

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní

Ú12134 - Ústav technologie, obrábění, projektování a
metrologie



Bakalářská práce

Údržba a ostření pilových kotoučů

Autor: **Eliška Brabcová**

Vedoucí práce: **Ing. Lubomír Štajnochr**

Praha, 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brabcová** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **493592**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Údržba a ostření pilových kotoučů

Název bakalářské práce anglicky:

Maintenance and sharpening of saw blades

Pokyny pro vypracování:

1. Popište typy pilových kotoučů.
2. Popište geometrii zubů různých typů pilových kotoučů.
3. Popište metody ostření a stroje pro ostření kotoučů.
4. Navrhněte optimální pracoviště pro údržbu a ostření vybraných typů kotoučů.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Lubomír Štajnochr ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **15.03.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Lubomír Štajnochr
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem „Údržba a ostření pilových kotoučů“ vypracovala samostatně a použila jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce.

V Praze dne:

.....

Eliška Brabcová

Poděkování

Děkuji Ing. Lubomíru Štajnochrovi za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily a pomohly mi se posunout dále.

.....

Jméno a Příjmení

Obsah

Obsah.....	1
Úvod.....	2
1. Typy pilových kotoučů.....	3
1.1 Pilové kotouče z rychlořezné oceli.....	3
1.1.1 Druhy HSS kotoučů.....	3
1.1.2 Materiály.....	6
1.1.3 Povlaky.....	7
1.1.4 Geometrie zubů.....	10
1.1.5 Upínací otvor.....	15
1.2 Plátkové kotouče.....	16
1.2.1 Druhy plátkových kotoučů.....	16
1.2.2 Materiály.....	17
1.2.3 Povlaky.....	18
1.2.4 Geometrie zubů.....	18
1.2.5 Upínací otvor.....	21
2. Metody ostření.....	22
2.1 Ostření HSS kotoučů.....	22
2.2 Ostření plátkových kotoučů.....	24
3. Návrh pracoviště.....	27
Závěr.....	42
Citovaná literatura.....	43
Seznam zkratk.....	45
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek.....	48

Úvod

Tématem, o kterém bude práce pojednávat je údržba a ostření pilových kotoučů.

Práce se zabývá nejprve rozbohem různých typů pilových kotoučů, poté podrobným popisem geometrie jejich zubů a v neposlední řadě způsobem broušení. Všechny tyto teoretické znalosti jsou zapotřebí pro provedení praktické části práce, která spočívá v návrhu automatizovaného pracoviště. Uspořádány jsou dle použitého materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Práce by tak měla být jakýmsi shrnutím veškerých typů kotoučů a jejich zubů jak na dřevo, oceli, barevné kovy tak i plasty. Po rozboru těchto teoretických problémů se práce přesune ke kapitole o tom, jakými způsoby jsou pilové kotouče broušeny a udržovány.

Závěr práce, jakožto praktická část navrhuje ideální automatizované pracoviště pro broušení pilových kotoučů. Cílem bude navrhnout vyhovující pracoviště pro firmu R.D.I., která má dle slov vedoucího brusírny předpoklad svůj denní obrat počtu kotoučů stále zvyšovat. I proto pracoviště počítá s větší kapacitou než vyplývá z dat, které byly pro tuto práci k dispozici.

Díky tomu, že jsem měla možnost navštívit firmu, kde se touto problematikou zabývají a prohlédnout si jejich řešení takovýchto pracovišť, práce navrhuje takové řešení, které kombinuje zkušenosti z praxe a vědomosti získané při studiu.

1. Typy pilových kotoučů

Tato kapitola rozebere hlavní a nepoužívanější typy, které jsou na trhu k dispozici. Rozdělené jsou dle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.

1.1 Pilové kotouče z rychlořezné oceli

Veškeré kotouče, o kterých se bude hovořit v této kapitole jsou vyrobeny z rychlořezné oceli vysoce výkonné, označované jako HSS Co5 nebo chceme-li jinak dle ČSN normy jako ocel 19 852. Dle normy ISO 9000, která definuje systém managementu jakosti musí být dodrženo předepsané složení materiálů, a tak je zaručena kvalita. [1]

Kotouče z tohoto materiálu se můžou dále ještě rozdělit na kotouče celistvé a segmentové. Toto hlavní rozdělení se bude více rozebírat níže. Nejprve práce rozebere nepoužívanější materiály, které jsou používány pro oba typy kotoučů, jak pro celistvé, tak i segmentové. [1]

1.1.1 Druhy HSS kotoučů

a) Celistvé

Tyto kotouče jsou zhotovovány z jednoho kusu. Z plechu, který má požadovaný rozměr – jak tloušťku, tak i velikost se podle požadavků na výsledný kotouč vyřeže zadaný rozměr. Nejčastěji se k vyřezávání používá vysoce výkonného laseru, který je CNC řízen, a tak je schopen s nejlepší přesností vyřezat požadované rozměry. [2]

Ve chvíli, kdy je hotový již vyříznutý polotovár dochází k další části procesu a tou je kalení viz. Obrázek 1. To probíhá v kalicí peci za teploty 1200 °C. Po dosažení této teploty je disk prudce ochlazen pod lisem (aby nedošlo ke zkroucení) na teplotu 60 °C, ve které je po nějaký čas udržován. [2]

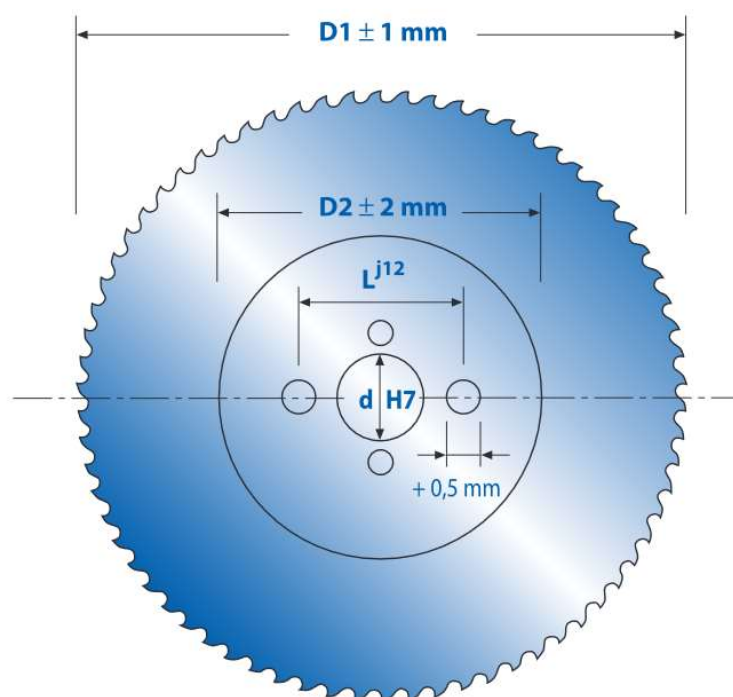


Obrázek 1 - proces kalení [2]

Ve chvíli, kdy je tepelný proces dokončen, na zakalených kotoučích je vytvářen podbrus. Ten je nutný pro hladké projití kotouče materiálem. Tolerance pro výrobu pilového kotouče jsou uvedeny na obrázku č. 3.



Obrázek 2 - Celistvý pilový kotouč s povlakem TiAlN - vlastní



Obrázek 3 - Tolerance pro výrobu kotoučů [2]

D1	Průměr pilového kotouče
D2	Průměr upínací příruby
L	Rozteč pro upínací kolíky
d	Středová díra
B	Šířka kotouče

Tabulka 1 - Popis daných rozměrů k obr. 3

b) Frikční

Frikční kotouče můžeme řadit stále mezi kotouče celistvé. Rozdíl je v geometrii zubů. Dělení materiálu probíhá frikčně, což znamená, že se netvoří klasická tříska. Laicky řečeno, tyto pily neřezou ale roztavují.

c) Segmentové

Tyto kotouče jsou na první pohled zaměnitelné s kotouči celistvými. Rozdíl je v tom, že tělo kotouče je vyráběno z jiného kusu než samotné zuby. Ozubení neboli segmenty jsou k samotnému disku připojeny pomocí lepení nebo nýtů. [2;3;4]

Segmentová konstrukce je používána zejména u kotoučů velkých průměrů. Používají se pro dělení trubek, profilů a plných materiálů. Pokud má kotouč průměr nad 600 mm, je velmi velká pravděpodobnost, že bude segmentový. Důvodem, proč je kotouč složený ze dvou částí je právě jeho velikost. Nebylo by ekonomicky výhodné, aby byl kotouč vyráběný celý z dražšího materiálu, když z kvalitního a zadané požadavky splňujícího materiálu je pouze řezná část a jakmile se po několika přebroušeních dostaneme ke zmenšení průměru kotouče, tak, že kotouč již není možné přebrousit kotouč se nevyhazuje, ale zubové segmenty jsou vyměněny za nové. Proto je tělo konstruováno většinou z levnější a měkčí chrom-vanadyové (CrV) oceli, což zajišťuje dostatečnou tuhost a pružnost kotouče a snižuje se tak pravděpodobnost prasknutí kotouče při větších prořezech. Segmenty jsou zhotoveny z jedné z HSS ocelí, které jsou popsány dále. [2;3;4]

Segmentové kotouče obecně dosahují malých řezných rychlostí. Často jsou proto osazovány právě do pomaloběžných pil. [2;3;4]

1.1.2 Materiály

a) HSS – Dmo5

Tato rychlořezná ocel, jinak možno označována jako AISI M2 nebo také DIN 1.3343 obsahuje vysoký obsah wolframu a molybdenu. Označení Dmo5 si vysloužila díky obsahu molybdenu 5 %. Tyto prvky po zakalení zajišťují velmi dobrou tvrdost a náležitou tuhost materiálu. Vysoké procento wolframu je nezbytné pro vytvoření správného množství tvrdých karbidů, které zajišťují odolnost proti opotřebení a otěrům. Nástroje jsou tak i v extrémních pracovních podmínkách schopny odolávat vysokému opotřebení, a vydrží tak déle. Díky vysokému obsahu wolframu, přítomného v materiálu je omezen nárůst austenitického zrna což zvyšuje mechanickou odolnost nástroje, čímž je dovoleno zvyšovat řezný výkon bez poškození nástroje. [2]

Přítomnost molybdenu je zásadní pro zajištění tvorby jemné martenzitické struktury, což vede také ke zvyšování houževnatosti nástroje a udržování vysoké mechanické odolnosti. [2]

Vanad, který je zastoupen v pořadí jako čtvrtý prvek s nejvyšším obsahem způsobuje nejtvrďší karbidy, které jsou nejvíce odolné proti opotřebení. [2]

Composizione chimica % / Chemical Composition % / Chemische Zusammensetzung %									
C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	V	W
0,86 - 0,94	≤ 0,45	≤ 0,40	≤ 0,030	≤ 0,030	-	3,80 - 4,50	4,70 - 5,20	1,70 - 2,00	6,00 - 6,70

Obrázek 4 - Chemické složení oceli DMO5 [2]

Tento materiál je nepoužívanějším pro výrobu kotoučů z rychlořezné oceli. Obvykle se udává řezná rychlost od $v_c=15$ m/min do $v_c=180$ m/min. [2]

b) HSS – Co5

V této rychlořezné oceli je kromě slitinových prvků přítomných v oceli Dmo5 obsaženo ještě 5 % kobaltu. Díky tomu, získala tato ocel svůj název. Stejně jako u předešlé slitiny má i jiné názvy pod kterými ji můžeme najít. Těmi jsou; AISI M35, DIN 1.3243 a také JIS SKH55. Kobalt neformuje karbidy, ale podporuje stabilitu struktury při tepelném zpracování – nejčastěji se jedná o popouštění. Brání kritickému nárůstu zrna, a především je schopen udržovat vysoký stupeň tvrdosti i při vysokých provozních teplotách. Tyto vlastnosti jsou velice důležité při řezání vysoce legovaných slitin, jako například nerezová ocel a velmi tvrdé kovy, které mají tendenci k vytváření velmi vysoké teploty v oblasti řezu. [2]

Tato ocel je používána hlavně pro řezání nerez, protože je tvrdší, ale na úkor toho i křehčí než ocel Dmo5. V některých případech se můžeme setkat s nárůstem kobaltové složky až na 7 %. [2]

Composizione chimica % / Chemical Composition % / Chemische Zusammensetzung %									
C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	V	W
0,88 - 0,96	≤ 0,45	≤ 0,40	≤ 0,030	≤ 0,030	4,5 - 5,00	3,80 - 4,50	4,70 - 5,20	1,70 - 2,00	6,00 - 6,70

Obrázek 5 - Chemické složení oceli Co5 [2]

c) Prášková ocel S 390 PM

Tuto ocel získáváme slinováním práškovou metalurgií. Díky této technologii jsme schopni vyrobit plech, který na rozdíl od ocelí vyráběných válcováním nemá zbytkové napětí. To je způsobeno díky vysokému stupni homogenity se sníženým rizikem vzniku mikroskopických trhlin. Díky těmto vlastnostem mají ocele vyráběné touto technologií nižší opotřebení břitů, tudíž delší výdrž nástroje. Lepší tuhost nástroje, vyšší houževnatost a poměrně vysokou tvrdost v rozmezí 66-67 HRC. [2]

Composizione chimica % / Chemical Composition % / Chemische Zusammensetzung %										
C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	V	W	Ni
1,63	0,30	0,26	0,018	0,018	8,32	4,91	2,28	5,12	10,09	0,20

Obrázek 6 - Chemické složení oceli S 390 PM [2]

1.1.3 Povlaky

Pro delší životnost a lepší výkonnost se nástroje povlakuji. Díky povlakům se břit tolik neotírá a není zapotřebí jej tak často ostřit. Povlaků je na trhu nespočet, ale chceme-li povlakový materiál kvalitní a osvědčený, je několik stále se opakujících možností, při jejichž výběru je nutno zohlednit všech okolností a podmínek jako je například; podkladový materiál, teplota, s tím související řezné podmínky i technologie obrábění. Povlaky mívají stejné nebo velice podobné složení, ale najdeme je pod různými názvy podle toho, jakou strategii a prodejní marketing firma zvolí, aby se prodával, co nejlépe. Tato práce popisuje jen malou část z nich, nejčastěji používaných pro rozebírané pilové kotouče.

a) TiN – (Nitrid Titanu)

Tento povlak je nejdéle používaný a můžeme říci, že i nejčastěji aplikovaným typem. Typická zlatá barva, patrná z obrázku č. 7 pro tento povlak je nezaměnitelná, díky tomu tak snadno poznáme TiN povlak na nástroji. Je považován za základní a univerzální druh povlaku. [2;5;7]



Obrázek 7 - Povlak TiN - vlastní

Povlak je na titanové bázi a nanáší se v tloušťce 3 mikrometry. Je získáván při procesní teplotě 490 °C. Zaručuje koeficient tření do 0,5 a oxidační teplotu do 640 °C. Tvrdost nanesené vrstvy dosahuje 2 480 HV. Nízká tepelná vodivost zajišťuje tepelný štít pro podvrstvu. [2;5;6;7]

Povlak, který nabízí firma „Julia“ je určený pro řezání nízkolegovaných slitin a doporučuje se jej vždy používat s mazáním. Není vhodný pro řezání měkkých kovů jako jsou mědi, mosazi a bronz. [2;5;6;8]

b) TiCN MP

Povlak je považován jako další typ nebo vývojový stupeň povlaku TiN, který byl popisován výše. Jak již z jeho názvu vypovídá (označení MP = *Multi Purpose*, což v překladu znamená *víceúčelový*), stejně jako jeho předchůdce je tento povlak určený k velké škále použití. Jeho nevýhodou je třeba i oproti povlaku TiN nižší provozní teplota (udává se teplota do 400 °C). Barva povlaku je jasně vidět z obrázku č. 8 – bronzově hnědá. [2,9]



Obrázek 8 - Povlak TiCN - vlastní

Díky přidání uhlíku do struktury je zvýšena pevnost krystalické mřížky a tím pádem i nárůst tvrdosti. Ta je schopna dosahovat až hodnoty 3 400 HV.[2]

Jak je ale možné, že povlak s takto nízkou teplotní odolností může být považován jako plnohodnotný soupeř pro povlaky dosahující mnohem lepších provozních podmínek? Tento povlak je používán hlavně pro dělení tenkostěnných trubek a součástí, kde není problém s odvodem třísky a přívodem rezné kapaliny, a tak se součást v místě řezu nezahřívá tolik. S tím souvisí i nízký koeficient tření kterým tento povlak disponuje. Další jeho výhodou je relativně nízká cena ve srovnání s ostatními druhy, co jsou v nabídce. [2;9]

c) TiAlN

Někdy také označován jako blackskin nebo blackhawk, záleží na výrobci, nicméně pokud bude v názvu uvedeno black = černý, velmi pravděpodobně se bude jednat právě o tento povlak. Přímá souvislost je s názvem viditelná hned na první pohled povlakovaného nástroje. Barva se pohybuje ve spektrech tmavé, od růžovofialové až po černošedou, jak je patrné z obrázku č. 9. Jedná se o vícevrstvý povlak o tloušťce 3 μm . [2;10]



Obrázek 9 - Povlak TiAlN - vlastní

Tento povlak má vůči ostatním popisovaným výrazně vyšší odolnost při vysokých teplotách. Ta se uvádí až do 800 °C. I díky tomu také vykazuje vysokou tvrdost až do hodnot 3 400 HV. Koeficient tření se udává 0,45 což umožňuje pilovým kotoučům dosahovat skvělých výsledků i za nepřítomnosti nebo velmi omezeného mazání. Je tedy vhodný pro materiály s vysokou pevností v tahu (až 1100 N/mm²). To odpovídá litinám, mosazím a vysoce legovaným ocelím. [2;10;11]

1.1.4 Geometrie zubů

Nejdůležitější částí na kotouči je jeho ozubení. Geometrie zubů je volena dle požadavků na výsledek řezaného materiálu. Parametry, které rozhodují o správnosti vybraného disku jsou především řezné úhly, zubová mezera a zubová rozteč, do které se za správného předpokladu musí vejít tříska.

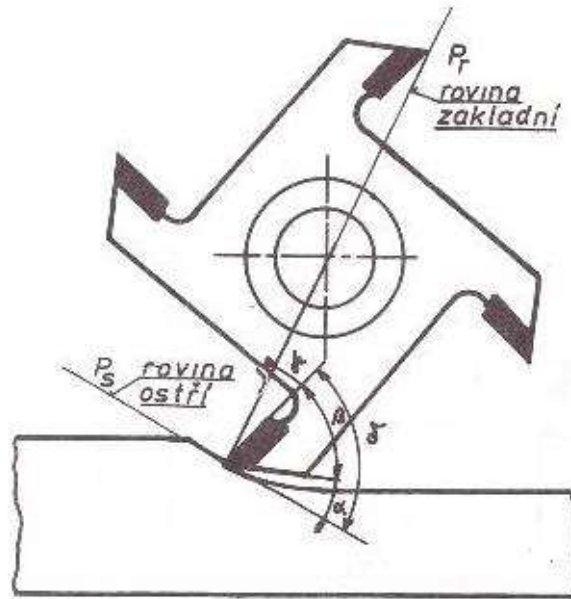
Dle normy ČSN 22 0011 jsou pevně definované úhly a roviny pro řezné nástroje.

Základními řeznými úhly určujícími geometrii zubů jsou:

- úhel hřbetu α – definován jako úhel mezi rovinou ostří P_s a hřbetem nástroje (plochou břitu přikloněnou k povrchu řezu)
- úhel břitu β – úhel mezi čelem a hřbetem
- úhel čela γ – úhel mezi základní rovinou P_r a čelem (plocha po které odchází tříska)
- úhel řezu δ – úhel mezi čelem a rovinou ostří P_s [12]

Pro určování geometrie ostří je nutné zavedení rovin – ty jsou opět definovány:

- rovina základní P_r – je kolmá na směr hlavního řezného pohybu (u pilových kotoučů a dalších rotačních nástrojů je to rovina procházející osou nástroje)
- rovina boční P_f - je kolmá na rovinu základní a leží u ní směr posuvu
- rovina zadní P_p – je kolmá na rovinu základní a na rovinu boční
- rovina ostří P_s – je kolmá na rovinu základní a leží v ní ostří
- rovina ortogonální P_o – je kolmá na rovinu základní a na rovinu ostří [12]



Obrázek 10 - znázornění nástrojových rovin [12]

Ze schématu na obrázku 10 je zřejmé že platí:

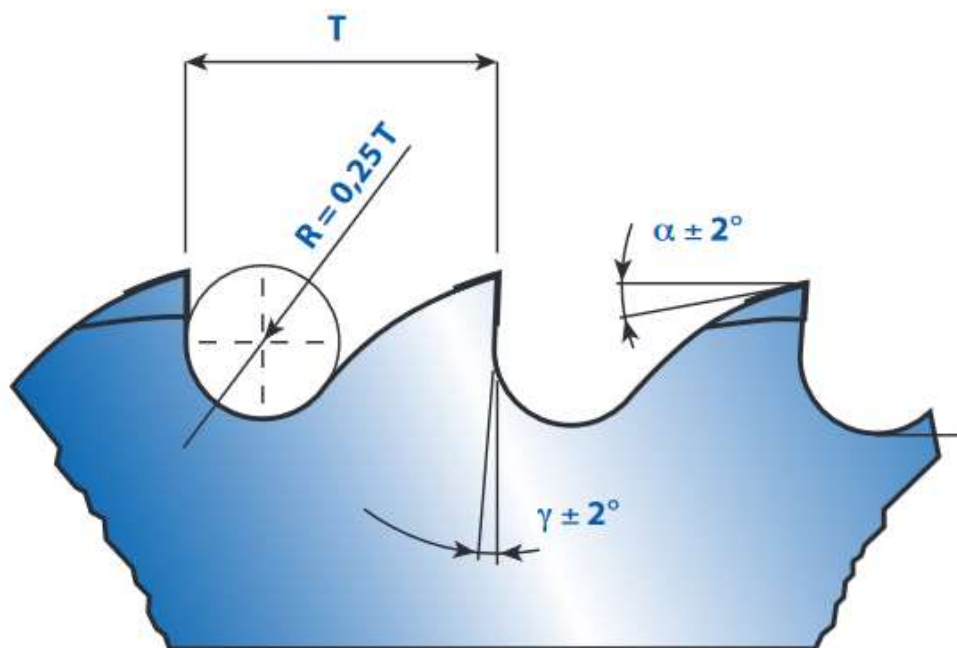
$$\delta = \alpha + \beta$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

V katalogích výrobků proto stačí uvádět pouze obecně ustálené úhly čela γ a ostří α . Tyto zjednodušené úhly bez indexů i označení rovin budou pro jednoduchost využívány i v této práci.

Úhly zůstávají pojmenovány stejně jak pro kotouče z rychlořezné oceli, tak pro kotouče plátkové. [2;12,13]

Dále je v textu uvedena tabulka používaných úhlů alfa a gama pro nejčastější řezané materiály.

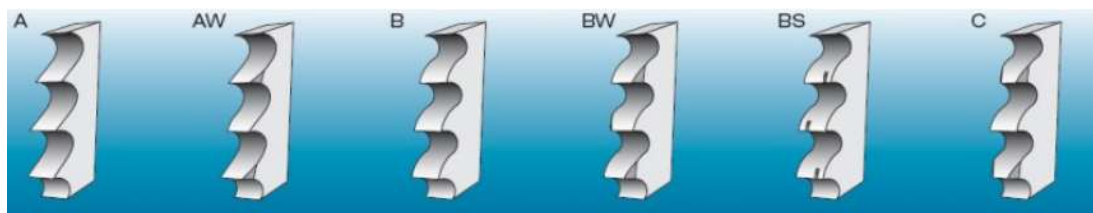


Obrázek 11 - Zjednodušený popis geometrie zubů pilového kotouče [2]

materiál	úhel hřbetu α	úhel čela γ
Ocel (včetně nerezí)	10°	18°
Mosaz	15°	15°
Měď	10°	20
Bronz	10°	12°
Hliník	10°	25°
Litina	6°	10°
Slitiny zinku	8°	12°

Obrázek 12 - Zubové úhly pro různé materiály [2]

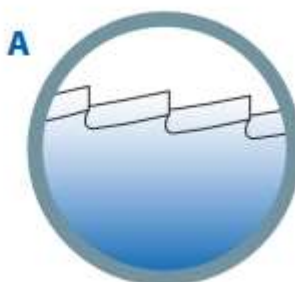
Dalším kritériem je velikost a tvar. Tvary zubů budou podrobně probrány v této kapitole.



Obrázek 13 - Tvary zubů pilových kotoučů [14]

a) Typ A

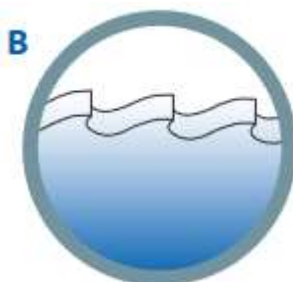
Tvar zubu A se obvykle používá pro jemné ozubení na aplikace jako je drážkování šroubů nebo výroba šperků. [2]



Obrázek 14 - Tvar zubu A [2]

b) Typ B

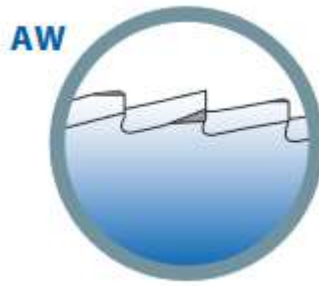
Nejčastějším ozubením je tvar zubu B. Kotouče s tvarem zubů typu B jsou používány pro řezání tenkostěnných trubek a konstrukčních prvků, kde není problém s odvalováním třísky. [2]



Obrázek 15 - Tvar zubu B [2]

c) Typ AW

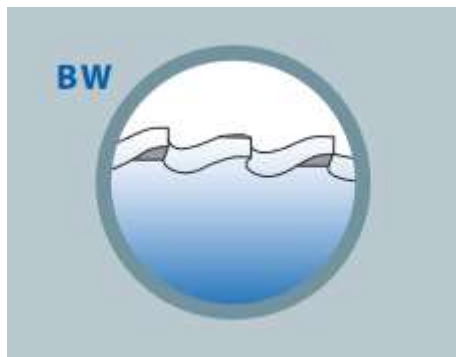
Tvar zubu AW je na rozdíl od zubu typu A střídavě skosený a tím je lépe uzpůsoben pro lepší dělení třísek. Vhodný je zvláště pro přesné řezání. [2]



Obrázek 16 - Tvar zubu AW [2]

d) TYP BW

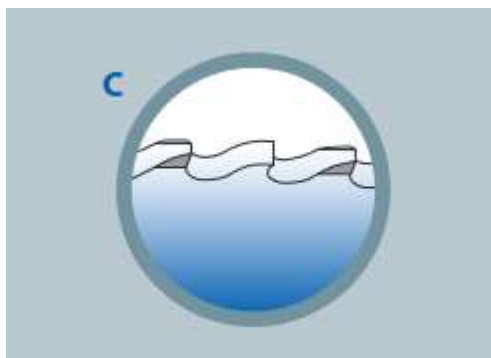
Tento tvar zubů je určen primárně pro řezání trubek a profilů. Zub je střídavě zkosený pod úhlem 45° . Takto zkonstruované ozubení láme třísku na dvakrát a garantuje tak správný odvod třísek. [2]



Obrázek 17 - Tvar zubu BW [2]

e) Typ C

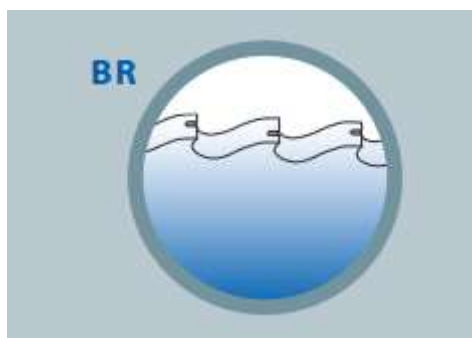
Tvar zubu C se používá pro silnější trubky a plné materiály. Tříska je rozdělena na tři části díky přítomnosti dokončovacích zubů, po obou stranách zkosených, které jsou delší než 0,25 mm. Ty jsou určeny k předřezávání. Jsou uspořádány ve střídavém pořadí, proložené jedním zubem bez zkosení. [2]



Obrázek 18 - Tvar zubu C [2]

f) Typ BR

Tento typ je úspěšně používán k řezání trubek. Dvojnásobek řezných hran zaručuje delší životnost (zlepšuje trvanlivost nástroje o 20 %) a tím pádem i větší počet řezů provedených daným kotoučem. Další výhodou je menší hloubka broušení neboli méně odebraného materiálu při přestření a tudíž větší počet přestření pilového kotouče za jeho životnost. Díky této geometrie je zajištěna i vyšší kvalita povrchu. [2]



Obrázek 19 -Tvar zubu BR [2]

1.1.5 Upínací otvor

Charakteristika kotouče je dána v neposlední řadě i upínacím otvorem. Ten je důležitý jak pro uživatele, kterému říká, jednoduše řečeno, do jakého stroje může kotouč zasadit, tak pro firmu či osobu, která má daný kotouč naostřit. HSS kotouče mají tři hlavní druhy středových děr, a to v následujících rozměrech 32 mm; 40 mm; 50 mm. Středová díra je konstruována v toleranci H7. Díra může být samozřejmě i atypická například rozměrově udávána v palcích, případy atypických děr jsou ale velmi ojedinělé, a proto jsou zde vypsány pouze ty nejpoužívanější a nejčastější příklady.

Kotouče jsou vždy osazeny ještě unášecí dírou, ta je ale důležitá pouze pro uživatele. Pro samotné broušení je zbytečná, a proto se jimi práce zabývat nebude.

Pokud bude série kotoučů, kde jsou díry rozměrově stejné, a bude zapotřebí nabrousit i jeden či dva kotouče o rozměr větší, narazí se do středové díry vymezovací kleština, která je schopna průměr 40 mm zmenšit na 32 mm.



Obrázek 20 - Vymezovací kleština - vlastní

1.2 Plátkové kotouče

Plátkové kotouče dostaly svůj název podle plátků, neboli břitových destiček které jsou na jejich tělo napájeny. (Kotouče s břitovými destičkami je tedy jen jiné pojmenování pro identicky shodné kotouče jako jsou plátkové.) Jinak řečeno hovoříme o zubech, které jsou z kvalitnějšího a dražšího materiálu než celé tělo disku. Není zapotřebí, aby celý kotouč byl zhotoven z drahého materiálu, když řezná část jsou pouze zuby. Tyto kotouče můžou být opět rozděleny na dva hlavní typy a těmi jsou kotouče brousitelné a kotouče pro jedno použití označované jako TA (= throw away, což v doslovném překladu znamená zahodit).

1.2.1 Druhy plátkových kotoučů

a) Brousitelné kotouče

Většina plátkových pilových kotoučů je opakovatelně brousitelných. Břítové destičky jsou konstruovány dostatečně velké tak aby bylo možné je za dobu životnosti opakovaně zhruba dvacetkrát přebrousit. Reálný počet přebroušení závisí na optimalizaci jejich použití. To znamená jejich sundání ze stroje v okamžiku, kdy je ještě kotouč přiměřeně opotřebený a stačí odebrat minimální množství materiálu, což je cca 0,2 mm.

Moderní automatické pily bývají dnes vybaveny měřením řezného odporu, a tedy i opotřebením pilového kotouče. Lze na nich nastavit hodnotu řezného odporu, při kterém se stroj vypne a hlásí nutnost výměny pilového kotouče. Tím je zajištěno broušení pilového kotouče ve stavu přiměřeného opotřebenění.

b) Throw-away kotouče

Jak již název napovídá Throw-away, (v doslovném překladu znamenající zahodit) někdy také nazývány jen TA kotouče jsou určeny pouze pro jedno použití. Po otupení řezných hran zubů jsou kotouče určeny k vyhození. Plátky jsou velmi tenké, mnohem tenčí, než je tomu u brousitelných kotoučů, a proto po ubrání materiálu, ke kterému dochází při přebroušování, z plátku skoro nic nezbyde. TA kotouče mívají velmi složité geometrie zubů a je k tomu zapotřebí speciálních brusných strojů a k tomu příslušných softwarů.

Ne vždy, chce zákazník hned po prvním použití kotouč vyhodit, a tak se firmy z ekonomického hlediska snaží i tyto kotouče ještě naostřit. Není to vyloučené, ale i tak je životnost kotouče nižší než u brousitelných nebo rychlořezných kotoučů. Průměrně tak vydrží 2-3 přebroušení. Princip je v podchycení momentu, kdy je kotouč otupen ideálně akorát.

Běžný kotouč je schopen vydržet cca 10. 000 řezů a pak je určen k zahození. Pokud ale kotouč bude nechán pracovat pouze po 8.000 řezů a v tuto chvíli bude vyměněn, hrany ještě nebudou otupeny tak moc, aby je nebylo možné přeastřit, protože materiálu bude stále dost. Při další práci zvládne kotouč cca dalších 7. 000 řezů a takhle ještě jednou.

Jednoduchá matematika napoví, že pokud kotouč bude sejmuto dříve a přebroušen ve chvíli, kdy ještě není nadměrně opotřebovaný, zvládne jeden disk za svůj život téměř dvojnásobek řezů než pokud by byl ponechán k úplnému otupení a následnému zahození.

1.2.2 Materiály

a) Cermet

Cermet je kompozitní materiál složený z keramiky (CERamic) a kovu (METal), spojením začátků těchto anglických názvů do jednoho vznikl název CERMET. Tento tvrdý řezný materiál je vyráběn práškovou metalurgií. [17]

Plátky, které jsou zhotoveny z cermetu jsou vhodné pro řezání měkkých materiálů jako jsou například měkké oceli (ty mají obsah uhlíku do 0,25 % a typicky obsahují velmi málo až skoro žádné legující prvky). Cermet je charakterizován jako extra tvrdý a dlouho životný materiál. Poskytuje velmi dobrou odolnost proti opotřebování hřbetu i čela, vysokou pevnost a teplotní i chemickou stabilitu. Další z výhod je hladký povrch tohoto materiálu, což má za důsledek snadný odvod třísek. S cermetovými plátky je snadné dosáhnout vysoké jakosti řezaného či obráběného materiálu, a tak je často proces ulehčen o následné povrchové úpravy jako je leštění nebo broušení. [14;15;16;17;18]

b) Slinutý karbid

Plátky ze slinutého karbidu, hovorově řečeného tvrdokovu jsou vhodné pro řezání plných materiálů i silnostěnných trubek z materiálů, které mají procento uhlíku nad 0,45 %. Skoro vždy je povlakovaný. Druhy a typy povlaků budou rozebrány v další kapitole. Při broušení se skoro nechladí, do pracovního prostoru je však vpouštěna olejová mlha. [2]

Řezná rychlost se doporučuje v hodnotách od 70 m/min do 120 m/min. Posuv na zub se stanovuje od 0,05 mm do 0,07 mm. [2]

c) Diamant

Diamantovými plátky je řezáno měkkých materiálů jako je hliník a dřevotříska. Rozhodně se nepoužívá pro řezání kovů, protože hlavně ve vztahu ocel - diamant se projevuje vlastnost afinita. [13]

1.2.3 Povlaky

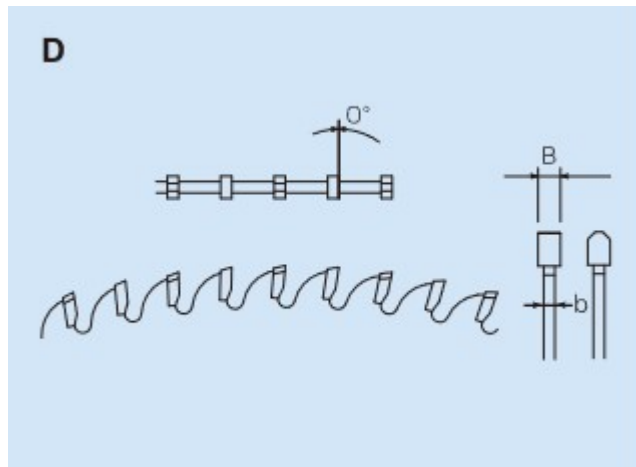
Povlaky pro plátkové kotouče ať už brousitelné nebo TA kotouče jsou shodné s povlaky na HSS kotouče. Jedná se o povlaky již výše zmiňované; TiN, TiCN, TiAlN.

Ještě nezmiňovaným povlakem je sloučenina AlTiN, která je velice podobná TiAlN i vzhledem k na první pohled viditelně shodnému složení prvků. Dovoluje dosahovat však ještě o 100 °C vyšší provozní teploty. To znamená, že při použití tohoto povlaku můžeme dosahovat teploty 900 °C. Je nanášen v tloušťce 2-8 μm. Tvrdosti dosahuje stejné jako TiAlN. Součinitel tření pro ocel vychází při aplikaci tohoto povlaku 0,6. [19;20]

1.2.4 Geometrie zubů

a) Typ D

Tento typ zubů je nejčastěji používaný. Typ zubů D je používán v 90 % případů. Je používán pro rovné řezání díky symetrické geometrii zub s úhlem čela 0° (viz obrázek 20). Vhodný je pro řezání tenkostěnných materiálů (do tloušťky 4 mm). [21]

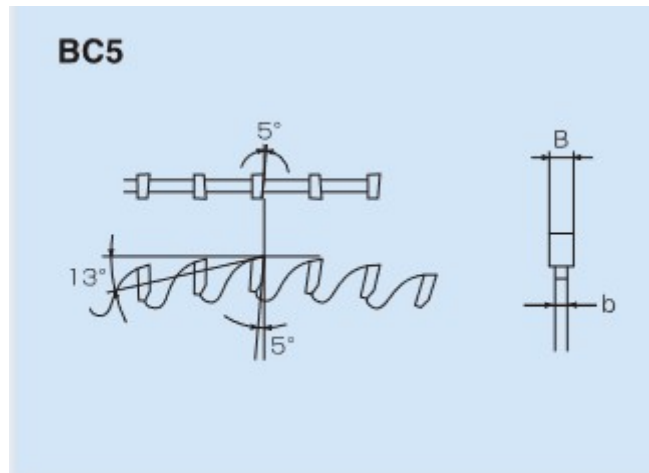


Obrázek 21 - Geometrie zubů D [21]

b) Typ BC5

Zuby typu BC5 nejsou vhodné pro řezání plných materiálů. Mají velký řezný odpor, a proto je potřeba obrovského výkonu stroje, což není výhodné. Zuby jsou konstruovány buďto v pozitivních nebo negativních úhlech do 5° (viz. obrázek 15). Jsou střídavě natočeny na pravou a levou stranu, což způsobuje odchod třísky pokaždé jinam. Řez je ale čistší než u typu 3DX. [21]

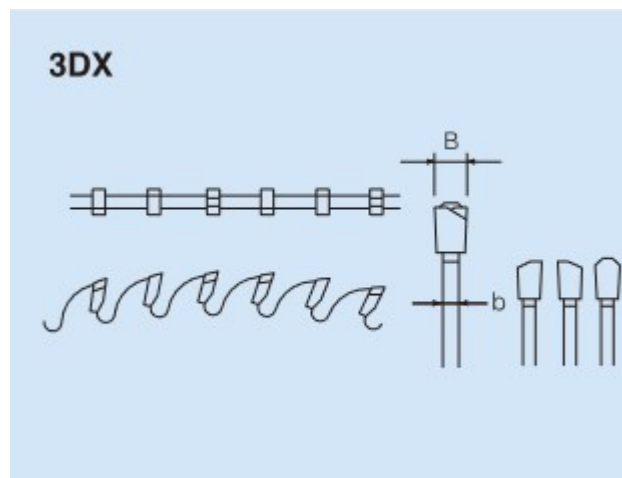
Je doporučován pro řezání tenkostěnných materiálů (opět do tloušťky 4 mm). [21]



Obrázek 22 - Geometrie zubů BC5 [21]

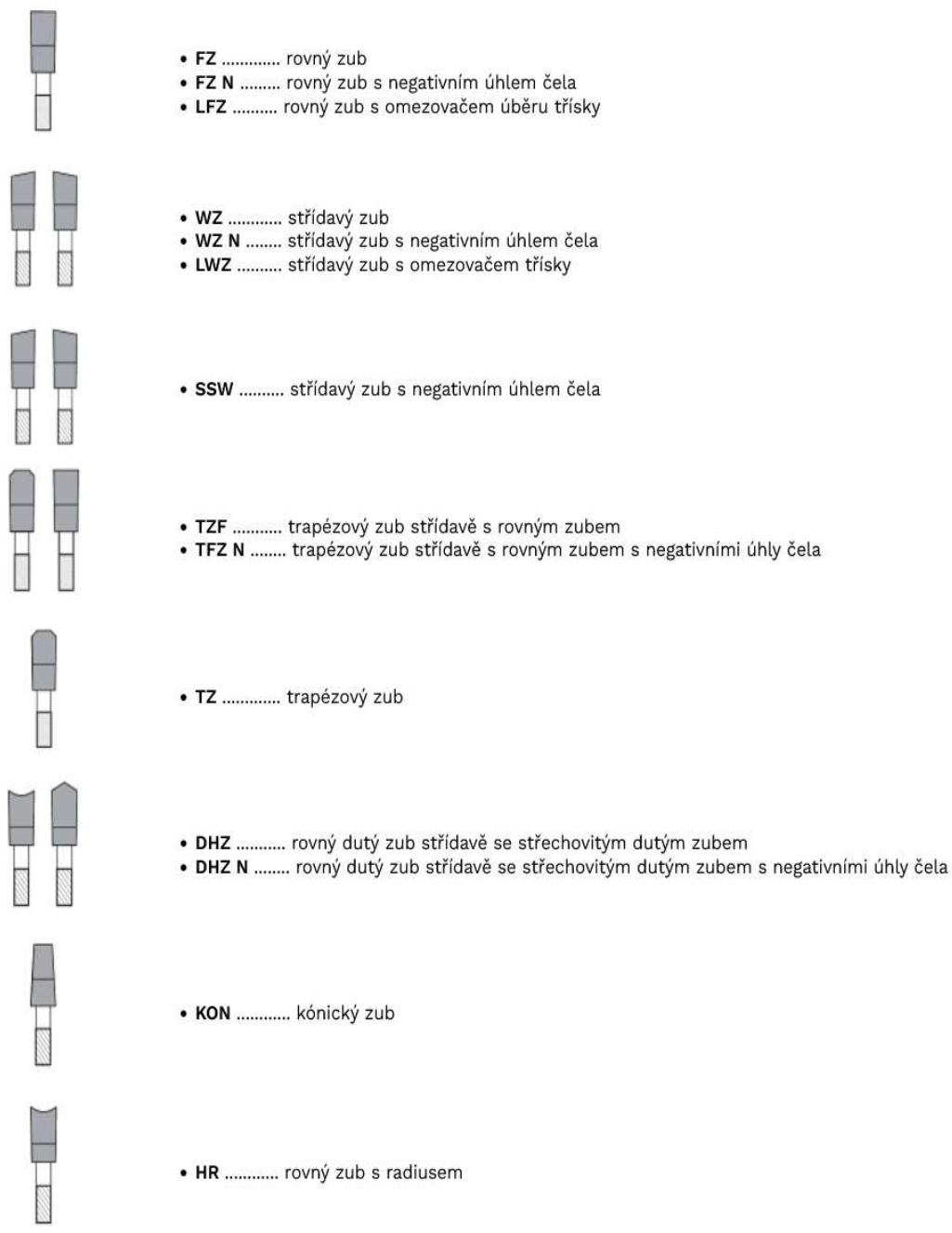
c) Typ 3DX

Geometrie u tohoto typu zubů má jasně dané pořadí. Tři po sobě jdoucí zuby jsou střídavě zkoseny zprava, zleva a po obou stranách. To zajišťuje, že kotouč projde materiálem velmi rovně a za přítomnosti podstatně menších vibrací. I díky tomu je zapotřebí menší řezné síly. Jako u typu zubů BC5 je omezeno lepení řezaného materiálu na kotouč, a proto je vhodný pro řezání extrudovaných profilů a tenkostěnných trubek. [21]



Obrázek 23 - Geometrie zubů 3DX [21]

Výše popsané typy zubů jsou časté, avšak označení je čistě komerční. Nesetkáme se s ním pouze u jedné firmy, ale objektivní označení bude znázorněno ještě níže.



Obrázek 24 - Geometrie zubů plátkových kotoučů [7]

1.2.5 Upínací otvor

Podobně jako u kotoučů z HSS, existuje mnoho různých rozměrů upínacích děr, které kotouč charakterizují a rozhodně ne všechny zde mohou být obsaženy. Několik nejčastějších, které se používají nejčastěji budou vypíchnuty v této práci.

Kotouče s břitovými destičkami mají tedy nejčastější rozměry v toleranci H7 a hodnotách 30 mm; 40 mm; 50 mm a 25,4 mm což odpovídá jednomu palci.

2. Metody ostření

V této kapitole budou rozebrány pouze průmyslové metody ostření pilových kotoučů. Existuje více způsobů broušení pilových kotoučů jako například jednoduché vačkové automaticky či poloautomaticky řízené stroje, které s příchodem CNC (= computer numeric control) ustoupily do pozadí.

Kvůli pohodlnosti a průmyslovému vývoji se již na těchto strojích pilové kotouče skoro nebrousí. Pokud se tyto stroje někde objeví, bude to pravděpodobně u někoho v garáži. Výhodou těchto strojů byla absence řezných kapalin jako je chlazení či mazání, což bylo ekologicky velmi přívětivé a mohly se snižovat náklady, na druhou stranu produktivita byla výrazně menší, a tak to na ekonomickou výhodnost nemělo výrazný vliv.

Nicméně v této kapitole budou rozebírány způsoby průmyslového ostření, pro které jsou výhradně používány CNC řízené speciální brusky. Rozděleny budou opět dle materiálu, ze kterého jsou kotouče vyrobeny. Podle toho se liší způsob broušení a konstrukce stroje, kterým jsou pilové kotouče přeastřovány.

2.1 Ostření HSS kotoučů

Průmyslové ostření HSS pilových kotoučů se dnes provádí na CNC řízených bruskách. Často se používají dvouosé CNC brusky, kde je vybrušován pouze základní tvar zubu a sražení zubů nebo lamače třísky je vybrušováno na pomocných automatických strojích. V poslední době však začínají převažovat víceosé stroje, které vybrousí celkovou geometrii zubů na jedno upnutí, a navíc k tomu se ještě často spojují s automatickými zakladači.

Jedním z aspektů správně nabroušeného kotouče je brusný materiál. Pro broušení kotoučů z rychlořezné oceli je používáno brusného kotouče z kubického nitridu boru. Tento materiál je druhý nejtvrdší, hned po diamantu. Chemicky je označován jako B₄N. Výhodou je jeho vysoká chemická i tepelná odolnost kterou vykazuje až do teploty 1300 °C. Kubický nitrid boru je poměrně křehký, ale houževnatější, a i tvrdší než keramika. Neřadí se mezi materiály, které volně nalezneme v přírodě. Je vyráběn syntézou z hexagonálního nitridu boru za vysokého tlaku. [22;23]

Na stupnici tvrdosti dle Mohse má hodnotu 9, jak již bylo řečeno je tedy druhým nejtvrdším hned po diamantu, který nese číslo 10. Jeho měrná hmotnost nabývá hodnoty 3,48 g/cm³. [22;23;24]

Další neméně podstatný faktor je chladicí kapalina. Při broušení pilových kotoučů jsou dvě možnosti, jakou kapalinu použít.

a) Emulze

Emulze je směs tvořená z 95 % vody a 5 % olejem. Kvůli tomu, že směs je velmi málo ředěna olejem zůstává jí mnoho vlastností, kterými disponuje sama voda – H₂O. Jak je vidět na obrázku č. 22 stroje, které pracují v tomto prostředí jsou kvůli chemickým reakcím velmi znehodnoceny korozi.



Obrázek 25 - Vnitřek brusky chlazené 5% emulzí - vlastní

b) Olej

Nevýhodou broušení pod olejem je horší odvod tepla z místa řezu, to je při použití oleje kompenzováno menším třením, což znamená vlastně menší tvorbu tepla při broušení. Výhodou je, že takto používané stroje mají delší životnost, protože olejem jsou neustále konzervovány a chráněny před korozi. Vnitřek stroje při používání oleje je vidět na obrázku č. 25.



Obrázek 26 - Stroj na ostření HSS pilových kotoučů, pracující pod olejem – vlastní

2.2 Ostření plátkových kotoučů

Průmyslové ostření plátkových kotoučů se dnes prakticky výhradně provádí na víceosých CNC strojích, které na jedno upnutí vybrousí celou geometrii zubů. Lze tvrdit, že broušení plátkových kotoučů téměř vždy probíhá pod olejem. Stroje bývají často vybaveny zásobníky s automatickým podavačem tak, aby mohly samostatně pracovat v autonomním bezobslužném provozu. Stroje se zásobníkem jsou velkým krokem k rozvoji automatizace.

Plátky ze slinutého karbidu a cermetové plátky se ostří diamantovým brouškem.



Obrázek 27 - Walter Woodtronic CNC 5D rapide – stroj pro broušení plátkových kotoučů - vlastní

Zvláštní kapitolou je ostření pilových kotoučů s diamantovými plátky. Tato technologie není v ČR velmi častá. Broušení kotoučů s diamantovými plátky je prováděno opět pod olejem, procesem elektroeroze, kdy brusný kotouč nahrazuje měděná elektroda. Nabroušení takového kotouče trvá řadu hodin, a proto je velmi nákladné.

Elektroerozivní broušení

Metoda elektroeroze se řadí mezi nekonvenční technologie úběru materiálu. To znamená, že k odebrání materiálu nedochází fyzicky, za pomoci nástroje k tomu více či méně určeného, ale proces probíhá díky vlivu chemických a fyzických jevů. V tomto případě se jedná o úběr materiálu pomocí elektrického výboje, který nastává mezi elektrodou a materiálem, který potřebujeme opracovat – v tomto případě tedy pilový kotouč, který je zapotřebí nabrousit. [24;25]

Rotující elektroda (která je patrně vidět z obrázku č. 28) se přiblíží na pracovní vzdálenost od obrobku v rozmezí 0,013 – 0,075 mm a díky opačné polaritě a dielektriku, které proudí mezi katodou i anodou dochází k erozi. [24;25]

Elektroda bývá vyrobena z mědi a díky konstantní rotaci, při které je schopna dosahovat rychlosti mezi 30-180 m/min, je dielektrikum spolehlivě odváděno z pracovního prostoru. Dielektrikum bývá ve formě uhlovodíkového oleje. [24;25]

Touto nekonvenční metodou můžeme dosahovat výborné rychlosti úběru materiálu, a to v číslech 0,16 – 2,54 cm³/min. Drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí mezi Ra 1,6 až Ra 3,2. [24;25;26]

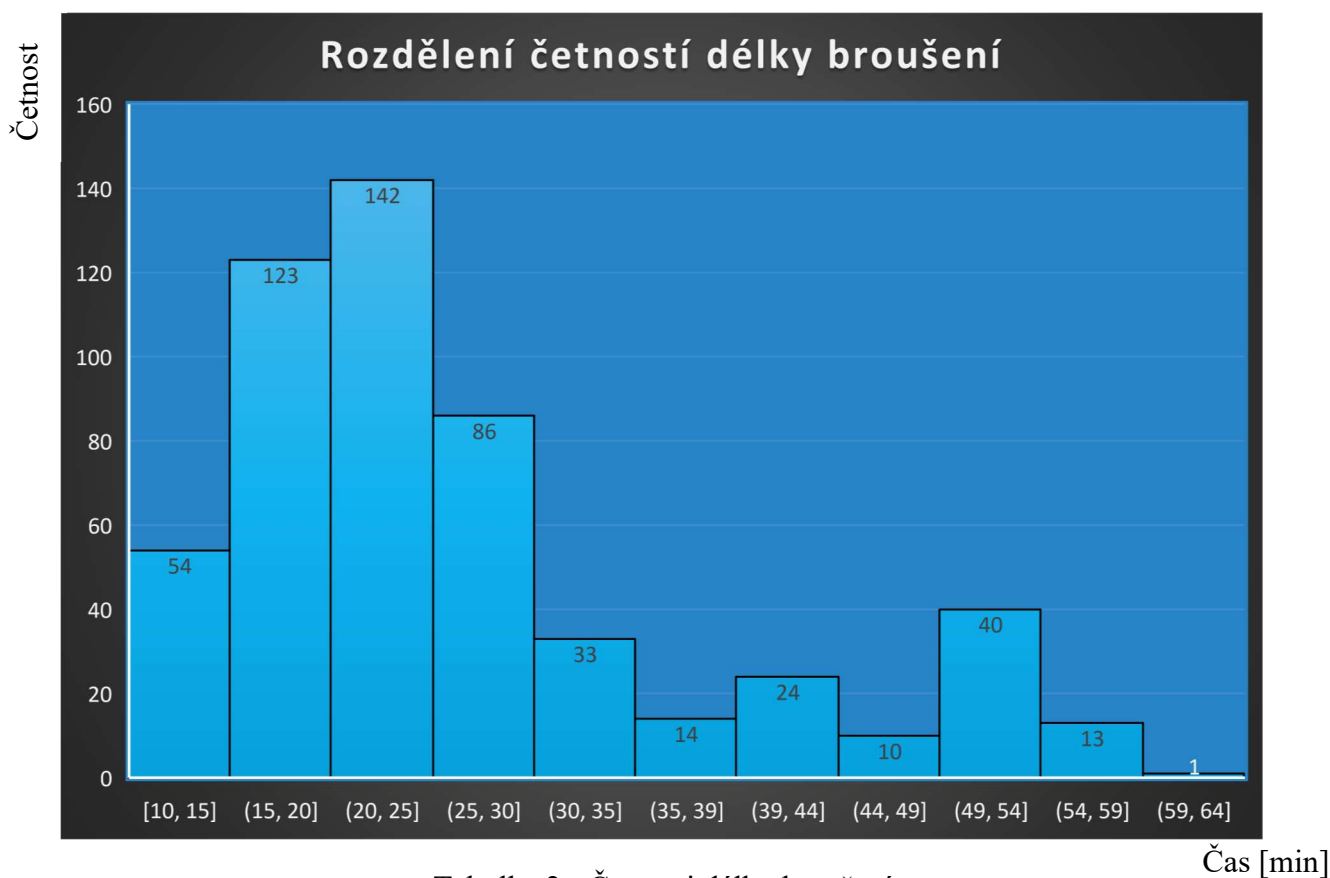


Obrázek 28 - Proces elektroerozivního broušení - vlastní

3. Návrh pracoviště

Závěrečná část práce se bude zabývat návrhem automatizovaného pracoviště, vycházející ze získaných dat ve firmě R.D.I. (příloha č. 1), ze kterých byla provedena analýza a z toho odvozena potřebná kapacita pracoviště. Za vstupní data jsou považovány údaje o počtu nabroušených kotoučů v rozmezí jednoho měsíce, v tomto případě měsíce května roku 2022. Posbírané údaje o časové náročnosti na nabroušení jednoho kotouče byly dalším uvažovaným parametrem při projektování návrhů. Tento údaj byl podstatný při sestavování pořadí pro naložení kotoučů do zásobníků. Díky této informaci je možno dopředu rozvrhnout, jak dlouho budou stroje v provozu.

Výstupem těchto informací je graf viz tabulka 2, ze kterého vyplívá, že nejčastěji se čas broušení pohybuje od 15 min na kotouč do 25 minut.



Tabulka 2 - Četnosti délky broušení

V každém z návrhů jsou uvažovány stejné komponenty pro sestavení pracoviště, ty budou více popsány a rozebrány v následujících řádcích.

Při návrhu pracoviště jsem vycházela z potřeb firmy, která brousí několik set pilových kotoučů denně, a tudíž dává smysl navrhnout pracoviště specializované, určené pro ostření

určitého vybraného segmentu používaných pilových kotoučů. Díky tomu je možné navrhnout pracoviště maximálně produktivní a efektivní.

Pracoviště jsem se rozhodla navrhnout vzhledem k aktuálním potřebám firmy pro ostření plátkových pilových kotoučů.

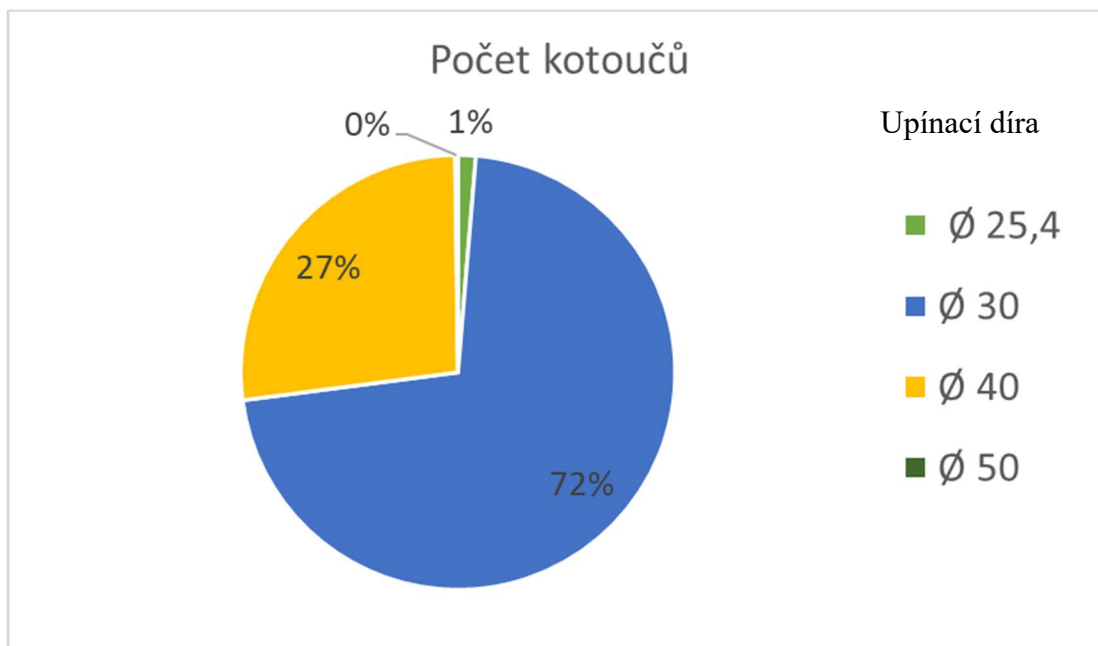
Před navrhnutím pracoviště byla provedena analýza účetních dat, která byla sebrána za několik předešlých měsíců.

Pro každý typ ostření je v účetním systému firmy zvláštní skladová položka, která popisuje základní parametry pilového kotouče jako například; průměr, typ a počet zubů dle kterých je možné určit pracoviště, kde bude pilový kotouč ostřen. Též se používá skladový pohyb po naostření kotouče pro evidenci a fakturaci. Pro zamýšlenou optimalizaci pracoviště je důležitý také parametr středové díry na kotouči, toto jsem navrhla doplnit na skladové karty tak, aby mohla být následně i opakovaně prováděna analýza četnosti jednotlivých středových otvorů.

Z analýzy skladu vyplývá, že používány jsou všechny dále vypsané rozměry otvorů; 20 mm; 25,4 mm; 30 mm; 32 mm; 40 mm; 45 mm; 50 mm; 55 mm; 60 mm; 65 mm; 80 mm. Drtivá většina ve firmě ostřených kotoučů je však o rozměrech 30 mm; 40 mm a 25,4 mm. Pracoviště jsem se rozhodla navrhnout tak, aby bylo možné vždy dva kotouče se dvěma nejčastěji se vyskytujícími středovými průměry.

Každý ze zásobníků je vybaven trnem o průměru příslušného středového otvoru pilového kotouče. Kapacita každého z nich je 40 kotoučů. Zvolila jsem systém práce takový, aby pokaždé alespoň tři zásobníky byly naplněny kotouči.

Dle dat, které jsou obsaženy v grafu – tabulka číslo 2 je patrné, že největší část zaujímají kotouče se středovou dírou o $\varnothing 30$. Proto jsem navrhla pracoviště pouze pro nejčastější průměry středových děr a to $\varnothing 30$ a $\varnothing 40$. Těmto průměrům budou odpovídat i trny, kterými bude pracoviště vybaveno. Vzhledem k různorodosti počtu kotoučů měnící se každý den je optimalizace času řešena na základě rozhodnutí pracovníka, který bude daný den pracoviště nakládat. Dle času a počtu, který vyjde v připraveném softwaru se pracovník rozhodne, zda naloží pořadače pouze jedním typem díry nebo je zkombinuje.



Tabulka 3 - Četnost pilových kotoučů v závislosti na upínacím otvoru

Bruska

Hlavním stavebním kamenem celého pracoviště je bruska od firmy Volmer. Poté co s výrobou strojů na broušení plátkových pilových kotoučů přestala německá firma Valter, na trhu se stroji pro broušení plátkových kotoučů je docela malý výběr a v podstatě existuje jediný renomovaný evropský výrobce. Další možní dodavatelé v Evropě např. v Itálii či Turecku technickým řešením a možnostmi strojů výrazně zaostávají.

Přesný typ byl vybrán po domluvě a vzájemné debatě společně s ředitelem brusírny. Vítězným typem se stal model CHD 270 od již zmiňované firmy Volmer.

Bruska disponuje možností brousit pilové kotouče až do průměru Ø 630 mm. Stroj je vybaven osmi CNC řízenými osami, měřicím zařízením pro překontrolování, zda-li se shoduje zadaný počet zubů a průměr kotouče v počítači s naloženým a právě upnutým kotoučem. Je určena pro broušení kotoučů s plátky ze slinutého karbidu i cermetovými plátky o různých průměrech a geometriích zubů. Složitě geometrie zubů lze kompletně nabrousit na jedno upnutí, včetně drážek utvářeče třísek nebo zkosení na hrubovacích a dokončovacích zubech.

Upínání pilových kotoučů je řešeno systémem několika přísavek. Detailnější informace bohužel nejsou k dispozici. Systém upínání je zobrazen na obrázku č. 29.



Obrázek 29 - upínací systém u brusky Volmer CHD 270 do \varnothing 630 mm [27]

Robot

V prvních třech variantách pracoviště je uvažován robot pravděpodobně od firmy ABB. Robot ve všech navrhovaných pracovištích slouží k manipulaci s pilovými kotouči, které nebudou mít ani při těch největších průměrech více než 5 kg. Proto není nutné vybírat z možností, které mají velkou únosnost. V prvních třech návrzích nebyl přesný typ robota blíže specifikován, protože nebyly vybrány a nebylo tak potřeba o tom uvažovat. I přesto byl proveden průzkum trhu a jednoduchý návrh řešení ve kterém by robot měl únosnost 45 kg což je bohatě dostačující vzhledem k již výše zmiňované maximální tíze kotoučů a dosahovou vzdálenost 2 m.

V poslední, čtvrté variantě je robot umístěn na pojezdu tzv. kolejnici po které se může pohybovat mezi zásobníky a nepotřebuje tak dlouhé rameno pro manipulaci s různě postavenými zásobníky.

Zásobníky

Vzhledem k tomu, že pracoviště je navrženo primárně pro kotouče se středovými dírami o průměrech \varnothing 30 mm a \varnothing 40 mm i upínací trny na zásobnících musí být v těchto rozměrech. Navrženo je tedy koupit dohromady sedm upínacích trnů. Dva trny budou o \varnothing 40 mm a zbylých pět bude o průměru \varnothing 30 mm. Tento počet je navržen tak, aby byla vždy možnost pustit stroj při jakémkoli složení kotoučů. Kotouče musí být při nakládání vždy upnuty na trnu se shodným rozměrem jako je upínací díra, ale po nabroušení je možné je odkládat i na menší průměry trnů, než je průměr jejich upínací díry. To je proto, že při broušení má robot zadané přesné

souřadnice, kde a jak má kotouč uchytit a je nutné, aby byl vycentrovaný a správně se dostal do broušícího prostoru, kde je automaticky upnut. Po nabroušení je opět robotem vyjmut z upínacího kolíku a vrácen na zásobník s již nabroušenými kotouči. Následnou manipulaci s kotouči zajišťují už jen pracovníci. Ta spočívá vlastně už jen v překontrolování geometrie zubů a uložení do regálu pro následnou expedici. Pro tyto operace není nutné, aby byl kotouč geometricky vystředěn, a tak může být bez problému umístěn i na menší průměr trnu. [27]



Obrázek 30 - Zásobníky s trny [27]



Obrázek 31 - Různé druhy kotoučů na jednom průměru trnu [27]

Jak je vidět z obrázku č. 31 nejdůležitějším parametrem je právě upínací díra. Od té se odvíjí možnost naložení do zásobníku i upnutí do stroje bez nutné výměny upínacího trnu. Geometrie zubů, průměr kotouče a další faktory jsou pro takto navržené pracoviště již zanedbatelnou informací.

Kontrolní stanice

Po nabroušení kotouče, a ještě před tím, než je vrácen zákazníkovi je potřeba se ujistit, že vše proběhlo správně a kotouč se vrací naostřen dle požadavků. Proto je na každém z návrhů umístěna kontrolní stanice. Kontrolní stanice je vybavena dvěma kamerami s vysokým rozlišením s možností obrazového záznamu a měřícími funkcemi. Na stanici je možné proměřit kompletní geometrii zubu a vystavit měrový protokol. Je též možné jí dobře využívat pro posouzení způsobu a míry opotřebení pilového kotouče před broušením, a tudíž správně zvolit parametry broušení.

Sklad

Regály, které jsou opět v každém z návrhů jsou brány jako dočasný sklad přijatých, a tedy tupých kotoučů v jedné části. Do části druhé jsou vráceny kotouče již naostřené a připravené k expedici.

Návrhy pracoviště

Při návrhu pracoviště jsem postupně vypracovala čtyři varianty, které se liší zejména prostorovým uspořádáním.

Základní výhody a nevýhody jednotlivých variant jsem shrnula do přehledné tabulky viz tabulka č. 4. Hodnotící parametry jsou zejména prostorová náročnost, výhodný tok materiálu a snadný přístup pro obsluhu.

Všechny varianty počítají se dvěma stroji Vollmer CHD 270.

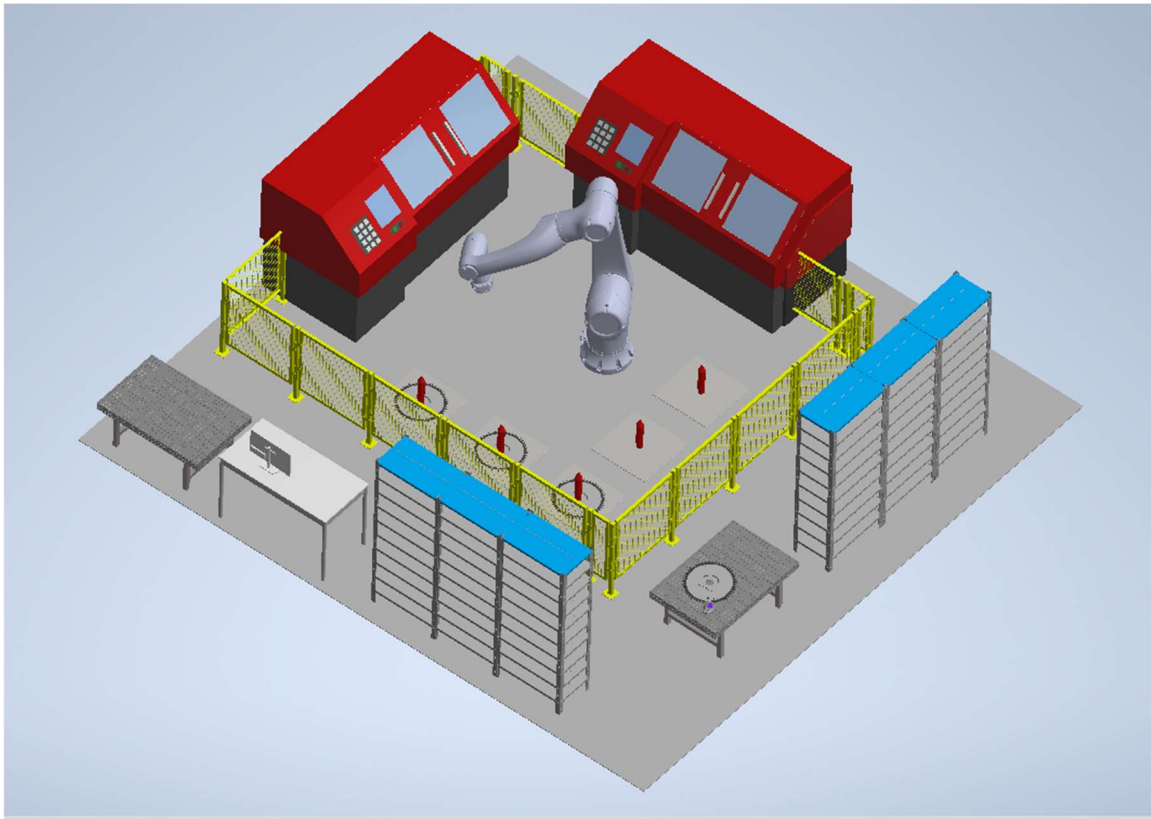
Tři varianty počítají s využitím univerzálního robota ABB, speciálním chapadlem pro robota s podtlakovým upínáním a na míru zkonstruovanými zásobníky pro pilové kotouče. U této varianty je nutné též externí řídicí PLC (Programovatelný logický automat - Programmable Logic Controller) s uživatelským rozhraním (monitor a klávesnice nebo dotekový monitor), které bude řídit cykliku celého pracoviště a hlídat bezpečnost. Pro obsluhu pracoviště je též třeba vytvořit na míru ovládací software.

Čtvrtá varianta, kterou jsem sestavila, využívá systémové řešení firmy Vollmer z řady ND 230/250/270. Vybrala jsem automatickou zakládací stanici vhodnou pro dva stroje ND 250.

Tato varianta již zahrnuje robota na lineárním pojezdu a pět zásobníků na pilové kotouče. Toto řešení již zahrnuje automatické propojení se strojem CHD 270, možnost externího programování a certifikované řešení bezpečnosti.

Vzhledem k tomu, že firma R.D.I., kde jsem svou práci konzultovala, má též oddělení, které vyvíjí a dodává robotizovaná pracoviště s CNC řízenými stroji, měla jsem možnost konzultovat náročnost detailního návrhu, konstrukce speciálních prvků jako jsou chapadla a zásobníky pro kotouče, náročnost programování externího PLC a certifikovaného řešení bezpečnosti. Zvláště jsem byla upozorněna na nutnost získání informací a spolupráci s výrobcem stroje pro komunikační propojení mezi strojem a obslužným robotizovaným pracovištěm.

Po zvážení všech aspektů jsem zvolila variantu 4 složenou ze standardních produktů firmy Vollmer a to zejména s ohledem na předpokládaný jistý a dobře naplánovatelný rozběh pracoviště, osvědčené řešení bez předpokládatelných počátečních potíží s prototypovým řešením. Předpokládaná konečná cena pracoviště s univerzálním robotem by též byla stejná nebo vyšší než sériově vyráběné řešení.

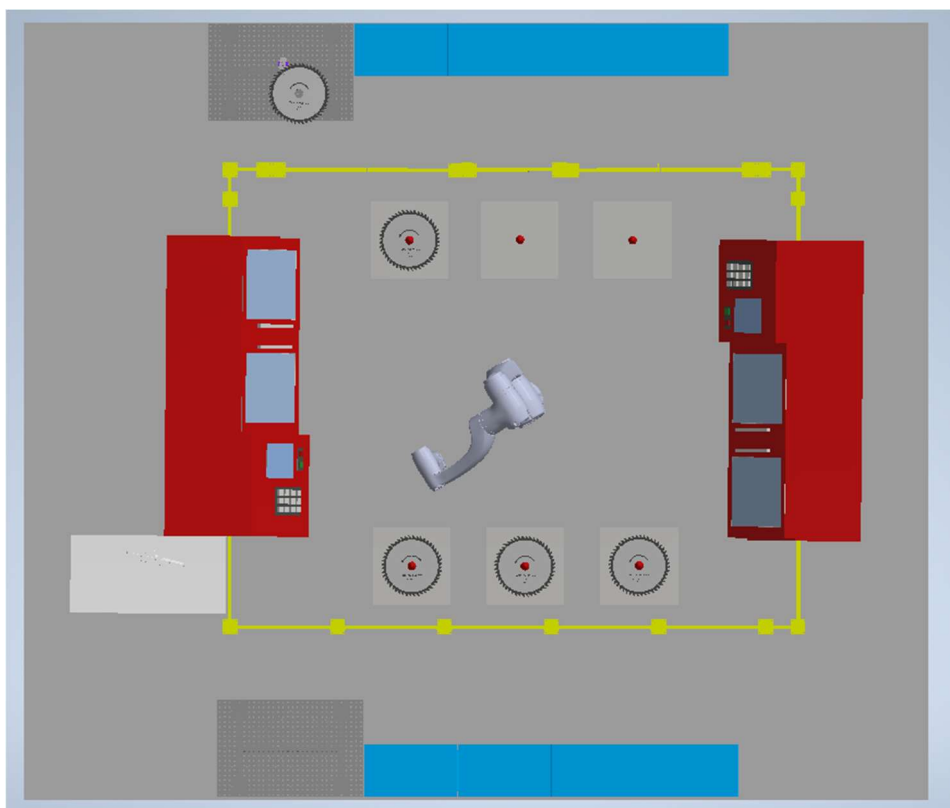


Obrázek 32 - Návrh 1

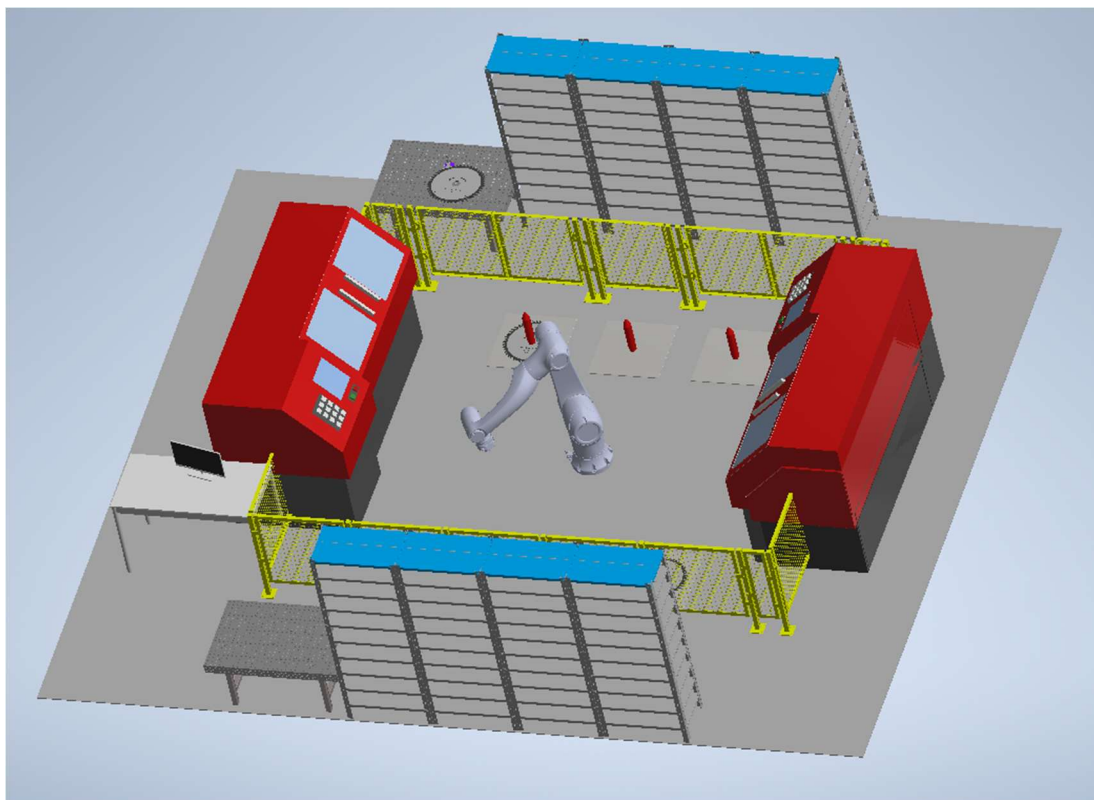
Návrh 2

Navržené pracoviště číslo dva je za mě nejlepší variantou. Výhodu vidím v krásně viditelném toku materiálu hned při prvním pohledu na návrh. Brusky jsou umístěny proti sobě a stejně tak i zakladače na kotouče. Na těch je krásně vidět, že nabroušené kotouče vstupují na jedné straně a na té druhé by měly odcházet. Regály a celkové vybavení pracoviště je zařízeno a poskládáno úměrně k tomu. Při pohledu na půdorys zleva vchází přijatý materiál, projde přes pracoviště, které je umístěno uprostřed haly a již nabroušené kotouče odchází přes kontrolní stanici do regálů a k expedici. I díky tomu jsou opět lehce dostupné zásobníky pro pracovníka, který bude mít za úkol je doplňovat. Při tomto uspořádání je zajištěna úspora prostoru, která je myslím velkou výhodou.

Nevýhody vidím v mrtvém bodu robota, který se bude muset ležet ve vhodném a nepotřebném bodě, bod musí být navržen tak, aby vyhovoval veškerým dosahovým možnostem a to je v tomto případě ne úplně zřejmé. Kdyby byl robot schopný se pohybovat „kolem dokola“ nevýhody bych asi žádné nenašla, a tak i proto bych zvolila tento návrh. To však není v konstrukčních možnostech a i proto vyplívá hned dalších nevýhod. Nejspíše bude zapotřebí většího ramene a s tím je spojená neúspora prostoru i delší čas manipulace. Firma však zohledňuje nejen prostorové uspořádání, ale i jednoduchost při instalaci a následném užívání a proto byl vybrán jiný návrh.



Obrázek 33 - Návrh 2 půdorys

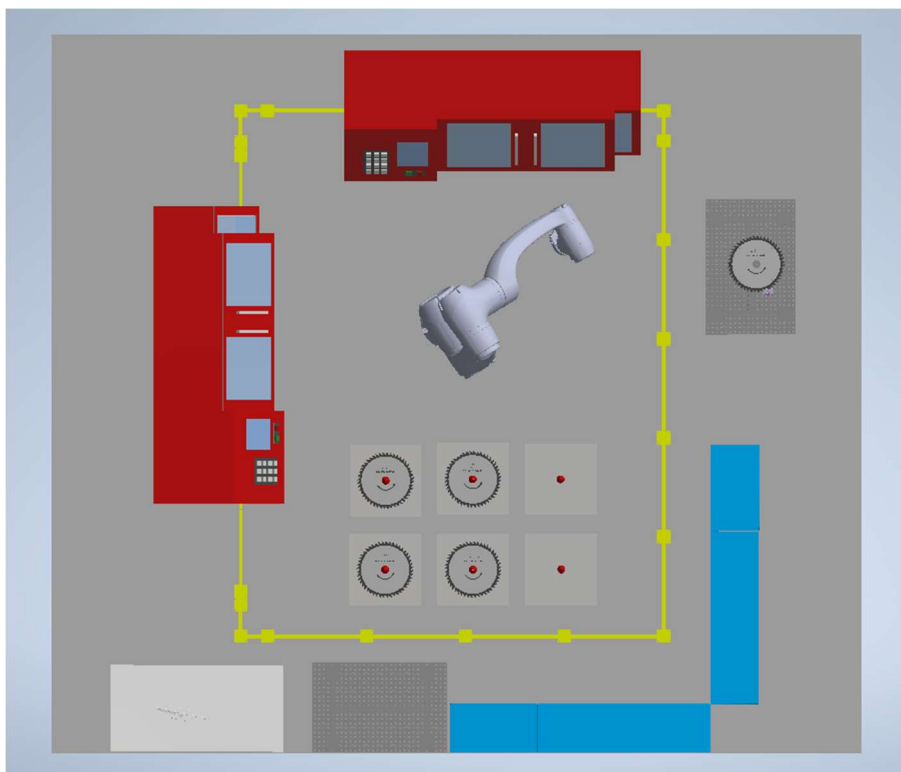


Obrázek 34 Návrh 2

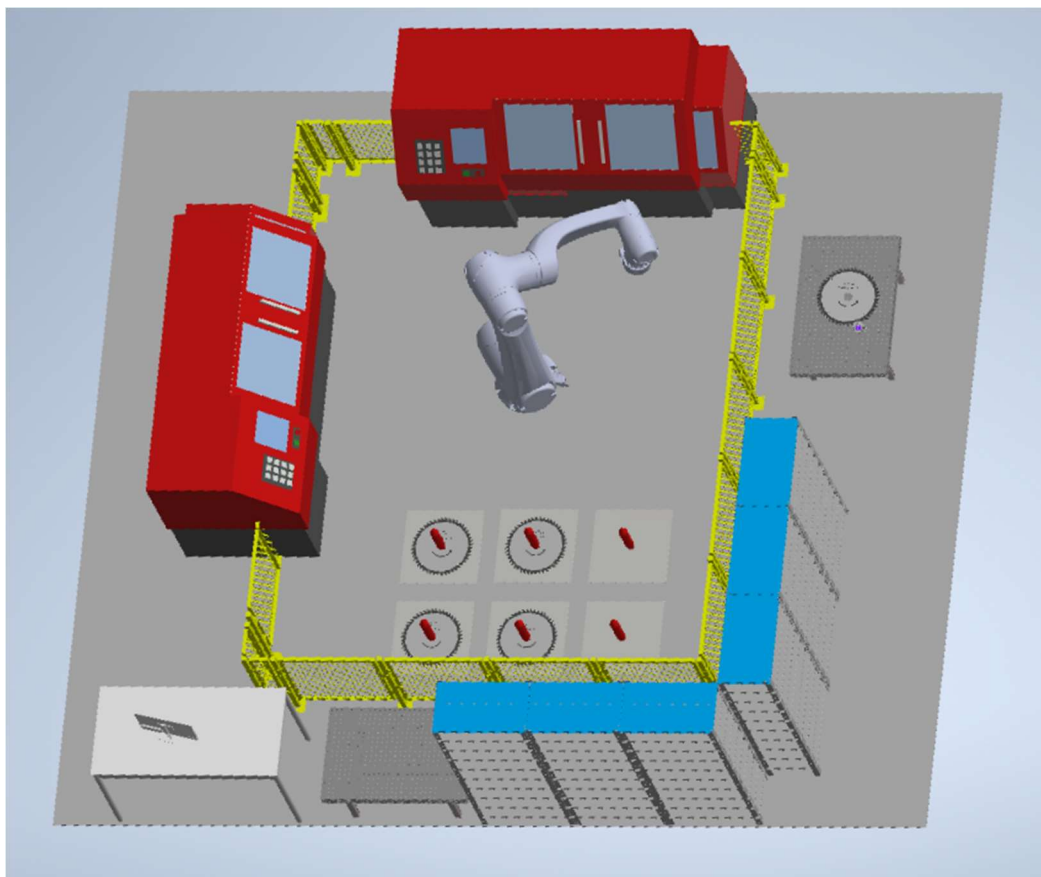
Návrh 3

Na tomto návrhu bych jako výhodu viděla asi pouze prostorovou úsporu, která je vymyšlena velmi dobře.

Nevýhod jsem našla hned několik. Jako první bych zmínila naprosto špatně vymyšlené uspořádání zásobníků, které je nesmyslně špatně přístupné pro obsluhu. Hůře se bude manipulovat i robotovi, který bude muset při uchopování kotoučů z první řady dávat zvláštní pozor, aby nezavadil o kotouče z řady k němu blíže. Další nevýhodou je i finanční stránka, kdy by bylo zapotřebí nakoupit silnějšího robota s delším ramenem, a tudíž i větší nosností kvůli velkému prostoru, který musí obsluhovat. Tok materiálu zde není vyřešen úplně špatně ale nezařadila bych ho ke kladům tohoto návrhu, a proto ho zmiňuji spíše v mínusech.



Obrázek 35 - Návrh 3 půdorys

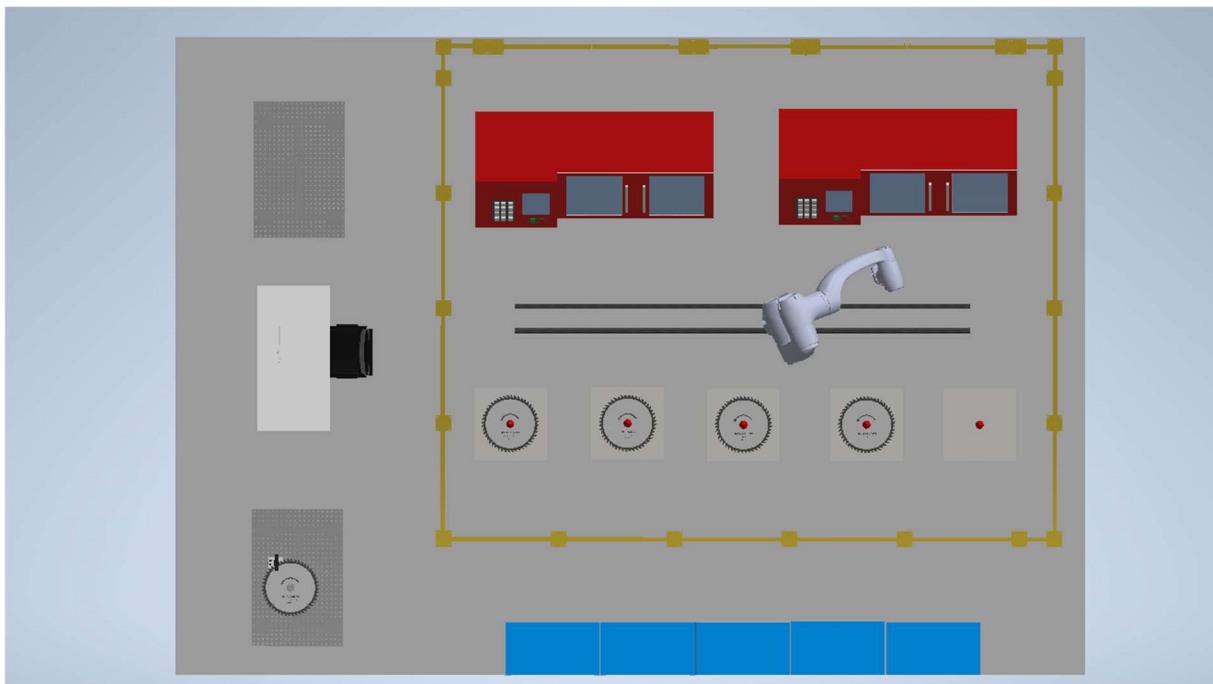


Obrázek 3633 - Návrh 3

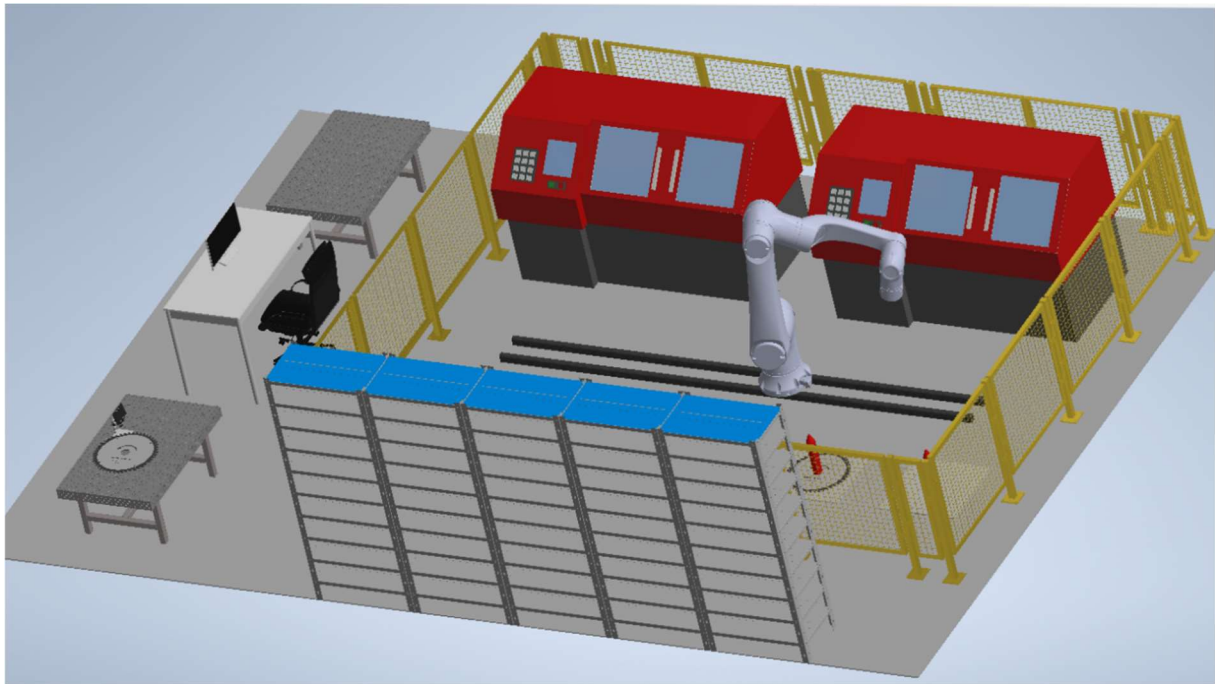
Návrh 4

Tento návrh byl vytvořen s ohledem na komponenty od firmy Volmer, protože si to firma přála. Za největší výhodu je považována kompatibilita všech částí, které budou zakoupeny při jednom. V tom je zahrnut i software kterým je programován bruska i robot, a tak není zapotřebí dalšího vývoje po této stránce. Zadání bylo tedy vlastně jednoduché. Dostala jsem již požadované komponenty, mezi které patří i kolejnice, po kterých se bude robot pohybovat a obsluhovat brusky. Výhodou je, že je tedy zapotřebí menšího robota s kratším ramenem.

Nevýhod bych naopak našla mnohem více výhod. Jako první bych zmínila poměrně velké nevyužití prostoru. Dalším záporným bodem by byla mnohonásobně vyšší pořizovací cena kvůli nutnosti pořízení kolejnic pro robota, což je podmínkou firmy, která všechny části pracoviště i se softwarovým vybavením dodává. Tok materiálu není sice úplně špatný ale jako výhodu bych jej rozhodně neuváděla.



Obrázek 34 - Návrh 4 půdorys



Obrázek 35 - Návrh 4

	+	-
Návrh č.1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dobry přístup k zásobníkům pro jejich nakládání či vykládání ➤ Prostorová úspornost 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Složitější tok materiálu
Návrh č.2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tok materiálu ➤ Snadno přístupné zásobníky ➤ Úspora prostoru 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mrtvý bod robota ➤ Delší čas manipulace ➤ Omezený prostor zásobníků
Návrh č.3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prostorová úspornost 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Špatně přístupné zásobníky pro obsluhu i robota ➤ Je zapotřebí většího robota kvůli delší dráze a tím pádem i delšímu ramenu a tím je zapříčiněn požadavek na větší nosnost ➤ Složitý tok materiálu
Návrh č.4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kompatibilita s robotem SW 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nevyužití prostoru ➤ Vyšší náklady kvůli pořízení kolejnic

Tabulka 4 - Výhody a nevýhody navržených pracovišť

Závěr

V práci se mi podařilo vytvořit ucelený přehled o jednom z v literatuře opomíjených druhů nástrojů – pilových kotoučích. V literatuře jsem na rozdíl od jiných oborů řezných nástrojů žádný takový přehled nenalezla. Obor pilových kotoučů je však poměrně dynamicky se rozvíjícím odvětvím. Hodně souvisí též s vývojem produktivních dělicích center, která kotouče využívají. Těžiště použití pilových kotoučů se postupně přesouvá od HSS nástrojů k plátkovým kotoučům se stále novými materiály pro výrobu plátků. Myslím, že moje práce může být dobrým základním vodítkem pro běžného uživatele, jaké dnes na jednom místě nenajde.

Při návrhu pracoviště jsem se zaměřila na pracoviště pro ostření plátkových pilových kotoučů, a to i vzhledem k shora uvedenému faktu, že použití plátkových pilových kotoučů se navyšuje částečně i na úkor využití HSS pilových kotoučů.

Při zachování požadavků na plynulý tok materiálu, ergonomičnost obsluhy, ekonomickou nákladnost, spolehlivost a produktivitu jsem při vyhodnocení možných řešení došla k závěru, že jádro pracoviště sestavím s prověřených a standardně vzájemně propojitelných komponentů.

Přínos mé práce pro firmu, kde jsem konzultovala technické záležitosti je v zohlednění některých prvků mého řešení zejména důrazu na plynulý tok materiálu pro návrh pracoviště, o které se chystají rozšířit svůj provoz.

Citovaná literatura

1. Tiscali.cz. In: *Tiscali.cz* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: http://home.tiscali.cz/cz706577/Tabulka_mat.htm
2. Julia. *HSS Catalogue: HSS products* [online]. Tarcento (UD) Italy, 60 [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.juliautensili.com/wp-content/uploads/2021/03/CATALOGO-HSS-JULIA-UTENSILI-Ed.2021.pdf>
3. Segmentové a frikční kotouče. *Gspzborovice.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.gspzborovice.cz/Segmentove-a-frikcni-kotouce>
4. *DIAMANTOVÉ KOTOUČE: Přehled diamantových kotoučů* [online]. 2018, **2018**, 36 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://media.witglobal.net/bkmedia/wuerth/3146/cs/stav0214diakoto/pdf/complete.pdf>
5. GOLDEN BRUTE: TiN. *Advamat.cz* [online]. Jihlava [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.advamat.cz/tin/>
6. Povlaky stopkových nástrojů. *Carbide.cz* [online]. Měřín, 2022 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.carbide.cz/sluzby/povlaky/>
7. HSS pilové kotouče na kov. *Pilana tools a.s.* [online]. Hulín, 16 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.gsp.info/utills/output-file-for-download/u-eskuu-katalog-pilana.pdf>
8. Povlaky: TiN. *Commercservice.sk* [online]. Prešov [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.commercservice.sk/--29-102-tin>
9. SPÁČIL, R. Analýza řezání tenkostěnných součástí pilou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 106 s. 1 příloha. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc
10. Pilové kotouče z materiálu Dm05 a s povrchovou upravou TiAlN. *Pilové kotouče - obchod GSP* [online]. Zborovice [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <http://www.pilove-kotouce.com/Kotouce-material-Dm05/povrch-TiAlN/>
11. DOLEŽALOVÁ, Petra. Vlastnosti povlaků rezných nástrojů ze slinutého karbidu. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 52 s. příloh 3. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička PhD.
12. ING. VLADIMÍR SLAVÍK a ING. LUBOMÍR ŠTAJNOCHR. Kurz ostříčův dřevoobráběcích nástrojov. Bratislava: československá vědeckotechnická společnost - dom techniky Bratislava, 1983, 56 s.
13. PROF. ING. JAN MÁDL CSC., DOC. ING. JINDŘICH KAFKA CSC., ING. MARTIN VRABEC CSC. a ING. RUDOLF DVOŘÁK CSC. *Technologie obrábění: 1. díl*. České Vysoké Učení Technické fakulta strojní.
14. Nástrojová poradna. *GSP Zborovice* [online]. Zborovice [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.gspzborovice.cz/Nastrojova-poradna>
15. Pro svařování měkkých ocelí zvolte vhodný přídavný materiál. *Vše o průmyslu* [online]. 2019 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/udrzba-a-diagnostika/stroje-zarizeni-a-mechanika/pro-svarovani-mekkych-oceli-zvolte-vhodny-pridavny-material.html>

16. Cermetové kotouče. *Sulcorte: Profesionální pilové kotouče* [online]. Tlumačov [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <http://www.sulcorte.cz/cermetove-kotouce.html>
17. Cermety. *OSU.cz* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03010.html>
18. CERMET jako řezný materiál, který stále čeká.... *Oneindustry* [online]. 2017, 10.4.2017 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/obrabeni/cermet-jako-rezny-material-ktery-stale-ceka/>
19. AlTiN. *Advamat.cz* [online]. Jihlava [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.advamat.cz/altin/>
20. PVD povlakování (TiN, TiCN, AlTiN, TiAlN): Strojní pily, kotoučové pily pilové kotouče a pásy. *Fenoza* [online]. Zlín [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.fenoza.cz/Pilove-kotouce-na-drevo-a-plast/Povrchove-upravy-SK-kotoucu/PVD-POVLAKOVANI/>
21. [*Saw blades for non ferrous metals* [online]. 7 str. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: http://www.kanefusa.net/en/products/downloads/item/0-41E-12_Non%20ferrous.pdf
22. Kubický nitrid boru: CBN. *Osu.cz* [online]. Ostrava [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03011.html>
23. VTN servis: brusné kotouče z KBN. *Vtn.cz* [online]. 2004 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.vtn.cz/brusne-nastroje-knb/>
24. EL-HOFY, Hassan. *Advanced machining processes: nontraditional and hybrid machining processes*. New York: McGraw-Hill Professional, 2005. ISBN 0071453342.
25. *Elektroerozivní obrábění*. Praha, 2021, 68 s. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79860/F2-BP-2018-Matuska-Karel-Elektroerozivni%20obrabeni.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Ing. Pavel Novák, Ph.D.
26. ŘÍČKA, Jaroslav a Vladimír BULLA. *Technologie Obrábění*. Praha: SNTL, 1979. ISBN neuvedeno. -BRUSNÉ MATERIÁLY, TVARY ŘEZNÝCH KOTOUČŮ
27. Product Information: CHD 270, CHF 270 and Automation. Volmer [online]. Biberach, 20 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: https://www.vollmer-group.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Kreissaegen/CHD270/VOLLMER_circularsaw_CHD270_CHF270_EN.pdf

Seznam zkratek

CNC	Computer Numeric Control
HSS	High Speed Steel
PLC	Programmable Logic Controller

Seznam obrázků

Obrázek 1 - proces kalení [2]	3
Obrázek 2 - Celistvý pilový kotouč s povlakem TiAlN - vlastní.....	4
Obrázek 3 - Tolerance pro výrobu kotoučů [2].....	5
Obrázek 4 - Chemické složení oceli DMo5 [2].....	6
Obrázek 5 - Chemické složení oceli Co5 [2]	7
Obrázek 6 - Chemické složení oceli S 390 PM [2].....	7
Obrázek 7 - Povlak TiN - vlastní.....	8
Obrázek 8 - Povlak TiCN - vlastní.....	9
Obrázek 9 - Povlak TiAlN - vlastní	10
Obrázek 10 - znázornění nástrojových rovin [12].....	11
Obrázek 11 - Zjednodušený popis geometrie zubů pilového kotouče [2].....	12
Obrázek 12 - Zubové úhly pro různé materiály [2].....	12
Obrázek 13 - Tvary zubů pilových kotoučů [14]	13
Obrázek 14 - Tvar zubu A [2]	13
Obrázek 15 - Tvar zubu B [2]	13
Obrázek 16 - Tvar zubu AW [2]	14
Obrázek 17 - Tvar zubu BW [2].....	14
Obrázek 18 - Tvar zubu C [2]	15
Obrázek 19 -Tvar zubu BR [2].....	15
Obrázek 20 - Vymezovací kleština - vlastní	16
Obrázek 21 - Geometrie zubů D [21].....	18
Obrázek 22 - Geometrie zubů BC5 [21]	19
Obrázek 23 - Geometrie zubů 3DX [21].....	19
Obrázek 24 - Geometrie zubů plátkových kotoučů [7].....	20
Obrázek 25 - Vnitřek brusky chlazené 5% emulzí - vlastní.....	23
Obrázek 26 - Stroj na ostření HSS pilových kotoučů, pracující pod olejem – vlastní.....	24
Obrázek 27 - Walter Woodtronic CNC 5D rapide – stroj pro broušení plátkových kotoučů - vlastní.....	25

Obrázek 28 - Proces elektroerozivního broušení - vlastní	26
Obrázek 29 - upínací systém u brusky Volmer CHD 270 do Ø 630 mm [27].....	30
Obrázek 30 - Zásobníky s trny [27]	31
Obrázek 31 - Návrh 1 půdorys Obrázek 32 - Návrh 1	33
Obrázek 36 - Návrh 3	38
Obrázek 36 - Návrh 4 půdorys	39
Obrázek 37 - Návrh 4	40

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Popis daných rozměrů k obr. 3	5
Tabulka 2 - Četnosti délky broušení	27
Tabulka 3 - Četnost pilových kotoučů v závislosti na upínacím otvoru	29
Tabulka 4 - Výhody a nevýhody navržených pracovišť	41