



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBY HŘÍDELE ŘÍZENÍ

OPTIMIZATION OF PRODUCTION STEERING SHAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Hlavinka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Martin Hlavinka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Optimalizace výroby hřídele řízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na optimalizaci výroby hřídele řízení, který je vyráběn z lisovaného drátu v návinu na robotizované výrobní lince. Součástí práce je popis výrobního podniku, dále popis stávající výroby součásti, včetně použitých strojů a nástrojů a nastavených řezných podmínek. Součástí práce je optimalizace řezných podmínek a návržení nových řezných nástrojů.

Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Rozbor součásti hřídel
2. Popis výrobní robotizované linky
3. Použité řezné nástroje
4. Optimalizace výroby součásti

Závěr

Seznam literatury:

PTÁČEK, L. a kol.. Nauka o materiálu I. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN: 80-7204-283-1.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

MATTOX, M. Handbook of Physical Vapour Deposition (PVD) Processing.

2.vyd.Albaquerque (USA): APR,2010. 917s. ISBN: 978-0-8155-2037-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 3. 11. 2015



prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tvorbou optimální dělené třísky při technologii soustružení. Materiálem pro zhotovení hřídele řízení je ocel C35RC vhodná ke tváření a obrábění, ze které se na horizontálních tvářecích lisech zhotovují polotovary. Ty se dále obrábějí na výrobní robotizované lince, kde vzniká problém s nedělenou třískou. Pro stanovené řezné podmínky jsou firmou používány řezné nástroje, které nejsou příliš vhodné pro dané typy technologických operací. Doporučené hodnoty řezných podmínek se liší od stanovených řezných podmínek. Výsledkem bude volba nových řezných nástrojů pro technologické operace soustružení, aby docházelo k tvorbě krátké dělené třísky.

Klíčová slova

Hřídel řízení, vyměnitelná břitová destička, tříska, řezná rychlost, šířka záběru ostří, posuv, utvařec třísek

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the creation of the optimal divided chip in the turning technology. The material for production of the steering shaft is steel C35RC suitable for forming and turning from which semi-finished products are produced at horizontally forming presses. They are machined at the production robotized line where the problem with the undivided chip arises. For the specified set of cutting conditions the uses the cutting tools which aren't very suitable for the given types of technological operations. The recommended values of cutting conditions are different from the specified set of cutting conditions. The result will be choice of new-cutting tools for turning technological operations to shape short divided chip.

Keywords

Steering shaft, indexable cutting insert, chip, cutting speed, the swath width of the blade, feed, chipformer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLAVINKA, M. *Optimalizace výroby hřídele řízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 45 s. 3 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Optimalizace výroby hřídele řízení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

30. 04. 2016

Datum

Martin Hlavinka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Děkuji také technologovi Obrobny CIE Ždánice, s.r.o. Karlu Kališovi za cenné rady a provedení experimentu. Dále děkuji řediteli výroby Lisovny CIE Ždánice, s.r.o. Ing. Radku Drozdovi za námět k bakalářské práci a celé společnosti CIE Ždánice, s.r.o. za poskytnuté informace.

OBSAH

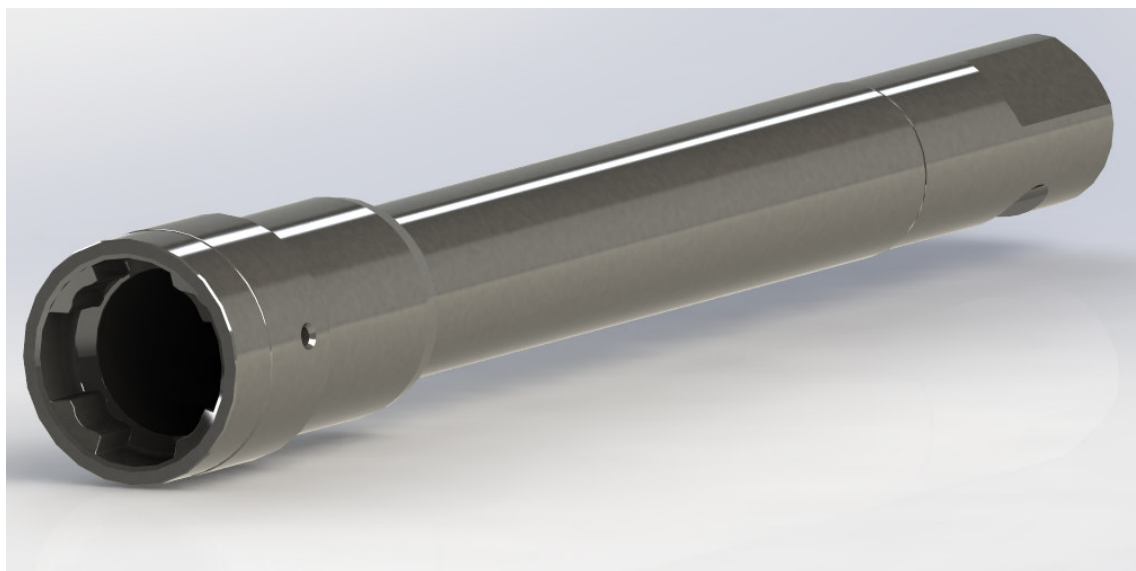
ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 POPIS VÝROBNÍHO PODNIKU.....	9
1.1 Vyráběné produkty firmou CIE Ždánice, s.r.o.....	10
2 ROZBOR SOUČÁSTI HŘÍDELE ŘÍZENÍ	12
2.1 Materiál	12
2.2 Polotovar	13
2.3 Problematika výroby	14
3 POUŽITÁ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A ROBOTIZOVANÁ LINKA.....	15
3.1 Automatizace linky	15
3.2 CNC obráběcí stroje.....	15
3.3 Robotická ramena.....	18
3.4 Procesní kapalina	18
4 VÝROBNÍ PROCES A POUŽITÉ ŘEZNÉ NÁSTROJE.....	19
4.1 Výrobní postup.....	19
4.2 Problematické operace	19
4.3 Možnosti optimalizace výroby.....	24
5 OPTIMALIZACE VÝROBY HŘÍDELE ŘÍZENÍ.....	25
5.1 Operace č. 510.1.....	25
5.2 Operace č. 520.1.....	27
5.3 Operace č. 520.2.....	28
5.4 Operace č. 530.1.....	31
5.5 Operace č. 530.2.....	33
5.6 Odzkoušení navržených rezných nástrojů pro operaci č. 520.2.....	35
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá tvorbou optimální dělené třísky při výrobě součásti hřídele řízení. Hřídel řízení (viz obr. 1) je vyráběn pomocí objemového tváření za studena a následně je obroben na výrobní robotizované lince. Smyslem skloubení těchto dvou výrobních technologií je možnost použití měkkých ocelí, u kterých dochází při tváření ke zpevnění na požadovanou mez pevnosti. Využití materiálu je u objemového tváření za studena vyšší než při obrábění. Obráběním se hřídel řízení pouze dohotoví na požadovaný tvar.

Při technologii soustružení nastává problém, jelikož se utváří nedělená vinutá tříska. Zabraňuje plynulosti výroby, protože se navíjí na nástroj nebo obrobek. Senzory na robotickém ramenu při výměně obrobků detekují navinutou třísku na obrobku a na nástroji a výroba se zastaví. Pracovník musí odblokovat vstup do prostoru robotických ramen a odstranit závadu. V ostatních technologických operacích frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a zahlubování se utváří požadovaná tříska. Tvorba nedělené třísky je pravděpodobně způsobena nevhodně zvolenými řeznými nástroji nebo tvářeným polotovarem.

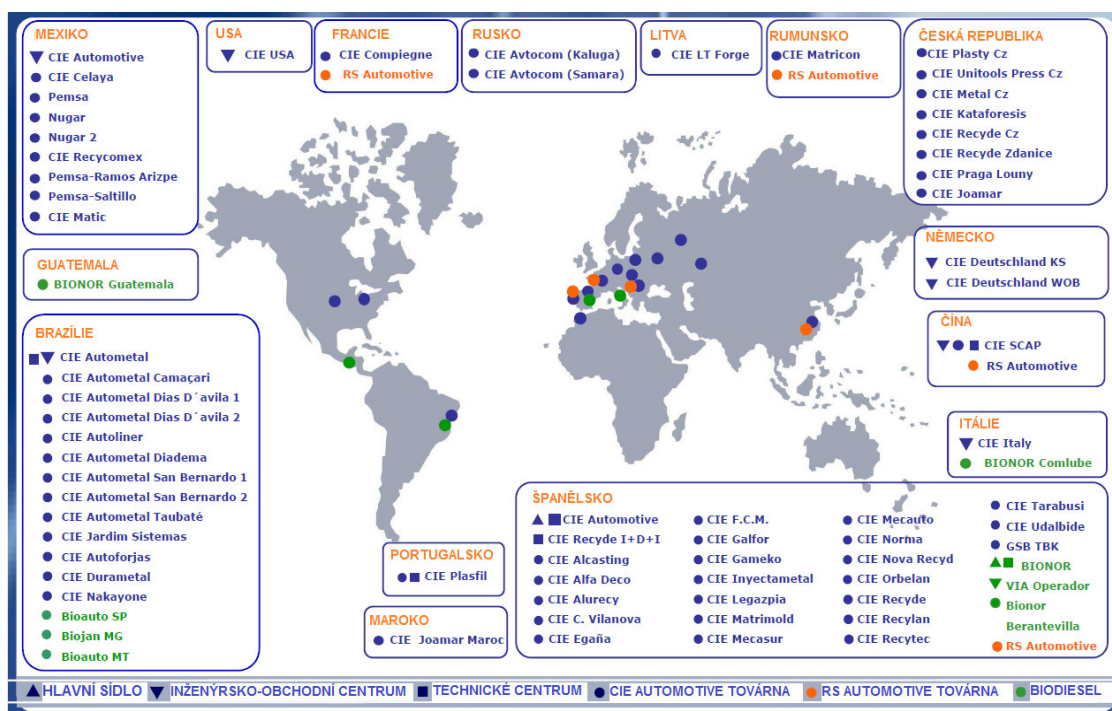
Optimalizací výroby bude navržení nových řezných nástrojů pro problematické soustružnické operace, jejímž cílem je utváření optimální dělené třísky. Podmínkou je volba řezných nástrojů od výrobců, které má firma zavedené v databázi dodavatelů a také snaha volit vyměnitelné břitové destičky (VBD) pro soustružnické nože používané ve firmě. Pro každou problematickou operaci byly navrženy tři nové řezné nástroje.



Obr. 1 3D model hřídele řízení – modelováno v programu Solidworks.

1 POPIS VÝROBNÍHO PODNIKU

Firma CIE Ždánice, s.r.o. byla založena dne 24. února 2006 v Jihomoravském kraji v bývalém areálu Šroubárny Ždánice, a.s. Po přestěhování závodu Šroubárny Ždánice, a.s. byla odkoupena výrobní hala o rozloze 14 500 m², která prošla řadou změn a renovací. CIE Ždánice, s.r.o. spolu s dalšími výrobními podniky CIE patří španělské firmě CIE Automotive a spadá tak mezi 72 společností rozšířených po celém světě (viz obr. 1.1). Firma se zabývá výrobou komponentů pro automobilový průmysl, zejména značek Ford, Volkswagen, Saab, DAF, BMW a pro společnost Bosch [1,2].



Obr. 1.1 Rozmístění hlavních výrobních podniků ve světě [1].

Výrobní podnik je rozdělen na dva závody. První závod se nazývá Lisovna a druhý závod Obrobná.

Lisovna o rozloze 9 500 m² zahrnuje výrobní linku a sklad s materiálem, ze kterého se objemovým tvářením za studena zhotovují výrobky. Výhodou je malé procento odpadu při výrobě a také možnost použití měkkých ocelí vhodných ke tvářením. Výrobní linka je sestavena z horizontálních tvářecích lisů značky Hatebur, Sakamura a Nedschroef. Tyto stroje byly odkoupeny z bývalého podniku Šroubárny Ždánice, a.s. Jsou zde také válcovací stroje pro výrobu závitů [2].

V Obrobně probíhají technologické operace soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a zahlubování u hřídel přicházejících z Lisovny. Rozloha výrobní haly činí 5 000 m² a je vybavena CNC soustruhy a frézky. Nyní ale prochází modernizací a jsou zde sestaveny dvě nové automatizované linky složené z CNC obráběcích soustruhů a center značky DOOSAN a robotických ramen značky FANUC pro manipulaci s polotovary. Plánuje se zhotovení třetí linky na výrobu hřídelí (podzim 2016). Výroba hliníkových pístů na původních CNC strojích bude zrušena [1,2,3].

1.1 Vyráběné produkty firmou CIE Ždánice, s.r.o.

Převážná většina výroby se provádí v Lisovně, kde se také vyrobené součásti kontrolují, balí a posílají na expedici. Hlavní důvody pro výrobu komponentů technologií objemovým tvářením za studena jsou ty, že dochází ke snížení množství odpadu a také k rychlejší výrobě oproti technologii soustružení. Pouze hřídele řízení putují z Lisovny do Obrobný na dokončující obráběcí operace. Zde je možné vidět několik druhů součástí vyrobených v Lisovně obr. (1.2 ÷ 1.6) [2].



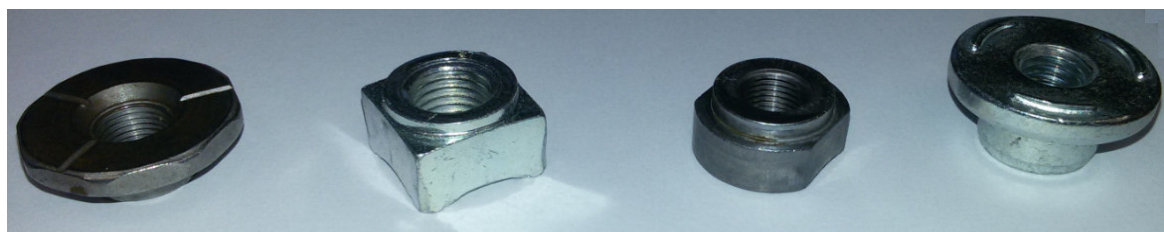
Obr. 1.2 Uzavírací šroub olejové vany.



Obr. 1.3 Svorník a kulový čep.



Obr. 1.4 Držák chladiče a olejového filtru.



Obr. 1. 5 Přivařovací matice.



Obr. 1.6 Rotorové hřídele.

V Obrobně se vyrábějí různé druhy hliníkových pístů pro rozvod brzdové kapaliny

(viz obr 1.7), ale s přicházející modernizací a změnou výroby (červen 2016) se ukončí tato výroba a budou se vyrábět pouze hřídele řízení (viz obr. 1.8) [1].



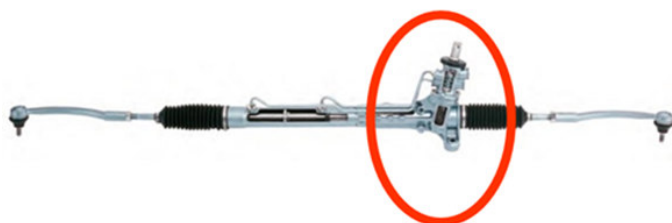
Obr. 1.7 Pisty pro rozvod brzdové kapaliny.



Obr. 1.8 Hřídel řízení.

2 ROZBOR SOUČÁSTI HŘÍDELE ŘÍZENÍ

Hřídel řízení je součást, která má na přední straně vyhlazený otvor s ozubením. Na konci vnitřního otvoru je zhotovena průchozí díra sloužící k mazání spoje. Zadní část je upravena dvěma vyfrézovanými plochami a jednou drážkou pro spojení s rotorovou hřídelí. Hřídel řízení slouží k přenosu krouticího momentu z rotorového hřídele, který je spojen pomocí hřídelového kloubu k volantu. Na protilehlé straně je hřídel řízení připevněn pomocí ozubení ke spojovacímu hřídeli. Nachází se zde elektrický posilovač řízení pro snadnější manipulaci s volantem. Spojovací hřídel má na protilehlé straně pastorek a pomocí hřebenového pohonu se nám pohybují dlouhé kulové čepy doprava nebo doleva podle směru otáčení. Hřídel řízení je odlišný pro každý typ vyráběného automobilu. Na obr. 2.1 je znázorněno místo uložení hřídele řízení, sestava hřídele řízení s posilovačem řízení a spojovacím hřídelem je na obr. 2.2 [4].



Obr. 2.1 Místo uložení hřídele řízení [5].



Obr. 2.2 Sestava hřídelového spoje [5].

2.1 Materiál

Pro výrobu se používá materiál C35RC, který patří do evropské normy EN ISO 10263–4. Tato ocel je používána firmou CIE Ždánice, s.r.o. na výrobu řídicích a bezpečnostních dílů pro automobilové systémy. Číselné označení oceli je 1.1060. Jedná se o válcovaný ocelový drát o \varnothing 27 mm. Materiál je nízkouhlíková nelegovaná ušlechtilá ocel určená pro petchování a protlačování za studena a následné kalení a popouštění. Z důvodu uklidnění oceli se při výrobě přidává do taveniny Al (viz tab. 2.1). Vyrábí se v obloukové peci a po tepelné úpravě se fosfátuje a namydlí pro lepší mazání při tváření. Chemické složení materiálu (viz tab. 2.1) je změněno oproti normě EN ISO 10263–4 podle požadavku zákazníka [6,7].

Tab. 2.1 Chemické složení [6].

Materiál	Chemické složení [%]						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
C35RC	0,34	0,15	0,60	max. 0,025	0,020	max. 0,10	0,020
	÷	÷	÷		÷		÷
	0,38	0,30	0,80	0,035	0,040		

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti [6].

Materiál	Mez pevnosti R_m [Mpa]	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [Mpa]	Tažnost A [%]	Kontrakce Z [%]
C35RC	max. 520	min. 370	min. 30	min. 65

Při výrobě musí ocel splňovat důležité požadavky jako plastické narovnání drátu, dobrou tvařitelnost a dobrou obrobiteľnosť. Materiál přichází do podniku již tepelně upravený, a to žíhaný na měkko a připravený k výrobě. Mechanické vlastnosti materiálu (viz tab. 2.2) jsou změněny dle požadavků firmy CIE Ždánice, s.r.o. s ohledem na tváření [6,8].

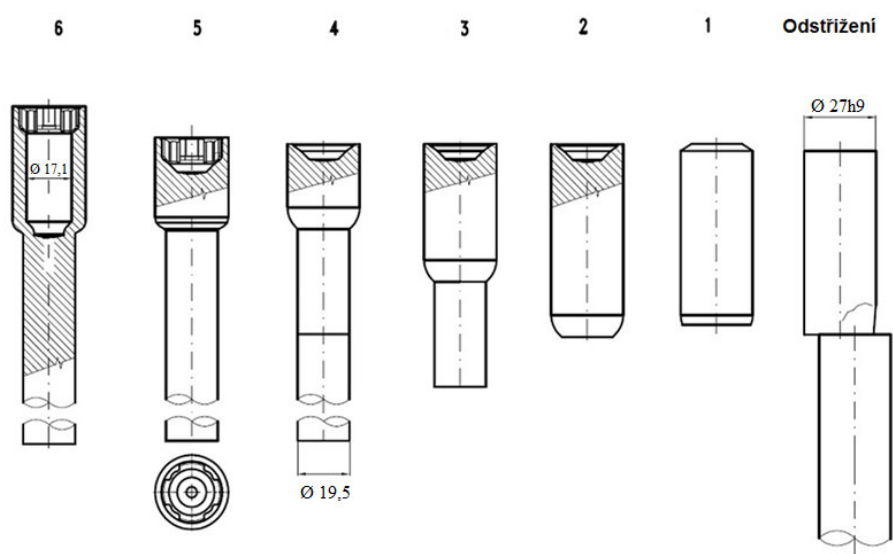
Materiál je dodáván v cívkách od německého dodavatele (viz obr. 2.3). Průměr navinutého drátu činí 27 mm, vnější průměr cívky je maximálně 1 500 mm a vnitřní průměr je minimálně 700 mm. Cívky jsou sepnuty čtyřmi ocelovými pásy z důvodu bezpečné manipulace. Hmotnost cívek je $m = (1\ 800 \div 2\ 100)$ kg [6].



Obr. 2.3 Dodávaný materiál.

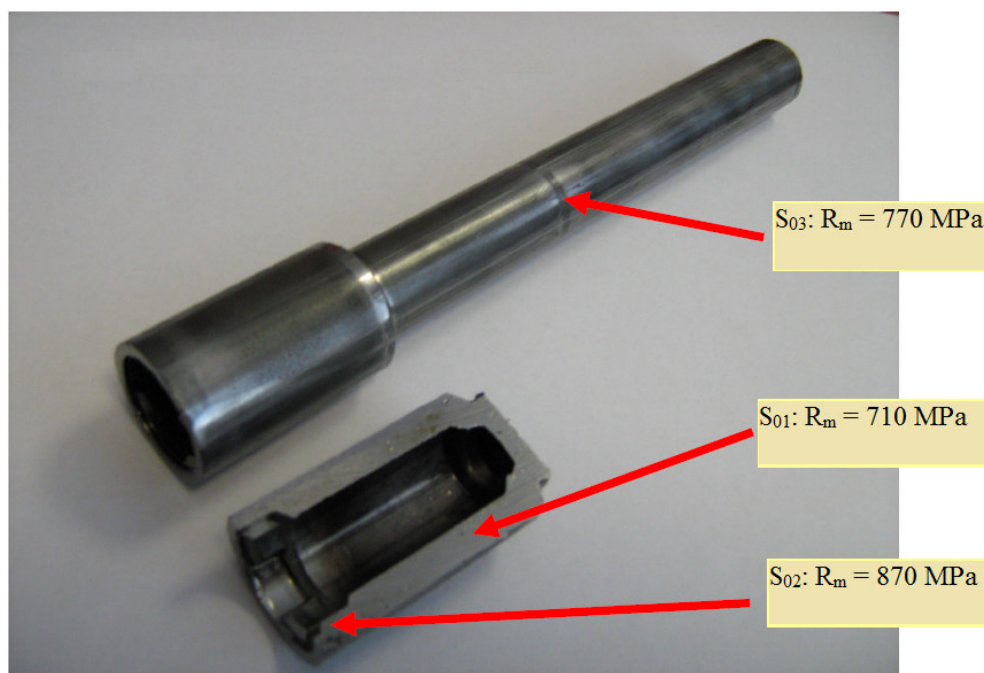
2.2 Polotovar

Pro výrobu hřídele řízení se používá ocelový drát C35RC v návíně, který se na horizontálním hydraulickém tvářecím lisu Nedschroef NH – 628M vytváří do polotovaru a je dále obráběn v Obrobně na robotizované lince. Drát se odvíjí do tvářecího lisu a je rovnán pomocí kladek. Následně narovnaný drát prochází přes tři sondy rozmístěny o úhel 120°, které kontrolují povrchové vady materiálu. Hřídel je zhotoven na 6 tvářecích operacích (viz obr. 2.4). Na začátku dochází k odštíření špalíku a v 1. operaci se špalík kalibruje. Dále se na tři operace dopředně protlačuje dřík a v 5. a 6. operaci se zpětně protlačuje otvor a ozubení [5].



Obr. 2.4 Postup zhotovení lisovaného polotovaru hřídele řízení [5].

Za směnu trvající 8 hodin se vyrobí (6 000 ÷ 7 000) ks. Dle výpočtů se materiál při tváření zpevní z maximální hodnoty meze pevnosti $R_m = 520$ MPa na mez pevnosti $R_m = (710 \div 870)$ MPa. Požadovaná mez pevnosti je odlišná na třech různých místech, a to v místě ozubení, v otvoru hlavy a na dříku (viz obr. 2.5). Po tváření se kontroluje poloha zubů a také probíhá vizuální kontrola povrchu zubů, zda nejsou na povrchu trhliny. Dokončovací operace probíhají v Obrobně na automatizované lince [8].

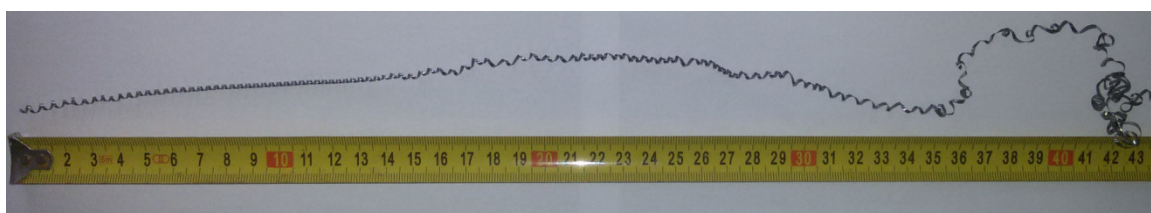


Obr. 2.5 Oblasti s vypočítanou mezí pevnosti [8].

2.3 Problematika výroby

Při výrobě součásti na CNC obráběcích soustruzích dochází k tvorbě nedělené třísky (viz obr 2.6). Tento problém se vyskytuje pouze při technologii soustružení a omezuje plynulost výroby. Při obrábění ostatních operací (viz příloha 1) vznikají požadované dělené třísky. Třísky vzniklé soustružením v operaci č. 520.1, 520.2 a 530.1 (viz příloha 1) zaujímají velký objem v prostoru stroje a namotávají se i na obrobek. Po skončení operace č. 520.2 je použit shrnovač třísek, popřípadě při navinutí třísky na obrobek a nástroj musí obsluha přerušit výrobu a odstranit závadu.

Cílem je najít způsob, kterým by docházelo k utváření optimální dělené třísky a byla tak zaručena plynulost výroby.



Obr. 2.6 Příklad nedělené třísky v operaci č. 520.2 (viz příloha 1).

3 POUŽITÁ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A ROBOTIZOVANÁ LINKA

Součást je vyráběna z tvářeného polotovaru. Pro zhotovení hřídele řízení jsou použity technologie soustružení, vrtání, vyvrtávání, vystružování, zahlubování a frézování.

Soustružení patří mezi nejrozšířenější technologii třískového obrábění. Slouží ke zhotovení rotačních součástí, kde jsou použity nástroje s jedním břitem – nepřerušovaný řez. Nástroj se skládá z upínací a řezné části. Upínací část se nazývá stopka nebo nožový držák. Řezná část může být celistvá, dělená nebo výměnná. Hlavní rotační pohyb koná obrobek a vedlejší posuvný pohyb koná nástroj. Soustružením můžeme obrábět vnější i vnitřní plochy, tvarové i kuželové plochy, zápichy a závity [9,10].

Technologie vrtání, vyvrtávání, vystružování a zahlubování slouží k výrobě děr. Hlavní rotační pohyb konají nástroje (vrtáky, výstružníky, záhlubníky), méně často obrobky. Při vrtání dochází ke zhotovení díry do plného materiálu. Naopak u vyvrtávání rozšiřujeme předpracované otvory (předlité, předlisované, předvrtané) na požadovaný rozměr. Pomocí výstružníků dosahujeme požadované struktury povrchu u děr. Záhlubníky slouží ke sražení hran nebo k zahloubení otvorů pro šrouby [9,11].

Frézování je metoda, kde se obrobek obrábí břity rotujícího nástroje. Hlavní pohyb koná nástroj (fréza), vedlejší posuvný pohyb nejčastěji obrobek. Moderní CNC stroje mohou pohyby realizovat ve všech směrech. Frézování můžeme rozdělit na válcové a čelní. Při obrábění hřídele řízení se používá čelní frézování, u kterého jsou břity vytvořeny na obvodě i na čele nástroje [9,10].

3.1 Automatizace linky

Se začínající výrobou nové součásti hřídele řízení došlo k pořízení nových obráběcích strojů. Jedná se o vertikální CNC obráběcí centra a o horizontální CNC soustruhy, které jsou uspořádány do výrobní linky. Stroje byly dodány od firmy TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE s.r.o. Mezi jednotlivými stroji jsou umístěna robotická ramena značky FANUC a dopravní pásy pro přemísťování obrobků.

Pracovník skládá vylisované polotovary na dopravní pás, ze kterého je robotické rameno odebírá a vkládá do stroje. Při obrábění vloženého polotovaru se robotické rameno otočí k dopravnímu pásu a uchopí do robotické ruky další polotovar, vrátí se před daný obráběcí stroj a po skončení technologické operace vymění součásti. Obrobený polotovar hřídele řízení je skládán na následující dopravní pás, který putuje k obrábění na stroji daném výrobním postupem. Takto naprogramovaný mechanismus probíhá pro všechny operace až po skládání hotových výrobků na pás, ze kterého jsou odebírány pracovníkem. Mezi danými operacemi se provádí kontrola nebo odstranění nedělené třísky, která brání plynulému chodu celé automatizované linky. Z důvodu bezpečnosti jsou jednotlivá pracoviště robotických ramen ohrazena ocelovým plotem.

3.2 CNC obráběcí stroje

Hřídele řízení se vyrábí na dvou linkách, z nichž každá se skládá ze sedmi obráběcích strojů.

První tři horizontální CNC obráběcí soustruhy DOOSAN LYNX 220b (viz obr. 3.1) slouží pro sražení a zarovnání čelní plochy, navrtání středícího důlku, hrubování válcové plochy a jemné soustružení v oblasti hlavy (viz příloha 1 operace č. 510.1 ÷ 520.2).



Obr. 3.1 CNC soustruh DOOSAN LYNX 220b [12].

CNC soustruh je navržen pro velmi přesné soustružení a vrtání s vybavením vysokorychlostních a vysoce výkonných vřeten. Jedná se o sérii soustruhů pro rychlou a přesnou výrobu malých výrobků. Technické údaje jsou pracovány v tab. 3.1 [12,13].

Tab. 3.1 Technické údaje o CNC soustruhu DOOSAN LYNX 220b [12,13].

Specifikace	Jednotky	Údaje
Max. průměr soustružení	[mm]	320
Max. délka soustružení	[mm]	305
Max. otáčky vřetena	[min ⁻¹]	5 000
Max. výkon motoru vřetena	[kW]	15
NC Systém	[-]	FANUC/SIEMENS
Počet nástrojů	[ks]	12
Počet řízených os	[-]	2

Následně se polotovar obrábí na dvou horizontálních CNC obráběcích soustruzích DOOSAN PUMA 2 100 MS (viz obr. 3.2). Provádí se soustružení válcové plochy v oblasti hlavy, zarovnání čelní plochy a sražení hrany v otvoru vylisované hlavy. Po dokončení operací soustružení se prohloubí otvor hlavy vrtáním a vyvrtáváním a následně se vystruží (viz příloha 1 operace č. 530.1 ÷ 530.7).



Obr. 3.2 CNC soustruh DOOSAN PUMA 2100 MS [14].

CNC obráběcí soustruh DOOSAN PUMA 2 100 MS je určen pro přesné soustružení, dlouhodobou vysokou přesnost a dosažení vynikajících povrchových úprav. Stroj je vybaven vrtacími hlavicemi a také programovatelným konikem. Technické údaje jsou zpracovány v tab. 3.2 [14,15].

Tab. 3.2 Technické údaje o CNC soustruhu DOOSAN PUMA 2100 MS [14,15].

Specifikace	Jednotky	Údaje
Max. průměr soustružení	[mm]	481
Max. délka soustružení	[mm]	520
Max. otáčky vřetena	[min ⁻¹]	4 500
Max. výkon motoru vřetena	[kW]	18,5
NC Systém	[-]	FANUC/SIEMENS
Počet nástrojů v zásobníku	[ks]	12
Počet řízených os	[-]	5

Poslední fází je vrtání, frézování a zahlubování na dvou vertikálních CNC obráběcích centrech DOOSAN DNM 400 II (viz obr. 3.3). Vrtají se neprůchozí díry na povrchu hřídele, které mají danou vzájemnou polohu 120°. Vrtá se také otvor pro mazání spoje, kde je sražená hrana pomocí zpětného odjehlováku. Poslední operací je frézování ploch na konci dřívku (viz příloha 1 operace č. 540.1 ÷ 540.5).



Obr. 3.3 CNC obráběcí centrum DOOSAN DNM 400 II [16].

Tab. 3.3 Technické údaje CNC obráběcího centra DOOSAN DNM 400 II [16,17].

Specifikace	Jednotky	Údaje
Pohyb (X/Y/Z)	[mm]	762/435/510
Rozměry stolu	[mm]	920x435
Max. otáčky vřetena	[min ⁻¹]	8 000
Max. výkon motoru vřetena	[kW]	15
NC Systém	[-]	FANUC/SIEMENS/ HEIDENHAIN
Počet nástrojů v zásobníku	[ks]	30
Počet řízených os	[-]	6

Stroj je určen pro přesné frézování a vrtání. Vysoká tuhost stroje je zapříčiněna stojanem do tvaru C, který je vyroben z litiny. Obrobené plochy dosahují vysokých přesností

a kvalitních povrchů. Stroj je vybaven ekologickým oddělováním oleje od vody. Technické údaje jsou zpracovány v tab. 3.3 [16,17].

3.3 Robotická ramena

Pro rychlejší a přesnější manipulaci s obrobky zde byla použita robotická ramena značky FANUC. Jedna výrobní automatizovaná linka je složena celkově ze čtyř robotů. Jedná se o lehké roboty s dutým zápěstím, které jsou navrženy pro snadnou manipulaci ve stísněných prostorech. FANUC M-20iA 10L (3 ks) je typ robotu, který může dosáhnout do délky 2 009 mm a zvedne závaží o hmotnosti 10 kg. FANUC M-20iA (1 ks) dosáhne do délky 1 811 mm a zvedne závaží o hmotnosti 20 kg (viz obr. 3.4). Jedná se o stejný typ robotů pracujících v šesti osách, které se liší pouze délkou ramene a užitečnou nosností [18,19].



Obr. 3.4 Robotické rameno FANUC M-20iA [18].

3.4 Procesní kapalina

Při výrobě se používá procesní syntetická kapalina značky HOUGHTON. Úkolem dané kapaliny je chladit, mazat, čistit a také ochránit obrobek před korozi. Jedná se o kapalinu HOCUT 4 730, která je mísitelná s vodou (6 ÷ 10 % vody). Při obrábění náročné operace č. 520.2 se používá vodní emulze s koncentrací vody 8 %, u ostatních operací je koncentrace vody 6 %. Obsahuje minerální olej a polární aditiva, která prodlužují životnost nástrojů. Má vysoké mazací schopnosti a používá se při obrábění hliníku, oceli a titanových slitin. Neobsahuje bor, formaldehyd, chlor a fenol, což prodlužuje životnost emulze bez nutnosti pravidelného ošetření. Výhodou je velmi nízká pěnivost, díky které může být použito vyšších rezných rychlostí. Kapalina není závislá na kvalitě vody, tudíž můžeme používat pro ředění jak měkkou tak tvrdou vodu [20].

4 VÝROBNÍ PROCES A POUŽITÉ ŘEZNÉ NÁSTROJE

Výroba hřídele řízení na nové automatizované lince probíhá od ledna 2015 a nedaří se optimalizovat tvorbu dělené třísky při technologii soustružení. Ostatní technologické operace probíhají bez komplikací, tudíž se bude provádět pouze optimalizace technologie soustružení. Snahou bude najít způsob řešení, díky kterému by se utvářela krátká dělená tříška, pokud možno za stejných nebo vyšších řezných podmínek. Z toho vyplývá udržet, popřípadě navýšit výrobnost jednak z důvodu zkrácení strojních časů při obrábění, tak plynulosti výroby, aby pracovník nemusel zastavovat výrobu a odstraňovat navinutou třísku. Vzhledem k tomu, že je linka nově postavena a automatizace naprogramována na danou výrobu, nebudou se výrobní stroje ani výrobní postup měnit. Výrobnost hřídele řízení se pohybuje v rozmezí (630 ÷ 670) ks/směnu.

4.1 Výrobní postup

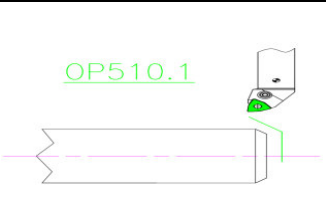
Firmou stanovený výrobní postup je v příloze 1.

4.2 Problematické operace

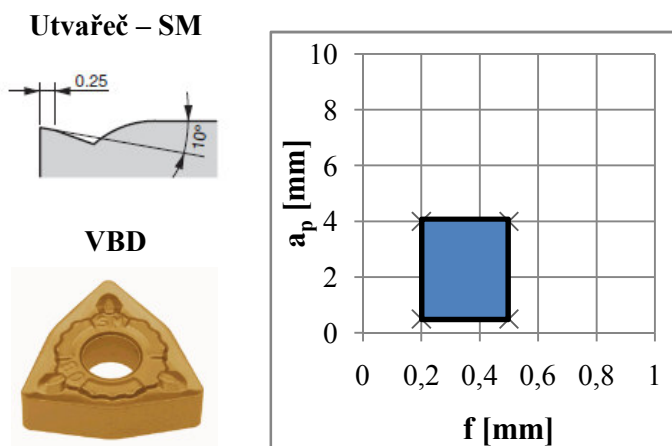
Uvedené tab. 4.1, 4.3, 4.5, 4.7 a 4.9 jsou součástí výrobního postupu (viz příloha 1).

a) Operace č. 510.1

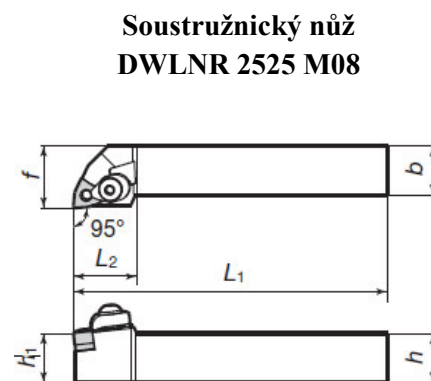
Tab. 4.1 Operace č. 510.1 z výrobního postupu.

510.1	CNC OBRÁBĚČÍ SOUSTRUH DOOSAN LYNX 220b	SOUSTRUŽÍ SRAŽENÍ 40°/2 NA Ø 18,44 + ČELO. OVLIVŇUJE SEŘIZOVÁNÍ ROZMĚRU 8 ^{+0,2} A CELKOVOU DÉLKU L=192,6 ^{±0,2}		N1	0,25
					170
					0,8 ÷ 1

Již při první operaci (viz tab. 4.1) nastává problém s nedělenou třískou, která má vlnitý tvar. Dochází zde k zarovnání a sražení čelní plochy. Kvalita povrchu odpovídá hrubě obrobeným plochám s průměrnou aritmetickou úchylkou drsnosti povrchu Ra = 6,3 µm. Při soustružení se používá VBD s označením WNMG 080408 – SM AH630 (viz obr. 4.1), která má tvar trigonu a soustružnický nůž vnější pravý s označením DWLNR 2525 M08 (viz obr. 4.2) od společnosti Tungaloy.



Obr. 4.1 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [21,22].



Obr. 4.2 Soustružnický nůž [23].

Použitá negativní VBD je určena pro střední obrábění s šířkou záběru ostří $a_p = (1 \div 4)$ mm a utvařečem třísky SM. Materiál VBD je slinutý karbid ISO M15 \div M30, který se používá pro obrábění nerezových ocelí. Tento povlakovaný materiál má vynikající odolnost vůči opotřebení a vylamování bříty. Povlak destičky AH630 tvoří (Ti, Al) N báze a je nanesen fyzikální metodou povlakování (PVD), kde je povlak nanesen o tloušťce $(1 \div 5)$ μm . Soustružnický nůž je určen pro čelní a podélné soustružení. Je zde využit mechanismus upínání typu D (upínka a páka), který umožňuje výbornou stabilitu v místě řezu [21,22,23,24].


Stanovené hodnoty řezných podmínek se při soustružení pohybují v doporučených mezích udávaných výrobcem (viz tab. 4.2). Důvodem tvorby nedělené třísky může být nevhodný druh utvařeče třísek nebo povlaku.

Tab. 4.2 Řezné podmínky v operaci č. 510.1 [22].

Řezné podmínky:	Jednotky	Doporučené výrobcem	Stanové ve firmě (viz příloha 1)
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,5 \div 4	0,8 \div 1
Posuv – f	[mm]	0,2 \div 0,5	0,25
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	90 \div 190	170

b) Operace č. 520.1

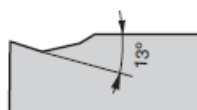
Tab. 4.3 Operace č. 520.1 z výrobního postupu.

520.1	CNC OBRÁBĚCÍ SOUSTRUH DOOSAN LYNX 220b	SOUSTRUŽÍ $\varnothing 18,44/R0,8/20^\circ/\varnothing 19/R0,8/30^\circ/R /7^\circ$ + ROZMĚR $42,5^{+0,2}/45,9_{-0,2}$ HRUBUJE $\varnothing 24h9/ROZMĚR 20^{+0,1}/R0,8/30^\circ$		N3	0,22
					250
					0,25 \div 1,5

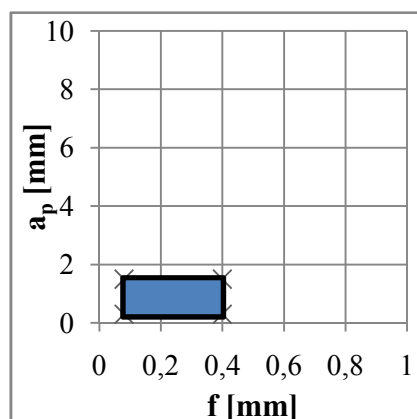
Jedná se o operaci, která má velmi negativní dopad na plynulost výroby z toho důvodu, protože se soustruží hřídel řízení po celém obvodu s různou šířkou záběru ostří (viz tab. 4.3) s výjimkou hlavy a již obrobené čelní plochy. Tříška má dlouhý nepravidelný vinutý tvar. V prostoru stroje zaujímá velký objem a navíjí se i na obrobek. Kvalita obrobené plochy je stejná jako v předchozí operaci č. 510.1, tudíž průměrná aritmetická úchylna drsnosti povrchu $R_a = 6,3$ μm . Používá se zde VBD WNMG 080404 – TSF T9115 (viz obr. 4.3) a soustružnický nůž vnější pravý DWLNR 2525 M08 (viz operace č. 510.1) od společnosti Tungaloy.

VBD je určena pro dokončování, kde šířka záběru ostří je v rozmezí $a_p = (0,3 \div 1,5)$ mm s utvařečem třísek TSF. Destička je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 \div P20. Tento druh povlakovaného karbidu slouží k obrábění ocelí a je odolný proti opotřebení a vylamování. Na destičce je nanesen vícevrstvý povlak TiCN + Al₂O₃, který je vyroben chemickou metodou povlakování (dále jen CVD). Tloušťka povlaku T9115 je $(3 \div 16)$ μm . Soustružnický nůž je totožný jako v předchozí operaci č. 510.1 [24,25,26].

Utvařeč – TSF



VBD



Obr. 4.3 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [25,26].

Při porovnání řezných podmínek je zřejmé, že stanovené hodnoty odpovídají doporučeným hodnotám výrobce s výjimkou šířky záběru ostří (viz tab. 4.4). Nedělená tříska se tvoří nejspíše z důvodu nevhodného druhu utvařeče třísek, povlaku nebo různé hodnoty šířky záběru ostří. Její hodnota se mění v rozmezí (0,25 ÷ 1,5) mm v různých částech obrobku.

Tab. 4.4 Řezné podmínky v operaci č. 520.1 [26].

Řezné podmínky:	Jednotky	Doporučené výrobcem	Stanovené ve firmě (viz příloha 1)
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,3 ÷ 1,5	0,25 ÷ 1,5
Posuv – f	[mm]	0,08 ÷ 0,4	0,22
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	150 ÷ 300	250

c) Operace č. 520.2

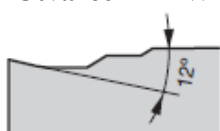
Tab. 4.5 Operace č. 520.2 z výrobního postupu.

520.2	CNC OBRÁBĚCÍ SOUSTRUH DOOSAN LYNX 220b	SOUSTRUŽÍ Ø 24h9/R0,8/ ROZMĚR 20 ^{±0,1} /30° - ROZMĚR 20 ^{±0,1}		N4	0,05
					350
					0,1

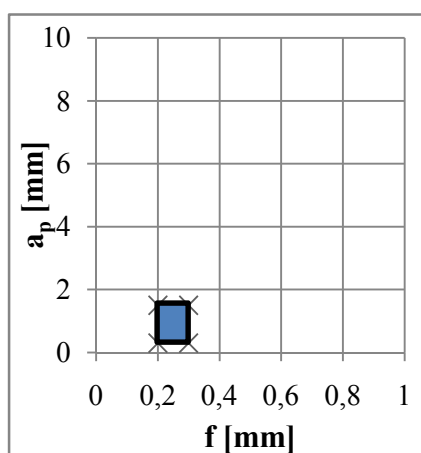
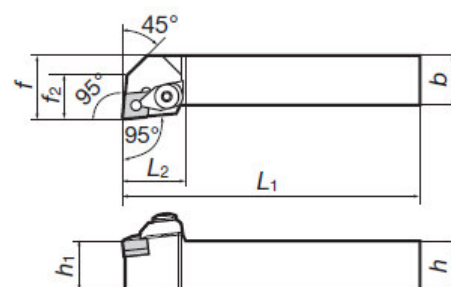
Soustruží se zde funkční válcová plocha na čisto (viz tab. 4.5). Podmínkou je dosáhnout maximální předepsané průměrné aritmetické úchylky $R_a = 1,25 \mu\text{m}$. Měřením struktury povrchu při výrobě bylo zjištěno, že průměrná aritmetická úchylka se pohybuje v rozmezí $R_a = (0,3 \div 1,25) \mu\text{m}$. Na takto kvalitně opracovaný povrch se při montáži nalisuje ložisko. Operace patří k nejvíce problematické, protože se soustruží malá šířka záběru ostří ($a_p = 0,1 \text{ mm}$) při vysoké řezné rychlosti ($v_c = 350 \text{ m/min}$) a dochází k tvorbě třísky, která se navíjí na obrobek a zabraňuje plynulosti výroby. Problematické je také dosáhnout požadované struktury povrchu $R_a = 1,25 \mu\text{m}$, jelikož dochází k opotřebení nástroje a snížení kvality obrobek. Je zde využita VBD CNMG 120404 – AFW T9115 (viz obr. 4.4) a soustružnický nůž vnější pravý DCLNR 2525 M12 (viz obr. 4.5) od společnosti Tungaloy.

Destička je navržena pro dokončovací způsoby obrábění s šířkou záběru ostří $a_p = (0,3 \div 1,5)$ mm a utvařečem třísky AFW. VBD je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 \div P20. Je zde opět využit vícevrstvý povlak TiCN + Al₂O₃ nanesený metodou CVD. Tloušťka povlaku T9115 je v rozmezí (3 \div 16) μ m. Soustružnický nůž se používá pro čelní a podélné soustružení. Mechanismus upínání je tvořen upínkou a pákou stejně jako v předchozí operaci (viz operace č. 510.1) [24,27,28,29].

Utvařeč – AFW



VBD

Soustružnický nůž
DCLNR 2525 M12

Obr. 4.4 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [27,28].

Obr. 4.5 Soustružnický nůž [29].

V operaci č. 520.2 se hodnoty posuvu, řezné rychlosti ani šířky záběru ostří neshodují s doporučenými hodnotami výrobce (viz tab. 4.6). Jsou stanoveny nižší hodnoty posuvu i šířky záběru ostří, než jaké doporučuje výrobce. Naopak řezná rychlost je vyšší než doporučená. Nedělená tříška může vzniknout z důvodu nedodržení řezných podmínek, nevhodným druhem utvařeče třísek nebo povlaku.

Tab. 4.6 Řezné podmínky v operaci č. 520.2 [28].

Řezné podmínky:	Jednotky	Doporučené výrobcem	Stanovené ve firmě (viz příloha 1)
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,3 \div 0,5	0,1
Posuv – f	[mm]	0,2 \div 0,3	0,05
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	150 \div 300	350

d) Operace č. 530.1

Tab. 4.7 Operace č. 530.1 z výrobního postupu.

530.1	CNC OBRÁBĚCÍ SOUSTRUH DOOSAN PUMA 2100 MS	SOUSTRUŽÍ 30°/Ø 26,6 _{-0,1} / R0,8/Ø 26,8h7 HRUBUJE ČELO/ROZMĚR 20 ^{±0,1}		N5	0,15
					250
					0,35 \div 0,45

Následující operace zahrnuje soustružení hlavy a také čelní plochy (viz tab. 4.7). Na hlavě i čelní ploše je předepsána průměrná aritmetická úchylka $R_a = 6,3 \mu$ m. Tříška má nedělený vinutý tvar obdobný jako při operaci č. 520.2. Je zde využita VBD WNMG 080404 – TSF T9115 stejná jako v předcházející operaci (viz operace č. 520.1) a soustružnický nůž vnější pravý DWLNR 2525 M08 (viz operace č. 510.1) od společnosti Tungaloy.

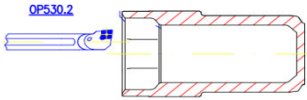
V dané operaci jsou stanovené řezné podmínky odpovídající hodnotám doporučených výrobcem (viz tab. 4.8). Vznikající nedělená tříška je pravděpodobně způsobena nevhodným druhem utvařeče třísek nebo povlakem.

Tab. 4.8 Řezné podmínky v operaci č. 530.1 [26].

Řezné podmínky:	Jednotky	Doporučené výrobcem	Stanovené ve firmě (viz příloha 1)
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,3 ÷ 1,5	0,35 ÷ 0,45
Posuv – f	[mm]	0,08 ÷ 0,4	0,15
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	150 ÷ 300	250

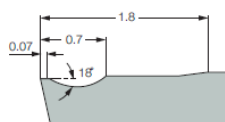
e) Operace č. 530.2

Tab. 4.9 Operace č. 530.2 z výrobního postupu.

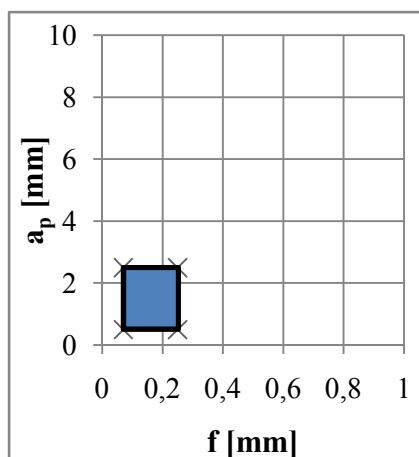
530.2	CNC OBRÁBĚCÍ SOUSTRUH DOOSAN PUMA 2100 MS	SOUSTRUŽÍ ČELO + ROZMĚR $20^{±0,1}/30^{\circ}/0,7^{+0,1}/R0,3^{±0,1}$		N6	0,1
					200
					0,05 ÷ 0,1

V poslední operaci dochází k zarovnání čelní plochy na požadovanou délku a sražení hrany vnitřního otvoru hlavy (viz tab. 4.9). I zde vzniká nedělená tříška. Nejedná se však o závažný problém z důvodu krátké soustružené délky (přibližně 2 mm). Používá se VBD CCMT 060208 – SM IC807 (viz obr. 4.6) od společnosti Iscar a vyvrtávací tyč E12Q – SCLCR 06 – R (viz obr. 4.7) od společnosti Sandvik.

Utvařeč – SM



VBD



Vyvrtávací tyč
E12Q – SCLCR 06 – R



Obr. 4.6 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [30,31].

Obr. 4.7 Soustružnický nůž [33].

Pozitivní VBD je určena pro dokončovací způsoby obrábění austenitických nerezových ocelí a tvrdých ocelí s utvařečem třísek SM a s šířkou záběru ostří $a_p = (0,5 \div 2,5)$ mm. Je vyrobena ze slinutého karbidu ISO M05 ÷ M20. Na destičce je nanesen vícevrstvý povlak TiAlN + TiN (IC807) PVD metodu povlakování. Vyvrtávací tyč je určena pro vnitřní soustružení. VBD je upnuta šroubem k tělu vyvrtávací tyče [30,31,32,33].

Z porovnaných hodnot lze vyčíst, že hodnoty posuvu a řezné rychlosti se pohybují v daném rozmezí doporučených hodnot (viz tab. 4.10). Šířka záběru ostří neodpovídá

doporučené hodnotě od výrobce. Velikost řezné rychlosti se pohybuje na spodní hranici doporučených hodnot. Nedělená tříška tak může vznikat z důvodu nedodržené doporučené hodnoty šířky záběru ostří, nevhodným druhem utvařeče třísek nebo povlakem.

Tab. 4.10 Řezné podmínky v operaci č. 530.2 [31].

Řezné podmínky:	Jednotky	Doporučené výrobcem	Stanovené ve firmě (viz příloha 1)
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,5 ÷ 2,5	0,05 ÷ 0,1
Posuv – f	[mm]	0,07 ÷ 0,25	0,1
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	200 ÷ 300	200

4.3 Možnosti optimalizace výroby

Pro požadovanou tvorbu optimální dělené třísky a tím i zlepšení výroby se nabízí několik možných variant:

- **Přenasazení stanovených řezných podmínek** u jednotlivých technologických operací, aby odpovídaly doporučeným řezným podmínkám udávaných výrobcem.
- **Volba nových řezných nástrojů**, které budou vhodné pro dané druhy technologických operací soustružení. V tomto případě se bude volit několik vhodných nástrojů pro každou operaci (např. 3 nástroje). Cílem bude najít řezný nástroj, který bude utvářet dělenou třísku.
- **Změna procesní kapaliny**.
- **Tepelné zpracování** vylisovaného polotovaru. Materiál se tvářením zpevní, čímž se zvýší jeho mez pevnosti na $R_m = (710 \div 870)$ MPa. Normalizačním žíháním by se zlepšila obrobiteľnosť, protože by se obnovila původní struktura materiálu [9].
- **Změna materiálu**, ze kterého je hřídel řízení vyráběn.
- **Změna technologie a strojů** v robotizované lince.

5 OPTIMALIZACE VÝROBY HŘÍDELE ŘÍZENÍ

Snahou bude optimalizovat tvorbu dělené třísky u všech soustružnických operací. V operacích č. 520.1, č. 520.2 a č. 530.2 jsou stanovené řezné podmínky, pro které nejsou vhodně zvolené VBD. U používaných VBD jsou hodnoty šířky záběru ostří, řezné rychlosti a posuvu omezené a nesplňují tak předepsané řezné podmínky, které byly stanovené ve firmě. V ostatních operacích č. 510.1 a č. 530.1 odpovídají firmou stanovené řezné podmínky hodnotám doporučených výrobcem. Tvorba nedělené třísky u těchto operací je nejspíše zapříčiněna nevhodným druhem utvařeče třísek nebo povlakem.

Z navrhovaných možností optimalizace výroby s cílem utváření optimální dělené třísky (viz podkapitola 4.3) bylo firmou schváleno navržení nových řezných nástrojů, které budou vhodné pro dané soustružnické operace. Pro každou operaci bude proveden výběr několika vhodných řezných nástrojů (3 ks). Podmínkou volby nástrojů bude výběr od výrobců, které má firma již v databázi dodavatelů a také snaha volit VBD, které jsou vhodné pro soustružnické nože již používané ve firmě.

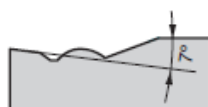
5.1 Operace č. 510.1

Pro danou operaci byl proveden výběr tří řezných nástrojů bez komplikací. Stanovené řezné podmínky odpovídají řezným podmínkám doporučených výrobcem. Nově zvolené VBD mají stejný tvar a rozměry jako původní destičky, díky čemuž může být použit soustružnický nůž DWLNR 2525 M08 (viz podkapitola 4.2 operace č. 510.1).

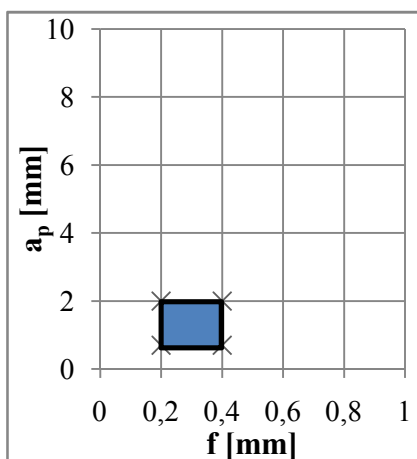
a) VBD WNMG 080408 – ZM T9135

Negativní VBD je určena pro střední obrábění s utvařečem třísek ZM (viz obr 5.1). VBD je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P30 ÷ P40, který se používá pro obrábění ocelí. Vícevrstvý povlak destičky T9135 tvoří $TiCN + Al_2O_3$ a je nanesen CVD metodou povlakování. Tloušťka povlaku je 16 μm [24,34].

Utvařeč – ZM



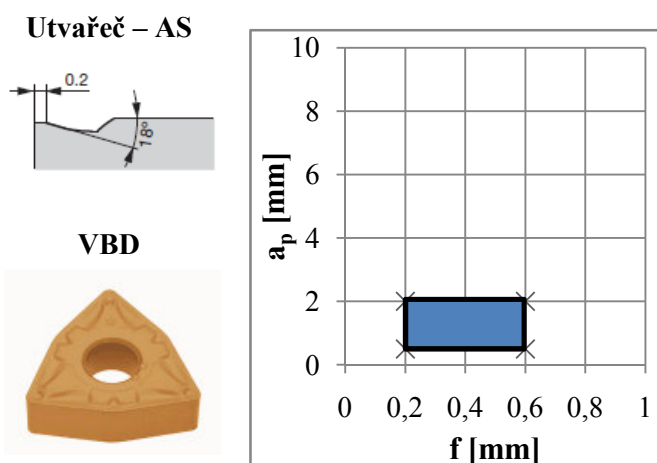
VBD



Obr. 5.1 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [34,35].

b) VBD WNMG 080408 – AS T9135

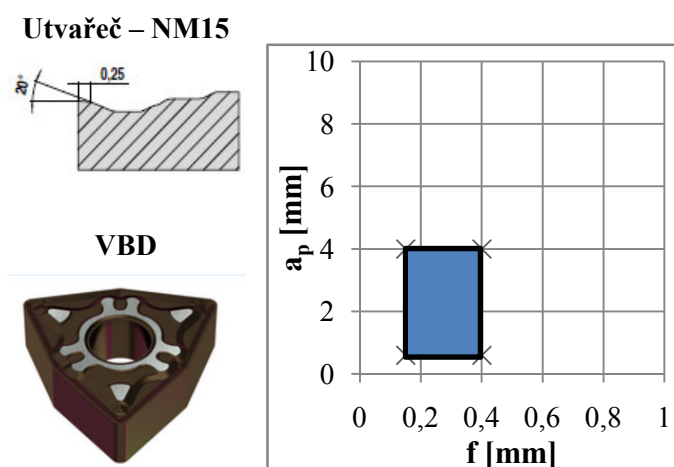
Destička je navržena pro rychlé posuvy $f = (0,2 \div 0,6)$ mm s malou šířkou záběru ostří $a_p = (0,5 \div 2)$ mm a utvařečem třísek AS (viz obr. 5.2). Je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P30 ÷ P40 a vhodná pro obrábění ocelí. Povlak je totožný jako u předchozí destičky (viz podkapitola 5.1 VBD WNMG 080408 – ZM T9135) [24,37].



Obr. 5.2 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [36,37].

c) VBD WNMG 080408EN – NM15 HCR1135

Poslední navržená VBD pro danou operaci je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P25 ÷ P40 s utvařečem třísek NM15 (viz obr. 5.3). Destička je vhodná pro střední způsoby obrábění všech druhů ocelí. Vícevrstvý povlak HCR1135 se skládá z kombinace TiC + TiN + Al₂O₃ a je nanesen CVD metodou povlakování [38,39,40].



Obr. 5.3 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [38,41].

Pro přehlednější uspořádání jsou hodnoty řezných podmínek navržených VBD i hodnoty řezných podmínek stanovených ve firmě zpracovány v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Shrnutí řezných podmínek [34,36,38,40].

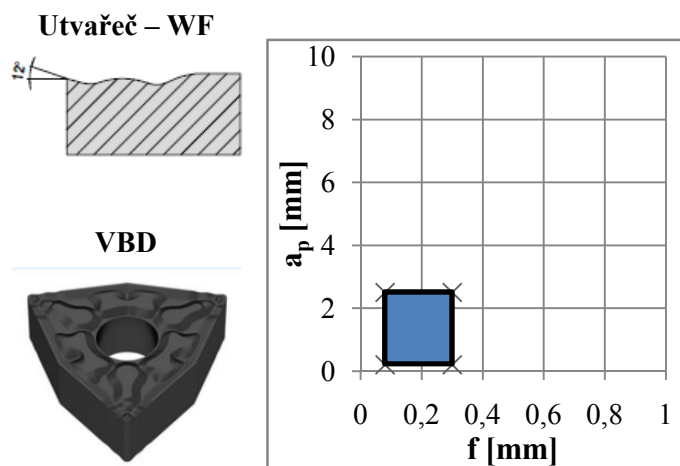
Řezné podmínky:	Jednotky	Hodnoty stanovené ve firmě	WNMG 080408 – ZM T9135	WNMG 080408 – AS T9135	WNMG 080408EN – NM15 HCR1135
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,8 ÷ 1	0,7 ÷ 2	0,5 ÷ 2	0,6 ÷ 4
Posuv – f	[mm]	0,25	0,2 ÷ 0,4	0,2 ÷ 0,6	0,15 ÷ 0,4
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	170	150 ÷ 330	150 ÷ 330	160 ÷ 220

5.2 Operace č. 520.1

Následující operace je z hlediska výroby velmi problematická, protože se obrábí hřídel řízení po celém obvodu s výjimkou hlavy a již zarovnané čelní plochy s různou šířkou záběru ostří. Výběr vhodných destiček, které splňují stanovené řezné podmínky, byl komplikovaný. Byla nalezena pouze jedna negativní VBD, která splňuje tyto dané řezné podmínky a zároveň je vhodná pro typy soustružnických nožů používaných ve firmě. Důvodem komplikovaného výběru je velikost šířky záběru ostří, která se v dané technologické operaci pohybuje v rozmezí (0,25 ÷ 1,5) mm. Byly zvoleny pozitivní VBD, které splňují dané řezné podmínky a k nim vhodné soustružnické nože.

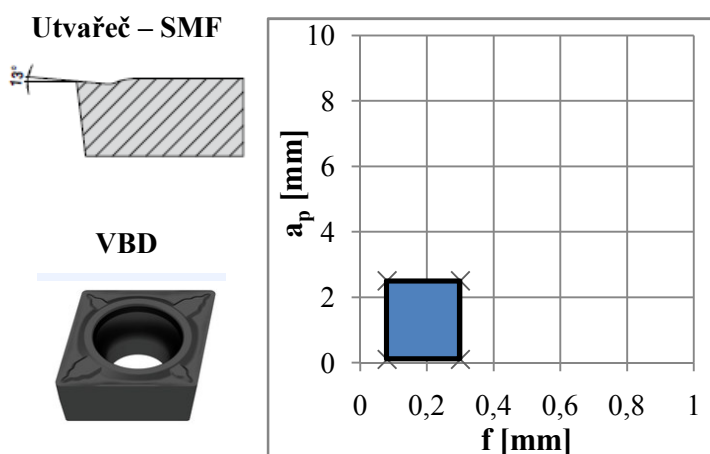
a) VBD WNMG 080404EN – WF HCX1115

Destička je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 ÷ P20 s utvařečem třísek WF (viz obr. 5.4). Je vhodná pro dokončování a pro soustružení kontur. Vícevrstvý povlak HCX1115 tvoří kombinace TiN + TiC + Al₂O₃ a je nanesen CVD metodou povlakování. Odolává vysokým teplotám a umožňuje vyšší životnost nástroje. Pro VBD je možné použít soustružnický nůž DWLNR 2525 M08 (viz podkapitola 4.2 operace č. 510.1) [39,42,43].



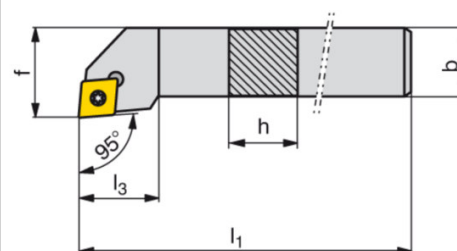
Obr. 5.4 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [42,43].

b) VBD CCMT 09T308EN – SMF HCX1115 a soustružnický nůž SCLCR 2020 K09



Obr. 5.5 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [44,45].

Soustružnický nůž SCLCR 2020 K09

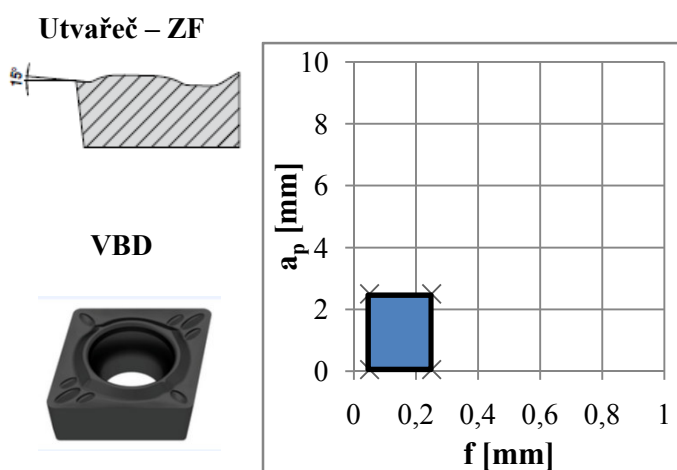


Obr. 5.6 Soustružnický nůž [46].

Pozitivní VBD (viz obr. 5.5) je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 ÷ P20 s utvařečem třísek SMF. Destička je navržena pro dokončovací až střední způsoby obrábění s šířkou záběru ostří $a_p = (0,1 \div 2,5)$ mm. Vícevrstvý povlak HCX1115 je stejný jako u předchozí destičky (viz podkapitola 5.2 WNMG 080404EN – WF HCX1115). Pro navrženou VBD byl zvolen soustružnický nůž vnější pravý SCLCR 2020 K09 (viz obr. 5.6). Destička je upnuta k soustružnickému noži pomocí šroubu [39,44,45].

c) VBD CCMT 09T304EN – ZF HCX1115

Tato pozitivní VBD (viz obr. 5.7) je určena pro dokončovací až střední způsoby obrábění a také pro soustružení kontur. Výrobce uvádí velmi dobrou kontrolu tvorby třísek ZF. Destička je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 ÷ P20. Povlak HCX1115 je stejný jako u předchozí VBD (viz podkapitola 5.2 WNMG 080404EN – WF HCX1115). Povlak zaručuje vyšší životnost nástroje a odolává vysokým teplotám. Navržená VBD je vhodná pro soustružnický nůž vnější SCLCR 2020 K09 (viz obr. 5.6) [39,47,49].



Obr. 5.7 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [47,48].

Doporučené řezné podmínky zvolených VBD jsou pro porovnání se stanovenými hodnotami řezných podmínek ve firmě uspořádány v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Shrnutí řezných podmínek [42,43,44,45,47,48].

Řezné podmínky:	Jednotky	Hodnoty stanovené ve firmě	WNMG 080404EN – WF HCX1115	CCMT 09T308EN – SMF HXC1115	CCMT 09T304EN – ZF HCX1115
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,25 ÷ 1,5	0,2 ÷ 2,5	0,1 ÷ 2,5	0,05 ÷ 2,5
Posuv – f	[mm]	0,22	0,08 ÷ 0,3	0,08 ÷ 0,3	0,05 ÷ 0,25
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	250	210 ÷ 270	230 ÷ 300	210 ÷ 270

5.3 Operace č. 520.2

Při výběru vhodných řezných nástrojů pro danou technologickou operaci byly zvoleny VBD, které jsou svými rozměry a tvarem vhodné pro soustružnický nůž DCLNR 2525 M12 (viz podkapitola 4.2 operace č. 520.2). Volba VBD byla problematická

z důvodu dodržení stanovených řezných podmínek. U třetí zvolené VBD neodpovídají doporučené hodnoty řezné rychlosti a posuvu hodnotám, které jsou stanovené ve firmě.

Pro použití dané destičky je nutné v technologickém postupu změnit řeznou rychlost a hodnotu posuvu z důvodu utváření optimální dělené třísky. Výrobce doporučuje pro utváření třísky posuv $f = (0,1 \div 0,4)$ mm. Ve firmě je stanovená hodnota posuvu $f = 0,05$ mm pro dosažení maximální předepsané hodnoty průměrné aritmetické úchytky $Ra = 1,25 \mu\text{m}$ ($Ra = 1,25 \cdot 10^{-3}$ mm). Pro danou strukturu povrchu bude stanoven výpočtem limitní posuv podle experimentálně stanovené závislosti $Ra = 0,26 \cdot Rz$ [49].

- limitní posuv daný maximální přípustnou strukturou povrchu Ra [49]:

$$Ra = 0,26 \cdot Rz \Rightarrow Rz = \frac{Ra}{0,26} \quad (1.1)$$

$$Rz = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \Rightarrow f_{lim} = \sqrt{\frac{Ra}{0,26} \cdot 8 \cdot r_\varepsilon} \quad (1.2)$$

$$f_{lim} = \sqrt{\frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,26} \cdot 8 \cdot 0,8}$$

$$f_{lim} = 0,175 \text{ mm}$$

- kde: Rz [μm] - největší výška profilu,
 f_{lim} [mm] - limitní posuv,
 r_ε [mm] - rádius špičky,
 Ra [mm] - střední aritmetická úchytky povrchu.

Limitní posuv dle vztahu (1.2) může být zvýšen z hodnoty posuvu $f = 0,05$ mm na hodnotu $f_{lim} = 0,175$ mm. Avšak v průběhu obrábění dochází k opotřebení nástroje a následnému zhoršení kvality obrobené plochy [9]. Strojní posuv bude zvýšen na hodnotu $f = 0,1$ mm, aby odpovídal diagramu utváření třísky. Pro zvolenou hodnotu posuvu určíme podle vztahu pro výpočet limitního posuvu přípustnou strukturu povrchu Ra .

- přípustná struktura povrchu Ra pro zvolenou hodnotu posuvu [49]:

$$Rz = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \Rightarrow Ra = \left(\frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \right) \cdot 0,26 \quad (1.3)$$

$$Ra = \left(\frac{0,1^2}{8 \cdot 0,8} \right) \cdot 0,26$$

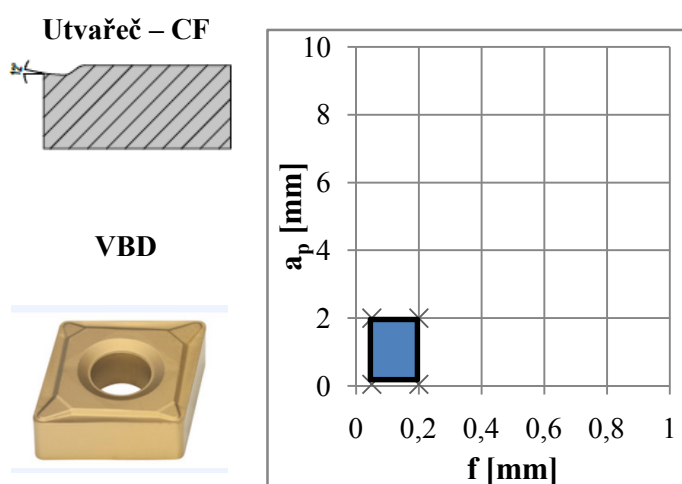
$$Ra = 4,0625 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \Rightarrow Ra \cong 0,4 \mu\text{m}$$

Při zvýšení hodnoty posuvu na $f = 0,1$ mm bude průměrná aritmetická úchytky drsnosti povrchu dle vztahu (1.3) $Ra = 0,4 \mu\text{m}$. Podmínka je splněna a hodnota může být změněna.

Řezná rychlost se sníží z hodnoty $v_c = 350$ m/min na $v_c = 300$ m/min, aby odpovídala hodnotě doporučené výrobcem. Tato změna bude mít negativní dopad na zvýšení strojního času. Naopak navýšení hodnoty posuvu bude snižovat strojní čas potřebný na obrobení dané součásti [10].

a) VBD CNMG 120408EN – CF TWC410

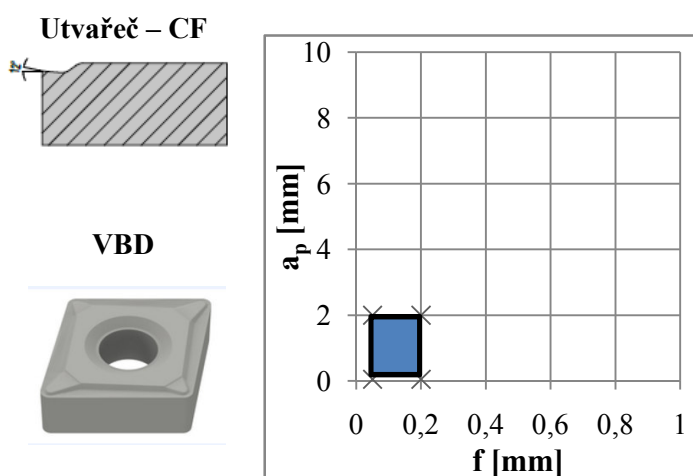
VBD je navržena pro dokončovací způsoby obrábění ocelí s dobrou kontrolou tvorby třísky pomocí utvařeče CF (viz obr. 5.8). Materiál destičky je cermet ISO P10, který je vhodný pro vyšší řezné rychlosti než nástroje ze slinutých karbidů. TWC410 je vícevrstvý povlak TiN + Al₂O₃ nanesen CVD metodou povlakování a je odolný proti otěru [39,50].



Obr. 5.8 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [50,51].

b) VBD CNMG 120408EN – CF CWC10

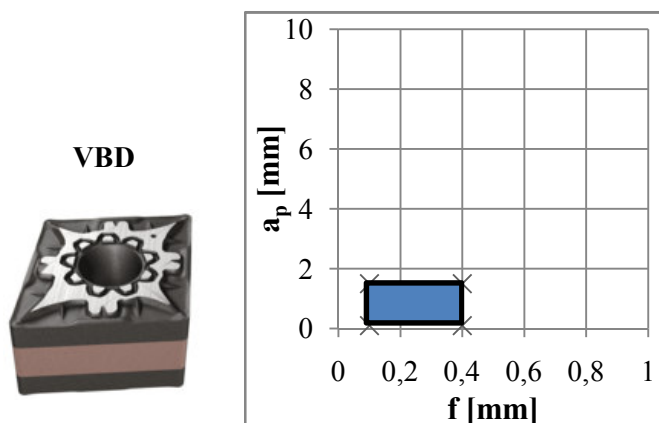
Jedná se o stejnou VBD jako v předchozí operaci (viz podkapitola 5.3 CNMG 120408EN – CF TWC410). Materiál destičky je cermet ISO P15. Tato cermetová destička (viz obr. 5.9) není povlakovaná na rozdíl od předchozí destičky, proto je vhodná pro nižší řezné rychlosti z důvodu opotřebení [39,52].



Obr. 5.9 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [51,52].

c) VBD CNMG 120408 – F3M IC6015

Destička (viz obr. 5.10) se používá pro střední a dokončovací způsoby obrábění ocelí a nerezových ocelí při vyšších řezných rychlostech $v_c = (140 \div 300)$ m/min. Materiál VBD je slinutý karbid ISO M05 ÷ M25. Vícevrstvý povlak TiCN + Al₂O₃ + TiN je nanesen CVD metodou povlakování a zvyšuje životnost nástroje [53,54].



Obr. 5.10 VBD a diagram utváření třísky [53].

Řezné podmínky navržených VBD a hodnoty řezných podmínek stanovených ve firmě jsou shrnuty pro porovnání v tab. 5.3. Pro použití poslední VBD CNMG 120408 – F3M IC6015 bude řezná rychlost snížena na $v_c = 300$ m/min. Hodnota posuvu bude zvýšena na $f = 0,1$ mm z důvodu tvorby optimální dělené třísky.

Tab. 5.3 Shrnutí řezných podmínek [50,51,52,53,54].

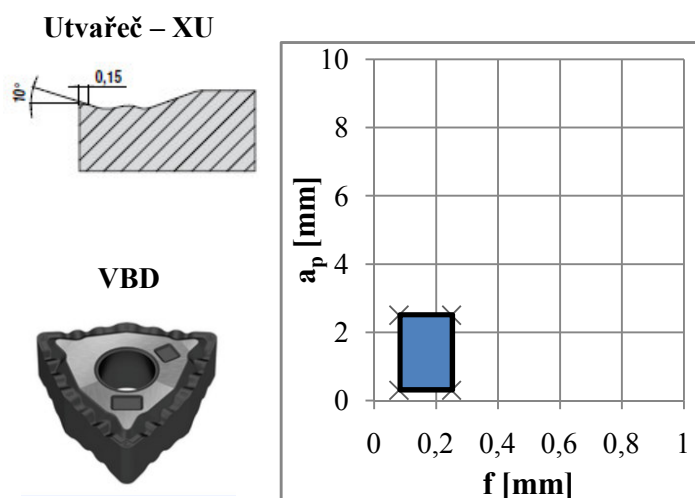
Řezné podmínky:	Jednotky	Hodnoty stanovené ve firmě	CNMG 120408EN – CF TWC410	CNMG 120408EN – CF CWC10	CNMG 120408 – F3M IC6015
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,1	0,05 ÷ 2	0,05 ÷ 2	0,1 ÷ 1,5
Posuv – f	[mm]	0,05	0,05 ÷ 0,2	0,05 ÷ 2	0,1 ÷ 0,4
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	350	250 ÷ 520	160 ÷ 350	140 ÷ 300

5.4 Operace č. 530.1

Pro danou operaci byly navrženy VBD, které jsou svými rozměry a tvarem vhodné pro soustružnický nůž vnější pravý DWLNR 2525 M08 (viz podkapitola 4.2 operace č. 510.1). Není nutné provádět žádné změny řezných podmínek jako u předchozí operace (viz podkapitola 5.3 operace č. 520.2). Destičky jsou vhodné pro soustružení válcových i čelních ploch.

a) VBD WNMG 080404EN – XU HCX1115

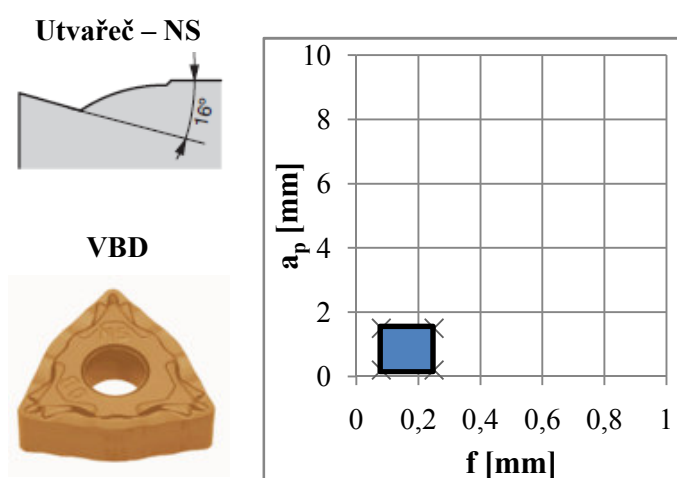
VBD je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 ÷ P20 s utvařečem třísek XU (viz obr. 5.11). Je určena pro dokončování až střední obrábění podél kontury s různou šířkou záběru ostří. Na destičce je nanesen vícevrstvý povlak HCX1115 CVD metodou povlakování (viz podkapitola 5.2 WNMG 080404EN – WF HCX1115) [39,55,56].



Obr. 5.11 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [55,56].

b) VBD WNMG 080408 – NS T9125

Negativní VBD se používá pro dokončovací způsoby obrábění s utvařečem třísky NS (viz obr. 5.12). Je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P20 ÷ P30. Povlak destičky T9125 tvoří vícevrstvý TiCN + Al₂O₃ nanesený CVD metodou povlakování, který zvyšuje odolnost proti oxidaci a vysoké teplotě [24,57].



Obr. 5.12 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [58,59].

c) VBD WNMG 080404EN – WF HCX1115

Poslední navržená VBD pro danou operaci je totožná jako v předchozí operaci (viz podkapitola 5.2 WNMG 080404EN – WF HCX1115).

Doporučené řezné podmínky navržených VBD spolu se stanovenými řeznými podmínkami firmou jsou zpracovány v tab. 5.4.

Tab. 5.4 Shrnutí řezných podmínek [55,56,57,59].

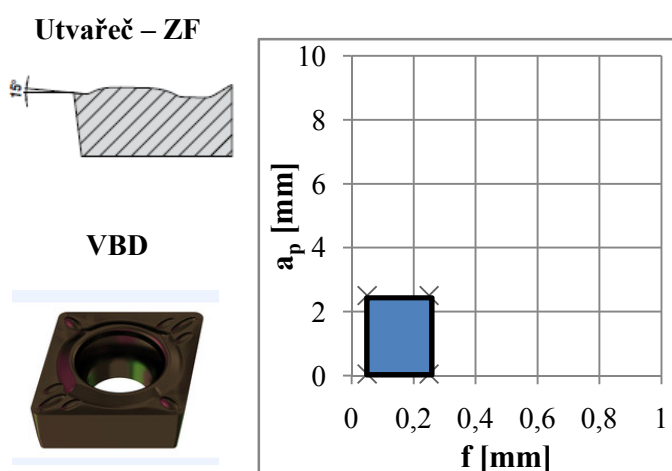
Řezné podmínky:	Jednotky	Hodnoty stanovené ve firmě	WNMG 080404EN – XU HXC1115	WNMG 080404 – NS T9125	WNMG 080404EN – WF HXC1115
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,35 ÷ 0,45	0,3 ÷ 2,5	0,2 ÷ 1,5	0,2 ÷ 2,5
Posuv – f	[mm]	0,15	0,08 ÷ 0,25	0,08 ÷ 0,25	0,08 ÷ 0,3
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	250	210 ÷ 270	170 ÷ 300	210 ÷ 270

5.5 Operace č. 530.2

Poslední operací je soustružení čelní plochy a sražení hrany vnitřní válcové plochy. Pro danou technologickou operaci byly navrženy pozitivní VBD, které splňují firmou stanovené řezné podmínky a jsou vhodné svými rozměry a tvarem pro vyvrtávací tyč E12Q – SCLCR 06 – R (viz podkapitola 4.2 operace č. 530.2).

a) VBD CCMT 060204EN – ZF HCR1135

Zvolená pozitivní VBD je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P25 ÷ P40 s utvařečem třísek ZF (viz obr. 5.13). Je vhodná pro dokončovací způsoby obrábění. Vícevrstvý povlak HCR1135 nanesený CVD metodou povlakování je totožný jako v předchozí operaci (viz podkapitola 5.1 WNMG 080408EN – NM15 HCR1135) [39,60].



Obr. 5.13 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [60,61].

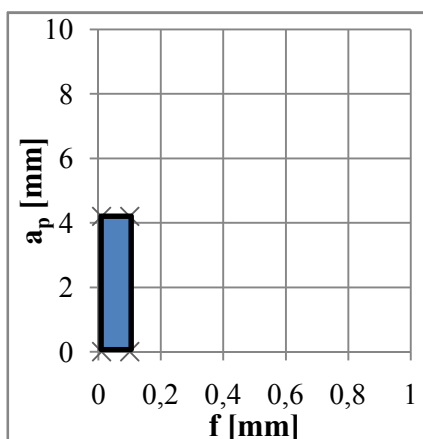
b) VBD CCGT 060202FR – J10 NS9530

Navržená VBD (viz obr. 5.14) je vhodná pro dokončovací až střední způsoby obrábění vnějších a vnitřních válcových ploch i pro obrábění čelních ploch s utvařečem třísek J10. Pozitivní destička je vyrobena z cermetu ISO P10 ÷ P25, který není povlakovaný. Je vhodná pro obrábění ocelí a nerezových ocelí [24,62,63].

Utvařeč – J10



VBD

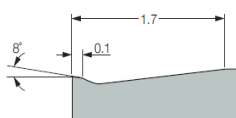


Obr. 5.14 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [62,64].

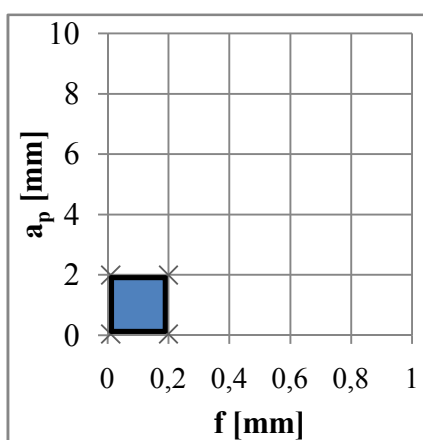
c) VBD CCET 0602005 – WF IC907

VBD s utvařečem třísky WF (viz obr. 5.15) je vyrobena ze slinutého karbidu ISO P10 ÷ P30. Tato pozitivní destička je určena pro dokončovací způsoby obrábění. Je vhodná pro soustružení čelních i vnitřních válcových ploch. Vícevrstvý povlak tvoří TiAlN + TiN nanesený PVD metodou povlakování [65,66].

Utvařeč – WF



VBD



Obr. 5.15 Utvařeč, VBD a diagram utváření třísky [66,67].

Shrnutí řezných podmínek navržených VBD a řezných podmínek stanovených ve firmě je zpracováno v tab. 5.5.

Tab. 5.5 Shrnutí řezných podmínek [60,61,62,63,65,66].

Řezné podmínky:	Jednotky	Hodnoty stanovené ve firmě	CCMT 060204EN – ZF HCR1135	CCGT 060201FR – J10 NS9530	CCET 0602005 – WF IC907
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,05 ÷ 0,1	0,05 ÷ 2,5	0,01 ÷ 4,2	0,05 ÷ 2
Posuv – f	[mm]	0,1	0,05 ÷ 0,25	0,01 ÷ 0,1	0,01 ÷ 0,2
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	200	170 ÷ 230	160 ÷ 300	140 ÷ 245

5.6 Odzkoušení navržených řezných nástrojů pro operaci č. 520.2

Po návrhu nových řezných nástrojů pro problematické operace firma přistoupila na odzkoušení řezných nástrojů pro operaci č. 520.2. Kromě tvorby nedělené třísky je zde také problém s dosažením maximální předepsané struktury povrchu $Ra = 1,25 \mu\text{m}$, která se měří a kontroluje na digitálním přístroji MITUTOYO SJ – 400. U soustružení válcové plochy je dále nutné dosáhnout předepsané hodnoty $\text{Ø } 24\text{h9}$, která se kontroluje pomocí třmenového mikrometru.

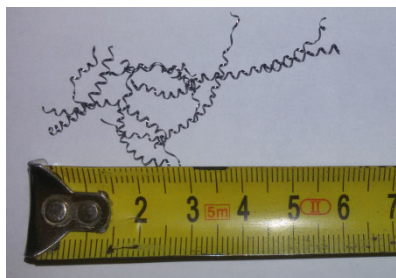
a) VBD CNMG 120408EN – CF TWC410

Tab. 5.6 Nastavené řezné podmínky při odzkoušení dané VBD.

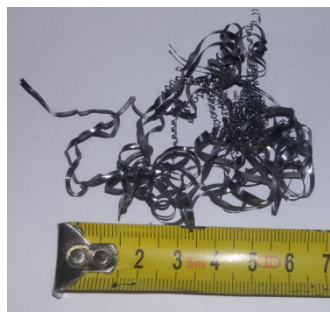
Řezné podmínky:	Jednotky	Stanovené řezné podmínky
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,1
Posuv – f	[mm]	0,1
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	350

Tab. 5.7 Struktura povrchu u daného počtu obrobenech kusů.

Počet obrobenech kusů [ks]	Struktura povrchu $Ra [\mu\text{m}]$
1	0,55
10	1,03
20	1,28



Obr. 5.16 Třísky u 1. obrobenech součásti.



Obr. 5.17 Nedělená tříska.



Obr. 5.18 Tříska navinutá na obrobku.

Při odzkoušení dané povlakované cermetové destičky byla struktura povrchu první obrobenech součásti (viz tab. 5.7) i průměr válcové plochy v daných tolerancích. Řezné podmínky při obrábění navrženým řezným nástrojem jsou zpracovány v tab. 5.6. Po dohodě s technologem byla hodnota posuvu zvýšena na $f = 0,1 \text{ mm}$. Při soustružení válcové plochy se utvářela optimální dělená tříska (viz obr. 5.16). Avšak v průběhu testování se začínala utvářet nedělená tříska (viz obr. 5.17). Tato tříska vznikala na konci technologické operace soustružení, kdy řezný nástroj obrábí čelní plochu. Po obrobenech desátého obrobku se výrazně zhoršila struktura obrábenech povrchu a nedělená tříska se častěji navíjela na obrobek (přibližně na každý třetí obrobek). Senzory na robotickém ramenu detekovaly navinutou tříska na obrobku a na nástroji a výroba byla přerušena, popřípadě pokud byla navinutá tříska pouze na obrobku (viz obr. 5.18), robotické rameno uchopilo daný obrobek a vložilo jej do bedny pro špatné obrobky. Po obrobenech 20. obrobku

neodpovídala střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu předepsané hodnotě (viz tab. 5.7).

b) VBD CNMG 120408EN – CF CWC10

Tab. 5.8 Nastavené řezné podmínky při odzkoušení dané VBD.

Řezné podmínky:	Jednotky	Stanovené řezné podmínky
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,1
Posuv – f	[mm]	0,05
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	350

Tab. 5.9 Struktura povrchu u daného počtu obrobků.

Počet obrobků [ks]	Struktura povrchu Ra [μm]
1	0,44
10	0,69
20	0,92
30	1,09
40	1,48

Řezné podmínky pro obrábění danou nepovlakovanou cermetovou destičkou jsou zpracovány v tab. 5.8. Posuv byl snížen na původní stanovenou hodnotu $f = 0,05$ mm. Po obrobení první součásti bylo provedeno měření. Hodnota struktury povrchu (viz tab. 5.9) i průměr válcové plochy odpovídaly daným tolerancím. Utvářela se dělená tříška obdobná jako u předchozí VBD (viz obr. 5.16). V průběhu testování se začínala utvářet nedělená tříška (viz obr. 5.17), která se navíjela i na obrobek (přibližně na každý pátý obrobek). Po obrobení 40. kusu neodpovídala střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu předepsané hodnotě (viz tab. 5.9).

c) VBD CNMG 120408 – F3M IC6015

Tab. 5.10 Nastavené řezné podmínky při odzkoušení dané VBD.

Řezné podmínky:	Jednotky	Stanovené řezné podmínky
Šířka záběru ostří – a_p	[mm]	0,1
Posuv – f	[mm]	0,1
Řezná rychlost – v_c	[m/min]	300

Tab. 5.11 Struktura povrchu u daného počtu obrobků.

Počet obrobků [ks]	Struktura povrchu Ra [μm]
1	0,55
10	1,22
20	1,29

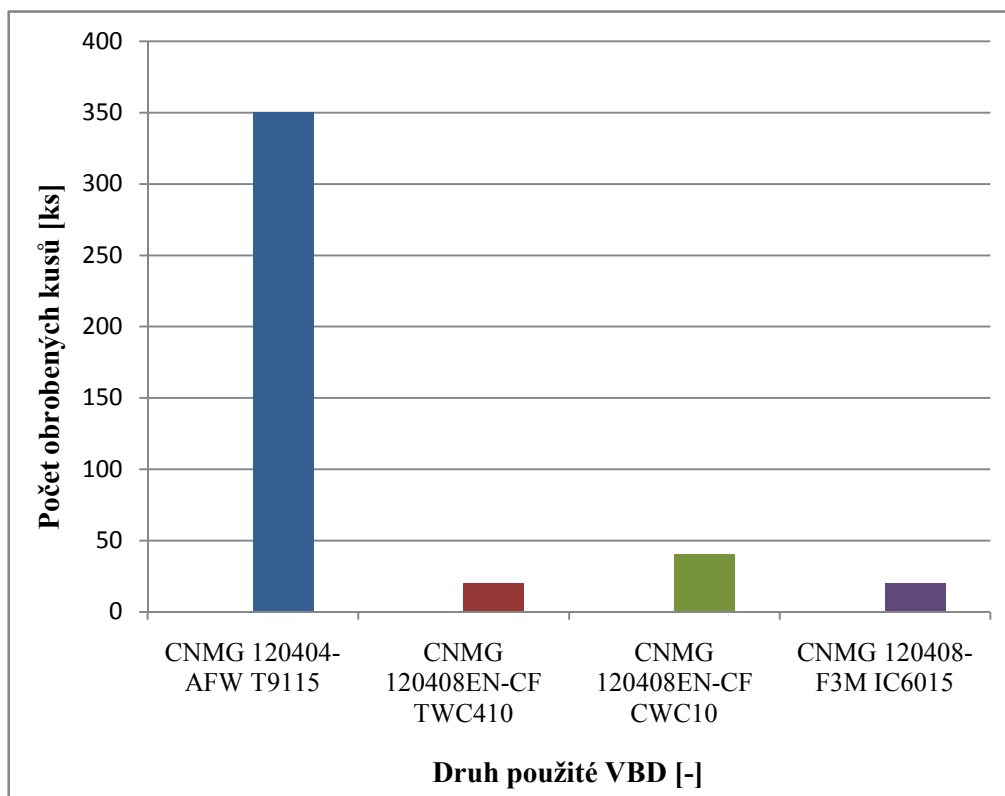
Poslední testovaná VBD pro danou operaci je vyrobena ze slinutého karbidu. Řezné podmínky jsou zpracovány v tab. 5.10. Hodnota posuvu byla zvýšena na $f = 0,1$ mm z důvodu doporučených řezných podmínek od výrobce. Řezná rychlost byla snížena

na $v_c = 300$ m/min. Hodnota struktury povrchu (viz tab. 5.11) i průměr válcové plochy odpovídaly daným tolerancím. Při obrábění vznikala optimální dělená tříska (viz obr. 5.19). Po obrobení 20. kusu nesplňovala střední aritmetická úchylnka drsnosti povrchu stanovenou hodnotu, ačkoliv se utvářela optimální dělení tříska.



Obr. 5.19 Tříška vzniklá obráběním danou VBD.

Firmou používaná VBD s označením CNMG 120404 – AFW T9115 je měněna po 350 kusech (± 15 kusů). Ačkoliv daná destička neutváří optimální dělenou třísku, obrobí vyšší počet součástí s požadovanou strukturou povrchu $R_a = 1,25 \mu\text{m}$ a také se třísky nenavíjí na obrobek tak často, jako u navržených VBD. Firma proto zůstane u doposud používané VBD. Grafické znázornění je na obr. 5.20.



Obr. 5.20 Počet obrobeneých součástí jednotlivými reznými nástroji s požadovanou strukturou povrchu $R_a = 1,25 \mu\text{m}$ v operaci č. 520.2.

ZÁVĚR

Z navržených způsobů řešení problematiky optimální dělené třísky (viz podkapitola 4.3) byl zvolen výběr nových řezných nástrojů. Jedná se o nejméně složitý a nejrychlejší způsob řešení dané problematiky. Jelikož je linka nově postavena a naprogramována na danou výrobu (od ledna 2015), nepřistoupí firma na změnu strojů nebo výrobního postupu. Změna používaného materiálu by také mohla daný problém vyřešit, ale z důvodu stanovené smlouvy se zákazníkem ani tato metoda nebude uskutečněna.

Bylo provedeno odzkoušení nově navržených řezných nástrojů na operaci č. 520.2. Je zde nutné dosáhnout kvalitně opracovaného povrchu s maximální předepsanou střední aritmetickou úchylkou $R_a = 1,25 \mu\text{m}$. Z počátku se při soustružení utvářely optimální dělené třísky (viz podkapitola 5.6), ale v průběhu testování docházelo opět k tvorbě nedělené třísky, která se navíjela na obrobek a nástroj. Předepsaná struktura povrchu byla překročena již při obrobení několika kusů (viz podkapitola 5.6) z důvodu opotřebení nástroje. Firmou používaná VBD CNMG 120404 – AFW T9115 je měněna po 350 kusech (± 15 kusů). Z důvodu velké spotřeby destiček a častého navíjení třísky na obrobek by pro danou operaci nebylo výhodné používat některou z navržených VBD.

Rozhodnutí o odzkoušení nově navržených řezných nástrojů pro zbylé problematické operace si uskuteční firma dle vlastního rozhodnutí. U ostatních operací je tolerance struktury povrchu $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Nově zvolené nástroje pro ostatní operace mohou utvářet optimální dělenou třísku a jejich využití by nebylo omezeno přísnou tolerancí střední aritmetické úchylky drsnosti povrchu jako v operaci č. 520.2.

Jestliže bude v plánu stavba třetí linky na výrobu hřídele řízení, bylo by vhodné navrhnout jiné stroje nebo přezkoumat jednotlivé technologické operace. Například u operace č. 520.2 je nutné dodržet maximální strukturu povrchu $R_a = 1,25 \mu\text{m}$, a proto by mohlo být užitečnější tuto válcovou plochu brousit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CIE AUTOMOTIVE. *CIE Automotive 2015* [Prezentace]. 2015.
- [2] CIE ŽDÁNICE. *CIE Ždánice 2010* [Prezentace]. 2010.
- [3] ŠROUBÁRNA ŽDÁNICE. *OTS* [Prezentace]. 2003.
- [4] CIE ŽDÁNICE. *CD4 EUROPE* [Prezentace]. 2010.
- [5] CIE ŽDÁNICE. *Steering Shafts: Cold forged Inputs*. [Prezentace]. 2010.
- [6] PN 02 574. STEEL ROD AND WIRE FOR COLD HEADING AND COLD EXTRUSION: General technical delivery conditions (CIE Ždánice). EDITION 4: 2014-03, March 2014.
- [7] DIN EN 10263-4. STEEL ROD, BARS AND WIRE FOR COLD HEADING AND COLD EXTRUSION. Part 4: Technical delivery conditions for steel for quenching and tempering (CIE Ždánice). EUROPEAN STANDARD EN 10263-4, February 2002.
- [8] CIE ŽDÁNICE. Hardness estimation [Prezentace]. 2015.
- [9] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [10] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2016-02-10].
Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [11] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004 [cit. 2016-02-10].
Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [12] DOOSAN: *Machine tool* [online]. ©2016 [cit. 2016-02-18].
Dostupné z: http://www.doosanmachinetools.com/en/product/detail.do?CATEGORY_ID=mten010100&PRODUCT_ID=mtenp0005
- [13] TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE [online]. ©2014 [cit. 2016-02-18].
Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-lynx-220/>
- [14] TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE [online]. ©2014 [cit. 2016-02-14].
Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-puma-2100/>
- [15] DOOSAN: *Machine Tools* [online]. ©2016 [cit. 2016-02-10].
Dostupné z: http://www.doosanmachinetools.com/en/product/detail.do?CATEGORY_ID=mten010200&PRODUCT_ID=mtenp0012
- [16] DOOSAN: *Machine Tools* [online]. ©2016 [cit. 2016-02-10].
Dostupné z: http://www.doosanmachinetools.com/en/product/detail.do?CATEGORY_ID=mten020300&PRODUCT_ID=mtenp0068

- [17] TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE [online]. ©2014 [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/vertikalni-centra/doosan-dnm-400/>
- [18] FANUC [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-20/m-20ia>
- [19] RobotWorx a SCOTT company [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <https://www.robots.com/fanuc/m-20ia-10l>
- [20] Kernow Oils - Lubricant Solutions [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.kernow-oils.co.uk/industrial-lubricants/metal-working/soluble-coolants/houghton-ho-cut-4730-water-soluble-metalworking-fluid-gf-12516/c-st-gf-12516/>
- [21] Tungaloy: *TAC vyměnitelné břitové destičky. WNMG 080408-SM* [online]. str. 83, 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [22] Tungaloy e-Catalog. *WNMG 080408-SM* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6805443&fnum=1146&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [23] Tungaloy e-Catalog. *DWLN R 2525 M08* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6804173&fnum=4&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [24] Tungaloy: *Materiály* [online]. 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/01_Grades_cs.pdf
- [25] Tungaloy: *TAC Vyměnitelné břitové destičky. WNMG 080404-TSF* [online]. str. 80, 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [26] Tungaloy e-Catalog. *WNMG 080404-TSF* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6862483&fnum=1152&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [27] Tungaloy: *TAC vyměnitelné břitové destičky. CNMG 120404-AFW* [online]. str. 44, 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [28] Tungaloy e-Catalog. *CNMG 120404-AFW* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6863449&fnum=953&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [29] Tungaloy e-Catalog. *DCLNR 2525 M12* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6802880&fnum=3&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [30] Iscar: *Soustružení Iscar* [online]. str. B230 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/SOUSTRUZENI_ISCAR.pdf

- [31] Iscar e-Catalog. *CCMT 060208-SM* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29].
Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5550213&fnum=867&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1>
- [32] Iscar e-Catalog. *IC807* [online]. [cit. 2016-03-29].
Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC807&item=5550213&fnum=867&mapp=IS>
- [33] SANDVIK Coromant. *E12Q-SCLCR 06-R* [online]. [cit. 2016-03-23].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=E12Q-SCLCR%2006-R>
- [34] Tungaloy e-Catalog. *WNMG 080408-ZM* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29].
Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6985203&fnum=1154&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [35] Tungaloy: *TAC vyměnitelné břitové destičky. WNMG 080408-ZM* [online]. str. 83, 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:
https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [36] Tungaloy e-Catalog. *WNMG 080408-AS* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29].
Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6886248&fnum=1133&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [37] Tungaloy: *TAC vyměnitelné břitové destičky. WNMG 080408-AS* [online]. str. 82, 2014 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:
https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [38] WNT. *Negativní vyměnitelná břitová destička WNMG 080408EN-NM15 HCR1135* [online]. 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:
<https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [39] MASTERTOOL WNT: *Soustružnické nože s vyměnitelnými destičkami*. Katalog: str 08/2-10, 2014 [cit. 2016-03-30].
- [40] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 5, 2014 [cit. 2016-03-30].
Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [41] WNT. *Nové vyměnitelné destičky na obrábění oceli, litiny a žáruvzdorných slitin* [online]. Katalog: str. 5,6, 2014 [cit. 2016-03-30].
Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [42] WNT. *Negativní vyměnitelná břitová destička WNMG 080404EN-WF HCX1115* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:
<https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [43] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 7, 2014 [cit. 2016-03-30].
Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [44] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 9, 2014 [cit. 2016-03-30].
Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>

- [45] WNT. *Pozitivní vyměnitelná břitová destička CCMT 09T308EN-SMF HCX1115* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [46] WNT. *Upínací držák s upínacím šroubem SCLCR 2020 K09* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [47] WNT. *Pozitivní vyměnitelná břitová destička CCMT 09T304EN-ZF HCX1115* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [48] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 9, 2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [49] Odbor technologie obrábění: Podklady do cvičení. *Optimalizace řezných podmínek I. (konvenční optimalizace)* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_02_opti_konvencni.pdf
- [50] WNT. *Negativní vyměnitelná břitová destička CNMG 120408EN-CF TWC410* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [51] WNT. *Nové vyměnitelné destičky na obrábění oceli, litiny a žáruvzdorných slitin* [online]. Katalog: str. 6, 2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [52] WNT. *Negativní vyměnitelná břitová destička CNMG 120408EN-CF CWC10* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [53] Iscar e-Catalog. *CNMG 120408-F3M* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5569141&fnum=3615&mapp=IS&app=21&GFSTYP=M>
- [54] Iscar e-Catalog. *IC6015* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC6015&item=5567823&fnum=3615&mapp=IS>
- [55] WNT. *Negativní vyměnitelná břitová destička WNMG 080404EN-XU HCX1115* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [56] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 3,7, 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [57] Tungaloy e-Catalog. *T9125* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Grade.aspx?grade=T9125&item=6864535&fnum=1142&mapp=IS>

- [58] Tungaloy: TAC vyměnitelné břitové destičky. *WNMG080408-NS* [online]. Str. 81, 2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [59] Tungaloy e-Catalog. *WNMG 080408-NS* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6864535&fnum=1142&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [60] WNT. *Pozitivní vyměnitelná břitová destička CCMT 060204EN-ZF HCR1135* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [61] WNT. *Soustružení oceli* [online]. Katalog: str. 9, 2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [62] Tungaloy: TAC vyměnitelné břitové destičky. *CCGT060202FR-J10* [online]. Str. 99, 2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: https://www.tungaloy.com/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [63] Tungaloy e-Catalog. *NS9530* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Grade.aspx?grade=NS9530&item=6723908&fnum=802&mapp=IS>
- [64] Tungaloy e-Catalog. *CCGT 060202FR-J10* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Item.aspx?cat=6723908&fnum=802&mapp=IS&GFSTYP=M>
- [65] Iscar e-Catalog. *IC907* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC907&item=5506323&fnum=2160&mapp=IS>
- [66] Iscar e-Catalog. *CCET 0602005-WF* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5506323&fnum=2160&mapp=IS&app=0&GFSTYP=M>
- [67] Iscar: *Soustružení Iscar* [online]. str. B227 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/SOUSTRUZENI_ISCAR.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer Numerical Control
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition - chemická metoda nanášení povlaku na nástroj
EN	[-]	Evropská norma
ISO	[-]	International Organization for Standardization
NC	[-]	Numerical Control
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition - fyzikální metoda nanášení povlaku na nástroj
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
M	[-]	slinuté karbidy pro obrábění korozivzdorných ocelí a litých ocelí
P	[-]	slinuté karbidy pro obrábění ocelí
R _a	[μm]	střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu
R _m	[MPa]	mez pevnosti
R _{p0,2}	[MPa]	mez kluzu
R _z	[μm]	největší výška profilu
Z	[%]	kontrakce
a _p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv
f _{lim}	[mm]	limitní posuv
l	[mm]	soustružená délka
m	[kg]	hmotnost
r _ξ	[mm]	rádius špičky
v _c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Výrobní postup |
| Příloha 2 | Výkresová dokumentace – polotovar hřídele řízení |
| Příloha 3 | Výkresová dokumentace – hřídel řízení |