	61
Obr. 48 Model a foto tepelného upínače Kemmler SK40-32-100.....	61
Obr. 49 Schéma obrobení hřídele rozbrušovací pily Discotom-6 (nahore) a model stavu po obrobení (dole).....	61
Obr. 50 Sestava upraveného upínacího rozhraní rozbrušovacího kotouče s tepelným upínačem.....	62
Obr. 51 Možnosti sledování procesu ve stroji a umístění upínače vzorku	63
Obr. 52 Závislost směru řezné síly rozbrušování na směru pohybu stolu – pohled shora	64



Obr. 53 Proces rozbrušování ideální (nahore) a reálný (dole)	65
Obr. 54 Pohled do stroje BRIDGEPORT VMC 500 před začátkem procesu rozbrušování	65
Obr. 55 Schéma procesu rozbrušování ve stroji BRIDGEPORT VMC 500	66
Obr. 56 Nabízené hrncovité kotouče firmy TYROLIT s vyznačením vybraných brusných kotoučů [27]	68
Obr. 57 Brusný kotouč TYROLIT 98A120L9V32	68
Obr. 58 Model hřídele pro broušení	70
Obr. 59 Díly upínacího rozhraní brusného kotouče – vnější příruba (vlevo), podložka (uprostřed) a matice M16 LH (vpravo)	71
Obr. 60 Sestava upínacího rozhraní brusného kotouče s tepelným upínačem	71
Obr. 61 Pohled do stroje BRIDGEPORT VMC 500 před začátkem procesu broušení ..	72
Obr. 62 Závislost směru řezné síly broušení na směru pohybu stolu – pohled shora	73
Obr. 63 Schéma procesu broušení ve stroji BRIDGEPORT VMC 500	74
Obr. 64 Pásový filtr PF100 od společnosti Astos Machinery [59]	76
Obr. 65 Díly upínače (vlevo) a upínač s upevněným vzorkem ve stroji (vpravo)	77
Obr. 66 Reálný pohled do stroje před začátkem rozbrušování	78
Obr. 67 Reálný pohled do stroje po dokončení rozbrušování	78
Obr. 68 Vzorky s návary z konstrukční oceli rozbroušené různými hodnotami posuvu	79
Obr. 69 Reálný pohled do stroje před začátkem broušení	79
Obr. 70 Výsledné povrchy po broušení návarů z konstrukční oceli I	80
Obr. 71 Výsledné povrchy po broušení návarů z konstrukční oceli II	81
Obr. 72 Porovnání vrchní rozbroušené plochy se spodní broušenou plochou vzorku s návary z konstrukční oceli	81

Seznam tabulek

Tab. 1 Slovní popis zrnitosti dle FEPA [2]	15
Tab. 2 Značení rozbrušovacího kotouče podle normy ČSN EN 12413+A1 [7]	17
Tab. 3 Kvalitativní řady kotoučů Tyrolit a jejich použití pro jednotlivé materiály [3] ..	19
Tab. 4 Procesní parametry rozbrušování [7]	21
Tab. 5 Parametry rozbrušovací pily Discotom-6 [18]	24
Tab. 6 Parametry stroje AbrasiMet 250 [19]	26
Tab. 7 Parametry stroje AbrasiMatic 300 [20]	27



Tab. 8 Parametry stroje CUTLAM 3.1 Auto [22]	28
Tab. 9 Parametry stroje Brillant 220 [24]	30
Tab. 10 Parametry stroje SERVOCUT 302-AA-AX [25]	31
Tab. 11 Rozdělení zrnitosti brusných kotoučů [27]	33
Tab. 12 Rozdělení tvrdosti brusných kotoučů [27]	33
Tab. 13 Doporučené pracovní podmínky pro čelní rovinné broušení [29]	34
Tab. 14 Parametry stroje SMARTLAM 2.0 [42]	42
Tab. 15 Parametry stroje ACCURA 102 [44]	43
Tab. 16 Parametry stroje SAPHIR X-CHANGE [45]	44
Tab. 17 Parametry stroje WELDPRINT MCV 5X [57]	48
Tab. 18 Navařované materiály a jejich tvrdosti	49
Tab. 19 Testovaná velikost úběru broušení v závislosti na posuvu	80

Seznam použité literatury

- [1] Kappschnitt. In: Stationäre Trennscheiben bis 2.000 mm. *PFERD* [online]. Marienheide: PFERD [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.pferd.com/media/PDF/Prospekte/Produkte/207/prospekt-2m-trennscheibe-2019-web-de.pdf>
- [2] CO JE ZRNITOST. *Sibera-kotouce.cz* [online]. Milovice: SIBERA-KOTOUCE.CZ [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.sibera-kotouce.cz/co-je-zrnitost-a13>
- [3] *Katalog výrobků pro průmyslové aplikace* [online]. Schwaz: TYROLIT [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/de/embed/view/gYokS5pw3yE9Peav>
- [4] *TUMLIKOVO.CZ: Metal Cutting Technologies* [online]. Tumlikovo [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/>
- [5] Dělení materiálu. *Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace* [online]. Ostrava: Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/STT2-7_Deleni_materialu_RAJ.pdf
- [6] Rozbrušovací kotouče pro stacionární stroje. *Brusivo.eu* [online]. Marienheide: Pferd [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://www.brusivoro.cz/pdf/cat207cz.pdf>
- [7] Stacionární řezací kotouče. *Brusivo Liberec* [online]. Marienheide: Pferd [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: http://www.brousito.cz/User_Files/files/57f9fee3db9ccPFERD_katalog_207.pdf



- [8] O společnosti Struers. *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://e-shop.struers.com/CZ/CS/content/aboutstruers.aspx>
- [9] Dělicí kotouče Hexagonal 66A25, Ø250 mm x 1.5 mm x Ø32 mm, Balení 10ks (40009111). In: *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: [https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Cutting/Alumina_cut-off_wheels/Cut-off_Wheel_Hexagonal_66A25_250_mm_\(10\)_dia_x_15_mm_x_32_mm_dia_10_pcs\(40009111\).aspx](https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Cutting/Alumina_cut-off_wheels/Cut-off_Wheel_Hexagonal_66A25_250_mm_(10)_dia_x_15_mm_x_32_mm_dia_10_pcs(40009111).aspx)
- [10] *Podniky skupiny TYROLIT* [online]. Schwaz: TYROLIT [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.tyrolit.cz/spolecnost/tyrolit/o-nas.html>
- [11] *About PFERD* [online]. Marienheide: PFERD [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.pferd.com/int-en/company/about-pferd/>
- [12] Cut-off wheels, flap discs and grinding wheels. *PFERD* [online]. Marienheide: PFERD [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.pferd.com/media/PDF-en/tool-manual/PFERD-tool-manual-catalogue-6-int-en.pdf>
- [13] PSF CHOP STEEL. In: *PFERD* [online]. Marienheide: PFERD [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.pferd.com/int-en/products/cut-off-wheels-for-stationary-applications/cut-off-wheels-for-stationary-applications/universal-line-psf-chopsaw/psf-chop-steel/maximum-operating-speed-80-m-s-flat-type-t-shape-41/maximum-operating-speed-80-m-s-flat-type-t-shape-41/>
- [14] Principles of Modern Grinding Technology (Second Edition) - 7 - Thermal Damage. *ScienceDirect* [online]. ScienceDirect [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323242714000087>
- [15] Principles of Modern Grinding Technology (Second Edition) - 8 - Application of Fluids. *ScienceDirect* [online]. ScienceDirect [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323242714000087>
- [16] Cut-off Wheels. *Struers* [online]. Copenhagen: Struers, 2018 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <http://www.struers.com/-/media/Library/Brochures/English/Cut-off-Wheel.pdf>
- [17] Rozbrušovací pily. *HANYKO Praha s.r.o.* [online]. Praha: Hanyko Praha [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/metalografie/rozbrusovaci-pily/>
- [18] Discotom-6. *Priniotakis* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: http://www.priniotakis.gr/catalog2/manuals/Discotom_6BrochureEnglish.pdf
- [19] Pila AbrasiMet 250. *HANYKO Praha s.r.o.* [online]. Praha: Hanyko Praha [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/metalografie/rozbrusovaci-pily/pila-abrasimet-250/>
- [20] Pila AbrasiMatic 300. *HANYKO Praha s.r.o.* [online]. Praha: Hanyko Praha [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/metalografie/rozbrusovaci-pily/pila-abrasimatic-300/>



- [21] Pila CUTLAM 3.1 Auto. *TSI System* [online]. Brno: TSI System [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <http://www.tsisystem.cz/pila-cutlam-3-0-auto>
- [22] CUTLAM 3.1. *LAM PLAN* [online]. Gaillard: LAM PLAN [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.lamplan.com/images/pdf/ft/cutlam3_1-EN.pdf
- [23] BRILLANT 220. *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/precizni-rozbrusovaci-pily/brillant-220/>
- [24] BRILLANT 220. *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.metalco.cz/user/related_files/bro__ura_brillant_220.pdf
- [25] SERVOCUT 302-AA. *Metkon* [online]. Bursa: metkon [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.metkon.com/Products-Details/1/131/32/servocut-302-aa/>
- [26] MASLOV, J.N. *Teorie broušení kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1979, 246 s.
- [27] KATALOG SKLADOVÝCH VÝROBKŮ PRO UNIVERZÁLNÍ BROUŠENÍ. In: *Techcentrum* [online]. Marienheide: TYROLIT [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.prodejbrusiva.cz/editor/image/stranky3_soubory/97/filename_97.pdf
- [28] Jak vybrat správný brusný kotouč. *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/jak-vybrat-spravny-brusny-kotouc-techcentrum>
- [29] Způsoby a postupy rovinného broušení. *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/zpusoby-a-postupy-rovinneho-brouseni#kotouc>
- [30] Orovnávání brusných keramických kotoučů. *Tumlikovo.cz* [online]. Tumlikovo [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/orovnavani-brusnych-keramickych-kotoucu/>
- [31] Orovnávací kámen dvouzrnný 50x25x150 hrubý/jemný 89490707 TECHCENTRUM. In: *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/orovnavaci-kamen-dvouzrnnny-50x25x150-hrubyjemny-89490707-techcentrum>
- [32] Diamantový orovnávač kuželový s hlavou 9/12x42 Mk0 0,10ct 10-11 ON224914 nebroušený. In: *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/diamantovy-orovnavac-kuzelovy-s-hlavou-912x42-mk0-010ct-10-11-on224914-nebrouseny>
- [33] DTE Flat bed coolant filter. In: *LOSMA: Working clean, breathing healthy* [online]. Bergamo: LOSMA [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: https://www.losma.it/wp-content/uploads/2017/06/DTE_ENG-3.pdf



- [34] Cyclone Filtration. In: *ChipBLASTER* [online]. Meadville: ChipBLASTER, [2016] [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.chipblaster.com/product/Cyclone%20Filtration>
- [35] Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii. *Portál moderní fyziky* [online]. Hana Šebestová [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf>
- [36] SiC brusný papír, Ø250 mm, Zrnitost 80. Balení 50ks (40400065). In: *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: [https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Grinding/SiC_Grinding_Papers/Silicon_Carbide_Grinding_Paper_Grit_80_\(US_80\)_250_mm_\(10\)_dia_50_pcs\(40400065\).aspx](https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Grinding/SiC_Grinding_Papers/Silicon_Carbide_Grinding_Paper_Grit_80_(US_80)_250_mm_(10)_dia_50_pcs(40400065).aspx)
- [37] Korundový brusný papír Al₂O₃/velcro upínání, Ø 30mm FEPA 180, 100ks. In: *Metalco* [online]. Rožtoky: Metalco [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/brusne-papiry-pro-saphir-300/al2o3-papir-velcro-upinani--30mm-zrnitost-180--100ks/>
- [38] Brusný papír zirkon korund Ø 300 mm, FEPA 60, 120, 180, 25ks v balení. In: *Metalco* [online]. Rožtoky: Metalco [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/brusne-papiry-zirkon-korund/brusny-papir-zirkon-korund--300-mm--fepa-60--120--180/>
- [39] Lešticí plátno samolepicí Sigma - pro předleštění a střední leštění, průměr: Ø 200, 250, 300, 350mm, 5ks v balení. In: *Metalco* [online]. Rožtoky: Metalco [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/lestici-platna/lestici-platno-sigma--200--250--300-samolepici/>
- [40] Film s oxidem hliníku, Ø200 mm. 1 µm. Balení 50ks. (40400169). In: *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: [https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Polishing/Cloths_and_Films/Aluminium_Oxide_Film_1_m_200_mm_\(8\)_dia_50_pcs\(40400169\).aspx](https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Polishing/Cloths_and_Films/Aluminium_Oxide_Film_1_m_200_mm_(8)_dia_50_pcs(40400169).aspx)
- [41] OP-A, 0.02 µm. 500 ml. In: *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: [https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Polishing/Aluminium_Oxide/OP-A_01_m_500_ml\(40700021\).aspx](https://e-shop.struers.com/CZ/CS/products/Polishing/Aluminium_Oxide/OP-A_01_m_500_ml(40700021).aspx)
- [42] Bruska a leštička SMARTLAM 2.0. *TSI System* [online]. Brno: TSI System [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.tsisystem.cz/bruska/lesticka-smartlam-2-0/>
- [43] Brusky a leštičky pro přípravu vzorků. *METROTEST* [online]. Kladno: METROTEST [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.metrotest.cz/pristroje-pro-testovani/metalografie/brouseni-a-lesteni/>
- [44] ACCURA 102. *Metkon* [online]. Bursa: metkon [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.metkon.com/Products-Details/3/147/19/accura-102/>



- [45] SAPHIR X-CHANGE SAPHIR X-CHANGE – ROBOT PRO PLNĚ AUTOMATICKÉ BROUŠENÍ / LEŠTĚNÍ. *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/brusky-a-lesticky/saphir--x-change/>
- [46] ČSN EN ISO 16089 (200717) *Obráběcí stroje – Bezpečnost – Stacionární brusky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [47] Upínání brousících nástrojů. In: *BEST-HOLDING* [online]. Kunštát: BEST-HOLDING [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://www.bestb.cz/zasady.php>
- [48] Brillant 285 - průmyslová rozbrušovací pila - max. Ø kotouče 500, / 600 mm. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/rozbrusovaci-pily/brillant-285/>
- [49] Rychloupínací svěrák 50/100. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/upinaci-prvky/rychloupinaci-sverak-50-100/>
- [50] Křížový svěrák 150 - Cross vice 150. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/upinaci-prvky/krizovy-sverak-150-cross-vice-150/>
- [51] Angle vice 60. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/upinaci-prvky/angle-vice-60/>
- [52] Držák vzorků pro centrální přitlak Ø 160 mm / 6x max. Ø 20-40 mm. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/drzaky-vzorku/drzak-vzorku-pro-centralni-pritlak--160-mm-6x-max---20-40-mm/>
- [53] Držák vzorků pro individuální přitlak Ø 130 mm / 5x Ø 40 mm. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/drzaky-vzorku/drzak-vzorku-pro-individualni-pritlak/>
- [54] Vario – universální držák vzorků pro centrální přitlak Ø 140 mm. In: *Metalco* [online]. Roztoky: Metalco [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/drzaky-vzorku/vario-universalni-drzak-vzorku-pro-centralni-pritlak-2/>
- [55] Navařování. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nava%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD>
- [56] Navařování metodou WAAM. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2018 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/navarovani-metodou-waam.html>
- [57] WELDPRINT MCV 5X. *KOVOSVIT MAS: machine your future* [online]. Sezimovo Ústí: KOVOSVIT MAS [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/weldprint-mcv-5x-p44.html#features>



- [58] Cut-off Wheel 50A25, 250 mm (10") dia. x 1.5 mm x 32 mm dia. 10 pcs. *E-shop Struers* [online]. Copenhagen: Struers [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: [https://e-shop.struers.com/DK/EN/products/Cutting/Alumina_cut-off_wheels/Cut-off_Wheel_50A25_250_mm_\(10\)_dia_x_15_mm_x_32_mm_dia_10_pcs\(40009108\).aspx](https://e-shop.struers.com/DK/EN/products/Cutting/Alumina_cut-off_wheels/Cut-off_Wheel_50A25_250_mm_(10)_dia_x_15_mm_x_32_mm_dia_10_pcs(40009108).aspx)
- [59] Pásový filtr. *ASTOS Machinery* [online]. Aš: ASTOS Machinery [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.astos.cz/nase-vyrobky-2/filtracni-zarizeni/pf-pasove-filtry/>
- [60] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Brno: Masarykova Univerzita, 2003, 2003 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK_STR3/um/TI_TO-1cast.pdf

Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional 2019
- NX10
- Microsoft Word 2019
- Microsoft Powerpoint 2019
- Microsoft Excel 2019

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- DP_DBKV_ASM_01 BRIDGEPORT_ROZBRUSOVANI
- DP_DBKV_ASM_02 BRIDGEPORT_BROUSENI
- DP_DBKV_ASM_03 UPINACI_ROZHRANI_ROZBRUSOVANI
- DP_DBKV_ASM_04 UPINAC_VZORKU_ROZBRUSOVANI
- DP_DBKV_ASM_05 UPINACI_ROZHRANI_BROUSENI
- DP_DBKV_ASM_06 UPINAC_VZORKU_BROUSENI
- DP_DBKV_PRT_01 HRIDEL_ROZBRUSOVANI
- DP_DBKV_PRT_02 UPINKA_ZAKLADNA
- DP_DBKV_PRT_03 UPINKA_ODNIMATELNA_CAST
- DP_DBKV_PRT_04 HRIDEL_BROUSENI



-
- DP_DBKV_PRT_05 VNEJSI_PRIRUBA_BROUSENI
 - DP_DBKV_PRT_06 PODLOZKA_BROUSENI

Elektronické přílohy

CD

- DP_Cap_1780.pdf
- DP_Cap_1780_zadani.pdf
- DP_Cap_1780_vykresova_dokumentace.zip
- DP_Cap_1780_modely_STEP.zip
- Katalogy_podklady.zip
- NC_programy.zip
- ROZBRUSOVANI.MOV
- BROUSENI.MOV