



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI SE ZAMĚŘENÍM NA SNÍŽENÍ NÁKLADŮ

RATIONALIZATION OF THE WORKPIECE TECHNOLOGY PART WITH THE AIM TO REDUCE COSTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Vojtěch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Vojtěch**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Chladil, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

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

Racionalizace technologie výroby součásti se zaměřením na snížení nákladů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Změnou technologie dojde ke snížení výrobních časů a úspoře nákladů.

Cíle bakalářské práce:

- Posouzení stávající technologie.
- Návrh úprav technologie vč. nástrojů a přípravků.
- Ekonomické posouzení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Přeložil M. KUDELA. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6.

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-x.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 2nd ed. New York Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.

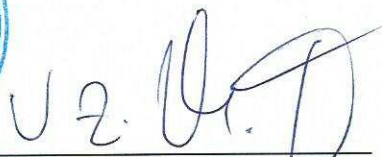
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na zlepšení výrobní technologie při obrábění zadané součásti. Hlavním cílem je navrhnout jinou technologii výroby, snížení výrobního času z hlediska využití vhodnějších nástrojů a snížit celkové náklady na obrábění.

Klíčová slova

technologie, obráběcí centrum, frézka, třískové obrábění, frézování, řezná rychlost

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the improvement of the production technology during machining of the given component. The main goal is to design a different production technology, to reduce production time terms using more appropriate tools and to reduce the total costs of machining.

Key words

technology, machining center, milling cutter, chip machining, milling, cutting speed

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOJTĚCH, J. Racionalizace technologie výroby součásti se zaměřením na snížení nákladů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Racionalizace technologie výroby součásti se zaměřením na snížení nákladů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jakub Vojtěch

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Chladilovi, CSc. za odborné vedení, rady a připomínky při zpracování bakalářské práce.

Dále děkuji panu Jiřímu Vojtěchovi a panu Jiřímu Michalíkovi za pomoc, odborné konzultace a rady při řešení praktické a technické stránky mé práce.

OBSAH

ZADÁNÍ	2
ABSTRAKT	3
ABSTRACT	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	9
PROHLÁŠENÍ	10
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	7
1 POPIS DÍLCE	8
1.1 Technologičnost součásti	8
1.2 Materiál polotovaru	9
2 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	10
2.1 Stroj.....	12
2.2 Upínání obrobků.....	13
2.3 Sled operací a náradí	14
2.4 Měřidla	20
2.5 Procesní kapalina	21
3 NÁVRH ÚPRAVY TECHNOLOGIE	23
3.1 Doporučené nástroje.....	23
3.1.1 Změna nástroje	23
3.2 Způsob upínání.....	26
3.3 Stroj.....	27
3.4 Obsluha stroje.....	29
4 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ	30
4.1 Cena nástrojů.....	30
4.2 Ekonomické hospodaření s nástroji.....	30
4.3 Výrobní čas součásti	31
4.4 Porovnání ceny strojů.....	31
DISKUZE	32
ZÁVĚR	33
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	34
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	37
SEZNAM PŘÍLOH	38

ÚVOD

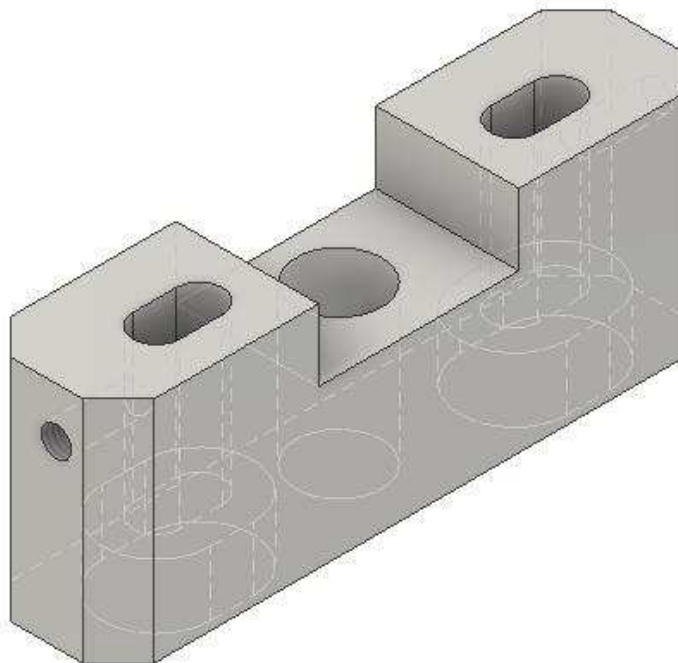
Třískové obrábění je technologie, kterou se získává součást požadovaných tvarů a rozměrů odebráním nepotřebného materiálu. Jedná se o dynamickou technologii, ale celkově zahrnuje mnoho vědních oborů. Název třískové obrábění se odvíjí od skutečnosti, že při obrábění materiálu vniká do polotovaru břit nástroje a odděluje třísku. Tato technologie se neustále mění vzhledem k výrobě nových obráběcích strojů, které umožňují zvyšovat řezné rychlosti, inovaci řezných nástrojů, jejich tvarů a vývoji nových materiálů pro obrábění [1]. Mezi druhy třískové obrábění patří soustružení, frézování, vrtání, řezání, vystružování, broušení atd.

Frézování je technologie obrábění kovů, pomocí dvou na sebe závislých pohybů. První je pohyb rotační (hlavní), který vykovává nástroj a druhý je posuvný (vedlejší) pohyb [1]. Charakteristickým prvkem frézování je vícebřitý nástroj. Frézování se rozděluje podle směru pohybu nástroje a obrobku na sousledné a nesousledné nebo podle druhu frézy na čelní a válcové [2].

Vlivem vysoké konkurence musí firmy neustále inovovat výrobu, aby dokázaly vyrábět výrobky o stejné nebo vyšší kvalitě a zároveň snížit náklady na výrobu, což souvisí se zvyšováním produktivity. Zvýšení produktivity se dosahuje snížením pracovní výroby a snížením účasti dělníka na činnosti stroje [3].

1 POPIS DÍLCE

Součást s označením 1074 se vyrábí pro firmu, která se zabývá výrobou dveřních systémů vlaků. Roční potřeba výroby je 600 ks/rok. Jedná se pouze o malou výrobní dávku vzhledem k celkové produkci firmy, ale časově náročnou kvůli vyššímu stupni obrobitelnosti materiálu. Předepsaný materiál je nerezová ocel jakosti 1.4301. Cílem bakalářské práce je vyrobit díl (viz obr. 1.1) o stejných rozměrech (viz příloha 1) a jakosti při snížení pracnosti na výrobu.



Obr. 1.1 Model součásti.

Dílec je ve tvaru kostky, která má uprostřed vybrání a v něm je průchozí tolerovaná díra o průměru 12 mm s tolerancí H7. Krajiní hrany jsou sražené v délce 5 mm pod úhlem 45°. Na obou bočních stranách se nachází průchozí závity M8, které zasahují do vyfrézovaných drážek. Drážky vedou přes celý dílec a jsou z obou stran středového vybrání. Ze spodu jsou pak tyto drážky zahlobeny. Všechny hrany jsou sražené.

1.1 Technologičnost součásti

Vyráběná součást neobsahuje tvarově složité prvky, které by se musely vyrábět speciálními technologiemi. Nejmenší drsnost povrchu je předepsaná zákazníkem na Ra 3,2 a nejpřesnější třída tolerance je H7. Tyto parametry jsou dosažitelné pomocí frézování. Po frézování už díl neprochází tepelným zpracováním kvůli zlepšování mechanických vlastností. Technologické operace potřebné pro výrobu jsou frézování, vrtání a závitování.

1.2 Materiál polotovaru

Vstupním materiálem je tažená austenitická korozivzdorná ocel jakosti 1.4301 (značení: ČSN 17 240, DIN 17455). Ocel velmi dobře odolává atmosférické korozi a produktům potravinářského průmyslu jako jsou slabé kyseliny, ovocné šťávy a mléčné výrobky [4]. Před tepelným zpracováním má třídu obrobiteľnosti 12b [5].

Využívá se pro svoje vlastnosti hlavně v potravinářském průmyslu pro tlakové nádoby, vodárny a vnější konstrukce. Je dobře svařitelná do hloubky 5 mm. V oblasti svaru se ocel stává náchylnou k mezikrystalické korozi [4]. Chemické složení je uvedeno v tab. 1.1 a mechanické vlastnosti po tažení za studena v tab. 2. Polotovarem je obdélníková tyč 35 x 20 mm v toleranci h11, při ceně cca 145,- Kč/kg [6].

Tab. 1.1 Chemické složení oceli (% hmotnosti) [4].

C	Si	Mn	P	S	N
≤0,07	≤1,00	≤2,00	max. 0,045	max. 0,030	≤0,11
Cr	Ni				
17,00–19,50	8,00–10,50				

Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti oceli [4].

R _{p0,2} min. [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
500	800–1000	12

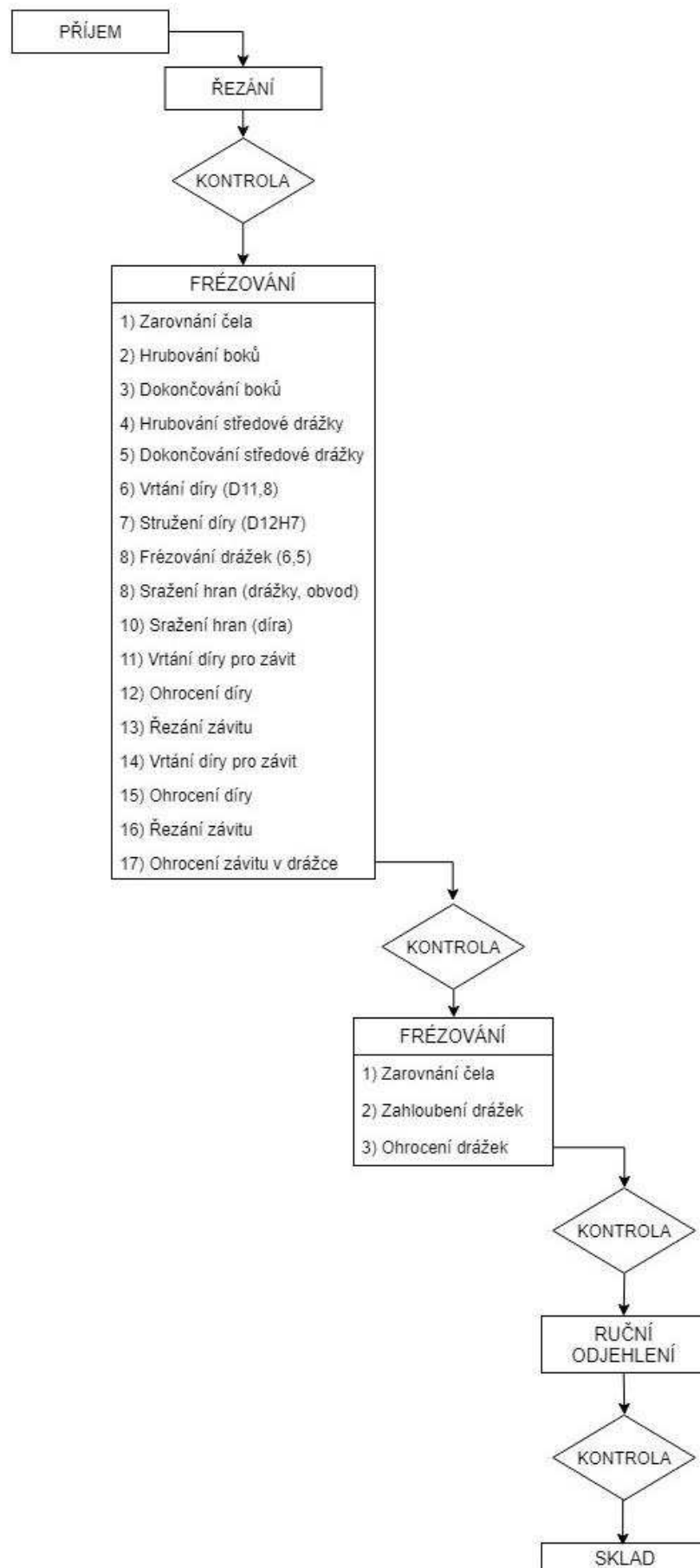
Materiálová norma ČSN 41 7240 je neplatná od roku 2015 a nebyla nahrazena žádnou jinou [7]. České hutnické firmy, ale stále podle ČSN 41 7240 nebo dle německé 1.4301, u které má materiál stejné chemické složení a mechanické vlastnosti, vyrábějí a dodávají materiál do firem [8]. Jedna z takových firem je Bohdan Bolzano, s.r.o. nebo Feron, a.s.

2 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Technologie používaná aktuálně ve firmě SOLID Brno s.r.o., která se zabývá CNC (Computer Numerical Control) obráběním nerezových slitin, hliníkových slitin a plastů. Firma disponuje dílnami obsahující přípravnu a dělení polotovaru, CNC soustruhy, CNC frézky a pracoviště dokončovacích operací.

Výrobní proces byl vytvářen v programu SolidCAM 2018 a G kód generován prostřednictvím postprocesoru. Proces obrábění první strany trvá 21:13 min. Tento údaj je pouze součet strojních časů vygenerovaný v SolidCAM 2018 a nezahrnuje čas pro výměnu nástroje, případně pojezdy rychloposuvem, protože v programu nejsou definovány parametry konkrétního stroje. Reálný čas nebyl měřen, protože zadaná součást nebyla v době bakalářské práce naplánovaná do výroby a stroj, který ji provádí, má naplánovanou výrobu půl roku dopředu.

Průchod dílce skrz všechny dílny ve firmě znázorňuje následující flowchart (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Průchod obrobku firmou.

2.1 Stroj

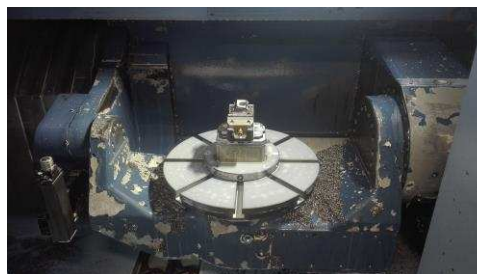
Všechny frézovací operace se provádějí na 5tiosém obráběcím centru Matsuura MX-520 (viz obr. 2.2) s technickými parametry (viz tab. 2.1). Model MX-520 nabízí vysokou přesnost a produktivitu. Jedná se o jediný stroj ve firmě, který dokáže pracovat v 5ti osách [9].

Zbytek vybavení frézovny tvoří frézovací CNC stroje od firmy Hass, buď tříosé frézky nebo tříosé frézky s přidaným otočným stolem. Ten přidává stroji schopnost pracovat ve čtyřech osách. MX-520 má ale přímo vestavěný kolébkový otočný stůl podepřený z obou stran (viz obr. 2.3), tím zaručuje mnohem větší tuhost a přesnost stroje než přídavný stůl.

Společnost Matsuura Machinery Corporation nemá v České republice své vlastní prodejní zastoupení, ale jejich produkty nabízí společnost Teximp SA, která se zaměřuje na prodej a servis CNC obráběcích soustruhů a frézek. Mezi jejich hlavní produkty patří CNC stroje od společnosti Haas Automation Inc.



Obr. 2.2 Matsuura MX-520.



Obr. 2.3 Upínací deska.

Tab. 2.1 Parametry stroje [9].

Maximální pracovní rozměry	mm	ø520 × H350
Kapacita nákladky	kg	200
Pohyby (X / Y / Z)	mm	630/560/ 510
Pohyby (A / C)	deg	-125 ~ +10/360
Pracovní plocha	mm	ø500
Typ vřetena	MAXIA spindle	
Rychlost vřetena	min ⁻¹	20000
Počet nástrojů	ks	60
NC systém	Matsuura G-Tech 31i	

2.2 Upínání obrobků

Základem je univerzální mechanický upínač od firmy LANG. Ten je připevněn do podložky pomocí čtyř polohovacích čepů. Ty zaručují přesné a stabilní upnutí k podložce, která je upnuta k pracovnímu stolu stroje. Upínání funguje na principu svěráku, dvě pohyblivé čelisti jsou k sobě přitahovány pomocí závitové tyče. Na těchto pohyblivých univerzálních nosičích jsou umístěné výměnné čelisti, které se uzpůsobují dle požadavků dílů. Tyto čelisti umožňují široké využití vzhledem k jejich flexibilitě [10]. Při upnutí jiného kusu stačí zvolit jiné výměnné čelisti. K zamezení pohybu vyměnitelných čelistí slouží v každém nosiči čtyři pera a čtyři šrouby (viz obr. 2.4). Vyměnitelné čelisti (viz obr. 2.5) jsou vyrobeny přímo firmou SOLID Brno s.r.o. Jsou zhotoveny z hliníku, aby nedocházelo při upnutí k otlakům na obráběném díle. Tento systém upínání je pouze pro jeden kus, vzhledem k ročnímu množství vyráběných dílů se finančně nevyplatí více obrobkové upínání. Samotné upnutí provádí pracovník mechanicky.

Polotovár se dodává do firmy ve formě tyče o rozměrech 35 x 20 mm. Ta se dělí na pásové pile od firmy Pilous s přídavkem na řezání 2 mm na konečnou délku polotovaru 87 mm.

Díky vyfrézovanému konečnému tvaru, který je vidět na obr. 2.5 vidí pracovník, jak má polotovár polohovat v čelistích. Na upínači se pro první frézovací operaci nenacházejí žádné dorazové prvky a pracovník musí polotovár umístit tak, aby polotovár z obou stran pokrýval vyfrézovaný obvod. Tento vystouplý vyfrézovaný obvod plní účel toho, aby nedocházelo ke kolizím při obrábění.



Obr. 2.4 Upínací přípravek.



Obr. 2.5 Vyměnitelné čelisti.

2.3 Sled operací a nářadí

V první operaci pracovník uchopí polotovár, upne ho do svěráku, zavře bezpečnostní dveře a spustí stroj spouštěcím tlačítkem.

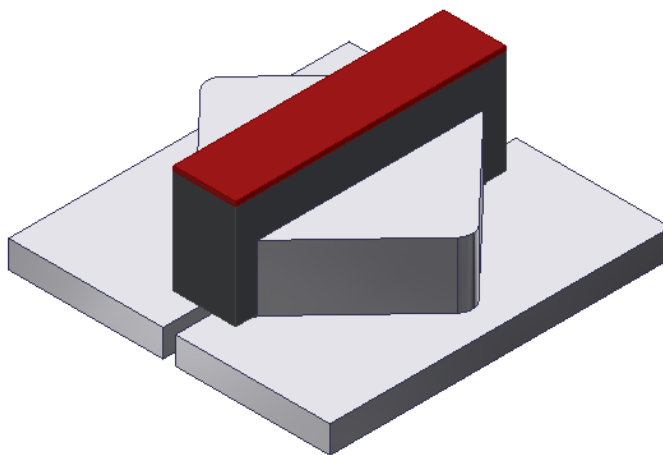
- **Zarovnání čelní plochy**

Jako první úkon je zarovnání čela (viz obr. 2.6). Použitý nástroj je čelní fréza o průměru 32 mm s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) viz příloha 2, nástroj č. 1. Břitových destiček je po obvodu umístěno pět a každá má čtyři břity.

Čelní frézování je kombinací práce hlavních břitů, které jsou umístěné po obvodu nástroje a břitů vedlejších na čele. Hlavní pohyb vykonává nástroj, který rotuje v rovnoběžné rovině se směrem vedlejšího posuvného pohybu [1].

Vyměnitelná břitová destička je těleso, na kterém se nachází břity. Na jednom VBD se nachází až osm břitů. Díky vývoji VBD klesly náklady na výrobu, protože při otupení nástroje stačí otočit případně vyměnit pouze břit, a ne celý nástroj i s nosným tělesem [1]. Jako materiál pro VBD se využívají rychlořezná ocel, slinutý karbid nebo řezná keramika. Kvůli zvýšení řezných vlastností se VBD povlakuje.

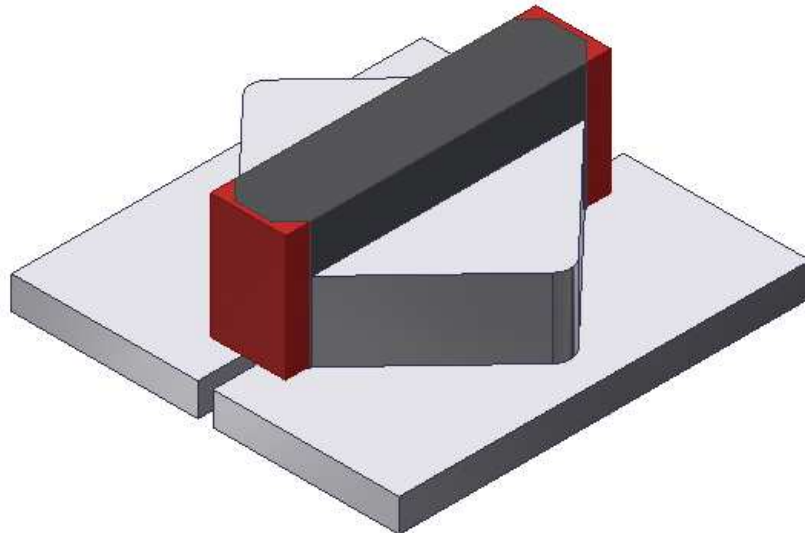
Destičky se vyrábějí v různých rozměrech, geometriích a tvarech. Podle tvaru se určuje jejich využití. Mohou být soustružnické, upichovací, závitovací, multifunkční atd.



Obr. 2.6 Zarovnání čela.

- **Hrubování boků**

Druhý úkon vykonává čelní válcová fréza o průměru 16 mm (viz obr. 2.7). Svoji dráhou zarovnává délku polotovaru z obou stran a zároveň svou dráhou vyhrubuje sražené boky s přídatkem na dokončení (viz příloha 2), nástroj č. 2.



Obr. 2.7 Hrubování bočních hran a délky.

Hrubováním se rozruší válcovaná struktura materiálu, odstraní se přebytečný materiál a vytvoří přibližný tvar hotového výrobku [2].

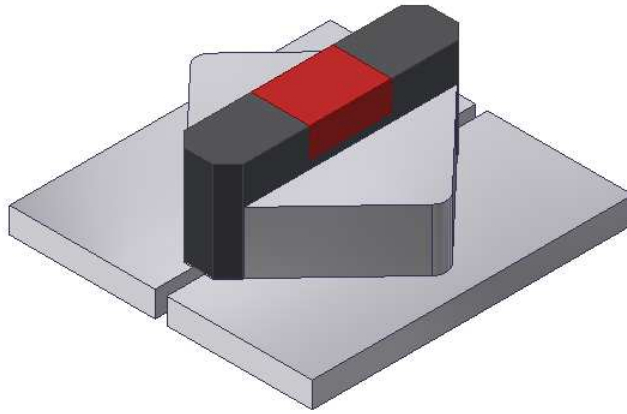
Válcová fréza se liší od čelní tím, že její břity se nachází po celém obvodu nástroje. Konkrétním nástrojem použitým pro danou operaci je čelní válcová fréza, která kombinuje vlastnosti obou nástrojů, to znamená, že břity se nacházejí jak na čele nástroje, tak po jeho obvodu [2, 3]. Fréza, která vykonává tuto operaci, je specifická rozdílným stoupáním jednotlivých břitů nástroje. Díky tomu je nástroj při obrábění stabilnější a tolik se nevychyluje.

- **Dokončování boků**

Po hrubování následuje dokončování sražených hran a celkové délky obrobku. To se provádí pro dosažení požadované drsnosti povrchu a dosažení tolerovaného rozměru [2, 3]. Řezným nástrojem je čelní válcová fréza o průměru 16 mm (viz příloha 2), nástroj č. 3. Od hrubovací frézy se odlišuje svou pravidelností vinutí šroubovice po obvodu nástroje.

- **Hrubování středové drážky**

Vytvoření středové drážky. Ta se nejdříve vyhrubuje (viz obr. 2.8) s přídatkem na dokončení čelní frézou o průměru 25 mm s VBD (viz příloha 3), nástroj č. 4. Na fréze se nachází čtyři vyměnitelné břitové destičky, každá má čtyři břity.



Obr. 2.8 Hrubování středové drážky.

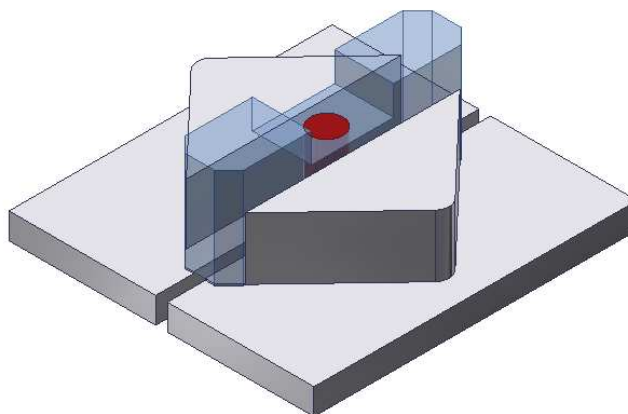
- **Dokončování středové drážky**

Pro dokončení středové drážky na požadovaný rozměr se využívá čelní válcová fréza o průměru 12 mm s břity po obvodu nástroje (viz příloha 3), nástroj č. 5. Fréza ubírá materiál na dvou rovnoběžných plochách a dokončí drážku na konečný rozměr 28 mm, zároveň provede stražení hran po stranách vybrání.

- **Vrtání díry**

Díra $\varnothing 12H7$ se vyrábí ve dvou operacích. První je předvrtání díry (viz obr. 2.9) nahrubo vrtákem o průměru 11,8 mm (viz příloha 3), nástroj č. 6. Vrták má otvory pro vnitřní chlazení.

Vrtání je technologický proces, při kterém dochází k rotaci nástroje a jeho přímočarému pohybu. Využívá se hlavně pro vytváření válcových děr. Při porovnání se soustružením nebo frézováním je u vrtání mnohem důležitější odvádění vzniklé třísky, převážně pak u hlubokých děr. Technologie se rozděluje na vrtání do plna a na jádro. Při ručním vrtání se nejprve vytvoří středící důlek pro přesné vedení vrtáku. Ten musí mít stejný vrcholový úhel jako vrták a dále musí mít dostatečnou hloubku [2].



Obr. 2.9 Vrtání díry.

- **Vyvrtávání díry**

Po předvrtání díru dokončí vyvrtávací tyč o průměru 12 mm viz (příloha 4), nástroj č. 7. Celý nástroj tvoří těleso a vyměnitelná břitová destička. Těleso je nejčastěji vyrobeno ze slinutého karbidu nebo z oceli, která je vyztužena slinutým karbidem. U vyztužených těles je výhodou kombinace houževnatosti oceli a zároveň veliké tvrdosti slinutého karbidu [11, 12].

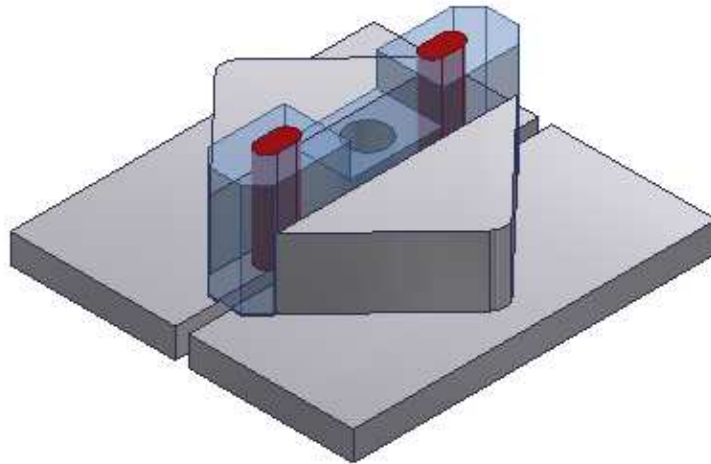
Vyvrtávání je metoda, která se používá pro zvětšení nebo zlepšení jakosti povrchu díry. Ta byla vyrobená už dříve jinou technologií například vrtáním. Vyvrtávání může provádět několik různých druhů operací jako je hrubování, vystružování nebo dokončování. Vzhledem k technologii se vyvrtávání používá u frézování i soustružení [2, 11, 12].

Vyvrtávací nástroj se skládá z tělesa a z vyměnitelných břitových destiček. Podle technologie se na obvodu nástroje nachází příslušný počet břitových destiček. Z tohoto pohledu se nástroje dělí na jednobřité, určené pro dokončovací operace a vícebřité používané pro hrubovací operace. Konstrukce držáku může být vyrobena i s přívody řezné kapaliny. Díky přívodu řezné kapaliny přímo na břítovou destičku se zlepšuje trvanlivost nástroje, řezné vlastnosti, utváření a odchod třísky. Některé držáky břitových destiček se mohou nastavovat regulací mikrometrického šroubu. Důležité je, aby každý břit odebíral stejný průřez třísky. Při vystružování vzniká velice kvalitní povrch, technologie pracuje s vysokou posuvovou rychlostí, ale daný nástroj lze použít pouze pro jednu konkrétní rozměrovou velikost. Nástroj pouze kopíruje osu předem vytvořené díry [11, 12].

Předepsaná tolerance na díru je H7. Pro jmenovitý rozměr 12 mm je horní mezí úchylka je rovna +18 μm a dolní mezní úchylka je 0 mm. Šířka tolerančního pole je rovna 18 μm [13].

- **Frézování bočních drážek**

Menší drážky po stranách se vyrábějí frézováním (viz obr. 2.10) tvarovou frézou. Tvarová fréza (viz příloha 4), nástroj č.8 má průměr 6 mm a vyrobí obě drážky rovnou na hotovo, bez hrubovací operace. Řezná kapalina se přivádí pomocí trysek umístěných u vřetena a také skrz upnutí. Samotný nástroj nemá drážky pro vnitřní chlazení, proto je použité neutěsněné upnutí typu ER. Jedná se o úkon s největší pracností.



Obr. 2.10 Frézování bočních drážek.

- **Sražení ostrých hran**

Po obrobení všech ploch nadchází sražení hran, aby se odstranily ostré hrany, případně pak otřepy po frézování. Tuto operaci provádí srážeč o průměru 10 mm s vrcholovým úhlem 90° (viz příloha 4), nástroj č. 9.

Nástroj srazí hrany okolo celého vnějšího obvodu čelní plochy, obvod vyvrtané díry, dvě frézované drážky a část hrany ve vybrání. Zbylou část hrany ve vybrání zkosí pracovníce dokončovacích operací ručně. Celá délka hrany nelze srazit, jelikož by nástroj narazil do obrobku. Protože se hrana nachází ve vybrání musí být srážeč více vysunutý z upínače.

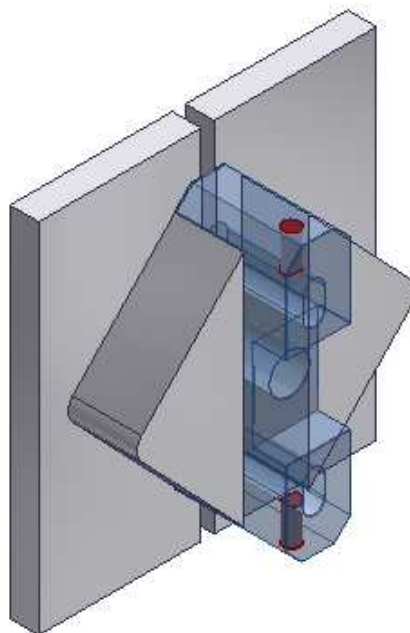
- **Tvorba závitů**

Vytvoření dvou závitů na stranách dílce (viz obr. 2.11) se dá vyrobit bez změny upnutí, protože použité obráběcí centrum dokáže pracovat v pěti osách. Proces se tedy provede bez změny upnutí a zastavení, dojde pouze k natočení kolébkového stolu.

Závit je technický prvek, který umožňuje rozebíratelné spojení dvou nebo více strojních součástí. Podle toho, kde je závit umístěn na tělese se rozděluje na vnitřní a vnější. Další dělení je dle tvaru vyráběného profilu nebo tvaru šroubovice [14, 15].

Na zadaném dílci se nachází dva vnitřní průchozí závity M5 se stoupáním 0,8. Použitý nástroj je závitník (viz příloha 5), nástroj č. 10. Závitník má přímé drážky, které slouží pro přívod řezné kapaliny a odvod třísek s řeznou kapalinou. Při řezání závitů závitníky je nutné nejdříve díru předvrtat vrtákem. Pro závit M5 je doporučený průměr vrtáku 4,2 mm (viz příloha 5), nástroj č. 11 [13]. Po vrtání díry se srazí hrany navrtávkem (viz příloha 5), nástroj č. 12, kvůli hladkému vedení závitníku a aby nedošlo k jeho zlomení [14, 15]. Poté závitník vyřeže závit v předvrtané díře.

Tentýž sled operací pro řezání závitu je proveden z druhé strany obrobku po otočení pracovního stolu.



Obr. 2.11 Řezání závitů.

- **Sražení hrany u závitů**

Posledním úkonem první frézovací operace je ohrocení závitu z vnitřní strany drážek čelní vřetovou frézou 4,5 mm (viz příloha 6), nástroj č. 13. Nástroj odebrává vytlačený materiál po řezání závitu. Odjehlení se provádí strojově, protože ruční opracování ručním odjehlovacím nástrojem (šábr) by bylo velmi obtížné.

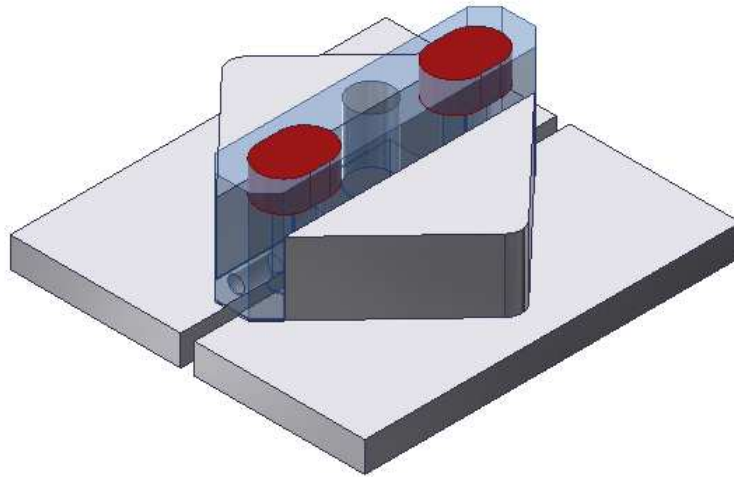
- **Zarovnání čelní plochy (druhá strana)**

Po obrobení první strany pracovník polotovaru otočí o 180° kolem osy Y a upne do mechanického upínače s připevněným dorazem. Po zavření bezpečnostních dveří pracovník spustí stroj tlačítkem start. V první řadě čelní fréza s břitovými destičkami (viz příloha 2), nástroj č. 1 zarovná čelo obrobku na konečnou výšku 32 mm.

- **Zahloubení drážek**

Zahloubení dvou drážek (viz obr. 2.12) z druhé strany do hloubky 9 mm provádí čelní vřetová fréza o průměru 8 mm. Fréza zvětšuje již dříve vyfrézované drážky.

Zahloubení je technologie využívaná pro zvětšování předem vytvořené díry, zarovnání čelní plochy děr, sražení hran atd. Rozšíření může být kuželové nebo vřetové [2].



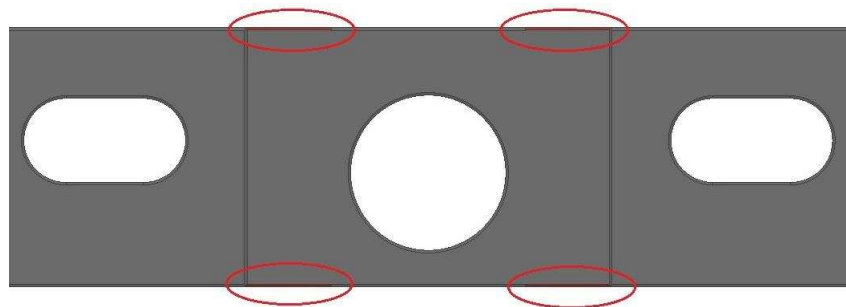
Obr. 2.12 Zahloubení drážek.

- **Sražení hran na druhé straně**

Poslední strojní operace je sražení hrany po obvodu dvou drážek, okolo vnější hrany obrobku a hrany po obvodu vyvrtané díry. To provádí srážeč o průměru 10 mm (viz příloha 4), nástroj č. 9.

- **Ruční odjehlení**

Po vykonání všech strojních operací se se celá dávka přepraví v plastových přepravkách za pomoci paletového vozíku nebo vozíku s kolečky na pracoviště dokončovacích operací. Tam pracovníce pomocí ručního odjehlovače srazí zbylé hrany na dílci (viz obr. 2.13).



Obr. 2.13 Ruční odjehlení.

2.4 Měřidla

Pro správné vyrobení zadaného dílu je nezbytně nutné provádět měření vyrobených prvků součásti. Měření se provádí měřidly, což jsou zařízení, která dovedou danou veličinu v určitém intervalu měřit. Případně pak zjistit, zda měřená veličina odpovídá požadované přesnosti v intervalu měřidla [2, 16].

Pro měření zadané součásti jsou potřeba měřidla:

- Posuvné digitální měřidlo (0–150 mm s rozlišením 0,01 mm),
- Brinellova lupa,
- válečkový kalibr 12H7,
- válečkový závitový kalibr M5x0,8 (pravý).

Všechny měřidla používá pracovník, který obsluhuje výrobní stroj přímo na pracovišti, případně pracovník kontrolního pracoviště. Ten kontroluje výrobky vždy před zahájením výroby a jednou za čas v průběhu směny.

Pracovník nejdříve zkontroluje posuvným měřítkem všechny vnější rozměry, hloubky a rozměry všech prvků dílce. Poté válečkovým kalibrem zkontroluje průchozí středovou díru. Závitovým pevným kalibrem se následně ověří i dva vytvořené závity.

Kalibrem se pouze ověří, zda vyrobený rozměr leží v předepsaném tolerančním poli. Jedná se o pevné měřidlo, což znamená, že pro každý rozměr je potřeba jiný trn. Jeden konec ukazuje, zda je výrobek vyroben správně a druhá strana má rozměr neshodného kusu [2, 16]. U závitového kalibru má neshodná strana závitu stejné stoupání, rozměr patního průměru. Rozdílný je rozměr středního a hlavového průměru.

Brinellovou lupou se nakonec změří všechna sražení hran a s přiložením pravítka i sražení 5 mm na hranách obrobku.

Pro správnou polohu a tvar určitých prvků, které se dají hůře změřit, jako jsou frézované drážky a sražené hrany po obvodu, provádí kontrola dodatečné měření na 2D měřícím světelném mikroskopu. Ten slouží pro měření součástí v krátkém čase. Součástka je nasvícena a kamera snímá přechod mezi černou a bílou barvou. Následně se v programu vytváří ručně geometrie výrobku dle výkresové dokumentace včetně tolerancí. Po vytvoření a okótování dílce je program připraven pro vlastní měření. Hotový výrobek se opatrně vloží doprostřed sklíčka, vybere se program, ve kterém jsme nastavovali geometrii a spustí se měření. Mikroskop nasvítí součást, sjede kamerou do měřicí pozice a okamžitě zobrazí rozměry na displeji. Pokud pracovník nastavil toleranční pole, program zvýrazní rozměry, které nejsou shodné s výkresovou dokumentací.

2.5 Procesní kapalina

Řezná kapalina zaujímá při obrábění významnou pozici, protože svými vlastnostmi zlepšuje řezné vlastnosti nástroje. Hlavním účelem použití jsou zlepšení trvanlivosti nástroje,

zlepšení kvality obrobené plochy, odvod třísky z místa řezu, odvod tepla z místa řezu atd. Obráběním s přívodem procesní kapaliny lze tedy zvýšit řezné podmínky v porovnání s obráběním „na sucho“. Mazací účinek určitých „kapalin“ závisí na druhu média. Použitá média mohou být kapalné, plynné nebo tuhá maziva. Každé z nich se liší vhodností použití nebo svým mazacím účinkem [17]. Přívod média do místa řezu se liší z hlediska konstrukce stroje. Nejčastější konstrukce u CNC frézovacích center je přívod řezné kapaliny pomocí trysek umístěnými okolo vřetene a skrz vřeteno. Aby se využilo přívodu média skrz vřeteno, musí být pro toto řešení uzpůsobené upínání nástroje nebo samotný nástroj.

Firma SOLID Brno s.r.o. používá procesní kapalinu kapalnou, konkrétně vodou mísitelnou emulzi. Tu tvoří směs vody a oleje, který je ve vodě rozpuštěn. Olej firma kupuje od společnosti Motultech s označením Stabilis 9221 [18].

3 NÁVRH ÚPRAVY TECHNOLOGIE

Úprava technologie se provádí z důvodu zlepšení výrobního procesu a snížení pracnosti, tedy snížení výrobních nákladů. Ve větších firmách, které vyrábějí veliké série, se klade na snížení nákladů veliký důraz, protože náklady mohou klesnout i v řádech milionů. Proto ve firmách existují útvary, které se zabývají inovováním stávající technologie.

3.1 Doporučené nástroje

Pro zlepšení výroby mají použité nástroje veliký vliv z hlediska jejich geometrického provedení, použitého materiálu, případně způsobu a typu povlakování. Každý výrobce, pak doporučuje pro své jednotlivé nástroje řezné podmínky v určitém intervalu.

Právě vyšší hodnoty řezných a posuvových rychlostí výrazně snižují strojní čas. Je ovšem důležité dbát na trvanlivost a doporučené řezné podmínky obrábění, aby nedocházelo k rychlému opotřebení nástroje. Bylo by tak dosaženo rychlejší výroby, ale navýšily by se náklady na výrobu. Následující nástroje a technologie upravují technologii z hlediska řezných podmínek, náklady na jednotlivé nástroje a celkové snížení pracnosti.

3.1.1 Změna nástroje

Úprava technologie výroby z pohledu použití jiného nástroje se provádí, protože pro různé rozměry a různé operace se dá využít rozdílných řezných vlastností daného nástroje při dosažení stejného výsledku.

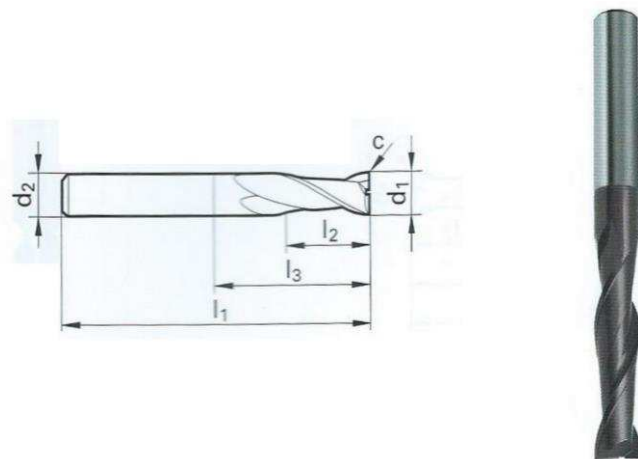
- **Předvrtání otvoru pro frézu**

Nejdelsí čas obrábění představuje frézování drážek o rozměrech 6,5 mm (viz příloha 4), nástroj č. 9. Nástroj je hodně namáhán při zavrtávacím procesu. Aby odpadl zavrtávací proces frézy, mohl by před samotným frézováním vrták vyvrtat uprostřed každé drážky najížděcí otvor. Vhodný nástroj je například vrták o průměru 6 mm od firmy Walter [19]. Je důležité, aby použitý vrták měl otvory pro přívod řezné kapaliny. Přívodem pouze pomocí trysek okolo vřetene stroje by nedocházelo ke správnému a dostatečnému přívodu kapaliny a nástroj by byl velice mechanicky a tepelně namáhán. Tím by docházelo k rychlejšímu opotřebení ostří, případně zlomení vrtáku.

- **Nahrazení tvarové frézy**

Tvarová fréza (viz příloha 4), nástroj č. 7, která frézuje obě drážky o velikosti 6,5 mm, není podle katalogu výrobce vhodná pro obrábění materiálu skupiny M, tedy korozi-vzdorné oceli [20]. Fréza je pro svůj tvar nákladnější a ani není vhodná pro obráběný materiál.

Stávající nástroj může nahradit fréza pro hluboko otvorové frézování od firmy Gühring (viz obr. 3.1) [21]. Nástroj je zvolen dvoubřitý pro snadnější odchod třísky z dutiny obrábění. Fréza je potažena povlakem s firemním názvem FIRE, bez povlaku je doporučena řezná rychlost o 40 % menší a rychlost posuvu o 25 % než s povlakem.



Obr. 3.1 Geometrie frézy pro hrubování hlubokých děr [22] a reálná vizualizace [21].

Rozměry frézy v obr. 3.1 podle katalogu [21].

$$d_1 \text{ h10} = 6 \text{ mm} \quad l_1 = 75 \text{ mm} \quad l_3 = 39 \text{ mm} \quad Z = 2$$

$$d_2 \text{ h6} = 6 \text{ mm} \quad l_2 = 30 \text{ mm} \quad c = 0,05 \text{ mm} \times 45^\circ$$

Doporučené řezné podmínky pro frézu o průměru $d_1 = 6 \text{ mm}$ (viz obr. 3.1).

$$v_c = 50 \text{ m/min} [21]$$

$$f_z = 0,015 \text{ mm} [21]$$

- **Kombinovaný vrták**

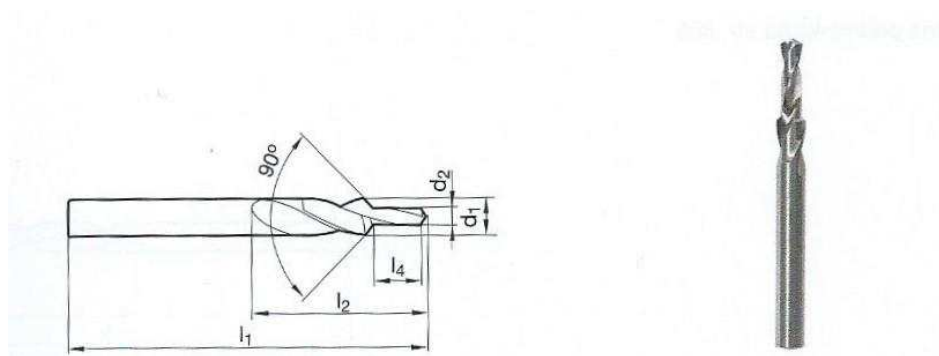
Kombinované nástroje svou geometrií a provedením kombinují vlastnosti dvou a více rozdílných nástrojů. Jejich výhodou je menší počet těles v zásobníku stroje, tím pádem odpadá čas výměny nástroje ze zásobníku do vřetena.

Pro menší série je vhodné použít kombinovaný nástroj základní řady, který není potřeba vyrábět se specifickými rozměry. Pro větší série je ekonomicky výhodnější investovat do speciálních nástrojů. Ty pak výrazně snižují čas výroby i při vysokých pořizovacích nákladech.

Při obrábění zadaného dílce by mohl strojní čas zkrátit kombinovaný nástroj, který by vyvrtal díry pro závit a zároveň srazil hrany pro následné řezání závitu. Nástroj může obsahovat i prvky pro řezání závitu, ale kvůli tomu, že díra pro závit prochází do drážky,

musely by být přesně definovány rozměry vrtací části. Tento přístup je hodně nákladný a tedy nevhodný.

Naopak vhodný je krátký stupňovitý vrták s válcovou stopkou od firmy Gühring Inc. (viz obr. 3.2). Nástroj je vyroben z rychlořezné oceli (HSS) bez povlakování [23]. Podle firemního katalogu sice není vhodné vrtání do nerezové oceli, ale po konzultaci s aplikačním technikem od firmy Gühring Inc. se tento vrták pro obrábění díl hodí [24].



Obr. 4.2 Krátký stupňovitý vrták s válcovou stopkou [23].

Doporučené řezné podmínky pro vrták o průměru $d_1 = 5,5$ mm (viz obr. 3.2).

$$v_c = 8 \text{ m/min [24]}$$

$$f_r = 0,05 \text{ mm [24]}$$

Rozměry kombinovaného vrtáku podle katalogu v obr. 3.1 [23].

$d_1 = 5,5$ mm	$l_1 = 66,0$ mm	$l_4 = 13,6$ mm
$d_2 \text{ h}6 = 4,2$ mm	$l_2 = 28,0$ mm	pro závit M5

Geometrie kombinovaného nástroje splňuje hlavní požadavky k vyrobení zadaného dílce. Předvrtaná díra pro závit M5 je 4,2 mm, úhel mezi odstupňovanými rozměry je 90°. Nejdůležitější parametr je délka předního výbrusu l_4 , ten musí být dostatečně dlouhý, aby se provrtal skrz až do drážky a zároveň nesmí být tak dlouhý, že se při srážení hrany zavrtá špička vrtáku do protější strany. Všechny parametry nástroje odpovídají technologické složitosti součásti.

- **Vystružování díry**

Vyvrtávací proces, kterým se dokončuje předem vyvrtaná středová díra se dá nahradit technologií vystružování.

Vystružování je proces, při kterém se dokončuje již předem vyrobená díra vrtáním nebo vyhrubováním [2]. Dosahuje se velmi vysoké přesnosti díry a předepsaná díra o průměru

12 mm s tolerancí H7 je touto technologií vyrobitelná. Jedná se tedy o dokončovací operaci. Používá se vícebřitý nástroj monolitický nebo s VBD [12]. Při vystružování se využívá větší rychlosti posuvu.

Při využití výstružníku je potřeba změnit průměr vrtáku. Doporučená velikost vrtáku pro vystružování díry 12 mm je 11,25 mm [2]. Tento rozměr neodpovídá nabídce prodávaných produktů od firmy Walter, od které jsou i současné vrtáky průměrů 4,2 mm a 11,8 mm [19]. V katalogu je stejný typ vrtáku v rozměrech 11,2 nebo 11,3 mm [19]. Pro účel vrtání před vystružováním je vhodný vrták 11,3 mm. Dále je zde možnost použít vrták od jiného výrobce například Gühring nebo Pramet Tools, s.r.o.

3.2 Způsob upínání

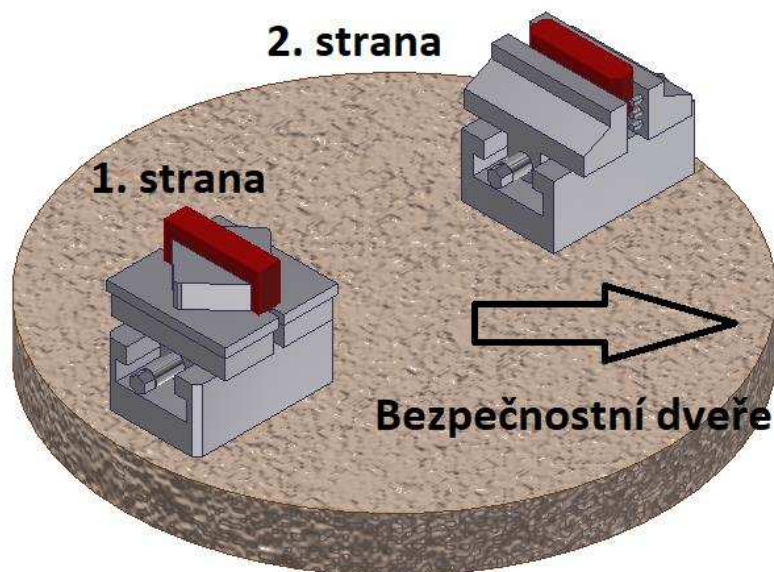
Upínání obrobků se ve firmě provádí vždy kombinací obrysového upínacího svěráku a k němu přišroubovaných vyměnitelných čelistí, které se frézují přímo na dílně. Dalšími svěráky, kterými je dílna vybavená, jsou tříčelist'ové sklíčidlo, 5ti osy mechanický upínací svěrák nebo svěrák, na kterém jsou čelisti s polohovacími kolíky. Pro každý vyráběný díl se tedy volí nejvhodnější styl upínání. Upínač může mít čelisti vybavené zoubky, které zapadnou do vysilovaných drážek v polotovaru nebo dorazy pro pevné uchycení.

Stávající upínání není nijak složité, je snadné a rychlé k manipulaci. Omezení nastává v tvarové složitosti vyměnitelných čelistí. Kvůli tomu se nedá sražení hran provádět pouze strojově, dílec musí být přepraven na další pracoviště k ručnímu dokončení. Jelikož jsou vyměnitelné čelisti vyráběny přímo ve firmě, není problém vyfrézovat sražení, aby nedocházelo ke kolizi upínače obrobku se systémem upínání nástroje a srážecí mohl zajet až k hranám při natočení obrobku kolmo na nástroj.

Tato technologie nelze aplikovat zcela bezchybně, protože nástroj nevytvoří dokonale navazující sražení v kolmých rozích. Nástroj omezuje jeho vlastní geometrie. Stávající technologie zaručí správně sražené hrany.

Úspora času při upínání je nahrazení více obrobkovým upínáním. Kvůli natáčení stolu v procesu obrábění závitů je potřeba oba upínače natočit o 90° a dotahovat obrobky ze strany (viz obr. 3.3). První upínač by sloužil pro obrobení první strany, protože není třeba mezioperační ruční odjehlení, lze dílec otočit a upnout ho ihned pro frézování strany druhé. Protože pracovní stůl má průměr 500 mm je možné na stůl upevnit dva upínače, které mají největší délku 130 mm. Pro obrábění druhé strany je potřeba zajistit doraz pro správné polohování. Z tohoto hlediska lze použít univerzální upínací systém s čelistmi s polohovacími kolíky. Díky kolíkům se dílec dorazí do definované výšky, kvůli pevnému uchycení a do

správné polohy. Touto metodou na jedno spuštění stroje vznikne jeden hotový výrobek připravený pro závěrečné ruční ohranění.



Obr. 3.3 Rozložení upínačů na pracovním stole stroje.

3.3 Stroj

V současné době se firma rozšiřuje a zvažuje nákup nových obráběcích center. Prozatím se uvažuje nad další 5ti osou frézku Matsuura MX-520. Hlavními faktory pro zvolení tohoto stroje jsou již předešlé zkušenosti s tímto typem stroje, cena a vlastnosti stroje. Dle požadovaných parametrů s ohledem na cenu by mohly vyhovovat tyto následující CNC obráběcí frézky:


- MCU-5X (viz tab. 3.1),
- AXILE G6 (viz tab. 3.2),
- MCV 1000 SPRINT 5AX (viz tab. 3.3).

Výrobci modifikují stroje dle požadavků pro konkrétní výrobu. To může znamenat jiný typ vřetene, jiné otáčky vřetene, různá kapacita nástrojů nebo odlišný typ upínání atd.

Obráběcí centra s označením MCU-5X a AXILE G6 jsou od firmy Buffalo Machinery Co. Ltd. sídlící na Taiwanu [25]. Společnost nemá v České republice svou vlastní prodejní pobočku, ale její produkty nabízí na Slovensku a v Česku dovozce obráběcích center ADATE, s.r.o. Druhý navrhovaný výrobce KOVOSVIT MAS, a.s. má naopak v České republice hodně rozšířené zastoupení prodejců.

Tab. 3.1 Technické parametry CNC frézky MCU-5X [25, 26].

MCU-5X		
Výrobce / Prodejce(ČR)	Buffalo Machinery Co. Ltd, Taiwan / ADATE	
Průměr stolu	[mm]	600
Rozměry stroje (d x š x v)	[mm]	3160 x 4240 x 3000
Vřeteno (standart)	[ot/min]	18000 (12000)
Hmotnost	[kg]	9000
Naklonění v ose A	[°]	±120
Natočení osy C	[°]	360
Vzdálenost stůl-vřeteno	[mm]	182-682
Kapacita zásobníku	[ks]	24 (32, 48, 60)
Max. průměr nástroje	[mm]	75




Tab. 3.2 Technické parametry CNC frézky AXILE G6 [27, 28].

AXILE G6		
Výrobce / Prodejce(ČR)	Buffalo Machinery Co. Ltd, Taiwan / ADATE	
Průměr stolu	[mm]	600
Nosnost stolu	[kg]	500
Naklápění v ose C	[°]	±120
Natočení osy A	[°]	360
Kapacita zásobníku	[ks]	60/96/120
Max. otáčky	[ot/min]	15000/20000
Hmotnost včetně příslušenství	[kg]	13000
Řídicí systémy	Heidenhain/Siemens/Fanuc	
Polohování	[mm]	0,005
Obsahuje separátor oleje		



Tab. 3.3 Technické parametry CNC frézky MCV 1000 SPRINT 5AX [29].

MCV 1000 SPRINT 5AX		
Výrobce	KOVOSVIT MAS, a.s.	
Průměr stolu	[mm]	520
Max. zatížení stolu	[kg]	400
Max. otáčky vřetene	[ot/min]	18000
Naklápění v ose C	[°]	±120
Natočení osy A	[°]	360
Vzdálenost čela vřetene od plochy stolu	[mm]	20-540
Změna otáček	plynule měnitelné	
Kapacita zásobníku	[ks]	30/60
Max. délka nástroje	[mm]	350
Max. hmotnost nástroje	[kg]	6,5
Hmotnost stroje	[kg]	13000
Rozměry stroje (d x š x v)	[mm]	4600 x 3600 x 3300



3.4 Obsluha stroje

Při obsluze stroje nemusí pracovník provádět žádné ohraňovací práce a vzhledem k tomu, že strojní čas na obrábění trvá přes dvacet minut, je z hlediska efektivity práce vhodné, aby pracovník obsluhoval ještě další stroj. V době, kdy se obrábí, může obsluha přejít k druhému stroji, upnout polotovary na něm a spustit cyklus.

Aplikací více strojové výroby by se měl pracovník pohybovat co nejméně, protože není vhodné, aby se musel přesouvat z jedné strany dílny na druhou. Dále musí mít přehled o obou pracovních cyklech. Kdyby náhodou došlo k neočekávané kolizi nástroje a obrobku, případně zlomení nástroje musí být obsluha pohotová a co nejrychleji stroj zastavit.

4 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

V ekonomickém zhodnocení jsou zahrnuté ceny nástrojů, porovnání ceny strojů, ekonomičtější zacházení s nástroji a zhodnocení výrobního času z hlediska úpravy řezných podmínek a nahrazení použitých nástrojů.

4.1 Cena nástrojů

Cena obráběcího nástroje se odvíjí od výrobce, složitosti, geometrie, použitého materiálu a případnému typu povlakování tělesa. Tabulka 4.1 porovnává ceny čelních válcových fréz, a cenu kombinovaného vrtáku s navrtávákem a vrtákem o průměru 4,2 mm. Tyto nástroje totiž se přímo musí kupovat a nejsou součástí nástrojářského vybavení firmy.

Tab. 4.1 Porovnání ceny nástrojů stávající a navrhované [30, 31, 32, 33, 19].

	Název		Cena
Stávající technologie	Navrtávák ø8 mm	[Kč]	196,02
	Vrták ø4,2 mm	[Kč]	2 922,00
	Tvarová fréza ø6 mm	[Kč]	1 500,00
Návrh nové technologie	Stupňovitý vrták ø4,2 mm	[Kč]	480,00
	Fréza pro hluboké otvory ø6 mm	[Kč]	1 120,00

Cena vrtáku o průměru 4,2 mm od firmy Walter je pouze základní cena, jednotliví zákazníci mají různé slevy, dle toho, v jaké míře objednávají produkty od daného prodejce.

Z tabulky 4.1 vyplývá, že nově navrhovaný nástroj je levnější o 380 Kč. Snížení ceny bylo dosaženo zvolením stupňovitého vrtáku, který nahrazuje vrták o průměru 4,2 mm a navrtávák. Díky náhradě dvou nástrojů za jeden kombinovaný přístroj bylo ušetřeno 2 638,02 Kč.

4.2 Ekonomické hospodaření s nástroji

Manipulace s nástroji se výrazně projevuje na jejich životnosti. Důležité je skladování a sledování stavu ostří. U povlakovaných vrtáků je velmi problematické otupení, protože přímo na dílně se nedá vrták přebrousit a musí s rovnou vyřadit.

Mnohem výhodnější je posílat vrtáky firmě, která se zabývá přebroušením a přepovlakováním vrtáků. Jednou z takových je v České republice je Oerlikon, která má pobočky v Brně a Jihlavě. Obnovení řezných vlastností vrtáku je ale výhodné až od průměru 10 mm, proto by se větší vrtáky daly posílat na přebroušení a přepovlakování.

4.3 Výrobní čas součásti

Výrobní časy při obrábění stávajícími technologiemi jsou odečtené z programu SolidCAM, zato strojní časy po úpravě technologie jsou odhadované na základě doporučených rezných podmínek daného nástroje. Některé časy odpadnou kvůli vyřazení nástroje z technologického procesu a náhradou jiného typu nástroje s odlišnými reznými vlastnostmi. Přehled upravených strojních časů a zdůvodnění změny zobrazuje tabulka 4.2.

Tab. 4.2 Zhodnocení výrobních časů.

Název operace	Aktuální čas [min]	Nový čas [min]	Popis
Nahrazení vyvrtávání díry vystružováním	0:32	0:05	Při vystružování se využívá nástroje s více břity, což umožňuje rychlejší rychlosti posuvu.
Předvrtání otvoru	-	-	Předvrtání otvoru se provádí kvůli menšímu namáhání frézy při zavrtávacím procesu. To snižuje opotřebení břitů a zvyšuje se životnost.
Použití jiné frézy	8:43	-	Navrhovaná fréza je materiálově i tvarově vhodnější pro frézování hlubokých děr než ta stávající a zároveň je méně nákladná.
Aplikace stupňovitého nástroje	0:25	-	Použitím kombinovaného vrtáku se eliminuje vedlejší čas pro výměnu nástrojů. Tedy než se dostane jeden nástroj do pracovní pozice.
	0:17	-	
Aplikace více obrobkového upínání	-	-	Při více obrobkovém upínání odpadá čas manipulace dělníka s materiálem. Samotné jedno upnutí trvá déle, než pracovník vyjme oba výrobky a ustaví nové, tím se jedná o snižování účasti dělníka na pracovním cyklu. Dále se sníží počet výměn nástrojů.

4.4 Porovnání ceny strojů

Cena daného stroje se odvíjí od určité modifikace, kapacity nástrojů, velikosti otáček vřetene nebo pak složitějších komponent, které jsou dělané spíše na zakázku například senzor pro měření drsnosti a měření rozměrů. Porovnání ceny několika vybraných strojů zobrazuje tabulka 4.3.

Tab. 4.3 Porovnání ceny strojů [32, 34, 35].

Stroj		Cena
Matsuura MX-520	[Kč]	7 000 000
MCU-5X	[Kč]	5 900 000
AXILE G6	[Kč]	6 800 000
MCV 1000 SPRINT 5 AX	[Kč]	5 500 000 - 6 000 000

DISKUZE

V práci byl shrnut současný stav výroby zadané součásti včetně popsání jednotlivých procesů obrábění. Následně pak byly navrženy úpravy z hlediska upnutí, řezných nástrojů a technologie obrábění. Stávající a navrhovaná technologie výroby byly na konci práce ekonomicky zhodnoceny a porovnány.

Tato práce může dále pokračovat řešením přesného zjištění výrobního času dle navrhované úpravy technologie. Doporučené obráběcí stroje mají přibližně stejné parametry jako ten stávající a můžou být brány v potaz vedením při rozšiřování firmy. Všechny tři navrhované stroje jsou od firem, které sídlí nebo mají své obchodní zástupce přímo v Brně. Tento faktor je výhodou při vzájemném jednání nebo při rychlé potřebě servisních pracovníků.

Při koupi navrhovaného stroje by bylo možné nejdříve naprogramovat obráběcí proces ve vybraném CAM (Computer Aided Manufacturing) systému jako je třeba SolidCAM nebo PowerMill. Program následně simulovat s doporučenými nástroji a vhodnými řeznými podmínkami pro daný proces a materiál. Při fyzickém obrábění lze porovnat výrobní čas se simulací včetně přidání času na upnutí, protože nový návrh počítá s více obrobkovým upínáním a následně oba výsledky porovnat.

V případě, že zákazník zvýší počet vyráběných kusů, je vhodné zvolit více speciálních nástrojů. Jsou sice cenově nákladnější, ale díky nim se snižuje čas pracovního cyklu.

Další řešení úpravy výrobního procesu by mohla být, změna technologie výroby závitů. Současně se tvoří předvrtání otvoru a následné řezání závitníkem. Závit je dále možné frézovat nebo tvářet. Při tváření se předvrtá prvotní otvor a následně závitník tvaruje svou geometrií profil závitů. Výhodou je, že při procesu nevzniká tříska. Frézování závitu je naopak rychlejší metodou díky použití vyšších řezných podmínek, z důvodu lepšího odvodu třísek z místa řezu.

ZÁVĚR

Optimalizace výrobního procesu a snižování nákladů na výrobu je důležitý prvek v provozu podniku a konkurenceschopnosti, protože výrobci může ušetřit náklady na výrobu nebo snížit prodejní cenu při stejné kvalitě. Tento faktor je zavádějící při volbě zákazníka, za jakou cenu dokáže výrobce součást vyrobit a v jaké kvalitě.

Cílem této bakalářské práce bylo popsat stávající technologii obrábění zadané součásti od firmy Solid Brno s.r.o., popsání procesů, včetně sledu operací, použitých nástrojů a řezných podmínek. Dále pak navrhnout technologii, která by vedla ke snížení nákladů a ekonomicky posoudit, zda navrhovaná technologie vede ke snížení nákladů. Vzhledem ke stávající a navrhované technologii vyplynulo, že:

- kombinované nástroje jsou využívanější ve větších výrobních sériích, jsou nákladnější, ale vhodnější pro dané obrábění, protože zkracují strojní čas a mají vhodnější geometrii,
- využitím stupňovitého vrtáku dojde současně k vrtání díry pro závit a zároveň sražení hrany pro následné řezání závitu bez vyjetí nástroje a výměny za navrtávák,
- volbou vhodnější frézy se podařilo snížit pořizovací náklady o 380 Kč,
- přidáním technologie vrtání prvotního otvoru dojde ke snížení opotřebení frézy a zvýšení životnosti nástroje,
- změnou technologie vyvrtávání na vystružování se sníží strojní čas díky vyšší posuvové rychlosti vícebřitého nástroje při zachování přesnosti,
- upnutím druhého svěráku na otočný stůl stroje se docílí, že na jedno spuštění stroje vznikne hotový výrobek určený jen ke konečnému ručnímu ohrocení a zároveň se sníží pracnost na dílci,
- obráběcí CNC frézka je nejvhodnější z hlediska současného vybavení firmy, v rámci bakalářské práce byl proveden pouze průzkum, jaké další stroje s obdobnými vlastnostmi se v současnosti nacházejí na trhu a porovnání jejich cen.

V bakalářské práci se podařilo upravit technologii, která vedla ke snížení nákladů na výrobu součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Sandvik Coromant, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Výrobní technologie II: [obrábění]*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2189-4.
3. ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy (ETR): Metodika návrhu technologického postupu*. VUT FSI Brno, 2017.[cit. 2018-03-25].
4. ČSN 41 7240. Ocel 17 240 Cr-Ni. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1972.
5. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
6. BALÁK, Marek. *Informace k bakalářské práci* [e-mailová komunikace]. 22. září 2017 8:45 [cit. 2018-03-27].
7. ŘEZNÍČEK, Jiří. ČSN 41 7240: Technické normy. TECHNOR [online]. Hradec Králové: Technor.cz, 2005 [cit. 2018-03-26].
Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/417240-csn-41-7240_4_3458.html
8. X5CrNi18-10 [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2018 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
9. 5-Axis Vertical Machining Center MX Series. Matsuura [online]. Japan: Matsuura Machinery Corporation, 2011 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.matsuura.co.jp/english/contents/products/mx-02.html>
10. Makro-Grip obrysový upínací svěrák. Protechnik systems [online]. Moravská Třebová: protechnik systems, 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.protechnik-systems.cz/makro-grip-obrysovysverak>
11. Vyvrtávání. ELUC [online]. Olomouc: Olomouc [cit. 2018-03-26].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1217>
12. *Technická příručka: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2010.
13. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-751-2.
14. Závity. ELUC [online]. Olomouc: Olomouc [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1432>
15. CHLUDIL, P. *Výroby závitů závitníky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 74 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

-
16. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
 17. JERSÁK, Jan a Alexey POPOV a kolektiv autorů. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014.
 18. MICHALÍK, Jiří. Emulze [e-mailová komunikace]. 10. května 2018 7:14 [cit. 2018-05-10].
 19. Vrták ze slinutého karbidu s chladicím kanálkem: A3389DPL.
<https://www.walter-nastroje.cz/index.php/e-katalog>: Pavel Dušánek - distributor Walter [online]. Walter: Walter, 2015 [cit. 2018-04-04].
Dostupné z: <https://www.walter-nastroje.cz/>
 20. *Katalog: InovaTools: Kopierfräser Stirntorus 332*. InovaTools: InovaTools GERMAN TOOLS GROUP, 2017.
 21. *GÜHRING: Fräswerkzeuge*. Deutschland: GÜHRING, 2014, s. 194.
 22. *GÜHRING: Fräswerkzeuge*. Deutschland: GÜHRING, 2014, s. 195.
 23. *GÜHRING: Vrtací nástroje*. B01. Německo: Gühring, 2016, s 721.
 24. KODYS, Miloš. Aplikační technik Gühring s.r.o. Konzultace k bakalářské práci o frézovacích a vrtacích nástrojích [Konzultace]. [cit. 2018-04-3].
 25. MCU-5X. In: ADATE [online]. Brno-Lesná: ADATE, 2018 [cit. 2018-04-23].
Dostupné z: <http://www.adate.cz/cs/uvod/vertikalni-obrabeci-centra/petiosa-obrabeci-centra/37-mcu-5x.html>
 26. *PĚTIOSÁ OBRÁBĚCÍ CENTRA MCU-5X*. Brno-Lesná: ADATE, 2018.
 27. AXILE G6. In: ADATE [online]. Brno: ADATE, s.r.o, 2018 [cit. 2018-04-23].
Dostupné z: <http://www.adate.cz/cs/uvod/vertikalni-obrabeci-centra/petiosa-obrabeci-centra/144-axile-g6.html>
 28. AXILE G6. Brno-Lesná: ADATE, 2018
 29. MCV 1000 5AX. In: KOVOSVIT MAS [online]. Polsko: KOVOSVIT MAS, 2018 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1000-5ax-p38.html#main>
 30. NC navrtávák 90°, HSSCo5, 221185, 8mm. M+V [online]. M+V: M+V, 2018 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=74373>
 31. PULTAR, Pavel. *Cena vrtáku* [e-mailová komunikace]. 24. dubna 2018 7:50 [cit. 2018-04-27].
 32. MICHALÍK, Jiří. *Cena stroje a frézy* [e-mailová komunikace]. 24. dubna 2018 8:03 [cit. 2018-04-27].
 33. VOJTĚCH, Jiří. *Cena stupňovitého vrtáku* [e-mailová komunikace]. 24. dubna 2018 5:47 [cit. 2018-04-27].
-

34. KORDIOVSKÝ, Jiří. *Cena strojů* [e-mailová komunikace]. 24. dubna 2018 5:47 [cit. 2018-04-27].
35. HORÁČEK, Michal. *Cena stroje* [e-mailová komunikace]. 27. dubna 2018 13:14 [cit. 2018-04-27].
36. *H&H katalog: Antivibrační frézy pro nerez*. H&H. 2013.
37. *Rotating Tool Lines Catalog: ECF../45*. Iscar: Iscar, 2017.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK


Zkratka/Symbol	Jednotky	Popis
A	[%]	Tažnost
AlTiN	[-]	Nitrid hliníku a titanu
C	[-]	Uhlík
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Cr	[-]	Chrom
HSSE	[-]	Vysoce výkonná rychlořezná ocel
Mn	[-]	Mangan
N	[-]	Dusík
Ni	[-]	Nikl
P	[-]	Fosfor
Ra	μm	Střední aritmetická úchylka profilu
R _{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
R _m	[MPa]	Mez pevnosti
S	[-]	Síra
Si	[-]	Křemík
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
c	[mm x °]	Velikost stažení na špičce nástroje
d ₁	[mm]	Průměr řezné části nástroje
d ₂	[mm]	Průměr upínací stopky
f	[m/min]	Rychlost posuvu
f _r	[mm.ot. ⁻¹]	Posuv nástroje při vrtání
f _z	[mm]	Posuv na zub
l ₁	[mm]	Délka nástroje
l ₂	[mm]	Délka funkční části
l ₃	[mm]	Délka povlakované části
l ₄	[mm]	Délka odsazení
n	[min ⁻¹]	Otáčky
s.r.o.	[-]	Společnost s ručením omezením
t _{AS}	[min]	Strojní čas
v _c	[m/min]	Řezná rychlost
TiAlN	[-]	Nitrid titanu a hliníku
TiN	[-]	Nitrid titanu
Z	[-]	Počet břitů nástroje

SEZNAM PŘÍLOH


Příloha 1	Výrobní rozměry součásti
Příloha 2	Přehled obráběcích nástrojů č. 1–3
Příloha 3	Přehled obráběcích nástrojů č. 4–6
Příloha 4	Přehled obráběcích nástrojů č. 7–9
Příloha 5	Přehled obráběcích nástrojů č. 10–12
Příloha 6	Přehled obráběcích nástrojů č. 13

PŘEHLED OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ Č. 1–3


Nástroj číslo 1:	Čelní fréza $\varnothing 32$ mm		
Materiál	VBD	IC830 slinutý karbid (Označení Iscar)	
	VBD (povlak)	10PCS (Označení iscar)	
Výrobce	Iscar		
Řezná rychlost	v_c	192	[m/min]
Rychlost posuvu	f	0,4	[m/min]
Otáčky	n	1910	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	0:50	[min]
Chlazení	Tryskami okolo vřetene		



Nástroj číslo 2:	Čelní válcová fréza $\varnothing 16$ mm (hrubovací) [36]		
Materiál	TiAlN		
Výrobce	H&H		
Řezná rychlost	v_c	100	[m/min]
Rychlost posuvu	f	0,5	[m/min]
Otáčky	n	2000	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	6:42	[min]
Chlazení	Tryskami okolo vřetene		




Nástroj číslo 3:	Čelní válcová fréza $\varnothing 16$ mm (dokončovací)		
Materiál	AlTiN		
Výrobce	H&H		
Řezná rychlost	v_c	70	[m/min]
Rychlost posuvu	f	0,5	[m/min]
Otáčky	n	1393	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	0:29	[min]
Chlazení	Tryskami okolo vřetene		




PŘEHLED OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ Č. 4–6


Nástroj číslo 4:		Čelní fréza $\varnothing 25$ mm	
Materiál	VBD	IC830 slinutý karbid (Označení Iscar)	
	VBD (povlak)	10PCS (Označení iscar)	
Výrobce	Iscar		
Řezná rychlost	v_c	120	[m/min]
Rychlost posuvu	f	0,4	[m/min]
Otáčky	n	1528	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	1:59	[min]
Chlazení	Tryskami okolo vřetene		




Nástroj číslo 5:		Čelní válcová fréza $\varnothing 12$ mm (dokončovací)	
Materiál	TiAlN		
Výrobce	H&H		
Řezná rychlost	v_c	60	[m/min]
Rychlost posuvu	f	0,3	[m/min]
Otáčky	n	2700	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	0:38	[min]
Chlazení	Tryskami okolo vřetene		





Nástroj číslo 6:		Vrták $\varnothing 11,8$ mm	
Materiál	Slinutý karbid na nerezovou ocel (označení Walter)		
Výrobce	Walter		
Řezná rychlost	v_c	53	[m/min]
Vrcholový úhel	140°		
Otáčky	n	1545	[min ⁻¹]
Strojní čas	t_{AS}	0:24	[min]
Chlazení	Otvory skrz nástroj a tryskami okolo vřetene		




PŘEHLED OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ Č. 7–9

Nástroj číslo 7:		Vyvrátávací tyč $\varnothing 12$ mm		
Materiál	VBD	IC20N (Označení Iscar)		
	VBD (povlak)	10PCS (Označení Iscar)		
Výrobce	Iscar			
Řezná rychlost	v_c	89	[m/min]	
Rychlost posuvu	f	1	[m/min]	
Otáčky	n	2122	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	0:32	[min]	
Chlazení	Otvory skrz nástroj a tryskami okolo vřetene			


Nástroj číslo 8:		Tvarová fréza $\varnothing 6$ mm		
Materiál	AlTiN			
Výrobce	InovaTools			
Řezná rychlost	v_c	60	[m/min]	
Rychlost posuvu	f	0,9	[m/min]	
Otáčky	n	3283	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	8:43	[min]	
Chlazení	Tryskami okolo vřetene a skrz neutěsněné upnutí ER			

Nástroj číslo 9:		Srážec $\varnothing 10$ mm		
Materiál	IC900 (Označení Iscar) [37]			
Výrobce	Iscar			
Řezná rychlost	v_c	80,1	[m/min]	
Rychlost posuvu	f	1,5	[m/min]	
Vrcholový úhel	90°			
Otáčky	n	8500	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	0:50	[min]	
Chlazení	Tryskami okolo vřetene			

PŘEHLED OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ Č. 10–12

Nástroj číslo 10:		Závitník M5			
Materiál	VBD	HSSE (Vysoce výkonná rychlořezná ocel)			
	Povlak	TiN (Nitrid titanu)			
Výrobce	InovaTools				
Řezná rychlost	v_c	4,7	[m/min]		
Otáčky	n	300	[min ⁻¹]		
Strojní čas	t_{AS}	0:24	[min]		
Chlazení	Tryskami okolo vřetene				

Nástroj číslo 11:		Vrták ø4,2 mm		
Materiál	Slinutý karbid na nerezovou ocel (označení Walter)			
Výrobce	Walter			
Řezná rychlost	v_c	20,58	[m/min]	
Vrcholový úhel	140°			
Otáčky	n	1560	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	0:25	[min]	
Chlazení	Otvory skrz nástroj a tryskami okolo vřetene			

Nástroj číslo 12:		Navrtávák ø8 mm		
Materiál	HSS Co5			
Výrobce	Gühring			
Řezná rychlost	v_c	30,15	[m/min]	
Rychlost posuvu	f	1	[m/min]	
Vrcholový úhel	90°			
Otáčky	n	1200	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	0:17	[min]	
Chlazení	Tryskami okolo vřetene			

PŘEHLED OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ Č. 13

Nástroj číslo 13:		Čelní válcová fréza $\varnothing 4,5$ mm		
Materiál	TiAlN			
Výrobce	Arno			
Řezná rychlost	v_c	92	[m/min]	
Rychlost posuvu	f	0,5	[m/min]	
Otáčky	n	6500	[min ⁻¹]	
Strojní čas	t_{AS}	0:17	[min]	
Chlazení	Tryskami okolo vřetene a skrz neutěsněné upnutí ER			