



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE SYSTÉMU COROTURN PRIME

APPLICATION OF THE COROTURN PRIME HW SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Hoferica

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Patrik Hoferica**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
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:

Aplikace systému CoroTurn Prime

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Možnosti progresivního HW systému jsou doloženy konkrétním případem obráběcí technologie na soustruhu.

Cíle bakalářské práce:

- Rozbor problematiky HW systému
- Charakteristika aktuální technologie soustružení
- Návrh nové verze technologie se zahrnutím HW systému
- Experimentální obrábění
- Vyhodnocení získaných dat
- Technicko–ekonomické posouzení

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-704-639-4.

MICHNA, Štefan et al. Encyklopedie hliníku. Prešov: Adin, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-21-2336-6.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá charakteristikou a aplikáciou systému sústruženia CoroTurn®Prime od spoločnosti SANDVIK CZ s.r.o. Súčasťou práce je charakteristika a zhodnotenie aktuálnej technológie výroby súčiastky, návrh a aplikácia nového systému, experimentálne overenie vhodnosti navrhovanej technológie pre zadanú súčiastku a technicko-ekonomické porovnanie súčasného stavu s novonavrhovanou technológiou obrábania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

sústruženie, CoroTurn Prime, PrimeTurning, vymeniteľná rezná doštička, uhol nastavenia hlavnej reznej hrany, upínacia sila, hrúbka triesky

ABSTRACT

This bachelor thesis proposes a characteristic and application of turning system CoroTurn®Prime developed by company SANDVIK CZ s.r.o. Bachelor thesis includes characteristic and assessment of actual technology of component manufacturing, proposal and application of a new system, experimental verification of suitability for entered component and technical-economical comparison of actual and new proposal technology of turning.

KEY WORDS

turning, CoroTurn Prime, PrimeTurning, inserts, tool cutting edge angle, clamping forces, chip thickness

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

HOFERICA, P. *Aplikace systému CoroTurn Prime*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 48 s 5 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že bakalársku prácu na tému **Aplikácia systému CoroTurn Prime** som vypracoval samostatne, s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto bakalárskej práce.

.....
Dátum

.....
Patrik Hoferica

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto vedúcemu mojej záverečnej práce pánovi Ing. Milanovi Kalivodovi z VUT v Brne, FSI, ÚST za cenné rady a pripomienky pri vypracovaní tejto bakalárskej práce.

Ďalej chcem poďakovať pánovi Ing. Titusovi Fašungovi, Ph.D. a pánovi Michalovi Važanovi za čas, ktorý mi venovali, pomoc pri spracovaní experimentálnej časti a cenné pripomienky počas realizácie bakalárskej práce.

V neposlednom rade patrí veľká vďaka aj mojej rodine za podporu a pomoc v priebehu celého môjho štúdia.

ABSTRAKT	4
PREHLÁSENIE	5
POĎAKOVANIE	6
ÚVOD	9
1 ROZBOR PROBLEMATIKY	10
2 AKTUÁLNA TECHNOLOGIA SÚSTRUŽENIA.....	11
2.1 NÁČRT VZORKY	11
2.2 MATERIÁL SKÚŠANEJ VZORKY	11
2.3 AKTUÁLNY REZNÝ NÁSTROJ	12
2.4 VÝROBCOM DOPORUČENÉ REZNÉ PARAMETRE	13
2.5 AKTUÁLNE REZNÉ PARAMETRE	13
3 NÁVRH NOVEJ TECHNOLOGIE SÚSTRUŽENIA	14
3.1 NÁSTROJE COROTURN®PRIME	14
3.2 CHARAKTERISTIKA NÁSTROJOV COROTURN®PRIME	14
3.3 POROVNANIE POZDĹŽNEHO SÚSTRUŽENIA	15
3.4 POROVNANIE SÚSTRUŽENIA ČELNÝCH PLÔCH	16
3.5 SMERY SÚSTRUŽENIA	17
3.6 VPLYV UHLU NASTAVENIA HLAVNEJ REZNEJ HRANY K_R NA POSUV	17
3.7 GENEROVANIE KÓDOV	19
3.8 SILOVÝ ROZBOR SÚSTRUŽENIA METÓDOU PRIME TURNING™	20
3.9 POSTUP VÝPOČTU UPÍNACEJ SILY	22
3.9.1 Postup výpočtu momentu rezného odporu	22
3.9.2 Výpočet prierezu triesky	23
3.9.3 Výpočet reznej sily	23
3.9.4 Výpočet momentu rezného odporu	24
3.10 VÝPOČET CELKOVEJ UPÍNACEJ SILY	24
3.11 VÝPOČET POSUVOVEJ SILY	24
3.12 POROVNANIE UPÍNACEJ A POSUVOVEJ SILY	25
4 EXPERIMENTÁLNE OBRÁBANIE	27
4.1 OBRÁBACÍ STROJ.....	27
4.2 CHARAKTERISTIKA REZNÉHO NÁSTROJA COROTURN®PRIME B.....	28

4.3	ÚPNUTIE.....	29
4.4	EXPERIMENTÁLNE OBRÁBANIE.....	30
4.5	DOSIAHNUTÉ REZNÉ PARAMETRE.....	30
5	VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH DÁT.....	31
5.1	POROVNANIE TRIESKY	31
5.2	NÁKLADY NA VRD	32
5.3	NÁKLADY NA SÚSTRUŽENIE	33
5.3.1	Náklady v prípade štyroch rezných hrán	35
5.4	COROTURN®PRIME A	36
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	37
7	DISKUSIA.....	39
7.1	ÚPNUTIE.....	39
7.2	NÁKLADY	39
7.3	NOVÉ NÁSTROJE	39
	ZÁVER.....	40
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	41
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	44
	ZOZNAM PRÍLOH	48

ÚVOD

Sústruženie je jeden zo základných priemyselných procesov, ktorý sa vyvíjal niekoľko desaťročí. Oproti neustálemu zlepšovaniu tuhosti strojov, upínaniu obrobkov a v neposlednom rade aj neustále sa zlepšujúcim rezným nástrojom, sa metodika sústruženia ako taká za posledné desaťročia vôbec nezmenila. Najčastejšou požiadavkou pri optimalizácii trieskového obrábania je zvyšovanie produktivity a znižovanie vstupných nákladov na čo najnižšiu úroveň. Z tohto hľadiska sa zdá, že všetky konvenčné metódy už vyčerpali svoj potenciál a na rad prichádzajú nekonvenčné metódy trieskového obrábania. Jednou z takýchto metód je aj PrimeTurning™ od spoločnosti SANDVIK CZ s.r.o. Na rozdiel od konvenčného sústruženia ako ho poznáme, umožňuje metóda PrimeTurning™ aby nástroj vnikol do obrobku pri skľučovadle a odoberal materiál opačným smerom. Hlavnou výhodou sústruženia týmto spôsobom je možnosť použitia malého uhlu nastavenia, čo radikálne zvyšuje produktivitu sústruženia. Pre tento spôsob sústruženia boli špeciálne vyvinuté vymeniteľné rezné doštičky pre ľahké hrubovanie, tvarové obrábanie a ťažké hrubovanie, ktoré sú charakteristické svojím tvarom. V tejto bakalárskej práci bude priblížený princíp navrhovanej technológie, popísaný priebeh experimentu, ktorý sa uskutočnil vo výrobnjej prevádzke a zhodnotená technologická a technicko-ekonomická stránka testovanej technológie [1, 2].



Obr. 1 Rezné nástroje od spoločnosti SANDVIK CZ s.r.o. [3].

1 ROZBOR PROBLEMATIKY

Pri výrobe sústružených dielov, je hlavnou prioritou dosiahnuť čo najnižšie náklady na jeden vyrobený kus pri zachovaní požadovanej kvality výrobku. Na optimálnu úroveň nákladov do veľkej miery vplyva výber stroja, rezného nástroja a voľba správnej technológie sústruženia, čo je priamo závislé od veľkosti výrobnej série a zložitosti výrobku. V prípade, že sa výrobný podnik rozhodne investovať do vysoko produktívneho sústružnicko-frežovacieho centra, výrobný čas a tým pádom aj náklady na výrobu klesnú. Je to však spôsobené optimalizáciou technologických procesov a možnosťou výroby dielov na jednom výrobnom zariadení. Stále však existuje priestor, ako sústružnícke operácie zefektívniť vhodným výberom rezných nástrojov a optimálnym nastavením rezných parametrov na výrobnom zariadení.

Všeobecne platí, že menší uhol nastavenia hlavnej reznej hrany umožňuje zvýšiť posuv, ktorý má zásadný vplyv na celkový čas sústruženia. Pri konvenčnom sústružení sme však obmedzení na cca 90° a to z dôvodu vzniku dlhej zakrútenej triesky alebo obmedzenému prístupu do rohov obrobku. Preto prichádza na rad nekonvenčná metóda sústruženia „naopak“, ktorá dovoľuje použiť malý uhol nastavenia hlavnej reznej hrany a súčasne zabezpečuje dosah do rohov obrobku a lámanie triesky [1].

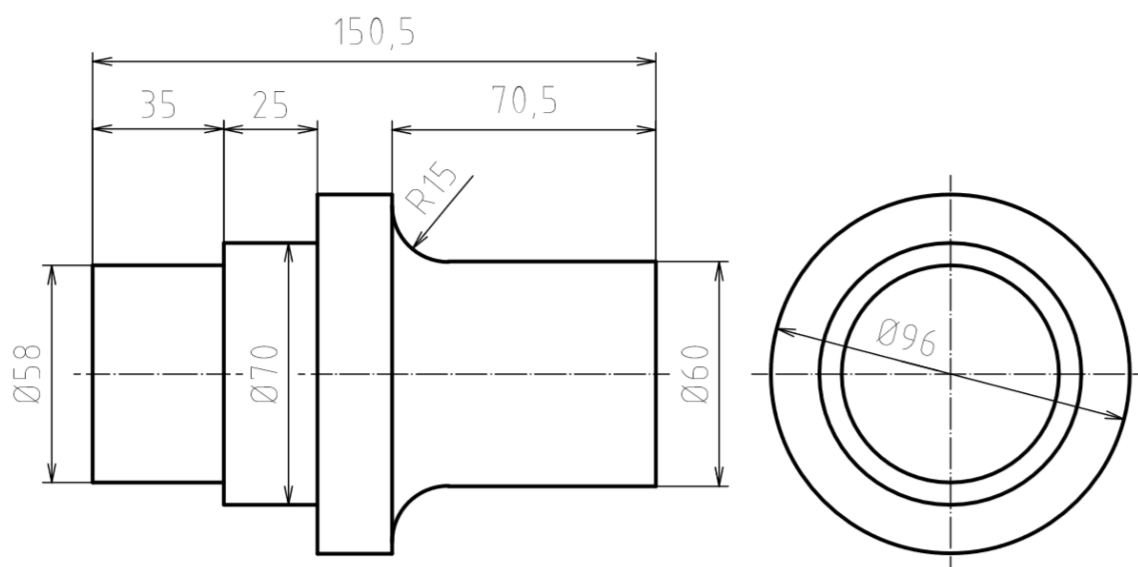


Obr. 2 Sústruženie vonkajších plôch [4].

2 AKTUÁLNA TECHNOLOGIA SÚSTRUŽENIA

V tejto kapitole bude popísaná aktuálna technológia sústruženia, ktorá je využívaná vo výrobnej prevádzke a podľa ktorej je realizované opracovanie dielu. Súčasná technológia bude porovnávaná s novonavrhovanou z technického a ekonomického hľadiska.

2.1 Náčrt vzorky



Obr. 3 Náčrt skúšanej vzorky.

Aktuálna aj navrhovaná technológia sústruženia bude testovaná na čape o celkovej dĺžke $L = 150,5$ mm s troma priermi $D_1 = 58$ mm, $D_2 = 60$ mm, $D_3 = 70$ mm a osadením $D_3 = 96$ mm (obr. 3). Polotovarom bude tyč kruhová o priemere $\varnothing 105$ mm s prídavkom 1,75 mm na každé čelo. Náčrt bol zhotovený zjednodušením už existujúceho výkresu, ktorý je zaradený do výrobného programu spoločnosti, kde bol daný experiment vykonávaný. Všetky rozmery a tolerancie boli navrhnuté tak, aby bolo možné výrobok dokončiť podľa požiadaviek zákazníka. Náčrt výrobku bol zjednodušený z dôvodu utajovaných skutočností, ktoré nie je možné v záverečnej práci zverejniť.

2.2 Materiál skúšanej vzorky

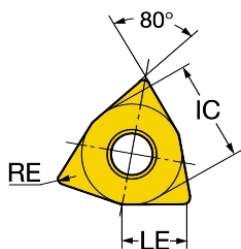
Materiál skúšanej vzorky je nízkolegovaná ušľachtilá chróm-molybdénová oceľ 42CrMo4, ktorá je určená k tepelnému spracovaniu. Táto oceľ patrí k najčastejšie používaným oceliam určeným ku zušľachteniu. V tab. 1 je uvedený prehľad vlastností ocele 42CrMo4 podľa ČSN EN 10083-3:2007 [5].

Tab. 1 Prehľad vlastností ocele 42CrMo4 [5].

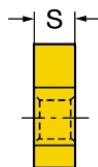
Druh ocele	nízkoalégovaná ušľachtilá chróm-molybdénová oceľ						
Použitie	Vďaka vyššej prekaliteľnosti je daná oceľ používaná pre viac namáhané strojné diely. V kalenom stave dobre odoláva opotrebeniu.						
Chemické zloženie tavy v hmotnostných %	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo
	0,38-0,45	0,40	0,60-0,90	0,025	0,035	0,90-1,20	0,15-0,30
Chemické zloženie hotového výrobku v hmotnostných %	0,36-0,47	0,43	0,56-0,94	0,030	0,040	0,85-1,25	0,12-0,33
Mechanické vlastnosti v zušľachtenom stave	Priemer $100 < d \leq 160$		R _e min. [MPa]	R _m [MPa]	A min. [%]	Z min. [%]	KV min. [J]
			550	800-950	13	50	35
Obrobiteľnosť	Obrába sa v stave žíhanom na mätko. Zlepšenú obrobiteľnosť vykazuje oceľ so zvýšeným obsahom síry.						

2.3 Aktuálny rezný nástroj

Aktuálna technológia sústruženia využíva vymeniteľnú reznú dosičku (ďalej už len VRD) WNMG 080408-PM 4305 (obr. 4) od spoločnosti SANDVIK CZ s.r.o. Jedná sa o VRD tvaru šesťhranu s vrcholovým uhlom 80°. Ako je z označenia zrejmé, ide o negatívnu dosičku s uhlom chrbta 0°. Najväčšou výhodou negatívnych VRD je obojstranné použitie, čiže dvojnásobný počet rezných hrán. V tomto prípade je k dispozícii šesť rezných hrán čo zvyšuje životnosť celej VRD [6, 7].



Obr. 4 Informatívny popis VRD WNMG 080408 -PM 4305 [6].



Obr. 5 VRD WNMG 080408 - PM 4305 [6].

2.4 Výrobcom doporučené rezné parametre

V tab. 2 sú uvedené výrobcom doporučené rezné parametre pre konkrétnu VRD WNMG 080408 -PM 4305.

Tab. 2 Doporučené rezné parametre výrobcom VRD [6].

	f_n min.	f_n dop.	f_n max.	a_p min.	a_p dop.	a_p max.
Doporučené rezné parametre	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	0,15	0,3	0,5	0,5	2,5	4

2.5 Aktuálne rezné parametre

Na základe informácií, ktoré boli poskytnuté spoločnosťou, bola vypracovaná operačná návodka, uvedená prílohe, s reznými parametrami ktoré sú používané pri výrobe daného dielu. V porovnaní s reznými parametrami od výrobcu VRD sú hodnoty rezných parametrov v prevádzke totožné s doporučenými reznými hodnotami vid' tab. 3.



Obr. 6 Aktuálna technológia hrubovacej operácie.

Tab. 3 Rezné parametre použité na hrubovaciú operáciu s VRD WNMG 080408 -PM 4305.

Parameter	a_p	f_n	v_c	t_{As}
Jednotka	[mm]	[mm]	[m.min ⁻¹]	[min]
Hodnota	2,5	0,3	180	3,42

3 NÁVRH NOVEJ TECHNOLOGIE SÚSTRUŽENIA

Cieľom návrhu novej technológie sústruženia bolo zníženie celkových nákladov na sústruženie konkrétneho dielu. Návrh bol zameraný najmä na hrubovaciu operáciu, pri ktorej je najväčší potenciál na zníženie obrábacieho času a úsporu VRD.

3.1 Nástroje CoroTurn®Prime

Nová metodika sústruženia PrimeTurning™ umožňuje realizovať sústružnícke operácie vo všetkých smeroch. To znamená, že sústružiť je možné nielen konvenčným spôsobom, teda od konca obrobku po skľučovadlo, ale aj opačným smerom od skľučovadla po koniec komponentu. Pre tieto účely boli špeciálne vyvinuté nástroje koncepcie CoroTurn®Prime typu A a typu B zobrazené na obr. 7 [1].



Obr. 7 Nástroje koncepcie CoroTurn®Prime typu A,B [8].

3.2 Charakteristika nástrojov CoroTurn®Prime

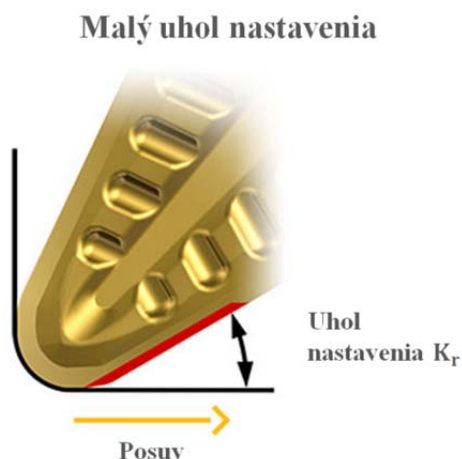
Špeciálne vyvinuté nástroje pre metodiku sústruženia PrimeTurning™ sa vyznačujú niekoľkými charakteristickými vlastnosťami (tab. 4). Oba druhy VRD sú špecifické tvarom hrotu na ktorej sa nachádza viacero uhlov. Doštička typu B má široký uhol v oblasti hrotu, ktorý sa smerom k stredu postupne zužuje. Cieľom tohto dizajnu je maximalizovať odolnosť rezných hrán ako aj vytvoriť stierací efekt, ktorý zanechá kvalitný hladký povrch. To je výhodné najmä pri hrubovacích operáciách, pretože zanechaním kvalitného povrchu na obrobku sa zjednodušuje dokončovacia operácia, poprípade je možné ju úplne vynechať [9, 10].

Tab. 4 Popis základných vlastností [11].

	CoroTurn®Prime typ A	CoroTurn®Prime typ B
Metóda		
Použitie	Ľahké hrubovanie Dokončovacie operácie Tvarové obrábanie	Ťažké hrubovanie
Geometria	Tri rohy s uhlom 35°	Dva rohy, tvar hrotu totožný s doštičkou CNMG
Vhodnosť Použitia technológie	Sústruženie vonkajších plôch Obrábanie krátkych súčiastok Obrábanie súčiastok podporených koníkom Hromadná výroba	
Obrábaný materiál	Ocele Koróziivzdorné ocele Liatiny Žiaruvzdorné zliatiny	

3.3 Porovnanie pozdĺžneho sústruženia

Zásadný rozdiel medzi konvenčnou metódou sústruženia a metódou PrimeTurning™ je v účinnom využití reznej hrany. Konvenčné metódy sústruženia využívajú na vytvorenie triesky polomer zaoblenia hrotu a malú časť reznej hrany, tým pádom je koncentrácia tepla a opotrebenia sústredená na malej ploche na ktorej najčastejšie vznikajú poškodenia, ktoré zabraňujú ďalšiemu použitiu VRD. Pri metóde PrimeTurning™ je pre úber materiálu využívaná väčšia časť reznej hrany. Vďaka malému uhlu nastavenia hlavnej reznej hrany κ_r , ktorý sa pohybuje v rozmedzí 25° až 30° (obr. 8), vzniká tenká, široká trieska, dochádza k dobrému odvádzaniu tepla pozdĺž rezného klinu a je možné podstatne zvýšiť hodnotu posuvu. Z dôvodu opačného pohybu, z rohu smerom von, nedochádza k hromadeniu triesok, trieska je plynulá a ľahšie sa formuje [1, 12].

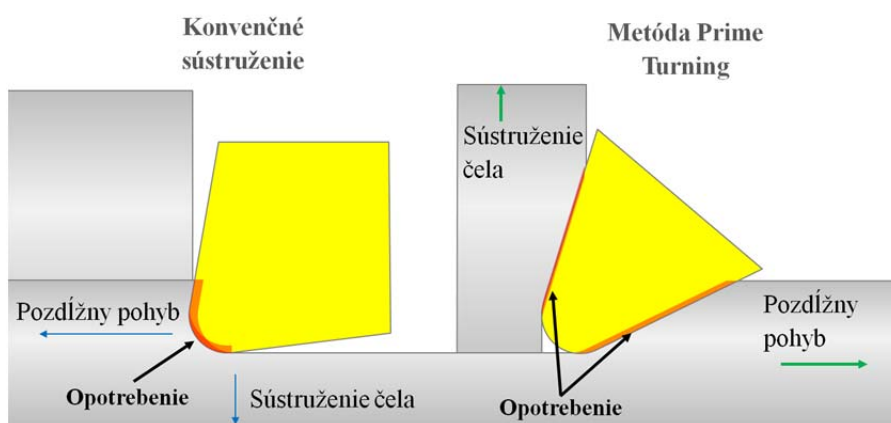


Obr. 8 Malý uhol nastavenia hlavnej reznej hrany [8].

3.4 Porovnanie sústruženia čelných plôch

Zásadný rozdiel využívania rezných hrán je aj pri sústružení čelných plôch. Ako možno vidieť na obr. 9, konvenčné metódy využívajú na sústruženie čelných plôch opäť polomer zaoblenia hrotu, a tým pádom zväčšujú opotrebenie vymeniteľnej reznej doštičky.

U metódy PrimeTurning™ je možné na sústruženie čelných plôch použiť ďalšiu reznú hranu, čím sa efektívne využíva celá VRD a predlžuje sa životnosť nástroja. VRD koncepcie PrimeTurning™ disponujú tromi reznými hranami na každom rohu (obr. 10). Jednotlivé rezné hrany slúžia na sústruženie pozdĺžne, tvarové a sústruženie čelných plôch. Týmto spôsobom obrábania je možné predísť koncentrácii opotrebovania na polomere zaoblenia hrotu nástroja a taktiež dochádza k plynulému odvádzaniu tepla z oblasti rezu, čo pomáha k predlžovaniu trvanlivosti nástroja [1, 13].



Obr. 9 Porovnanie opotrebenia VRD [14].

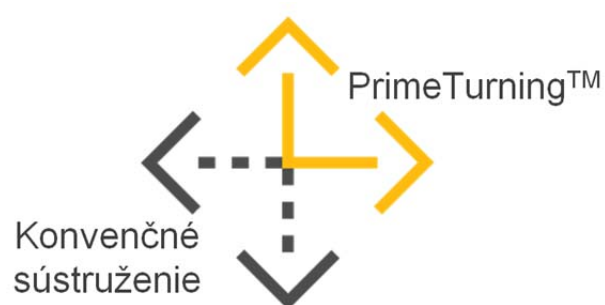
3.5 Smery sústruženia

Podľa toho, ktorým smerom je sústruženie realizované, sú rozlišované štyri spôsoby pohybov rezného nástroja [2]:

- a) stranové spätné,
- b) čelné spätné,
- c) stranové dopredné,
- d) čelné dopredné.



Obr. 10 Efektívne využitie reznej hrany [9].



Obr. 11 Popis pohybov nástroja [15].

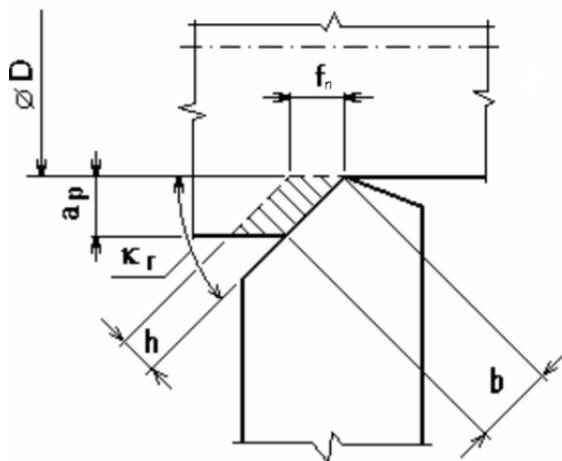
Sústružnícke operácie vo všetkých smeroch je možné realizovať vďaka špeciálne navrhnutým rezným nástrojom CoroTurn®Prime. Voľbou číslo jedna sú spätné pohyby nástroja (obr. 11), ktoré zvyšujú produktivitu trieskového obrábania a predlžujú životnosť rezných nástrojov [1, 2].

3.6 Vplyv uhlu nastavenia hlavnej reznej hrany κ_r na posuv

Najdôležitejším parametrom pre dosiahnutie produktívneho a spoľahlivého trieskového obrábania je hrúbka triesky h (obr. 12). Hrúbka triesky je definovaná ako hrúbka nedeformovanej triesky meraná kolmo k zaberajúcej reznej hrane. Vplyv hrúbky triesky je zásadný pre veľkosť merného rezného odporu, veľkosť silového zaťaženia rezného klinu, veľkosť opotrebenia, trvanlivosti nástroja, teplotu rezu a tvorbu triesky. V prípade, že je hrúbka triesky príliš veľká, dôjde k vylomeniu rezného klinu z dôvodu veľkého silového zaťaženia. Ak je hrúbka triesky príliš malá, produktivita klesá a trvanlivosť nástroja sa zníži kvôli vzniku veľkého trenia a tepla generovaného v oblasti rezu. Vzhľadom na všetky tieto fakty je vhodné nastavenie hrúbky triesky pri obrábaní veľmi zásadné [16,17].

Výpočet hrúbky triesky sa stanoví podľa vzťahu [18]:

$$h = f_n \cdot \sin(K_r) \quad (1)$$



Obr. 12 Hrúbka triesky pri sústružení [18].

Kde :

D - priemer obrobku [mm]

ap - hĺbka rezu [mm]

Kr - nástrojový uhol nastavenia hlavnej reznej hrany [°]

h - hrúbka triesky [mm]

b - šírka triesky [mm]

fn - posuv [mm]

Vďaka tomu, že koncepcia PrimeTurningTM umožňuje malé uhly nastavenia Kr (25°-30°), je možné zvýšiť posuv fn a to bez zásadného vplyvu na hrúbku triesky. Práve o tieto poznatky sa celá koncepcia opiera a zvýšením posuvu pri približne rovnakej hodnote hrúbky triesky zvyšuje produktivitu trieskového obrábania [1].

Dosadenie do vzťahu (1):

a) Konvenčná metóda sústruženia WNMG080408 PM-4305

$$h = 0,3 \cdot \sin(95^\circ) = 0,298 \text{ mm}$$

b) Metóda sústruženia PrimeTurningTM - CoroTurn ®Prime typu A

$$h = 0,6 \cdot \sin(30^\circ) = 0,300 \text{ mm}$$

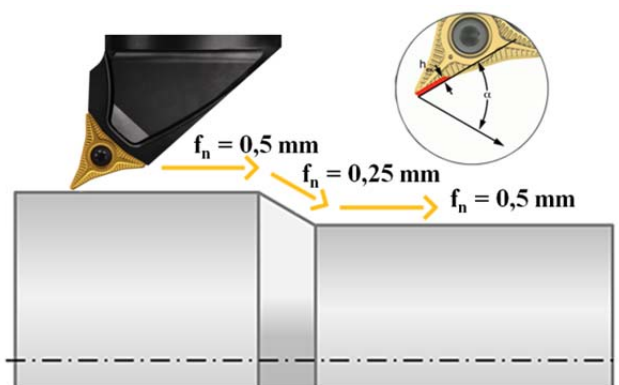
c) Metóda sústruženia PrimeTurningTM - CoroTurn®Prime typu B

$$h = 0,7 \cdot \sin(25^\circ) = 0,296 \text{ mm}$$

Tab. 5 Ukážka princípu zvyšovania produktivity koncepcie PrimeTurningTM.

	WNMG080408 PM-4305	CoroTurn®Prime typu A	CoroTurn®Prime typu B
Uhol nastavenia hlavnej reznej hrany κ_r [°]	95°	30°	25°
Posuv f_n [mm]	0,3	0,6	0,7
Hrúbka triesky h [mm]	0,298	0,300	0,296

Ako je z tab. 5 zrejmé, pre malé uhly nastavenia je nutné zvýšiť posuv, aby hrúbka triesky nebola príliš malá a tým pádom nedochádzalo k väčšiemu opotrebovaniu rezného klinu vplyvom zvýšeného trenia a tepla v mieste rezu. Z názorných výpočtov je vidieť, že čím je uhol nastavenia hlavnej reznej hrany κ_r menší, tým je možné a v niektorých prípadoch až nutné nastaviť väčší posuv. Naopak pri sústružení šikmých plôch a pri vniknutí do obrábaného materiálu, je nevyhnutné posuv znížiť, aby hrúbka triesky ostala konštantná (obr. 13).



Obr. 13 Zmena posuvu pri sústružení šikmých plôch [19].

3.7 Generovanie kódov

Metodika sústruženia PrimeTurningTM si vyžaduje úpravu NC programov. Pre vytvorenie správneho programového kódu je možné využiť generátor kódov na obr. 14 pre metódu PrimeTurningTM, ktorý je kompatibilný s rôznymi CNC systémami. Výhodou je, že

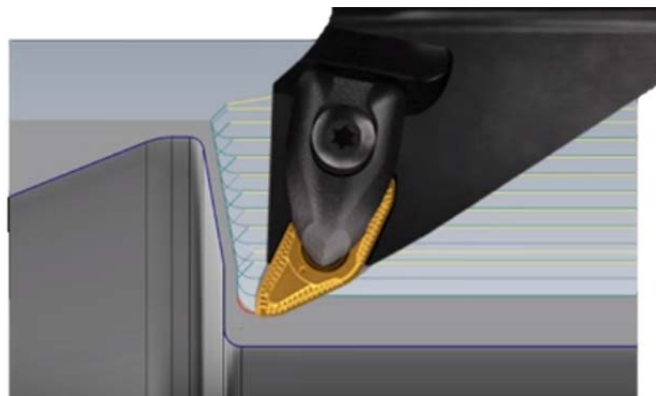
automaticky upraví posuv vzhľadom na aktuálne obrábanú plochu tak, aby bola dodržaná konštantná hrúbka triesky. Taktiež upraví vstup nástroja do materiálu. Výsledkom je špecifické vniknutie nástroja do obrábaného materiálu po rádiuse so zníženou hodnotou posuvu (obr. 15) [20].

Vytvorenie programového kódu je možné [20]:

- a) nakopírovaním aktuálneho NC kódu,
- b) pomocou cyklu G71,
- c) pomocou celoobrazovkového režimu.



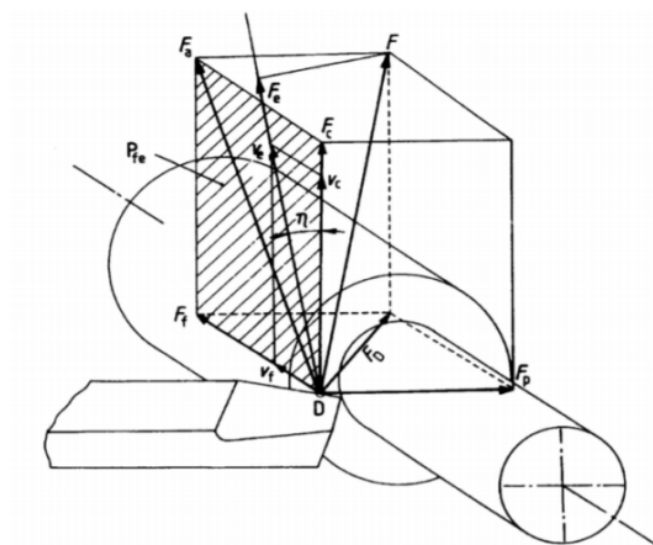
Obr. 14 Generátor NC kódov pre metódu sústruženia PrimeTurning™ [20].



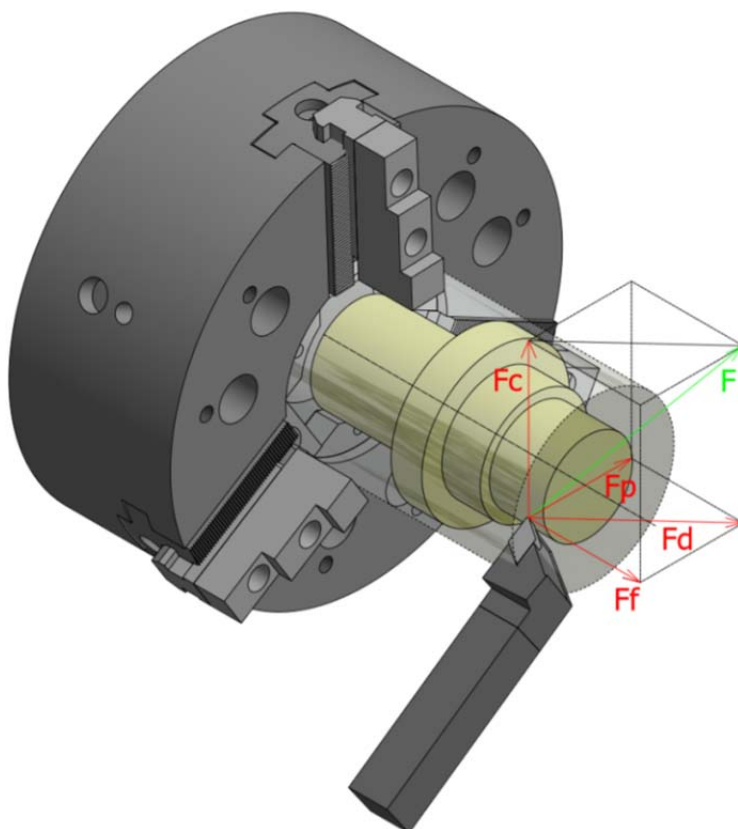
Obr. 15 Dráhy nástroja CoroTurn®Prime B [21].

3.8 Silový rozbor sústruženia metódou PrimeTurning™

Jednou z hlavných výhod nástrojov CoroTurn®Prime je možnosť uskutočňovať sústružnícke operácie vo všetkých smeroch. Pri konvenčnom spôsobe sústruženia, kedy nástroj vniká do obrobku pri čele a vykonáva rez smerom ku skľučovadlu, výsledná sila pôsobí smerom do skľučovadla vid'. obr. 16. Silové zaťaženie z rezného procesu má za dôsledok, že obrábaný kus pôsobí silou na pevný doraz skľučovadla. Silová výslednica a spôsob upnutia tak žiadnym spôsobom neobmedzujú nastavenie parametrov trieskového obrábania. Ak ale nástroj vniká do obrobku pri skľučovadle (obr. 17) a rez vykonáva smerom k čelu obrobku, sila posuvu celý obrazec otáča a silová výslednica pôsobí smerom von zo skľučovadla. V takomto prípade hrozí vytiahnutie polotovaru zo skľučovadla a to z dôvodu opačného smeru silovej výslednice. Preto je potrebné pred experimentálnou časťou vypočítať veľkosť upínacej sily, ktorú je nutné vyvinúť na obrábaný polotovar. Pre bezpečné upnutie sa daná sila ešte vynásobí bezpečnostným koeficientom, aby bolo zaistené bezpečné upnutie pri obrábaní [22].



Obr. 16 Silový rozbor konvenčnej metódy [22].



Obr. 17 Silový rozbor obrábania metódou PrimeTurning™.

3.9 Postup výpočtu upínacej sily

Pri upnutí obrobku v sklúčovadle, pôsobí na obrobok moment rezného odporu M a zložka reznej sily F_f pôsobiaca v osi obrobku. Výpočet celkovej upínacej sily Q_c bude vykonaný podľa nasledujúceho vzťahu [22]:

$$Q_c = \frac{k \cdot M}{f_n \cdot r} \quad (2)$$

Kde :

M	Moment rezného odporu	[Nm]
r	Polomer upnutia obrobku	[mm]
f_n	Súčiniteľ trenia	[-]
k	Koeficient bezpečnosti upínania	[-]

Rezné parametre ako aj všetky hodnoty a informácie, s ktorými bude počítané, sú predpokladanými hodnotami a môžu sa v priebehu experimentu meniť. Cieľom je hodnoty uvedené v tab. 6 dosiahnuť aj v experimentálnej časti bakalárskej práce, preto sa z nich bude pri výpočte reznej sily vychádzať.

Tab. 6 Predpokladané rezné parametre v experimentálnej časti.

a_p [mm]	f_n [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	κ_r [°]	Polotovár	Počet čeľustí
3	0,7	180	25	Ø 105-154	3

3.9.1 Postup výpočtu momentu rezného odporu

Pre výpočet momentu rezného odporu je nutné najprv spočítať výslednú reznú silu F_C , ktorá daný moment vytvára.

$$M = F_C \cdot r \quad (3)$$

Jednou z možností ako spočítať reznú silu je pomocou mernej reznej sily k_C . Ide vlastne o silu rezania F_C stiahnutú na jednotku plochy rezu [23].

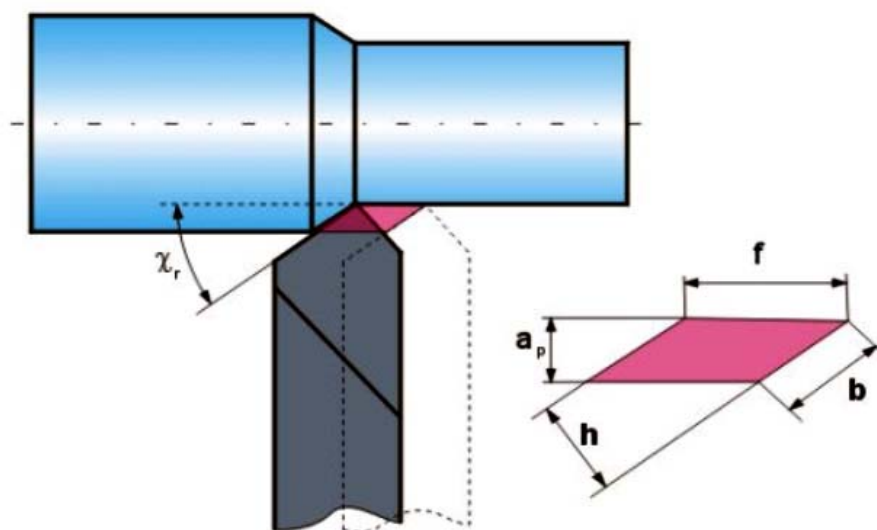
$$k_C = \frac{F_C}{A_D} \quad (4)$$

Z toho vyjadríme závislosť reznej zložky sily:

$$F_C = k_C \cdot A_D$$

3.9.2 Výpočet prierezu triesky

Prierez triesky A_D sa spočíta ako obsah rovnobežníka, ktorého strany tvoria šírka triesky b a hrúbka triesky h . Hodnoty šírky a hrúbky triesky spočítame pomocou goniometrickej funkcie pravouhlého trojuholníka, ktorý nám vznikne po doplnení predpokladaných rezných parametrov obrábania vid' obr. 18.



Obr. 18 Parametre odrezávanej triesky [24].

$$b = \frac{a_p}{\sin(K_r)} \quad (5)$$

$$b = \frac{3}{\sin(25^\circ)} = 7,0989 \text{ mm}$$

$$h = f_n \cdot \sin(K_r) \quad (6)$$

$$h = 0,7 \cdot \sin(25^\circ) = 0,295 \text{ mm}$$

Prierez odrezávanej triesky:

$$A_D = b \cdot h \quad (7)$$

$$A_D = 7,0989 \cdot 0,295 = 2,1 \text{ mm}^2$$

3.9.3 Výpočet reznej sily

Hodnota mernej reznej sily bola odčítaná z tabuliek pre nízkoalegovanú oceľ s tvrdosťou 220 až 420 HB [23].

$$k_c = 3\,300 \frac{N}{mm^2} \quad (8)$$

Dosadenie hodnôt do vzťahu (4):

$$F_c = k_c \cdot A_D$$

$$F_c = 3\,300 \cdot 2,1 = 6\,930 \, N$$

3.9.4 Výpočet momentu rezného odporu

Dosadenie hodnôt do vzťahu pre výpočet rezného momentu (3):

$$M = F_c \cdot r$$

$$M = 6\,930 \cdot 0,0525 = 363,8 \, Nm$$

3.10 Výpočet celkovej upínacej sily

Hodnota koeficientu bezpečnosti sa volí s ohľadom na podmienky a druh obrábania. Keďže v danom prípade ide o hrubovaciu operáciu, je požadovaná vysoká bezpečnosť. Preto bol zvolený koeficient bezpečnosti $k = 3$. Súčiniteľ trenia f je volený podľa strojných tabuliek. Uvažujeme dynamické trenie oceľ na oceľ, tabuľka z ktorej boli volené hodnoty je k dispozícii v prílohe [22, 25].

$$Q_c = \frac{k \cdot M}{f \cdot r} \quad (9)$$

$$Q_c = \frac{3 \cdot 363,8}{0,42 \cdot 0,0525} = 49\,496,59 \, N$$

$$Q_c = 49,5 \, kN$$

Bezpečná upínacia sila, ktorá by mala zabrániť pootočeniu obrobku v univerzálnom trojčelust'ovom skľučovadle, je 49,5 kN.

3.11 Výpočet posuvovej sily

Celkovú upínaciu silu je ale potrebné porovnať s veľkosťou sily, pôsobiacej v osi obrobku, aby sa vylúčil axiálny pohyb obrábanej súčiastky v smere osi. Z toho dôvodu prevedieme výpočet veľkosti posuvovej sily. Pri výpočte sa bude vychádzať z konštánt a exponentov uvedených v tab.7 [22].

$$Q_c \geq \frac{k \cdot F_f}{f} \quad (10)$$

Tab.7 Hodnoty materiálových konštánt C_F a exponentov X_F a Y_F pre oceľ [26].

Legovaná oceľ	C_{Fc}	X_{Fc}	Y_{Fc}	C_{Fp}	X_{Fp}	Y_{Fp}	C_{Ff}	X_{Ff}	Y_{Ff}
Rm 700 [MPa]	2 030	1	0,75	1 130	0,90	0,75	690	1,10	0,55

Hodnoty koeficientov uvedené v tab.7 nezodpovedajú skutočnému materiálu a rezným parametrom, ktoré budú nastavené. Vzhľadom na fakt, že presné hodnoty exponentov a konštánt nie je možné určiť, stanoví sa predpoklad, že riziko vzniknuté nepresným výpočtom bude zahrnuté v bezpečnostnom koeficiente, ktorý zväčšíme na hodnotu $k = 6$.

Dosadenie hodnôt z tab.7 do vzťahu [26]:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{X_{Ff}} \cdot f_n^{Y_{Ff}} \quad (11)$$

$$F_f = 690 \cdot 3^{1,10} \cdot 0,7^{0,55}$$

$$F_f = 1\,898,8\,N$$

3.12 Porovnanie upínacej a posuvovej sily

Dosadenie hodnôt do vzťahu (10):

$$Q_c \geq \frac{6 \cdot 1898,8}{0,42}$$

$$49,5 \geq 27,1\, [kN]$$

Z výpočtov vyplýva, že obrobok by mal byť bezpečne zaistený voči radiálnym aj axiálnym pohybom pri upínacej sile 49,5 kN. V tab. 8 sú uvedené hodnoty upínacích síl, ktorá je možné nastaviť na výrobnom zariadení DMG BETA CTX 1250 TC 4A.

Tab. 8 Hodnoty upínacích síl na obrábacom zariadení.

Jednotka	Upínacie sily na hlavnom vretene zariadenia DMG CTX BETA 1250 TC 4A							
[kN]	25	35	47	63	75	88	100	113
[Bar]	10	15	20	25	30	35	40	45

Na obr. 19 a obr. 20 je zobrazená fotografia polotovaru upnutého v univerzálnom trojčelustovom skľučovadle pred začatím experimentu. Upínacia sila bola nastavená na hodnotu 21 barov, teda približne 50 kN. Táto sila by mala byť podľa výpočtov dostatočná, aby zabránila pohybu obrobku v skľučovadle.



Obr. 19 Upnutie polotovaru v univerzálnom skľučovadle.



Obr. 20 Upnutie polotovaru v univerzálnom skľučovadle.

4 EXPERIMENTÁLNE OBRÁBANIE

Cieľom tejto bakalárskej práce bola aplikácia systému PrimeTurning™ od spoločnosti SANDVIK CZ s.r.o. na skúšanej vzorke s cieľom zefektívniť hrubovacíu operáciu v reálnej prevádzke, následne vyhodnotenie technológie a porovnanie technicko-ekonomických ukazovateľov súčasnej a navrhovanej technológie. Experimentálna práca je zameraná hlavne na hrubovacíu operáciu, ktorá tvorí najväčšiu zložku z celkového času sústruženia, preto je predpoklad, že na hrubovacej operácii bude možné najlepšie zhodnotiť efektivitu testovanej technológie. Namerané hodnoty boli následne spracované a vyhodnotené s cieľom zhodnotiť možnú úsporu nákladov pri obrábaní metódou PrimeTurning™ v porovnaní s používanou metódou.

4.1 Obrábací stroj

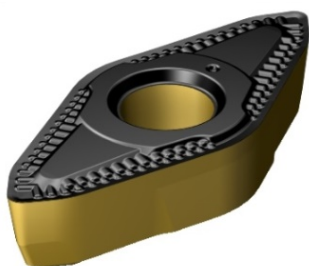
Celý experiment sa uskutočnil na číslicovo riadenom stroji DMG CTX BETA 1250 TC 4A (obr. 21). Jedná sa o vysoko produktívne obrábacie centrum, ktoré umožňuje 4 osé sústruženie a frézovanie. Označenie TC 4A na konci značí, že sa jedná o konfiguráciu s protivretenom a sústružnicko-frézovacím vretenom. Onačenie 1250 vyjadruje maximálnu dĺžku sústruženia v milimetroch. Zariadenie je riadené pomocou riadiaceho systému Siemens Sinumerik 840D [27].



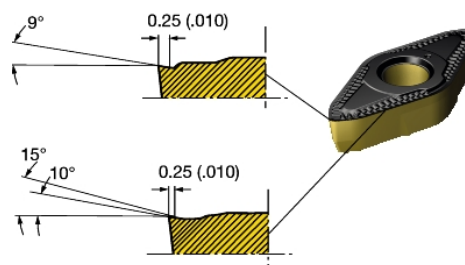
Obr. 21 CTX BETA 1250 TC 4A [28].

4.2 Charakteristika rezného nástroja CoroTurn®Prime B

Experimentálne obrábanie bolo realizované pomocou rezného nástroja s označením CP-B1108-M5W 4325 obr. 22 a obr. 23. Skratka GC4325 predstavuje povlakovanú karbidovú triedu VRD, vhodnú na sústruženie ocelí a liatín, spojitým ale aj prerušovaným rezom. Presnejšie sa jedná o VRD vyrobenú zo spekaných karbidov s povlakom $\text{Ti(C,N)+Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$, ktorý je nanášaný metódou CVD. Povlak bol vyvinutý tak, aby VRD odolávali opotrebeniu vplyvom tepla aj pri vysokých hodnotách rezných parametrov. Tvar hrotu je totožný ako u VRD typu CNMG. VRD disponuje dvomi reznými hranami, ktoré môžu vykonávať sústružnicke operácie vo všetkých smeroch [29].

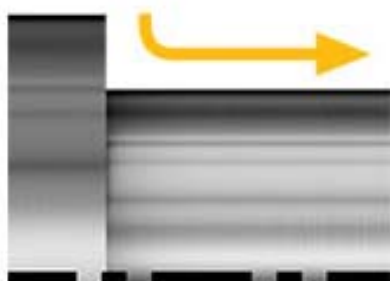


Obr. 22 VRD CP-B1108-M5W 4325 [29].



Obr. 23 Detailný pohľad na uhly VRD CP-B1108-M5W 4325 [29].

V tab. 9 sú uvedené výrobcom doporučené rezné parametre obrábania. S nástrojmi typu CoroTurn®Prime je možné obrábanie vo všetkých smeroch, preto je tabuľka rozdelená na štyri možné spôsoby obrábania. V rámci experimentu však boli testované len stranové spätné (obr. 24) a čelné spätné (obr. 25) pohyby nástroja, na ktorých je daná technológia postavená [2].



Obr. 24 Stranové spätné sústruženie [2].



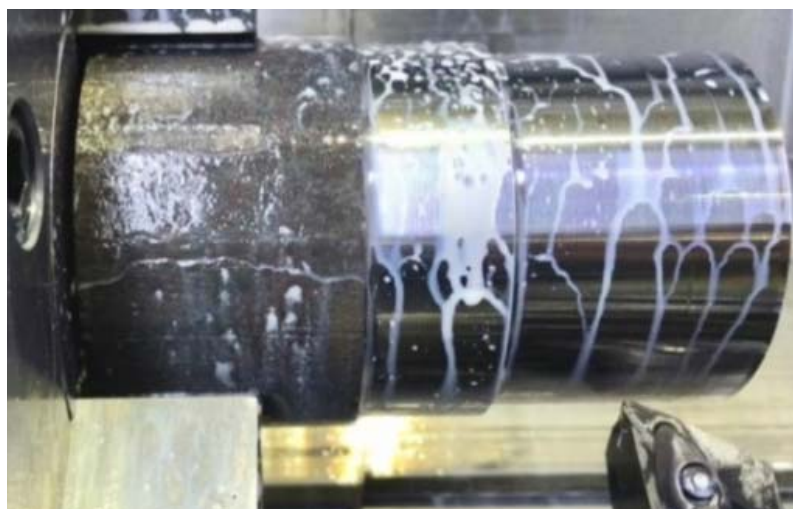
Obr. 25 Čelné spätné sústruženie, zdroj [2].

Tab. 9 Doporučené rezné parametre pre CP-B1108-M5W 4325 od výrobcu [29].

<i>Parameter</i>	<i>Jednotka</i>	<i>sústruženie spätným pohybom</i>		<i>sústruženie dopredným pohybom</i>	
		<i>Stranové</i>	<i>Čelné</i>	<i>Stranové</i>	<i>Čelné</i>
f_n min.	[mm]	0,2	0,2	0,1	0,1
f_n dop.	[mm]	0,4	0,4	0,2	0,2
f_n max.	[mm]	0,5	0,5	0,25	0,25
a_p min.	[mm]	0,25	0,25	0,25	0,25
a_p dop.	[mm]	1,5	1,5	1	1
a_p max.	[mm]	3	2,5	1,5	1,5
κ_r	[°]	30	25	115	120

4.3 Upnutie

Upnutie obrobku bolo zaistené pomocou univerzálneho trojčelust'ového skl'učovadla. Obrobok bol upnutý v skl'učovadle za priemer $\varnothing$ 105 mm na dĺžke 25 mm. Na začiatku experimentu bola upínacia sila nastavená na 50 kN, čo sa po odskúšaní prvého kusu ukázalo ako nedostatočné a obrábaný kus povytiahlo zo skl'učovadla, pričom experiment musel byť prerušený vid'. obr. 26. Následne bola upínacia sila zväčšená na 63 kN. Vzhľadom na fakt, že pri navrhovanej technológii sústruženia má silová výslednica opačný zmysel ako pri konvenčnom pozdĺžnom sústružení, je vhodné obrobok zaistiť pomocou hrotu koníka tak, aby nedochádzalo k vyťahovaniu zo skl'učovadla. Pri takto upnutom obrobku je možné zvýšiť rezné parametre obrábania, najmä posuv a hĺbku rezu.



Obr. 26 Posun obrobku v axiálnom smere.

Zariadenie na ktorom bola technológia PrimeTurningTM testovaná, nie je vybavené koníkom, a preto boli parametre obrábania obmedzené tak, aby nedošlo k vytiahnutiu obrobku zo skľučovadla.

4.4 Experimentálne obrábanie

Experimentálna časť bola realizovaná podľa postupu ktorý je popísaný v operačnej návodke uvedenej v prílohe. Parametre v nej zapísané sú maximálne možné, ktoré sa podarilo dosiahnuť pri hrubovacej operácii navrhovanou technológiou sústruženia za daných podmienok. Na obr. 27. je ukážka obrobku po hrubovacej operácii.



Obr. 27 Obrobené vzorky technológiou PrimeTurningTM.

4.5 Dosiahnuté rezné parametre

Predpokladané rezné parametre, ktoré boli stanovené na začiatku experimentu sa takmer podarilo dosiahnuť (tab. 10) až na hodnotu posuvu, ktorá sa mierne líši od predpokladanej hodnoty. Hodnota posuvu bola zámerne znížená, aby sa zmenšila sila pôsobiaca v osi obrobku, ktorá z veľkej časti zapríčiňuje vyťahovanie obrobku zo skľučovadla.

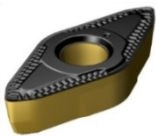
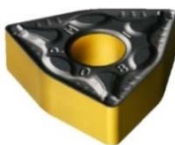
Tab. 10 Dosiahnuté rezné parametre VRD CP-B1108-M5W 4325.

Parameter	a_p	f_n	v_c	t_{As}
Jednotka	[mm]	[mm]	[m.min ⁻¹]	[min]
Hodnota	3	0,6	180	2,05

5 VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH DÁT

Počas experimentálnej časti bolo uskutočnených niekoľko meraní životnosti celého nástroja, celkového času obrábania a drsnosti povrchu po hrubovacej operácii. Všetky tieto údaje boli zhrnuté do tab. 11 a porovnané s aktuálnou metódou sústruženia. Z nameraných údajov bude uskutočnené technicko-ekonomické vyhodnotenie navrhovanej technológie a prijaté závery o jej efektívnosti.

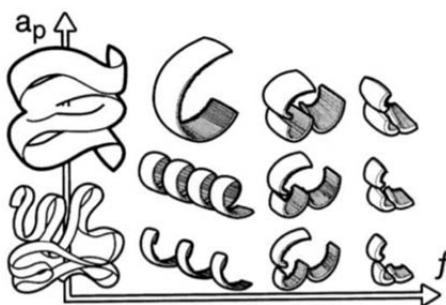
Tab. 11 namerané hodnoty počas experimentálnej časti [6, 29].

Typ VRD		CP-B1108-M5W 4325	WNMG080408 PM-4305
Obrázok VRD			
Znak			
Cena VRD	C	23,8 €	6,8 €
Trvanlivosť	T	6 až 7 ks	10 až 11 ks
Životnosť	Ž	14 ks	60 ks
Počet rezných hrán	x	2 ks	6 ks
Stredná aritmetická odchýlka profilu	Ra	0,436 μm	0,970 μm
Čas obrábania vzorky	t_{AS}	2,05 min	3,42 min

Z tab. 11 je zrejmé, že navrhovaná technológia dokáže skrátiť obrábací čas len na jednej obrábanej strane súčiastky o viac než 30 %. Avšak vysoké rezné parametre, ktoré vedú k skráteniu celkového času obrábania majú za dôsledok zníženú životnosť VRD. Efektívnosť navrhovanej technológie tak bude nutné detailnejšie rozobrať a vyhodnotiť s ohľadom na celú vyrábanú sériu, ktorá činí približne 900 kusov ročne.

5.1 Porovnanie triesky

Významný vplyv na tvar triesky majú vlastnosti obrábaného materiálu, rezné parametre a geometria rezného nástroja, primárne uhol čela. Na obr. 28 je zobrazená závislosť tvaru triesky od hĺbky rezu a posuvu. Podľa tvaru oddelenej triesky sa klasifikuje niekoľko skupín triesok.



Obr. 28 Tvar triesky v závislosti od rezných parametrov [30].

Všetky vzorky obrábané počas experimentu boli z rovnakého materiálu a rovnakej tavby. Podrobné chemické zloženie obrábaného materiálu je priložené v prílohe. V prípade obrábania pomocou VRD CP-B1108-M5W 4325 vznikla oblúkovitá trieska (obr. 29). V prípade obrábania pomocou VRD WNMG080408 PM-4305 vznikla trieska článkovitá (obr. 30). V oboch prípadoch je tvar triesky vyhovujúci.



Obr. 29 Tvar triesky po obrábaní VRD CP-B1108-M5W 4325.



Obr. 30 Tvar triesky po obrábaní VRD WNMG080408 PM-4305.

5.2 Náklady na VRD

Počet VRD na celú vyrábanú sériu:

$$P_{VRDA} = \frac{s}{T \cdot x} \quad (12)$$

Kde:

s- počet kusov série [ks]

T- trvanlivosť jednej reznej hrany [ks]

x- počet rezných hrán VRD [ks]

Dosadenie do vzťahu (12):

- a) *Počet VRD typu WNMG080408 PM-4305 na celú vyrábanú sériu:*
 b) *Počet VRD typu CoroTurn®Prime B na celú vyrábanú sériu:*

$$a) P_{VRDA} = \frac{900}{10 \cdot 6} = 15 \text{ ks} \quad \left| \quad b) P_{VBRB} = \frac{900}{7 \cdot 2} \doteq 64 \text{ ks} \right.$$

Celkové náklady VRD na výrobu celej série:

$$N = P_{VRD} \cdot C \quad (13)$$

Kde:

N- náklady na VRD [€]

C- cena VRD za jeden kus [€]

Dosadenie do vzťahu (13):

- a) *Náklady na VRD typu WNMG080408 PM-4305 na celú vyrábanú sériu:*
 b) *Náklady na VRD typu CoroTurn®Prime B na celú vyrábanú sériu:*

$$a) N = 15 \cdot 6,80 = 102 \text{ €} \quad \left| \quad b) N = 64 \cdot 23,8 = 1\,523 \text{ €} \right.$$

5.3 Náklady na sústruženie

Cena sústruženia vzorky celej vyrábanej série:

$$S = \frac{s \cdot t_{AS} \cdot N_S}{60} \quad (14)$$

Kde:

s- počet kusov série [ks]

t_{AS} - jednotkový strojný čas [min]

N_S - hodinové náklady stroja [€]

Dosadenie do vzťahu (14):

- a) *Cena sústruženia vzorky s VRD typu WNMG080408 PM-4305 na celú sériu:*
 b) *Cena sústruženia vzorky s VRD typu CoroTurn®Prime B na celú sériu:*

$$a) S = \frac{900 \cdot 3,42 \cdot 90}{60} = 4\,617 \text{ €} \quad \left| \quad b) S = \frac{900 \cdot 2,05 \cdot 90}{60} = 2\,767,5 \text{ €} \right.$$

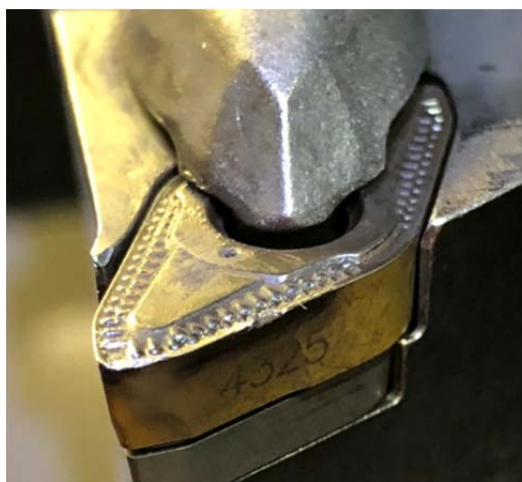
V tab. 12 sú zhrnuté vypočítané náklady na sústruženie celej výrobnéj série, ktorá činí 900 ks/rok. Ceny s ktorými boli náklady počítané, boli poskytnuté spoločnosťou v ktorej bolo experimentálne obrábanie realizované.

Tab. 12 Zhrnutie vypočítaných nákladov na sústruženie vzorky

	<i>Jednotka</i>	<i>WNMG080408 PM-4305</i>	<i>CoroTurn®Prime B</i>
Cena VRD	[€]	6,8	23,8
Počet VRD na celú sériu	[ks]	15	64
Cena VRD na celú sériu	[€]	102	1523
Cena sústruženia celej série	[€]	4 617	2 767,5
Celkové náklady	[€]	4 719	4290,5

Z údajov zhrnutých v tabuľke vyplýva, že na hrubovací operáciu realizovanú pomocou VRD typu CoroTurn®Prime B (obr. 31) sa spotrebuje štyrikrát väčšie množstvo VRD, ako v prípade, že by bola realizovaná konvenčnými VRD. Veľký rozdiel v množstve použitých VRD spôsobuje fakt, že kým konvenčná VRD WNMG080408 PM-4305 má k dispozícii šesť efektívnych rezných hrán, VRD typu CoroTurn®Prime B disponuje len dvomi reznými hranami.

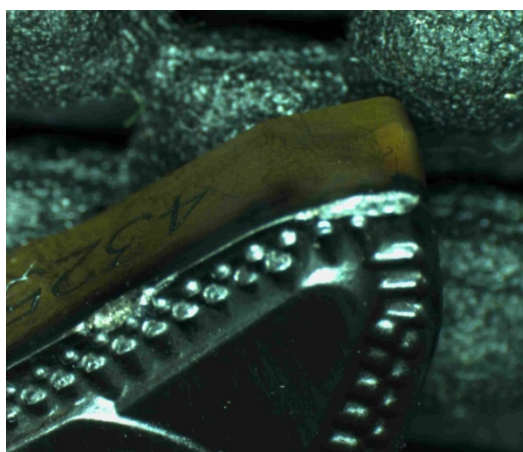
Z tabuľky ďalej vyplýva, že aj napriek vysokým nákladom na rezný nástroj CoroTurn®Prime B, sú celkové náklady na sústruženie metódou PrimeTurning™ nižšie, ako náklady na sústruženie konvenčnou VRD a to z dôvodu kratšieho obrábacieho času, ktorý tvorí najväčšiu zložku nákladov na sústruženie. Vo výpočte sa však neuvažuje s častými výmenami rezného nástroja, čo výrobu značne predraží.



Obr. 31 Opatrebovaná VRD CP-B1108-M5W 4325.

5.3.1 Náklady v prípade štyroch rezných hrán

V úvahe popísanej v kapitole 5.2 bolo uvažované, že VRD CP-B1108-M5W 4325 disponuje dvomi efektívnymi reznými hranami. Po dôkladnej analýze však bolo zistené, že v prípade, kedy opotrebenie reznej hrany nepresiahne polomer zaoblenia hrotu, je možné ešte využiť ďalšie dve rezné hrany VRD. Na obr. 32 a obr. 33 je detailná fotografia VRD typu CoroTurn®Prime B po obrobení siedmich kusov, kde opotrebenie nepresahuje polomer zaoblenia hrotu. V takomto prípade je možné pokračovať v hrubovacej operácii a efektívne využiť aj opačnú stranu VRD, to si však bude vyžadovať investíciu do opačných držiakov. V tab. 13 sú uvedené ekonomické náklady na sústruženie celej série, s uvažovanými štyrmi efektívnymi reznými hranami VRD typu CoroTurn®Prime B.



Obr. 32 Opotrebenie reznej hrany.



Obr. 33 Detail na polomer zaoblenia hrotu VRD.

Tab. 13 Náklady na sústruženie v prípade úvahy štyroch rezných hrán u VRD CoroTurn®Prime B

	Jednotka	CoroTurn®Prime B	WNMG080408 PM-4305
Cena VRD	[€]	23,8	6,8
Počet VRD na celú sériu	[ks]	32	15
Cena VRD na celú sériu	[€]	761,6	102
Cena sústruženia celej série	[€]	2 767,5	4 617
Celkové náklady	[€]	3 649,1 *	4 719

*k celkovým nákladom boli pripočítané náklady na opačný držiak [28].

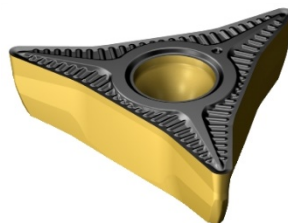
Z technicko-ekonomických prepočtov vyplýva, že navrhovaná technológia je efektívna a po jej aplikovaní možno očakávať úsporu nákladov. Tá by sa pohybovala v rozmedzí 430 až 1100 €, v závislosti od životnosti rezného nástroja. Životnosť rezných materiálov úzko

súvisí s chemickým zložením, tepelným spracovaním a mechanickými vlastnosťami obrábaného materiálu. Informácie o obrábanom materiáli sú priložené v prílohe.

Všetky rezné hrany sa dajú využiť aj kombináciou metódy PrimeTurning™ a konvenčného sústruženia. Ide teda o kombináciu dopredných a spätných pohybov nástroja. V takom prípade je však úspora nákladov nižšia, pretože pre dopredné stranové a čelné pohyby je nutné znížiť rezné parametre obrábania.

5.4 CoroTurn®Prime A

V experimentálnej časti bola otestovaná koncepcia PrimeTurning™ aj pomocou VRD typu CoroTurn®Prime A. Konkrétne bola hrubovacia operácia realizovaná pomocou VRD s označením CP-A1108-L5 4325 na obr. 34.

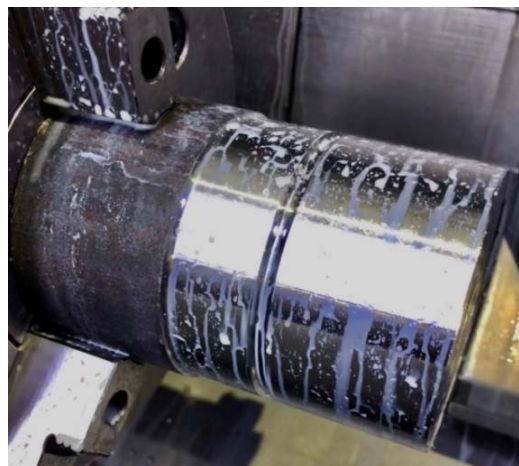


Obr. 34 VRD typu CoroTurn®Prime A CP-A1108-L5 4325 [31].

Táto časť experimentu však nebola úspešná a to nielen z hľadiska dosiahnutých parametrov, ktoré sa približovali rezným parametrom používaných pri konvenčnej VRD WNMG080408 PM-4305, ale najmä z dôvodu poškodenia VRD, príslušného držiaku vid' obr. 35 a obrobku obr. 36. Z tohto dôvodu bolo testovanie zastavené a dosiahnuté výsledky nebudú v bakalárskej práci prezentované.



Obr. 35 Poškodenie VRD CP-A1108-L5 4325.



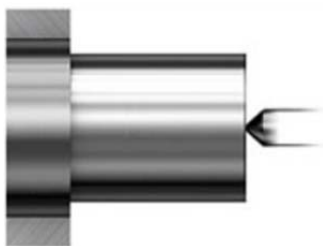
Obr. 36 Poškodenie obrobku držiakom VRD.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Pri použití metódy sústruženia PrimeTurning™ je nutné zohľadniť mnoho technologických a technicko-ekonomických aspektov. Metóda obrábania PrimeTurning™ je podľa odporúčania výrobcu SANDVIK CZ s.r.o. najvhodnejšie aplikovať na obrábanie krátkych, kompaktných súčiastok alebo štíhlych súčiastok podopretých koníkom. Táto skutočnosť môže byť do istej miery obmedzujúca pri aplikovaní technológie. [1, 2]



Obr. 37 Krátka kompaktná súčiastka [2].



Obr. 38 Súčiastky podopreté koníkom [2].



Z meraní, ktoré boli realizované počas experimentálnej časti je zrejmé, že navrhovaná technológia prinesie požadované zníženie obrábacieho času. V porovnaní s aktuálnou metódou sústruženia bolo namerané zníženie strojného času o viac než tretinu. Hlavným dôvodom zníženia strojného času je dvojnásobný posuv, ktorý sa podarilo dosiahnuť aplikovaním metódy sústruženia PrimeTurning™ a väčšia hĺbka rezu, ktorej dôsledkom bolo zníženie počtu prejazdov nástroja.

Rapidne zníženie strojného času však neprinieslo veľkú úsporu nákladov, a to z dvoch dôvodov. Náklady na rezné doštičky typu CoroTurn®Prime B sú väčšie ako náklady na konvenčné VRD, čo značne predražuje celú výrobu. Cenu VRD typu CoroTurn®Prime B je ale možné chápať v kontexte novej technológie na trhu s reznými materiálmi ako primeranú. Druhým dôvodom prečo je úspora nákladov na sústruženie nižšia, je veľká spotreba VRD typu CoroTurn®Prime B, ktoré nedisponujú rovnakým počtom rezných hrán ako porovnávaná VRD WNMG 080408 -PM 4305, čo do veľkej miery zvyšuje ich spotrebu.

Na základe ekonomických prepočtov, ktoré boli vykonané je možné vysloviť záver, že aplikácia navrhovanej technológie priniesla úsporu nákladov vďaka zníženiu obrábacieho času aj napriek vysokým nákladom na vymeniteľné rezné doštičky. Úspora nákladov pri výrobe celej série je uvedená v tab. 14 a v tab. 15. V týchto výpočtoch však nie sú zahrnuté

náklady na výmenu opotrebovaných nástrojov, ktoré budú pri testovanej technológii vyššie.

Tab. 14 Suma nákladov na sústruženie celej série- 2 rezné hrany.

Typ VRD		CP-B1108-M5W 4325 (2 rezné hrany)	WNMG 080408 -PM 4305
Náklady na VRD	[€]	1523	102
Náklady na sústruž.	[€]	2 767,5	4 719
Suma nákladov	[€]	4 290.5	4 719
Úspora nákladov	[€]	428,5	

Tab. 15 Suma nákladov na sústruženie celej série- 4 rezné hrany.

Typ VRD		CP-B1108-M5W 4325 (4 rezné hrany)	WNMG 080408 -PM 4305
Náklady na VRD	[€]	761,6	102
Náklady na sústruž.	[€]	2 767,5	4 719
Suma nákladov	[€]	3 649,1	4 719
Úspora nákladov	[€]	1 069,9	

7 DISKUSIA

7.1 Upnutie

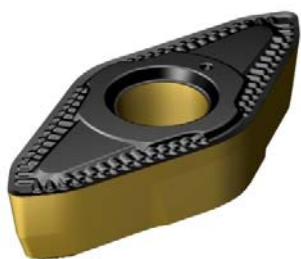
V prípade bezpečného upnutia, kedy by bol obrobok zaistený voči axiálnemu posuvu pomocou hrotu koníka, je možné hodnotu posuvu f_n ešte zvýšiť. Súčasťou zariadenia na ktorom bol experiment vykonávaný je protivretno, do ktorého je možné upnúť hrot, ktorý by zaistil obrobok na hlavnom vretene. Takéto rezné parametre by sa potom odzrkadlili aj na efektívnosti testovanej technológie.

7.2 Náklady

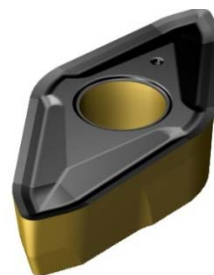
Jedným z dôvodov prečo sú náklady na VRD typu CoroTurn®Prime vyššie, je ich veľká spotreba, teda nízka životnosť rezného nástroja. Treba však uviesť, že boli porovnávané dve rôzne nástrojové triedy. Kým konvenčná VRD je vyrobená z triedy GC4305 špeciálne vyvinutej na obrábanie ocelí v automobilovom priemysle, VRD typu CoroTurn®Prime je triedy GC4325. Preto je možné očakávať, že s príchodom ďalších nástrojových tried pre VRD typu CoroTurn®Prime sa zvýši ich tvrdosť, odolnosť voči abrázii a tým pádom aj predĺži ich životnosť.

7.3 Nové nástroje

Počas písania bakalárskej práce uviedla spoločnosť SANDVIK CZ s.r.o. novú generáciu VRD triedy CoroTurn®Prime s upraveným dizajnom a pridala do svojej ponuky nové materiálové triedy. Tieto zmeny je možné vidieť na obr. 39 a obr. 40.



Obr. 39 Pôvodný dizajn VRD typu CoroTurn®Prime B [28].



Obr. 40 Nový dizajn VRD typu CoroTurn®Prime B [32].

ZÁVER

Sústruženie, ako jeden zo základných priemyselných procesov sa neustále vyvíja a zlepšuje s cieľom minimalizovať náklady na sústružnícke operácie na čo najnižšiu úroveň. Jedným z takýchto pokusov o prelomovú metódu sústruženia je bezpochybné aj metóda sústruženia PrimeTurningTM. Táto metóda sa odkláňa od konvenčných spôsobov sústružníckych operácii a ponúka výrobcom významné možnosti nielen v technologických oblastiach výroby, ale aj v oblastiach zvyšovania produktivity práce a konkurencieschopnosti. Z teoretického štúdia danej problematiky a experimentálneho pokusu vyplynulo že:

- vhodnosť použitia technológie sústruženia PrimeTurningTM je obmedzená na obrábanie krátkych, kompaktných súčiastok alebo štíhlych súčiastok podopretých koníkom,
- pri upnutí obrobku, je nutné počítať s väčšími upínacími silami ako pri konvenčnej metóde sústruženia, ideálne zaistiť obrobok voči axiálnemu posuvu pomocou hrotu koníka,
- predpokladané rezné parametre sa podarilo dosiahnuť s výnimkou posuvu f_n , ktorý musel byť znížený a to z dôvodu bezpečnosti upnutia obrobku, vďaka čomu sa podarilo znížiť čas obrábania o viac než 30 %,
- jednotlivé metódy sústruženia boli porovnané z ekonomického hľadiska a bola vyčíslená úspora nákladov pri aplikácii navrhovanej technológie na úrovni 1 000 € pri výrobe celej série.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

<i>Skratka</i>	<i>Popis</i>
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
C	uhlík
CNC	computer numerical controlled
Cr	chróm
CVD	chemical vapor deposition
Mn	mangán
Mo	molybdén
NC	numerical control
P	fosfor
S	síra
Si	kremík
Ti	titan
TiN	nitrid titanu
VRD	vymeniteľná rezná doštička

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
A _D	[mm ²]	prierez odrezávanej triesky
A min.	[%]	minimálna ťažnosť
C	[€]	cena vymeniteľnej reznej doštičky
C _{Fc}	[-]	konštanta závislá na reznej sile
C _{Ff}	[-]	konštanta závislá na posuvovej sile
C _{Fp}	[-]	konštanta závislá na pasívnej sile
D	[mm]	priemer obrobku
D _i	[mm]	priemer čapu
F _c	[N]	hlavná (tangenciálna) rezná sila
F _f	[N]	posuvová (axiálna) sila
HB	[-]	tvrdosť podľa Brinella
KV min.	[J]	nárazová práca (vrub V)
L	[mm]	dĺžka čapu

M	[Nm]	moment rezného odporu
N	[€]	náklady na vymeniteľné rezné doštičky
N _S	[€]	hodinové náklady stroja
P _{VRD}	[ks]	počet vymeniteľných rezných doštičiek na celú výrobnú sériu
Q _c	[N]	celková upínacia sila
R _a	[μm]	stredná aritmetická odchýlka profilu
R _{e min.}	[MPa]	minimálna medza klzu v ťahu
R _{m min.}	[MPa]	minimálna medza pevnosti v ťahu
S	[€]	cena sústruženia celej vyrábanej série
T	[ks]	trvanlivosť jedenej reznej hrany
X _{Fc}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet reznej sily
X _{Ff}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet posuvovej sily
X _{Fp}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet pasívnej sily
Y _{Fc}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet reznej sily
Y _{ff}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet posuvovej sily
Y _{fp}	[-]	exponent z empirického vzťahu pre výpočet pasívnej sily
Z min.	[%]	kontrakcia
Ž	[€]	životnosť vymeniteľnej reznej doštičky
a _p	[mm]	hlĺbka rezu
a _{p dop}	[mm]	doporučená hlĺbka rezu
a _{p max}	[mm]	maximálna hlĺbka rezu
a _{p min}	[mm]	minimálna hlĺbka rezu
b	[mm]	šírka triesky
f	[-]	súčiniteľ trenia
f _n	[mm]	posuv
f _{n dop}	[mm]	doporučená hodnota posuvu
f _{n max}	[mm]	maximálna hodnota posuvu
f _{n min}	[mm]	minimálna hodnota posuvu
h	[mm]	hrúbka triesky
k	[-]	koefficient bezpečnosti upnutia
k _c	[N.mm ⁻²]	merná rezná sila

n	[min ⁻¹]	otáčky
r	[mm]	polomer upnutia obrobku
s	[ks]	počet kusov vyrábanej série
t _{AS}	[min]	čas jednotkový strojný
v _c	[m.min ⁻¹]	rezná rýchlosť
x	[ks]	počet rezných hrán vymeniteľnej reznej dosťičky
κ _r	[°]	uhol nastavenia hlavnej reznej hrany

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ERICKSSON, Håkan. Rýchlejšie sústruženie v automobilovom priemysle dostáva zelenú. *Ai magazin*. Žilina: LEADER press s.r.o, 2017, **10**(3), 2. ISSN 1337-7612.
- [2] CoroTurn Prime-soustružení všemi směry. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_prime/Pages/how-to-use.aspx
- [3] HIGH-SPEED TURNING INSERT / FOR STEEL. In: *Direct industry* [online]. Direct industry, b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/sandvik-coromant/product-14460-1449109.html>
- [4] All-directional turning goes inside out. *Machining news* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.machiningnews.com/2018/04/all-directional-turning-goes-inside-out/>
- [5] Přehled vlastností oceli 42CrMo4. *Bolzano* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf
- [6] WNMG 08 04 08-PM 4305. *Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/Pages/productdetails.aspx?c=wnmg%2008%2004%2008-pm%204305>
- [7] Vymeniteľné rezné doštičky. *Panas* [online]. 2014 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.panas.sk/storage/app/uploads/public/56e16ef31/56e16ef31a36d181481971.pdf>
- [8] CARBIDE TURNING INSERT / FOR STAINLESS STEEL / FOR SUPERALLOYS. *Direct industry* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/sandvik-coromant/product-14460-1855599.html>
- [9] All-Directional Turning Cuts Cycle Times 50%. *Mmsonline* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/All-Directional-Turning-Cuts-Cycle-Times-50-percent>

- [10] Turning re-invented. *Mmsonline* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/cdn/cms/infographic-enghyperlink-MMS2.pdf>
- [11] CoroTurn® Prime-přehled. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_prime/Pages/default.aspx
- [12] BORO VAN, Petr. Řezné nástroje I. *Technický týdeník* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-prislusenstvi/rezne-nastroje-i_42010.html
- [13] Sandvik Introduces New Turning Concept. *Advanced manufacturing* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://advancedmanufacturing.org/sandvik-introduces-new-turning-concept/>
- [14] Mastercam PrimeTurning. *Robotized* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.robotized.de/mastercam/primeturning/>
- [15] Sandvik Coromant unveils a revolution in turning. *Metalworking news* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://metalworkingnews.info/sandvik-coromant-unveils-a-revolution-in-turning/>
- [16] Příručka obrábění. *Isstechn* [online]. 2004 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrabeni.pdf
- [17] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology. *Mmspektrum* [online]. 2013 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-kompenzacni-pristup-pri-frezovani-posuv.html>
- [18] Malá zbierka príkladov z technológie obrábania. *Tuke* [online]. 2004 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sjf.tuke.sk/kstam/images/E_materialy/priklady_obrabanie.pdf
- [19] CoroTurn Prime. *Toologic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.toologic.de/interessantes/coroturn-prime/#anwendung>
- [20] Generátor kódů pro metodu PrimeTurning™. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/calculators_and_software/primeturning-code-generator/Pages/default.aspx

- [21] Sandvik Coromant PrimeTurning™ Support. *Mastercam* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://whatsnew.mastercam.com/2018/en-us/Content/Lathe_Enhancements/Sandvik_Coromant_PrimeTurning.htm
- [22] OSKAR, ZEMČÍK. *Nástroje a přípravy pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [23] *Příručka obrábění, kniha pro praktiky*. Praha: Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [24] Vzájomné pôsobenie nástroj-obrobok. *Strojárska technológia* [online]. 2009 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.strojarskatechnologia.info/27-vzajomne-posobenie-nastroj-%E2%80%93-obrobok-pohyby-pri-sustruzeni-prierez-rezu/>
- [25] KRATINA, Jakub. SOUČINITEL TŘENÍ. *E-konstruktor* [online]. 2013 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [26] VASILKO, Karol. *TEÓRIA A PRAX TRIESKOVÉHO OBRÁBANIA*. Prešov: COFIN Prešov, 2009. ISBN 978-80-553-0152-5.
- [27] CTX BETA 1250 TC 4A popis. *Nikro* [online]. 2014 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.nikro.sk/aktuality/detail/152>
- [28] CTX beta 1250 TC 4A. *Industry arena* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/dmgmori/products/turning-and-milling-centres--107/ctx-beta-1250-tc-4a--24>
- [29] CP-B1108-M5W 4325. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/coroturn_prime/Pages/assortment.aspx#query=%7B%22n%22:%22INS%22,%22I%22:%22INSTRNG%22,%22r%22:%5B%7B%22n%22:%22TIBPAavailability%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22Available%22%7D%5D%7D%5D,%22c%22:%5B%5D%7D
- [30] KROČKO, Vladimír. Tvorba triesky, rezný nástroj, sily a výkon. *Ingslov* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://ingslov.files.wordpress.com/2015/05/03-tvorba-trieskyreznynastrojsily-a-vykon.pdf>

- [31] CP-A1108-L5W 4325. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/engb/products/coroturn_prime/Pages/assortment.aspx#query=%7B%22n%22:%22INS%22,%22l%22:%22INSTRNG%22,%22r%22:%5B%7B%22n%22:%22TIBPAvailability%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22Available%22%7D%5D%7D%5D,%22c%22:%5B%5D%7D
- [32] CP-B1108-H3 4325. *AB Sandvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_prime/Pages/assortment.aspx#query=%7B%22n%22:%22INS%22,%22l%22:%22INSTRNG%22,%22r%22:%5B%7B%22n%22:%22TIBPAvailability%22,%22v%22:%5B%7B%22n%22:%22Available%22%7D%5D%7D%5D,%22c%22:%5B%5D%7D

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Operačná návodka sústruženia pre WNMG 080408 -PM 4305
Príloha 2	Tabuľka koeficientov trenia jednotlivých materiálov
Príloha 3	Operačná návodka sústruženia pre CP-B1108-M5W 4325
Príloha 4	Ukážka zvinutej stužkovej triesky
Príloha 5	Ukážka materiálového rozboru

Operačná návodka sústruženia pre WNMG 080408 -PM 4305

Operačná návodka

Súčiastka: VZORKA-K

Číslo výkresu součásti: Test_1

Stroj:

Polotovár:

Číslo operace:

Obrábacie centrum CTX BETA 1250 TC 4A

Ø105-154

01/02

Prídavok pre dokončovaciu operáciu

The drawing shows a cylindrical part with a diameter of Ø105 and a total length of 154. It features a central bore and several steps. Callouts 1 through 11 indicate specific features: 1 and 2 are the end faces; 3 is the outer diameter; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 11 are various internal and external diameters and lengths of the steps and bore.

Úsek	Popis práce	vc [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	ap [mm]	L [mm]	tas [min]	Nástroj
1,2 Zarovnanie čela	ZAROVNAŤ ČELO NA PRIEMERE Ø105	180	546	0,3	1	52,5	0,34	WNMG 080408-PM 4305
		180	546	0,3	1	52,5	0,34	
3 Hrubavanie	SÚSTRUŽIŤ Ø105 NA DĹŽKE 85 mm	180	546	0,3	2,5	95	0,60	WNMG 080408-PM 4305
4,5,6,7,8 Hrubovanie	SÚSTRUŽIŤ Ø100 NA DĹŽKE 60 mm	180	573	0,3	2,5	60	0,37	WNMG 080408-PM 4305
		180	603	0,3	2,5	60	0,33	
		180	637	0,3	2,5	60	0,33	
		180	674	0,3	2,5	60	0,31	
		180	717	0,3	2,5	60	0,29	
9,10,11 Hrubovanie	SÚSTRUŽIŤ Ø75 NA DĹŽKE 35 mm	180	764	0,3	2,5	35	0,17	WNMG 080408-PM 4305
		180	819	0,3	2,5	35	0,15	
		180	882	0,3	2,5	35	0,14	

Príloha 2

Tabuľka koeficientov trenia jednotlivých materiálov

Materiál 1	Materiál 2	Statický, suchý povrch	Dynamický, suchý povrch	Statický, mastný povrch	Dynamický, mastný povrch	Zkušební metoda
Ocel	Bronz fosfatový	0.35	-	-	-	-
Ocel	Polythened	0.2	-	0.2	-	-
Ocel	Polystyren	0,3-0,35	-	0,3-0,35	-	-
Ocel	Ocel	0.78	0.42	0,05 -0,11	0029 -, 12	-
Ocel	Ocel zinkovaná	0.5	0.45	-	-	-
Teflon	Ocel	0.04	-	0.04	0.04	-
Teflon	Teflon	0.04	-	0.04	0.04	-
Cín	Šedá litina	-	0.32	-	-	-
Slitina titanu Ti-6AL-4V	Dural	0.41	0.38	-	-	FOF
Slitina titanu Ti-6AL-4V	Slitina titanu Ti-6AL-4V	0.36	0.3	-	-	FOF
Slitina titanu Ti-6AL-4V	Bronz	0.36	0.27	-	-	FOF
Karbid wolframu	Karbid wolframu	0,2-0,25	-	0.12	-	-
Karbid wolframu	Ocel	0,4 - 0,6	-	0,08 - 0,2	-	-
Karbid wolframu	Měď	0.35	-	-	-	-
Karbid wolframu	Železo	0.8	-	-	-	-
Dřevo	Dřevo (suché)	0,25 - 0,5	-	-	-	-
Dřevo	Dřevo (mokré)	0.2	-	-	-	-
Dřevo	Kov (suchý)	0,2-0,6	-	-	-	-
Dřevo	Kovy (mokré)	0.2	-	-	-	-
Dřevo	Cihla	0.6	-	-	-	-

Operačná návodka sústruženia pre CP-B1108-M5W 4325

Operačná návodka

Súčiastka: VZORKA-C

Číslo výkresu součásti: Test_2

Stroj:

Polotovár:

Číslo operace:

Obrábacie centrum CTX BETA 1250 TC 4A

Ø105-154

01/02

Úsek	Popis práce	vc [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	ap [mm]	L [mm]	tas [min]	Nástroj
1 Hrubovanie	SÚSTRUŽIŤ Ø105 NA DĹŽKE 85 mm	180	546	0,6	3	97	0,31	CoroTurn®Prime B CP-B1108-M5W 4325
2,3,4,5 Hrubovanie	SÚSTRUŽIŤ Ø99 NA DĹŽKE 61 mm	180	579	0,6	3	62	0,19	CoroTurn®Prime B CP-B1108-M5W 4325
		180	616	0,6	3	62	0,18	
		180	659	0,6	3	62	0,16	
		180	708	0,6	3	62	0,15	
6,7 Hrubovanie	SÚSTRUŽIŤ Ø75 NA DĹŽKE 37 mm	180	764	0,6	3	37	0,09	CoroTurn®Prime B CP-B1108-M5W 4325
		180	831	0,6	3	37	0,08	
8 Kontúra	SÚSTRUŽIŤ KONTÚRU NA CELEJ DĹŽKE	180	910	0,6	2,5	128,5	0,24	CoroTurn®Prime B CP-B1108-M5W 4325

Ukážka zvinutej stužkovej triesky



Ukážka materiálového rozboru

ZZ-605/2016/FZM		Order No: 101.1110.045.17		Receipt Report No:							
Description: Hot rolled steel bars Delivery condition: quenched and tempered EN 10083-3:2006 EN 10060:2003		Dimension: $\varnothing$ 105 Length: exact: 6m		Steel type: 42CRMO4+QT	Heat No: 30485 EAF + CC Material non - radioactive.						
as stock for machined parts		Reduction ratio 10.0		Pieces: 36	Weight: 14 900						
1. Chemical Analysis:											
Heat No	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al
30485	0.4200	0.7700	0.2800	0.0160	0.0270	1.1000	0.1300	0.2000	0.2200	0.0090	0.0300
	Ti	N2	Nb								
	0.0030	0.0060	0.0020								
2. Mechanical properties and hardness											
Heat No	Test No	Heat treatment	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	Impact		Heat treatment tests		Hardness
30485	1	quenched and tempered	Re 752	Rm 866	A5 23.4	Z 66.3	KV +20°C [J] 89/29/87				
3. Other tests											
Macroetch test:											
Microinclusions:										Grain size:	
ultrasonic test was carried out acc. to: SEP 1920, B3 class -satisfactory results.											
Surface and dimensions tested at 100%. MIXMATCH TEST 100%				Material was carried out acc. to Technical Specifications and order confirmation				Material marked: Heat No, grade,			
Material was released on the base of inspection and tests carried out. The product in accordance with European Directive No 2000/53/WE.											
Quality Control		The quality manager				Expert stamp		Stalowa Wola			
		DYREKTOR G. Jankowski COGNOR SPÓŁKA AKCYJNA									