

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Utváření ocelových třísek při soustružení materiálů FV „535“ a FV „448“
ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.

Autor: **Bc. Václav HOLUB**

Vedoucí práce: **Ing. Jan ŘEHOŘ, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Holub	Jméno Václav	
STUDIJNÍ OBOR	„Strojírenská technologie-technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Řehoř, Ph.D	Jméno Jan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Utváření ocelových třísek při soustružení ocelových slitin „FV 535“ a FV „448“ ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	81	TEXTOVÁ ČÁST	72	GRAFICKÁ ČÁST	9
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce byla zaměřena na utváření třísek při soustružení materiálů „FV535“ a FV „448“. Oba tyto materiály se využívají v převážně v leteckém průmyslu. Byly testovány různé břitové destičky u kterých byla sledována trvanlivost břitu a tvar a velikost vznikající třísky. Cílem této práce bylo navržení nejvhodnější varianty břitové destičky z hlediska trvanlivosti a z hlediska vzniklé třísky.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">trvanlivost, utváření, břitová destička, opotřebení, řezné podmínky</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Holub	Name Václav	
FIELD OF STUDY	„Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Řehoř, Ph.D	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Forming of steel chips during turning materials "FV535" and "FV448" in Precision Castparts CZ Ltd.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	81	TEXT PART	72	GRAPHICAL PART	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis was focused on chip formation in turning materials "FV535" and FV "448". Both of these materials are mainly used in the aerospace industry. Have been tested in three cutting tips and was observed their cutting life and the shape and size of the resulting chips. The aim of this work was to choose the best solution in terms of cutting life inserts and in terms of durability resulting chips.
KEY WORDS	Cutting life, formativ, cutting tip, wear, cutting parameters

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1. Úvod do problematiky a cíle řešení.....	10
2. Analýza současného stavu soustružení vybraných materiálů a vyhodnocení.....	11
2.1 Charakteristika materiálu FV 535 (X8CrCoNiMo10-6)	11
2.1.2 Chemické složení materiálu FV 535 [1]	11
2.1.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti FV 535 (X8CrCoNiMo10-6) [2]	11
2.2 Popis materiálu FV 448 (X22CrMoV12-1)	12
2.2.1 Chemické složení FV 448 (X22CrMoV12-1) [3]	12
2.2.2 Mechanické a fyzikální vlastnosti FV 448 (X22CrMoV12-1) [4].....	12
2.3 Vliv jednotlivých legujících prvků [5,6]	12
2.4 Současný stav ve firmě PCC	14
2.5 Podstata utváření třísky [7]	15
2.5.1 Primární plastická deformace [8,9]	16
2.5.2 Sekundární plastická deformace [7].....	17
2.5.3 Terciální plastická deformace [8].....	19
2.6 Základní druhy třísek [9].....	19
2.7 Faktory ovlivňující utváření třísky	21
2.7.1 Druh a vlastnosti obráběného materiálu [10]	21
2.7.2 Geometrie nástroje [11].....	21
2.7.3 Tvar a poloměr vyměnitelné břitové destičky [11]	23
2.7.4 Řezné podmínky [10]	23
2.7.5 Řezné síly [5]	24
2.7.6 Teplo vzniklé při obrábění [7].....	25
2.7.7 Teplota řezání [7]	26
2.7.8 Dělení třísek	27
2.8 Chlazení a mazání při obrábění [13]	28
2.8.1 Moderní trendy v oblasti chlazení a mazání [13].....	29
2.8.1.2 Tlakové chlazení nástrojů [14].....	29
2.8.1.2.1 Výhody tlakového chlazení nástrojů	30
2.8.2.2.2 Nevýhody tlakového chlazení nástrojů	30
2.9 Soustružení korozivzdorné oceli [5]	31
2.9.1 Opatření nástroje při soustružení korozivzdorných ocelí [15]	31
2.10 Trvanlivost břitu nástroje [10].....	33
2.10.1 Vliv řezných podmínek na trvanlivost břitu.....	34

2.10.2	Vliv geometrie břitu na trvanlivost nástroje.....	35
2.10.3	Vliv obrobiteľnosti obráběného materiálu na trvanlivost nástroje	35
2.10.4	Vliv řezivosti na trvanlivost nástroje	35
2.10.5	Vliv řezného prostředí na trvanlivost břitu	36
3.	Návrh řešení na vybraných obráběcích strojích ve firmě.....	37
3.1	Obrobiteľnost [16].....	37
3.1.2	Problémy při obrábění materiálů FV 535 a FV 448.....	38
3.1.3	Výpočet třídy obrobiteľnosti materiálů [17].....	39
3.1.4	Zásady pro určení tříd obrobiteľnosti	41
3.1.5	Označení materiálu dle jeho výchozího nebo technologického stavu.....	41
3.1.6	Určení třídy obrobiteľnosti pro materiál FV 535 (X8CrCoNiMo10-6).....	42
3.2	Informace z odborných článků [18]	43
3.2.1	Řezný nástroj.....	43
3.2.2	Utváření třísek při soustružení materiálu FV 448	46
3.2.3	Řezné síly a drsnosti povrchu.....	47
3.2.4	Vzniklé opotřebení	48
3.2.5	Poznatky získané ze studie	49
3.3	Výběr nástroje pro hrubovací soustružení materiálu FV 535 [11].....	49
3.3.1	Shrnutí doporučení pro obrábění materiálu FV 535 a FV 448.....	51
4.	Testování řešení.....	52
4.1	Experimentální vybavení a podmínky.....	52
4.1.1	Obráběcí stroj	52
4.1.2	Nástroj	52
4.1.2.1	Držáky nástrojů	54
4.1.3	Řezné podmínky.....	54
4.1.4	Obráběný materiál	55
4.1.5	Použité experimentální vybavení	56
4.1.5.1	Mikroskopická kamera.....	56
4.1.5.2	Lupa s průměrnou stupnicí.....	56
4.1.5.3	Světelný metalografický mikroskop od firmy Zeiss	56
4.2	Průběh experimentu.....	57
4.3	Hodnocení trvanlivosti	57
4.3.1	Břítová destička SNMG 190612 – NR IC907.....	57
4.3.2	Břítová destička CNMG 190612 – PP IC 807	59
4.3.3	Břítová destička RCMX 200700	60
4.4	Srovnání trvanlivostí jednotlivých břitových destiček.....	61
4.5	Vzniklé tvary třísek	61

4.6 Rozbor materiálu FV 535	66
4.7 Metalografická analýza vzniklých třísek.....	67
5. Technicko – ekonomické zhodnocení	69
6. Závěr.....	71
Použitá literatura	73

Seznam použitých zkratk a symbolů

PCC – Precision Castparts CZ s.r.o.

tab. – tabulka

obr. – obrázek

č. – číslo

CNC – Computer Numerical Control

F – síla [N]

PPD – primární plastická deformace

v_c – řezná rychlost [m/min]

a_p – hloubka řezu [mm]

r_ϵ – poloměr špičky [mm]

f_n – posuv na otáčku [ot/min]

δ – úhel řezu [°]

γ – úhel čela [°]

χ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°]

λ_s – úhel sklonu ostří [°]

VBD – vyměnitelná břitová destička

Q_{pe} – vzniklé teplo v oblasti primární plastické deformace

Q_γ – vzniklé teplo v oblasti sekundární plastické deformace

Q_α – vzniklé teplo v oblasti terciální plastické deformace

Q_t – teplo odvedené třískou

Q_o – teplo odvedené obrobkem

Q_n – teplo odvedené nástrojem

Q_{pr} – teplo odvedené řezným prostředím

T – trvanlivost břitu nástroje [min]

VB – opotřebení na hřbetě

RO – rychlořezná ocel

SK – slinutý karbid

ŘK – řezná keramika

$U_{hosp.}$ – hospodárny úběr

1. Úvod do problematiky a cíle řešení

Tématem této diplomové práce je utváření ocelových třísek při soustružení ocelí FV 535 a FV 448. Oba tyto materiály se řadí mezi martenzitické korozivzdorné oceli. Problematika s obráběním u těchto materiálů je daná především jejich chemickým složením a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Existuje celá řada faktorů, které ovlivňují proces utváření třísky. Některé z nich jsou pevně dány a některé lze měnit. Mezi pevně dané faktory patří tuhost obráběcího stroje či chemické složení obráběného materiálu. Mezi faktory, které lze ovlivnit patří především řezné podmínky (hloubka řezu, posuv a řezná rychlost) a také vhodná volba geometrie břitové destičky, řezného materiálu a procesního prostředí.

V dnešní době, kdy dochází k progresivnímu rozvoji v oblasti strojírenské výroby především u materiálů využívaných v leteckém a energetickém průmyslu se klade důraz na hospodárnost výroby. Problémy vznikající při obrábění se ve firmě PCC zredukovaly pouze na utváření třísek, přestože je vždy hlavním cílem dosažení obrobené plochy požadované jakosti a přesných rozměrů, hraje otázka definovaného tvaru třísky velkou roli. Obrábění lze zde chápat jako záležitost kontrolovaného odchodu třísky a v případě potřeby zajištění jejího lámání třísky. Dále je zde potřeba zajištění kontrolovatelného odchodu třísek z místa řezu z důvodu vzniklého tepla při obrábění.

Pochopení jednotlivých procesů obrábění je důležité z důvodu, aby bylo možné určit vznikající síly a teploty. Teploty mají vliv na samotný obráběcí proces, v případě dosažení určité hodnoty mohou negativně působit na břit nástroje. Síly ovlivňují stabilitu obrábění a jeho výkon. Utváření třísky se tak v poslední době stává v podstatě samostatnou oblastí technologie, která se neustále vyvíjí.

Cílem této diplomové práce je z hlediska teoretické roviny charakterizovat oba výše uvedené materiály a zpracovat vlivy působící na trvanlivost nástroje a utváření třísky a uvést potřebné doporučení pro soustružení těchto materiálů. V experimentální části práce je hlavním úkolem provést experiment soustružení u materiálu FV 535 se zaměřením na trvanlivost jednotlivých břitových destiček a jejich opotřebení. Následuje převzetí výsledků vzniklých tvarů třísek od paralelně řešené diplomové práce s názvem „Utváření ocelových třísek při soustružení materiálů „Jethete“ a „Hykro“ ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.“. Výstupem této práce by mělo být určení nejvhodnější varianty z hlediska trvanlivosti břitu a poté určit nejvhodnější variantu břitové destičky, kterou bude docíleno ideálního utváření třísky za přijatelné trvanlivosti břitu nástroje.

2. Analýza současného stavu soustružení vybraných materiálů a vyhodnocení

2.1 Charakteristika materiálu FV 535 (X8CrCoNiMo10-6)

Jedná se o speciální ocelovou slitinu s obchodním označením FV 535. Hlavním legujícím prvkem je chrom (Cr). Řadí se mezi martenzitické korozivzdorné oceli. V Evropě je standardně označována jako ocel X8CrCoNiMo10-6. Díky svým specifickým vlastnostem se využívá především v energetickém nebo leteckém průmyslu. Vyrábí se z ní např. díly pro tryskové turbíny. Je charakteristická především pro svoji odolnost vůči vysokým teplotám a dobrou odolností proti korozi a oxidaci.

2.1.2 Chemické složení materiálu FV 535 [1]

Ocelová slitina X8CrCoNiMo10-6 (FV 535) je řazena mezi martenzitické korozivzdorné oceli. Její chemické složení jednotlivých prvků je zobrazeno v tab. č. 1.

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	W	V	Co	N	Nb	B
0,05-0,12	0,1-0,8	0,3-1,3	0,2-1,2	max 0,025	max 0,015	9,8-11,2	0,1-0,4	max 0,7	0,1-0,4	5-7	max 0,035	0,2-0,5	0,005-0,015

Tab. 1: Chemické složení materiálu FV 535 [1]

2.1.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti FV 535 (X8CrCoNiMo10-6) [2]

Mechanické a fyzikální vlastnosti jsou zjištěné při pokojové teplotě 20°C:

Mez pevnosti v tahu R_m1100 N/mm²

Mez pevnosti v kluzu $R_{p0,2}$950 N/mm²

Tažnost A_514%

Nárazová práce KV.....34J

Hustota ρ 7,8 kg/m³

Tepelná vodivost λ_t21 W.m⁻¹.K⁻¹

Rezistivita.....0,60 Ω .mm².m⁻¹

2.2 Popis materiálu FV 448 (X22CrMoV12-1)

Materiál s obchodním označením FV 448 je obvykle označován X22CrMoV12-1. Stejně jako materiál FV 535 se řadí do skupiny martenzitických korozivzdorných ocelí. Mezi jeho přednosti patří dobrá odolnost proti korozi, vysoká pevnost a houževnatost. Je používán též převážně v leteckém a energetickém průmyslu. Odolává teplotám až do výše 600 °C. Používá se pro součásti parních turbín a také na výrobu žáruvzdorných šroubů.

2.2.1 Chemické složení FV 448 (X22CrMoV12-1) [3]

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	V
0,18-0,24	max 0,5	0,4-0,9	0,3-0,8	max 0,025	max 0,015	11-12,5	0,1-0,4	0,25-0,35

Tab. 2: Chemické složení materiálu FV 448 [3]

2.2.2 Mechanické a fyzikální vlastnosti FV 448 (X22CrMoV12-1) [4]

Mechanické a fyzikální vlastnosti jsou zjištěné při pokojové teplotě 20°C:

Mez pevnosti v tahu R_m880 N/mm²

Mez pevnosti v kluzu $R_{p0,2}$800 N/mm²

Tažnost A_515%

Nárazová práce KV.....52J

Hustota ρ 7,7 kg/m³

Tepelná vodivost λ_t24 W.m⁻¹.K⁻¹

Rezistivita.....0,60 Ω .mm².m⁻¹

2.3 Vliv jednotlivých legujících prvků [5,6]

Chrom

Jeho hlavní účel v martenzitických korozivzdorných ocelích je zajistit odolnost proti korozi, oxidaci a žáruvzdornosti až do teplot okolo 600°C a zvýšení pevnosti. Má negativní vliv na obrobiteľnosť. Rovněž působí příznivě na kalení slitin a zvyšuje odolnost proti opotřeбенí.

Molybden

Plní funkci feritického stabilizátoru. Vytváří odolnost proti kyselinám. Má pozitivní vliv na vlastnosti při tečení (creep vlastnosti), pevnost a odolnosti proti korozi. V případě urychlování růstu karbidů $M_{23}C_6$ může být i škodlivý.

Uhlík

Austenitický stabilizátor, který se poměrně hodně rozpouští v austenitu. Usnadňuje kalení slitin a společně se železem, chromem a vanadem tvoří tvrdé karbidy důsledkem je vyšší pevnost odolnost proti opotřebení. Naopak je tomu u feritu, a proto dochází ke vzniku karbidů a karbidonitridů.

Wolfram

Jeho vlastnosti jsou dosti podobné vlastnostem molybdenu. Vlivem wolframu dochází ke zpevňování a ke zlepšení vlastností při tečení za vysokých teplot. Dále pozitivně působí na tvrdost materiálu.

Mangan a Nikl

Oba tyto legující prvky plní funkci austenitických stabilizátorů. Mají vliv na mechanické vlastnosti. Dochází ke zvyšování houževnatosti, ale naproti tomu se snižuje pevnost při tečení. Podporují kalitelnost.

Vanad

Vyskytuje se v malém množství za účelem dosažení daných vlastností při tečení. Vanad dobře vytváří karbidy, nitridy a karbidonitridy.

Křemík

V případě velkého obsahu křemíku v materiálu dochází ke zkrácení trvanlivosti břítu nástroje. Pozitivum jeho přítomnosti spočívá v umožnění kontrolovatelného utváření třísky.

Kobalt

Při vyšších teplotách tvoří kobalt tvrdé karbidy a udržuje tak tvrdost slitin při obrábění.

2.4 Současný stav ve firmě PCC

Firma PCC se sídlem v Plzni na Borských polích se v současné době soustředí převážně na výrobu součástí pro letecký průmysl. Obrábí se zde niklové, titanové a ocelové slitiny. Do poslední skupiny patří výše uvedené materiály (FV 535 a FV 448).

Soustružení těchto materiálů probíhá na CNC karuselu značky Morando (viz příloha č 2). Polotovarem je výkovek kovaný zápustce bez žádného tepelného zpracování. Ve firmě PCC se tento výkovek pouze vyhrubuje. Poté následuje jeho transport k zákazníkovi do Anglie, který pokračuje ve finálním opracování. Podmínky řezného procesu, včetně používané břitové destičky a obvyklého tvaru vzniklé třísky jsou zobrazeny v tab. č. 3. Hlavní problémem při soustružení těchto materiálu je tvorba nežádoucích dlouhých vinutých smotaných třísek. Tato tříška je nevyhovující jak z hlediska tvaru tak i velikosti. Hrubovací soustružení 1 výkovku trvá přibližně 300 minut a vlivem častého odklizení třísek z ucpaného dopravníku dochází ke finanční ztrátě přepočtené na 1 obrobený kus ve výši 525 Kč. Problémy související s touto třískou jsou následující:

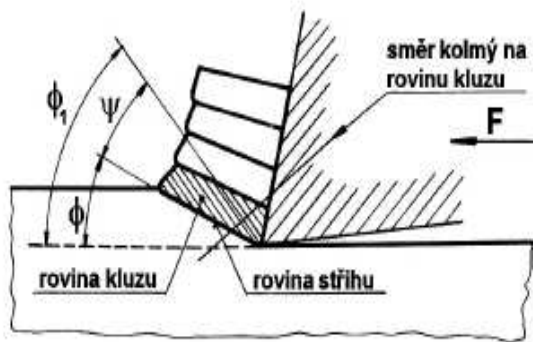
- ohrožení obsluhy stroje při manipulaci s třískami
- časté ucpání otvoru dopravníku třísek
- časté prostoje z důvodu častého zastavení obráběcího procesu a odklizení třísek

Označení břitové destičky	SRGCR 3232 P-20
Obrázek břitové destičky	
Řzná rychlost	$v_c = 70 \text{ m/min}$
Hloubka řezu	$a_p = 4\text{-}5 \text{ mm}$
Posuv	$f_n = 0,45 \text{ mm/ot}$
Trvanlivost břitu	$T = 10 \text{ min}$
Tvar třísky	

Tab. 3: Řzný nástroj a řzné podmínky ve firmě PCC

2.5 Podstata utváření třísky [7]

Obrázek č. 1 popisuje jakým způsobem vzniká tříška. Síla F působí na břit nástroje a tlačí jej do obráběného materiálu. Dochází zde ke koncentraci napětí, které způsobuje pružné a plastické deformace. Na obr. č. 2 je vyobrazen kořen třísky.



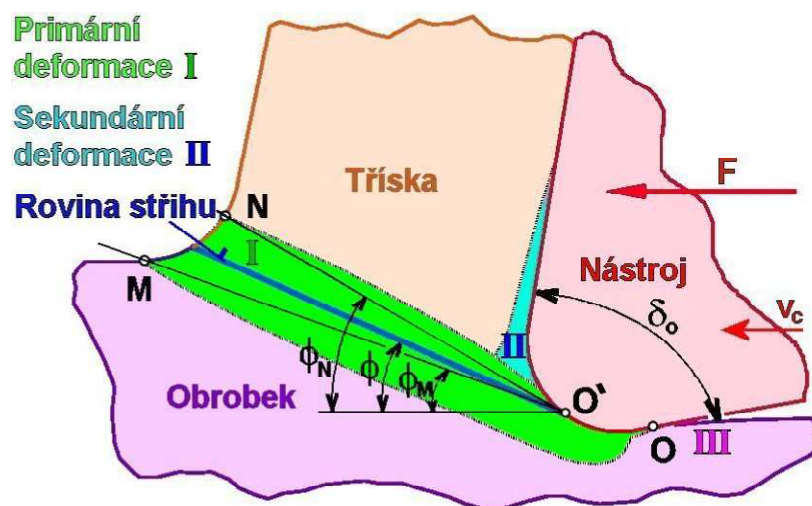
Obr. 1: Vznik třísky [7]



Obr. 2 : Kořen třísky [7]

Při vnikání břitu nástroje dochází k pružným a následně plastickým deformacím, které se vyskytují ve třech oblastech.(obr. č. 3)

1. Primární plastická deformace (I. OMNO) – vzniká před břitem nástroje
2. Sekundární plastická deformace (II.) – vzniká v povrchových vrstvách styčné plochy třísky s čelem nástroje
3. Terciální plastická deformace (III.) – vzniká v povrchové vrstvě obrobek plochy



Obr. 3: Jednotlivé oblasti plastických deformací [7]

2.5.1 Primární plastická deformace [8,9]

V průběhu primární plastické deformace dochází ke zpevnování materiálu. Na konci oblasti primární plastické deformace přichází vyčerpání plasticity materiálu a dochází ke kluzu uvnitř materiálu. Tato oblast má velký vliv na deformaci třísky. Tvar a velikost PPD ovlivňují tyto faktory:

- obráběný materiál (fyzikální vlastnosti – deformační a zpevňovací schopnosti)
- geometrie břitu (především úhel řezu a úhel čela)
- řezné podmínky (řezná rychlost v_c – při zvyšování řezné rychlosti se oblast zužuje)
- řezné prostředí (chlazení – vzduch, kapalina)

Vlivem plastické deformace dochází ke:

- zpevňování materiálu (zvýšení pevnosti, tvrdosti a snížení plasticity)
- změně velikosti průřezu odřezávané vrstvy (pěchování třísky)
- tvarové změně krystalů

Velikosti pěchování se určuje pomocí tzv. **koeficientu příčné pěchování třísky**

$$K_S = \frac{S_1}{S} = \frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b} > 1$$

(a – tloušťka odebírané vrstvy, a_1 – tloušťka vzniklé třísky, b – šířka odebírané vrstvy, b_1 – šířka vzniklé třísky)

Mírou podélného pěchování je **koeficient podélného pěchování**

$$K_S = \frac{l}{l_1} > 1$$

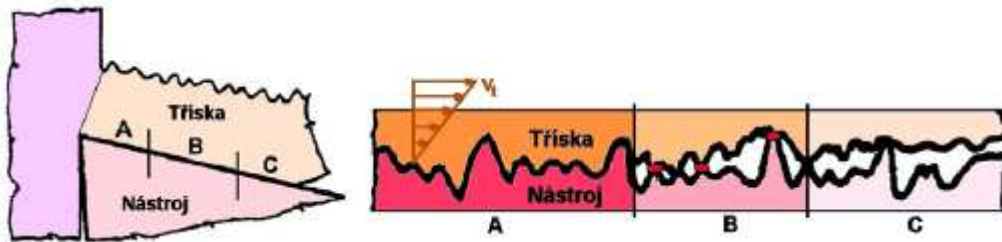
Jelikož $b \cong b_1$ platí :

$$K_S = K_a = K_l = \frac{a_1}{a} = \frac{l}{l_1} > 1$$

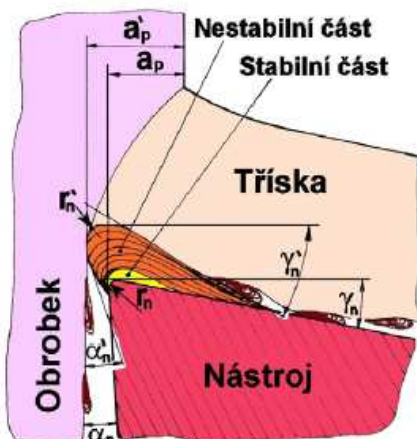
Závěrem lze říci, že čím vyšší intenzita PPD, tím vyšší koeficient pěchování.

2.5.2 Sekundární plastická deformace [7]

Mezi třískou a čelem břitu vlivem vysokých teplot (až 1200 °C), tlaků (řádově 10^3 až 10^4 Mpa) a adhezi dochází ke tření – vzniká plastická deformace přilehlé vrstvy třísky (sekundární plastická deformace). Plochu kontaktu třísky s čelem nástroje lze rozdělit na 3 oblasti A – váznutí, B – svařování, C – kluz (obr. č. 4). Oblast A je charakteristická nejvyšším tlakem a teplotou. Vlivem vnitřního pohybu jednotlivých vrstev mezi třískami dochází k plynulému odchodu třísek. V okamžiku kdy tečná napětí mezi čelem a třískou převyšují smykové napětí zpevněné třísky dochází k vytvoření nárůstku, který má 2 části – stabilní a nestabilní. (obr. č. 5).



Obr. 4: Plocha kontaktu třísky s čelem nástroje [7]



Obr. 5: Nárůstek [7]



Obr. 6: Nárůstek u kořene třísky [7]

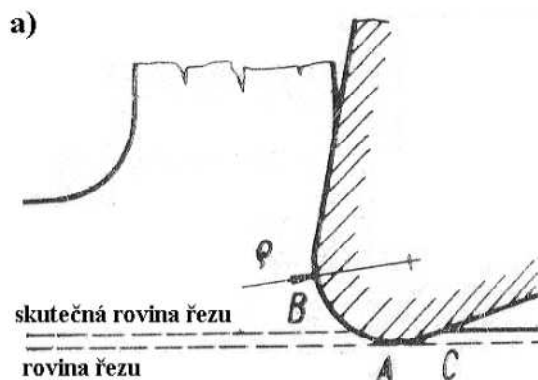
O nárůstku lze hovořit jako o silně spěchované vrstvě obráběného materiálu. Nárůstek je charakteristický především svojí vysokou pevností a tvrdostí (2 až 6x vyšší tvrdost než obráběný materiál) a odlišnou strukturou oproti obráběnému materiálu. Vzniká důsledkem abraze. Nárůstek se vyskytuje převážně při obrábění tvárných materiálů, při nízkých řezných rychlostech okolo 20 m/min. Je odnášen obrobenou plochou. Díky svým vlastnostem plní po určitou dobu funkci bříty a chrání tak nástroj před opotřebením. Jakmile dojde k porušení stabilní části způsobuje naopak velké opotřebení. Mezi negativní vlivy, které nárůstek způsobuje patří:

- **Změna geometrie nástroje** – zvyšuje se úhel čela, úhel hřbetu a poloměr zaoblení a snižuje se úhel řezu
- **Zhoršení struktury obrobené plochy** – nestabilní část nárůstku se nalepuje na obrobenou plochu
- **Samobuzené kmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek**

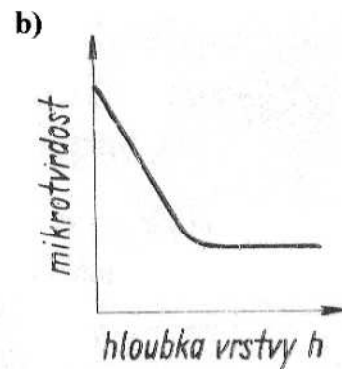
Při obrábění je potřeba udělat vše pro to, abychom se vyhnuli nárůstku. V praxi se setkáváme se spoustu řešeními jak vzniku nárůstku zabránit. Patří sem např. zvýšení rezné rychlosti, použití vhodného chladicího média při obráběcím procesu, lapováním čelní plochy nástroje atd.

2.5.3 Terciální plastická deformace [8]

Při zaoblení ostří nad $10 \mu\text{m}$ a velké oblasti primární plastické deformace dochází k deformaci vrstvy, která se nachází těsně pod obrobeným povrchem – terciální plastická deformace. Jako hlavní příčinu deformace povrchové vrstvy obrobku lze považovat tvar rezné hrany nástroje. Z obr. č. 7a) je zřejmé, že ostří nástroje je ve tvaru části válcové plochy o poloměru 5 až $20 \mu\text{m}$. Obr. č. 7b) vyjadřuje závislost mikrotvrdomosti na hloubce zpevněné vrstvy h . Vyplyvá z něj, že největší mikrotvrdomost je na povrchu a se zvyšující se hloubkou se mikrotvrdomost snižuje až se ustálí na hodnotě původního nedeformovaného materiálu.



Obr. 7:a) Deformace povrchové vrstvy [8]



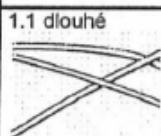
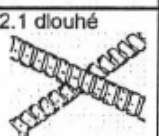
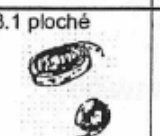
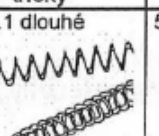
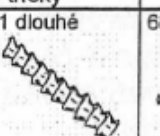
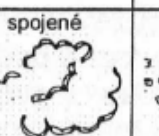


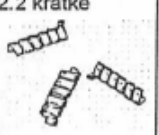

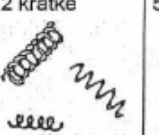
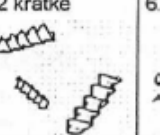




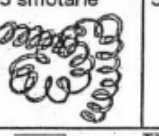

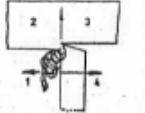
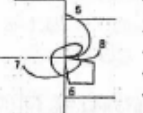
b) Obr. 7b) Závislosti mikrvrstvy [8]

2.6 Základní druhy třísek [9]

Při obráběcím procesu se vždy snažíme docílit ideálního tvaru třísky. Správný tvar třísky je důležitý zejména pro :

- bezproblémový obráběcí proces
- snížení pravděpodobnosti ohrožení obsluhy stroje
- snadnější manipulace se třískami
- zamezení poškozování ostří

Základní rozdělení tvaru třísek dle ISO 3865 (obr. č. 8) definuje 8 tříd a několik podskupin. Že tříška se vyskytuje v různých tvarech od stužkové až po elementární třísku. Třísky, které spadají do třídy 1-4 jsou nežádoucí při obrábění z důvodu ohrožení osob, nástrojů, obrobku a obráběcí stroje. Třída 5 - 6 zahrnuje třísky, které jsou naopak vhodné obrábění. Ve třídách 7 a 8 se nachází třísky s přípustným tvarem u nichž se vyskytují problémy s odstraňováním a odletováním třísek.

1. Stužkové třísky	2. Vinuté třísky	3. spirálové třísky	4. vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité šroubovitě třísky	6. Obloučkovité třísky	7. Elementární třísky
1.1 dlouhé 	2.1 dlouhé 	3.1 ploché 	4.1 dlouhé 	5.1 dlouhé 	6.1 spojené 	
1.2 krátké 	2.2 krátké 	3.2 kuželovité 	4.2 krátké 	5.2 krátké 	6.2 dělené 	8. Jehlovité 
1.3 smotané 	2.3 smotané 		4.3 smotané 	5.3 smotané 		
 <p>Směr odchodu třísky je charakterizován třetím číslem ..1 - do směru posuvu od obrobku ..2 - do směru posuvu od obrobku ..3 - proti posuvu ..4 - proti posuvu</p>		 <p>Třetí číslo rovněž udává způsob dalšího lámání třísky ..5 - o hlavní rovinu řezu ..6 - o hřbet bříty ..7 - o obráběný povrch ..8 - o obrobený povrch</p>				

Obr. 8: Základní druhy třísek dle normy ISO 3865 [9]

Tvar třísky lze určit pomocí tzv. objemového součinitele třísek W . Jednotlivé hodnoty objemové součinitele W s příslušnou třídou třísky jsou v zobrazeny v tab. č. 4.

Objemový součinitel W	ISO třída
90	1,2
50	3,4
25	5
8	6,7
3	3

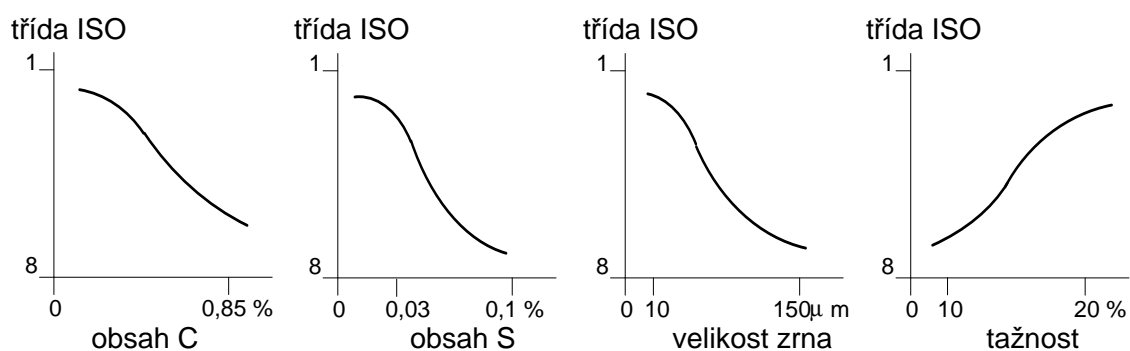
Tab. 4: Objemový součinitel třísek [9]

2.7 Faktory ovlivňující utváření třísky

Při obráběcím procesu se vyskytuje velké množství vlivů, jež ovlivňují utváření třísky. Utváření třísky se tak stalo samostatným odvětvím v oblasti technologie obrábění. V této kapitole diplomové práce budou nejdůležitější faktory rozebrány.

2.7.1 Druh a vlastnosti obráběného materiálu [10]

Materiál obrobku patří mezi pevné faktory, které ovlivňují utváření třísky. Na obrobitelnost má vliv i v jakém stavu je polotovár. Např. tažená tyč má index obrobitelnosti 1, výkovek 0,8 a odlitek 0,6. Obr. č. 9 znázorňuje vliv obsahu uhlíku a síry a dále vliv velikosti zrna a hodnoty tažnosti na tvar vznikající třísky.

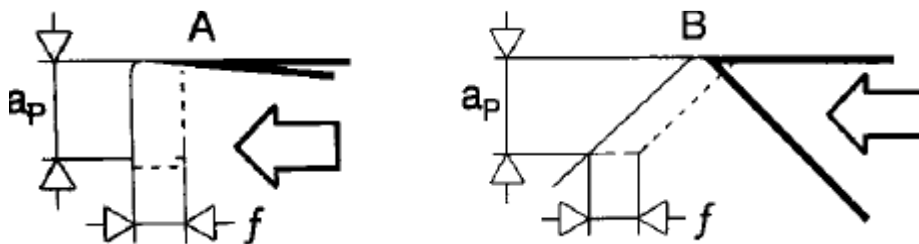


Obr. 9 : Vliv chemického složení, velikosti zrna a tažnosti na tvar třísky [10]

2.7.2 Geometrie nástroje [11]

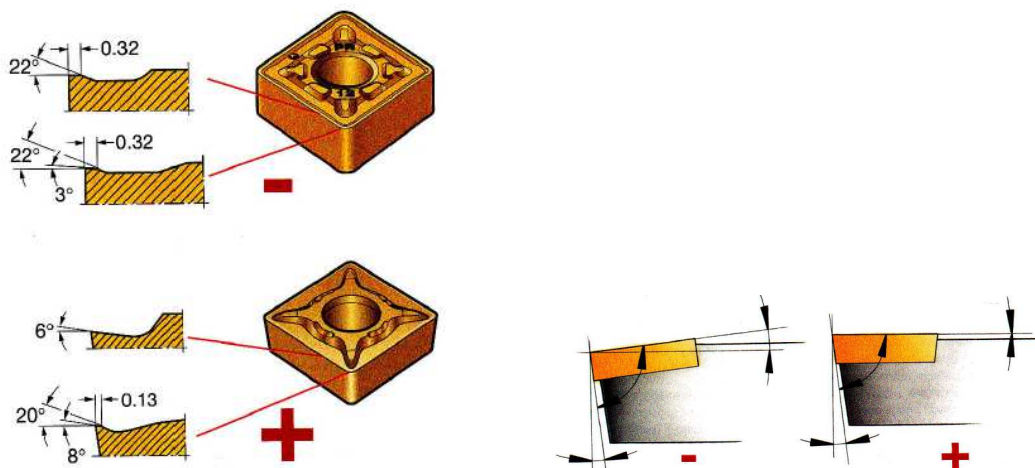
Správná volba geometrie nástroje patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující utváření třísek, a proto je zapotřebí této problematice věnovat velkou pozornost. Každá geometrie VBD je vyvinuta pro konkrétní aplikační oblast určenou doporučenými rozmezími posuvu a hloubky řezu.

Při utváření třísky hraje velice důležitou roli úhel hlavního a vedlejšího ostří viz obr. č. 10. Úhel nastavení hlavního ostří χ_r se při obrábění mění následujícím způsobem. S nižšími hodnotami úhlu nastavení hlavního ostří se tloušťka třísky snižuje a naopak šířka třísky narůstá. Utváření třísky je snazší a hladší, je-li úhel nastavení menší. Úhel nastavení hlavního ostří 90° se doporučuje pouze v některých případech obrábění a to např.: při čelním a podélném soustružení. Velikost úhlu nastavení hlavního ostří působí na trvanlivost břitové destičky.



Obr. 10: Proces obrábění s úhlem nastavení hlavního ostří 90° a 45° [5]

Dalším důležitým úhlem je úhel sklonu hlavního ostří λ_s . Tento úhel se vyskytuje jak v kladných, tak i v záporných hodnotách. Nabývá většinou hodnot v rozsahu -6° až $+6^\circ$. V případě kladné hodnoty tříška odchází směrem od obrobku, v případě záporných hodnot je tomu naopak. Úhel čela γ se na VBD ve většině případech nachází jako pozitivní a po délce břitu dochází k jeho změně. Při obráběcím procesu je funkce úhlu čela měnná. Počínaje břitem, až do míst, kde funkce lamače třísek převládne nad funkcí utvářeče třísek. Při obrábění se může vyskytovat s pozitivní VBD nebo negativní VBD (obr. č. 11). Při sledování pozitivní VBD při příčném řezu hlavního břitu úhel břitu dosahuje hodnoty 90° . Naproti tomu u negativní VBD je tento úhel menší než 90° .



Obr. 11: Rozdíl mezi pozitivní a negativní geometrií [11]

2.7.3 Tvar a poloměr vyměnitelné břitové destičky [11]

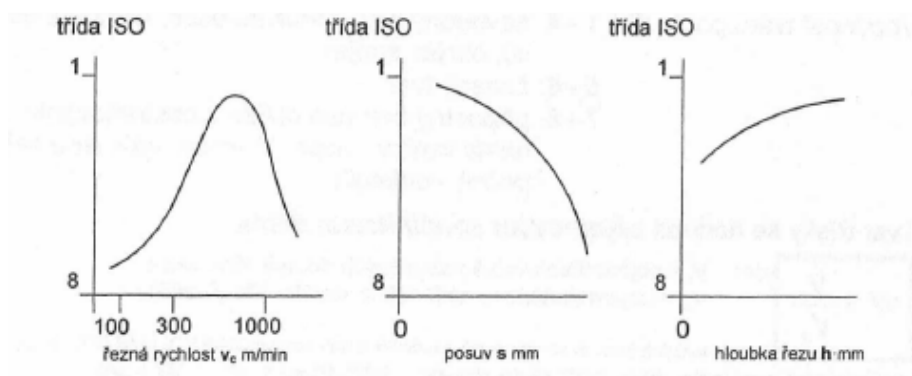
V praxi se setkáváme s různými tvary vyměnitelných břitových destiček. Každá břitová destička má základní tvar a zaoblené rohy. Jednotlivé tvary VBD se od sebe výrazně liší, z čehož plyne, že úhel špičky může být velmi malý (od 35°), nejvyšší hodnota je 100°.

Destička opatřena nejvyšším úhlem špičky je ideální pro hrubovací operaci z důvodu velké pevnosti břitu. Naproti tomu nízké úhly jsou vhodné pro kopírovací operace, díky dobré dostupnosti. Kombinací vysoké pevnosti břitu, velkého záběru a většího úhlu špičky se při obrábění vyskytují vibrace. Naopak při obrábění destičkou s menším úhlem špičky se výrazně sníží pravděpodobnost vibrací, ale břit má malou pevnost. Je zapotřebí tyto parametry řádně uvážit a co nejvhodněji zvolit pro konkrétní obráběcí aplikaci.

Poloměr špičky r_e patří k důležitým faktorům při obrábění. Každá destička je opatřena příslušnou hodnotou poloměru špičky. V praxi obvykle v rozsahu od 0,2 mm do 2,4 mm. Při hrubování se upřednostňuje poloměr špičky co největší, což zajistí velkou pevnost a menší pravděpodobnost vzniku vibrací. Existuje vzájemný vztah mezi poloměrem špičky nástroje a jeho posuvem. Velký poloměr špičky znamená pevný břit, snášející velké posuvy a fungující dobře právě při nich. Malý poloměr špičky znamená slabší břit, ale také schopnost jemného obrábění.

2.7.4 Řezné podmínky [10]

Řezné podmínky přímo ovlivňují velikost a tvar třísky, přičemž posuv a hloubka řezu se projeví ve větší míře než řezná rychlost. Na obr. č. 12 je zřejmé jak ovlivňují jednotlivé parametry tvar vzniklé třísky. Levý obrázek popisuje závislost řezné rychlosti na tvaru třísky. Je z něj patrné, že při nižších řezných rychlostech přibližně okolo 100 m/min se vytváří třísky s příznivým tvarem. Naopak je tomu při řezných rychlostech zhruba 600-800 m/min. Při řezných rychlostech nad 1000 m/min se opět vyskytujeme v pásmu vhodných třísek při obrábění. Prostřední obrázek vyjadřuje vztah mezi posuvem a tvarem třísky. Vyplývá z něj, že při malých hodnotách posuvu se nacházíme v oblasti nevhodných třísek. Postupně se zvyšujícími se hodnotami se dostaneme do pásma třísek, jež vyžadujeme při obrábění a poté do oblasti třísek s příznivým tvarem. Na třetím obrázku je vyznačena závislost hloubky řezu na tvaru třísky. Z obrázku lze vyčíst, že se nacházíme v oblasti nežádoucím třísek při obrábění jak při nižších, tak vyšších hodnotách hloubky řezu.

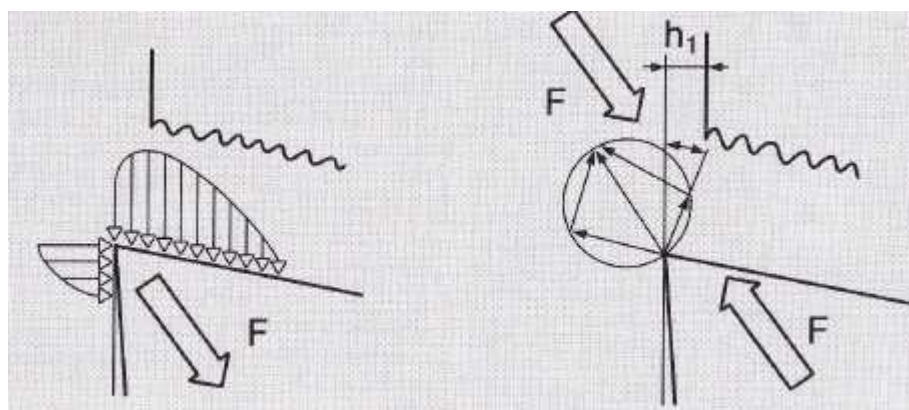


Obr. 12 : Závislost řezných podmínek na tvaru třísky [10]

2.7.5 Řezné síly [5]

Při obráběcím procesu je zapotřebí použití určité síly, která zajistí oddělení třísky od obrobku. Určení řezných sil je možno pomocí teoretického výpočtu nebo pomocí dynamometru.

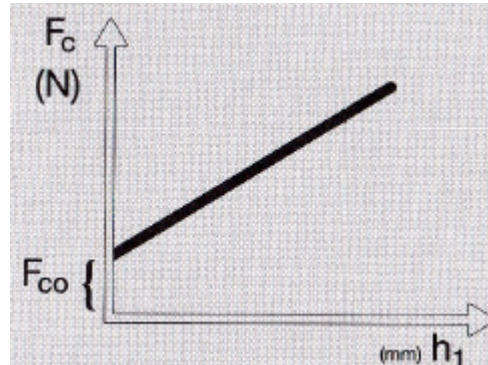
Při samotném řezání vznikají mohutné tlakové síly a tření. V místě břitu se vyskytují především tlakové síly, ale také síly smykové. Nejvíce zatížené místo tlakem je právě ostří břitu (obr. č. 13). Při pohledu na průřez třísky v oblasti řezu ve vztahu s rovinou stříhu existuje rovnováha sil (obr. č. 13)



Obr. 13: Tlakové a smykové síly působící na břit [5]

Tangenciální řezné síly mají přímý vliv na krouticí moment a příkon pro konkrétní proces obrábění. Síla F_{CO} je zapotřebí k tomu, aby se podařilo materiál obrobku deformovat již před vznikem třísky. Hodnota této síly se výrazně mění v závislosti na obráběném materiálu. U žáruvzdorných ocelí je tato síla asi 10 x větší oproti nelegovaným ocelím. Ideální utváření třísky a správné lámání třísky výrazně ovlivňují tangenciální sílu. Obr. č. 14 znázorňuje existenci přímé vazby mezi tloušťkou vrstvy odebíraného materiálu a velikostí této síly.

Při obrábění materiálů FV 535 a FV 448 jsou řezné síly mnohem větší, než při obrábění uhlíkových ocelí. Z hlediska změn řezných sil se ve srovnání korozivzdorné oceli s uhlíkovou ocelí vyskytují mnohem větší výkyvy řezné síly v závislosti na čase.



Obr. 14: Závislost tloušťky vrstvy na síle F_c

2.7.6 Teplo vzniklé při obrábění [7]

Teplo vzniklé při obrábění patří mezi jeden z faktorů, které ovlivňují správné utváření třísky. Při obráběcím procesu se téměř veškerá mechanická energie řezání přeměňuje na teplo. Teplo, které vznikne při obrábění působí na řezný proces z následujících důvodů:

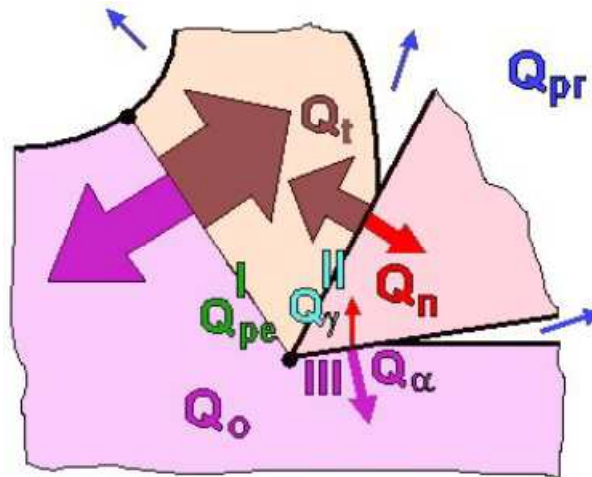
- ovlivňuje petchování a zpevňování obráběného materiálu
- ovlivňuje tření na čele i hřbetě nástroje
- negativně působí na řezné vlastnosti nástroje
- ovlivňuje mechanické vlastnosti řezného nástroje

Obr. č. 15 znázorňuje vznik a odvod tepla při obrábění. V oblasti primární plastické deformace I vzniká teplo Q_{pe} . Oblast sekundární plastické deformace II. Zde vzniká teplo Q_γ . Oblast III – terciální plastická deformace. V této oblasti vzniká teplo Q_α . Teplo je odváděno třískou (Q_t), obrobkem (Q_o), řezným prostředím (Q_{pr}) a nástrojem (Q_n).

Nejvíce tepla vzniká v rovině stříhu. Při obrábění s nástrojem, který má malý úhel čela se odvede větší množství tepla do obrobku v důsledku menšího úhlu roviny stříhu.

Působením tření třísky na čele nástroje dochází ke vzniku menšího množství tepla. Při použití VBD s moderní geometrií je zajištěna odchodu třísky po čele takovým způsobem, aby množství tepla, přecházejícího do břitu bylo co nejmenší.

Plocha hřbetu by měla být z hlediska množství tepla držena na co nejnižších hodnotách. Tomuto požadovanému stavu lze docílit za použití velkého úhlu hřbetu. Dále by se měla věnovat pozornost opotřebením na hřbetu, které má za následek zvětšení úhlu hřbetu.



Obr. 15: Vznik a odvod tepla při obrábění [7]

Na teplo vzniklé při obrábění mají vliv: obráběný materiál, geometrie nástroje, řezné podmínky.

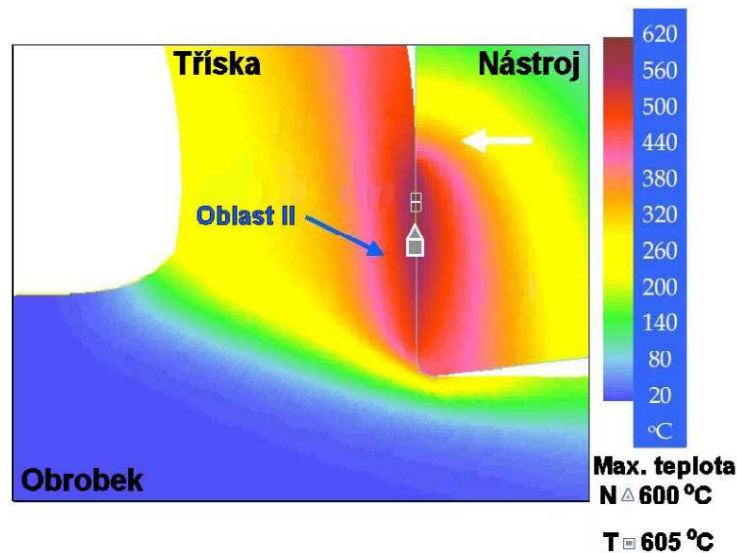
- čím vyšší řezná rychlost, tím větší množství vzniklého tepla
- zmenšováním úhlu čela γ se zvětšuje úhel řezu δ – vyšší intenzita plastické deformace a tím i vzniklého tepla
- zmenšováním úhlu hřbetu α dochází ke zvýšení třecí práce na hřbetě nástroje

V ideálním případě se největší množství tepla odvádí třískou, jelikož teplota třísky zatíží nástroj jen po dobu přímého kontaktu. Při obrábění materiálů s nízkou tepelnou vodivostí (FV 535 a FV 448) se nejvíce tepla odvádí přímo do nástroje. Což má za následek především snížení trvanlivosti nástroje.

2.7.7 Teplota řezání [7]

Teplota v zóně řezání je závislá hlavně na kontaktu třísky a nástroje, velikosti třecích sil a třecích procesech mezi materiálem obrobku a břitem nástroje. Na obr. č. 16 je zobrazen příklad teplotního pole.

Při obrábění nízkými řeznými rychlostmi se nejvyšší teplota vyskytuje přímo na špičce nástroje. Naopak při použití vyšších řezných rychlostí se maximální teplota přesune do určité vzdálenosti od ostří.

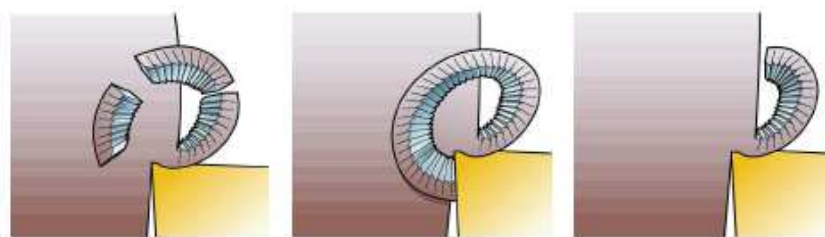


Obr. 16: Teplotní pole [7]

2.7.8 Dělení třísek

Při obrábění materiálů s krátkou či drobnou třískou není zapotřebí téměř žádné utváření. Na druhé straně u materiálů tvořících dlouhou třísku (FV 535 a FV 448) většinou původní zakřivení třísky nestačí k jejímu oddělení na segmenty o ideální délce.

Samotné dělení třísky se odehrává 3 základními mechanismy (obr. č. 17), které jsou závislé na geometrii VBD, obráběném materiálu a řezných podmínkách. Levý obrázek zobrazuje samovolné odlomení (např. při soustružení litiny), na prostředním obrázku je odlomení proti nástroji a poslední pravý obrázek schematicky zobrazuje odlomení proti obrobku.



Obr. 17: Mechanismy odlomení třísek [12]

2.8 Chlazení a mazání při obrábění [13]

Správná volba řezného prostředí při obráběcím procesu patří mezi důležité faktory, kterými lze výrazně ovlivnit řezný proces. Mezi nedůležitější vlivy patří:

- ✓ teplota řezání
- ✓ řezný odpor
- ✓ drsnost obrobeného povrchu
- ✓ trvanlivost břítu nástroje
- ✓ čas obrábění
- ✓ množství spotřebované energie

Při použití správné volby řezného prostředí se může docílit hospodárnějšího úběru o 50 až 200% ve srovnání s obráběním za sucha. Existuje několik možných variant řezného prostředí patří mezi ně: chladicí kapaliny, řezné oleje, olejové mlhy, procesní pasty, plyn nebo obrábění za sucha. Když se volí řezná kapalina nestačí pouze vybrat její typ, ale je nutné se také zaměřit na způsob přívodu chlazení do místa řezání.

Faktory, které ovlivňují přívod kapaliny do místa řezu jsou:

- průtok chladicí kapaliny
- přesnost dopadu
- velikost tlaku, pomocí kterého je kapalina přiváděna do místa řezu
- úhel dopadu chladicí kapaliny do místa řezu
- přívod kapaliny (u vrátní – vnitřkem nástroje, u soustružení – z vnějšku)

Zde vyjmenované parametry mají velký vliv na obráběcí proces. Ovlivňují především jakost obrobeného povrchu a trvanlivost břítu řezného nástroje. Na každý druh obrábění se použije jiný druh chladicího média. Doporučení vhodné řezné kapaliny při soustružení různých druhů ocelí jsou zobrazeny v tabulce č. 5.

Materiál obrobku			
Nízkouhlíkové oceli	Uhlíkové oceli	Legované oceli	Korozivzdorné, žáruvzdorné oceli
Emulze, syntetické kapaliny		Emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny	

Tab. 5: Doporučené řezné kapaliny při soustružení [13]

2.8.1 Moderní trendy v oblasti chlazení a mazání [13]

V dnešní době hraje velkou roli ve všech oblastech strojírenství ekologie. Běžně používané řezné kapaliny jsou založeny na bázi ropy často s přísadami chlóru, fosforu a síry. Tyto kapaliny způsobují problémy při styku s obsluhou a při jejich úniku do okolního prostředí. Mnoho druhů těchto kapalin je nutno regenerovat a likvidovat. Což přináší negativní dopady na ekologii i na ekonomiku. Z těchto důvodů se neustále vytvářejí nové přísnější bezpečnostní a hygienické předpisy na řezné kapaliny. Dochází ke změně jejich složení, ke vzniku nových typů řezných kapalin.

Obecné metody, které ovlivňují teplotu a teplo při obrábění jsou následující:

- snížení tepla v oblasti sekundární plastické deformace (použití vhodného povlaku s nízkým koeficientem tření)
- použití účinného chlazení a mazání při obrábění
- snížení soustředění se celkového tepla hlavně v oblasti primární plastické deformace (volbou pozitivní geometrie nástroje)

2.8.1.2 Tlakové chlazení nástrojů [14]

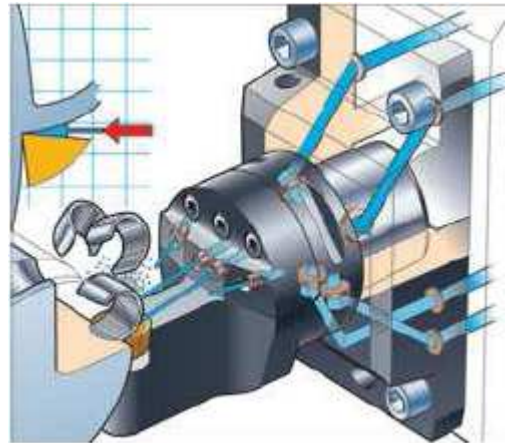
Systém tlakového chlazení Jeststream Tooling (JT) od společnosti Seco Tools AB je založen na přívodu řezné kapaliny co nejbližší k břítu nástroje. Obr. č 18 zobrazuje nůž s tlakovým chlazením od této firmy. To zaručí ideální podmínky odvodu třísek z místa řezu, lepší utváření třísek a v neposlední řadě zvýšení trvanlivosti břítu nástroje. Díky těmto vlivům lze obrábět za vyšších řezných podmínek.

Díky chlazení JT se na čele nástroje vytváří hydraulický klín. Tento klín pozitivně působí na utváření třísky a zároveň intenzivně celou oblast chladí. Podstata spočívá v tom, že systém chlazení JT zajistí vznik stejnoměrných trhlin v celé tloušťce třísek. Společně s působícím zpevnováním vede ke snížení teploty v místě řezání. Na obr. č. 19 je znázorněn přívod řezné kapaliny při použití tlakového chlazení.

Letecký průmysl se potýká s problematikou produktivity obrábění a utváření třísek především u soustružení. Zpracovávané materiály (např. FV 535, FV 448) se vyznačují vysokou pevností a při jejich soustružení vzniká obrovské množství tepla, a proto je vhodnější použití nižších řezných rychlostí. Houževnatost u těchto materiálů způsobí obtížnější kontrolu odvodu třísek.



Obr. 18: Nůž s tlakovým chlazením JT [14]



Obr. 19: Přívod řezné kapaliny tlakem [14]

2.8.1.2.1 Výhody tlakového chlazení nástrojů

- zvýšení trvanlivosti řezného nástroje
- zvýšení spolehlivosti procesu obrábění
- snadnější lámání třísek
- přívod správného objemu a dostatečně silného proudu řezné kapaliny

2.8.2.2 Nevýhody tlakového chlazení nástrojů

- vyšší pořizovací náklady
- vyšší spotřeba energie
- vyšší udržovací náklady
- vysoké nároky na koncentraci chladicí kapaliny

2.9 Soustružení korozivzdorné oceli [5]

Obrobitelnost korozivzdorných materiálů je výrazně odlišná od obrobitelnosti běžných uhlíkových ocelí. Je to dáno především jejich aplikací v energetickém a leteckém průmyslu, kde jsou zapotřebí určité specifické vlastnosti, které mají negativní vliv na obrobitelnost.

Při soustružení korozivzdorných ocelí přináší problémy především rychlé opotřebení břitu a špatné utváření třísek. Plastická deformace řezné hrany je způsobena nízkou tepelnou vodivostí. Nárůstky způsobují nevyhovující drsnost povrchu. Mezi další časté typy opotřebení lze zařadit chemickou difúzi mezi povrchem obrobku a břitou.

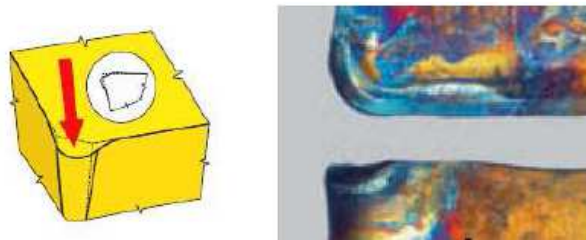
Nástroje určené pro obrábění korozivzdorných ocelí musí materiál odřezávat nikoliv odtláčovat. Důležité není jen zvolit vhodnou destičku ze slinutého karbidu, ale i o správný utvařecí třísky, který by měl disponovat širokou aplikační oblastí.

2.9.1 Opotřebení nástroje při soustružení korozivzdorných ocelí [15]

Destrukci břitu nejčastěji způsobí u obrábění korozivzdorných ocelí plastická deformace čela nebo hřbetu či nárůstek. Dojde k odtržení nárůstku z čela břitu i s částí substrátu slinutého karbidu.

K plastické deformaci břitu dochází za působení vysokých teplot a tlaků. Při překročení hranice kritické teploty se důsledkem strukturních změn v řezném materiálu sníží jeho tvrdost. Nastane přetížení břitu, které má za následek deformaci (vytlačení materiálu, vyboulení). Následně se zvýší teplota třením, změnou geometrie a změnou v odchodu třísek. Obrana proti vzniku plastické deformace (obr. č. 20) spočívá v použití tvrdší VBD. V případě, že toto není možné (např. z důvodu přerušovaného řezu) je zapotřebí snížit řeznou rychlost, posuv nebo obojí. Vhodná volba chladicí kapaliny zaručí snížení teploty řezání.

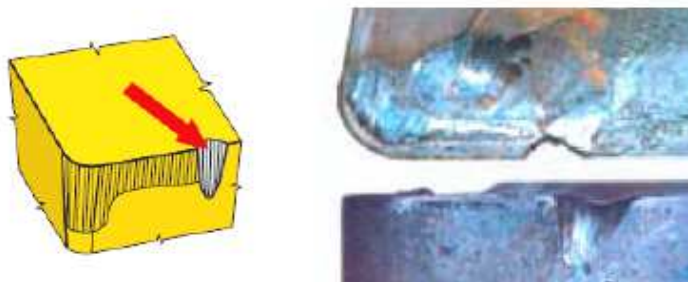
Plastická deformace břitu se může vyskytnout u všech typů řezných nástrojů. Větší pravděpodobnost jejího vzniku je však u materiálů, kde dochází k většímu poklesu tvrdosti. K vytvoření plastického stavu dojde buď jenom v tenké povrchové vrstvě nebo ve větším objemu – lavinovitě opotřebení.



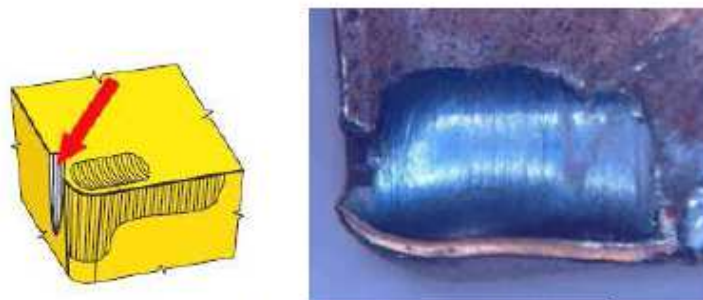
Obr. 20: Plastická deformace břitu [15]

Další opotřebení, které se vyskytuje při soustružení korozivzdorných materiálů je opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě. Toto opotřebení je způsobeno převážně adhezí, v některých případech i oxidací. V praxi se objevují 2 případy tohoto opotřebení. Vrubové opotřebení na hlavním hřbetu (obr. č. 21) se vyskytuje v oblasti, kde dochází ke kontaktu hlavního břitu s obráběnou plochou. Tento typ opotřebení ve většině případech souvisí se zpevněním povrchové vrstvy obrobku a objevuje se převážně u austenitických korozivzdorných ocelí. Druhou variantou opotřebení je vrubové opotřebení vedlejšího hřbetu (oxidační rýha – obr. č. 22). Řadí se mezi oxidační opotřebení.

Příliš velké vrubové opotřebení může mít za následek lom destičky. Při tomto opotřebení se doporučuje použít otěruvzdornější destičku, nejlépe s povlakem Al_2O_3 . Pokud je rýha na hlavním hřbetu je možností použít nástroj s menším úhlem nastavení.



Obr. 21 : Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetu [15]



Obr. 22: Oxidační rýha na vedlejším hřbetu [15]

2.10 Trvanlivost bříty nástroje [10]

Trvanlivost bříty nástroje lze charakterizovat jako dobu trvání řezného procesu v minutách, po kterou je břit schopný obrábět od naostření až do stavu otupení. Pojem životnost nástroje lze označit sumu všech trvanlivostí za dobu života nástroje (např. u VBD s více břity, u nástrojů přeastřovaných). Trvanlivost je u konce v té době, když nástroj není schopen plnit požadované funkce. Mezi tyto funkce patří zajištění požadované jakosti obráběné plochy, rozměrové přesnosti a zabezpečení kontrolovaného odchodu třísky. Je potřeba vědět, kdy lze břit považovat za opotřebený. To se ve většině případech liší dle dané obráběcí metody. V praxi se většinou jako ukazatel provozuschopnosti bříty uvažují parametry opotřebení bříty, jakost obrobeného povrchu, velikost řezné síly apod.

K porovnání trvanlivosti jednotlivých řezných materiálů a nástrojů jsou určena kritéria, která nemají vliv na jakost obrobené plochy. Opotřebení se nejčastěji měří následujícími způsoby:

1. měření rozměrů otupení

- lupou s průměrnou stupnicí v 0,1 mm
- dílenským mikroskopem

2. určení úbytku hmoty bříty

- vážením bříty
- z radioaktivity třísek

3. dle původních jevů opotřebení bříty

- změna rozměrů obrobku
- změna drsnosti obrobeného povrchu
- vznik chvění
- změna tvaru třísek
- popouštěcí barva třísek

2.10.1 Vliv řezných podmínek na trvanlivost břitu

Největší vliv má řezná rychlost, jelikož úzce souvisí s teplotou řezání. Obecně platí, že s rostoucí řeznou rychlostí klesá nerovnoměrně trvanlivost břitu. Závislost trvanlivosti T na řezné rychlosti v_c vyjadřuje tzv. Taylorův vztah:

$$T = \frac{c_{Tv}}{v^m} \quad [\text{min, m/min}]$$

c_{Tv} – konstanta, která je dána řezným materiálem

$m = 1/n$ – exponent, který závisí na aktuálním rozsahu řezné rychlosti a na druhu řezného materiálu

Tato funkce zobrazena v polytropických souřadnicích je přímka – tzv. Taylorova přímka viz. obr. č. 23. Exponent m je směrnici přímky k ose v_c a konstanta c_{Tv} je teoretickou trvanlivostí břitu při řezné rychlosti 1 m/min. V případě, že dojde k růstu v aktuálním rozsahu řezné rychlosti v_c se hodnota m zvyšuje u každého řezného materiálu.

Hodnoty m pro některé řezné materiály:

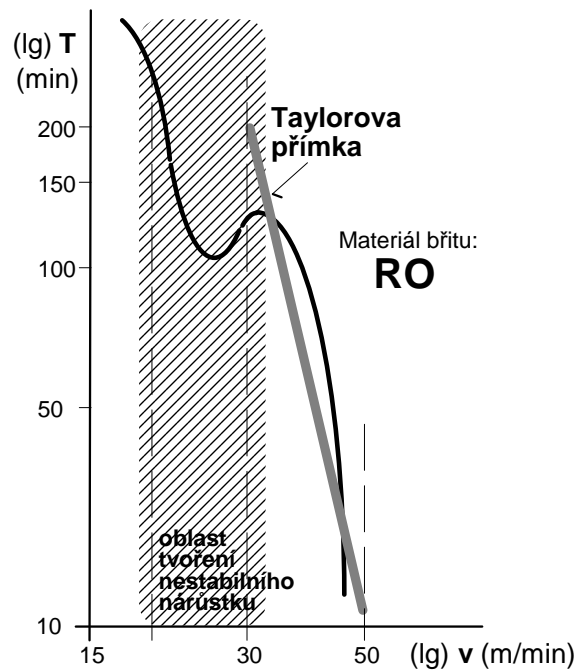
RO – $m = 4,5$ až 8 (úhel $\alpha = 77$ až 83°)

SK – $m = 2,5$ až 5 (úhel $\alpha = 64$ až 79°)

ŘK – $m = 2$ až 3 (úhel $\alpha = 63$ až 72°)

Vliv posuvu a hloubky řezu je výrazně menší než vliv řezné rychlosti, závislost udává tzv. rozšířený Taylorův vztah:

$$T = \frac{c_{Tvhs}}{v^m \cdot a_p^{x_r} \cdot f^{y_r}} \quad [\text{min, m / min, mm, mm}]$$



Obr. 23: Experimentálně získané závislosti pro RO a SK [10]

2.10.2 Vliv geometrie břitu na trvanlivost nástroje

- **vliv úhlu řezu δ ($\alpha+\beta$)** – největší trvanlivosti se dosáhne při $\delta_{opt.}$, pokud je úhel řezu menší či větší, trvanlivost T se sníží.
- **vliv úhlu hřbetu α** – pro větší hodnoty posuvu f , je α_{opt} menší, z důvodu potřeby zesílení břitu – trvanlivost T je menší

2.10.3 Vliv obrobiteľnosti obráběného materiálu na trvanlivost nástroje

Obrobiteľnost materiálu je technologická vlastnost obráběného materiálu, která určuje obtížnost či lehkost jeho obrábění řezáním.

2.10.4 Vliv řezivosti na trvanlivost nástroje

Řezivost lze charakterizovat jako technologickou vlastnost materiálu břitu, která určuje jeho schopnost obrábět řezáním. Je dána fyzikálními vlastnostmi, mikrostrukturou, chemickým složením a dalšími charakteristikami materiálu. Mění se i ve vztahu k obráběnému materiálu, řeznému prostředí, řeznému materiálu, způsobu obrábění, geometrii břitu a dalším charakteristikám řezného procesu. U řezných nástrojů ze slinutého karbidu lze řezivost zvýšit jemnozrnností prášku (submikronové SK), zvýšeným obsahem tepelně odolných karbidů a v neposlední řadě povlakováním (ochranné vrstvy z TiN, TiCN, TiC a Al_2O_3).

2.10.5 Vliv řezného prostředí na trvanlivost břítu

Při správné volbě řezného prostředí lze snížit ekonomické náklady na proces obrábění. Může dojít ke zvýšení tzv. hospodárného úběru (U_{hosp}) až o 200%, obvykle však o 50%, protože při dodržení hospodárného trvanlivosti břítu umožní zvýšit řezné podmínky. Řezné prostředí ovlivňuje procesy především na povrchu břítu, mezi něž patří adheze a součinitel tření (zmenšení tření – vznik tepla), teplotu řezání a teplotní pole (odvod tepla).

3. Návrh řešení na vybraných obráběcích strojích ve firmě

3.1 Obrobitelnost [16]

Pod pojmem obrobitelnost se rozumí souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Je to technologická vlastnost materiálu obrobku, která určuje obtížnost či snadnost jeho obrábění řezáním. Existuje řada vlivů, které působí na obrobitelnost:

1. Fyzikální (mechanické) vlastnosti kovů: tvrdost, pevnost, tažnost, mez kluzu, tepelná vodivost
2. Chemické složení: chemická aktivita, druhy sloučenin, adhezní a difúzní vlastnosti
3. Mikrostruktura: druh, velikost, tvar a orientace krystalů
4. Způsob výroby a tepelného zpracování

Jednotlivé strojírenské materiály jsou dle obrobitelnosti rozděleny do tříd a skupin. Celkem existují 4 skupiny obráběných materiálů a 20 tříd obrobitelnosti. V tabulce č. 6 je konkrétní rozdělení materiálů do jednotlivých skupin obrobitelnosti zobrazeno.

Druh materiálu	Etalonový materiál	Třída obrobitelnosti
Železné materiály tvořící krátkou třísku	422420	14b
Železné materiály tvořící celistvou třísku	12050.1	10a
Barevné kovy (slitiny mědi)	423213.21	11c
Lehké kovy (slitiny hliníku)	424380.11	10d

Tab. 6: Rozdělení materiálů do tříd obrobitelnosti [17]

Čím je vyšší třída obrobitelnosti oproti etalonovému vzorku tím jsou materiály lépe obrobitelné a naopak. Obráběný vzorek se přiřadí do příslušné třídy obrobitelnosti na základě spočteného indexu obrobitelnosti.

3.1.2 Problémy při obrábění materiálů FV 535 a FV 448

Oba materiály se na základě jejich chemického složení řadí mezi martenzitické korozivzdorné oceli. Tyto materiály se všeobecně hůře obrábějí. Při jejich obrábění vznikají třísky nežádoucího tvaru a velikosti. Je to dáno především legujícími prvky a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Obecně platí, že čím více materiál obsahuje legujících prvků, tím jsou náklady na obrábění vyšší. Tabulka č. 7 představuje pozitivní či negativní vliv u jednotlivých fyzikálních a chemických vlastností na obrobitelnost.

Zvýšené hodnoty	Všeobecný vliv na
tvrdost a pevnost	-
tvárnost	-
tepelná vodivost	+
zpevnění za studena	-
podíl vměstků-	-
podíl vměstků-	+/-
příspěvky pro zlepšení	++

Tab. 7: Vliv jednotlivých vlastností na obrobitelnost [5]

Obrobitelnost obou materiálů je negativně ovlivněna především sklonem k deformačnímu zpevnění, nízkou tepelnou vodivostí, stabilní houževnatým chováním (vysoké řezné síly), sklonem k nalepování.

- a) **Deformační zpevnění** – vysoká rychlost zpevnění znamená rychlé zvyšování pevnosti v poměru k úbytku deformační rychlosti. V průběhu obrábění ocelí je hodnota deformační rychlosti dosti vysoká. Jako příklad tohoto jevu lze uvést právě materiál FV 535. Naproti tomu u uhlíkových ocelí se tváření za studena odehrává velmi pomalu. Vysoké rychlosti zpevnění plastickou deformací znamenají, že na utváření třísky musí být vynaloženo velké množství energie, což má za následek zvýšení tvrdosti v povrchové zóně obráběné plochy. Minimalizaci deformačního zpevnění za studena lze docílit za použití pozitivnější geometrie břitu.

- b) **Nízká tepelná vodivost** – vysokou tepelnou vodivost lze brát jako pozitivní vlastnost materiálu z hlediska obrobitelnosti. U takových materiálů je teplo velmi rychle odváděno pomocí třísek ze zóny řezu. Materiál FV 535 má oproti uhlíkovým ocelím výrazně nižší tepelnou vodivost o více než 50%, a proto se u tohoto materiálu nejvíce tepla odvádí do řezného nástroje. Z tohoto důvodu je zapotřebí tento materiál při obrábění chladit.
- c) **Sklon k nalepování** – u materiálu FV 535 dochází k tvorbě nárůstku z důvodu jeho malého obsahu uhlíku, dochází k mazání po břitě.

Dalším důvodem proč jsou tyto materiály špatně obrobitelné je jejich vyšší houževnatost, vysoká pevnost a nízká tepelná vodivost. V tabulce č. 8 jsou porovnány mechanické vlastnosti materiálu FV 535 (1.4911) s uhlíkovou ocelí ČSN 12050. Pevnost materiálu FV 535 je zhruba o 300 Mpa vyšší oproti běžně dobře obrobitelné oceli ČSN 12050. Houževnatost lze charakterizovat jako pevnost materiálu v ohybu. Materiál FV 535 má vyšší nárazovou práci přibližně o 7%.

	FV 535	ČSN 12050
Nárazová práce [J]	34	25
R_m [Mpa]	950 - 1100	630-850
Tepelná vodivost [W/m.K]	21	47

Tab. 8: Porovnání vybraných vlastností u materiálu FV 535 a oceli ČSN 12050

3.1.3 Výpočet třídy obrobitelnosti materiálů [17]

V případě určování třídy obrobitelnosti materiálu je zapotřebí vycházet z následujících údajů o materiálu:

- mechanické vlastnosti
- výchozí stav materiálu
- obráběcí operace
- chemické složení

1. **Mechanické vlastnosti** – jelikož existuje velký rozsah tvrdostí materiálů udaných v materiálových normách, stanovují se třídy obrobitelnosti pro jednotlivé stupně tvrdosti. Dále došlo ke zjištění závislosti mezi pevností a tvrdostí materiálu. Z toho důvodu se lze ve sborníku nalézt hodnoty meze pevnosti R_m [Mpa], tak i hodnoty tvrdosti dle Brinella HB [-].”

2. **Výchozí stav materiálu** – v průběhu výrobního procesu se často mění stav materiálu a to vlivem tváření, povrchových úprav atd. Obrobitelnost se musí hodnotit zvlášť pro každý stav materiálu, který během obráběcího procesu nastane. Sborník s názvem „Obrobitelnosti materiálů“ udává třídy obrobitelnosti pro všechny materiálové stavy, jež jsou uvedeny v materiálových listech

3. **Obráběcí operace** – obráběné materiály jsou rozděleny do 20 tříd obrobitelnosti. Materiály patřící do skupiny 1 se řadí mezi nejhůře obrobitelné. Materiály ve třídě 20 jsou nejlépe obrobitelné. Rozdíl mezi jednotlivými třídami obrobitelnosti se vypočte dle následujícího vztahu:

$$K_v = \sqrt[10]{10} = 1,26 \quad []$$

Následující tabulka rozlišuje dva druhy obrábění 1 a 2 dle normativu

Označení	Druh obrábění
1	soustružení, hoblování, obrázení, řezání závitů noži, hoblování a obrázení ozubení
2	frézování, frézování ozubení, frézování závitů, vrtání, vystružování, řezání závitů závitníky a závitovými čelistmi protahování

Tab. 9: Rozdělení obrábění dle normativu [17]

Výše uvedený postup nelze použít u broušení. Je to způsobeno tím, že u broušení se hodnoty obrobitelnosti dosti liší. U broušení jsou rozděleny materiály pouze do 10 tříd obrobitelnosti.

4. **Chemické složení** – dle chemického složení daného materiálu (procentuálního podílu jednotlivých chemických prvků) se určují hodnoty konstant K_{chs1} . Sumou K_{chs1} a K_{chs2} se dostane konstanta K_{chs2} . Jinak se postupuje v případě výpočtu třídy obrobitelnosti u automatových ocelí. Tyto materiály navíc obsahují přísady pro zlepšení o obrobitelnosti (S a P). V tomto případě se musí hodnoty K_{chs1} legujících prvků S a P odečíst z důvodu jejich pozitivního přínosu pro obrábění.

Vysvětlivky použitých konstant:

K_{chs1} – konstanta závislá na obsahu jednotlivých prvků chemického složení materiálu

K_{chs2} – součet konstant K_{chs1} daného materiálu

K_{mh} – konstanta vlivu hodnot tvrdosti a pevnosti materiálu

$K_{chs2} \times K_{mh}$ – součin pro určení skupiny obrobitelnosti

3.1.4. Zásady pro určení tříd obrobitelnosti

Abychom došlo k rozlišení vlivů různých materiálů jsou materiály rozděleny následovně:

Oceli – obrábění

Z1 – oceli konstrukční a nástrojové, tvářené a lité, oceli automatové, oceli dezoxidované

Z2- tvářené oceli austenitické, korozivzdorné, nemagnetické a žárovečné

Z4 – lité oceli austenitické, korozivzdorné, nemagnetické a žárovečné

3.1.5 Označení materiálu dle jeho výchozího nebo technologického stavu

Označení materiálu podle jeho technologického nebo výchozího stavu pomocí indexů usnadňuje určení třídy obrobitelnosti materiálu. Normativ CNN 10-0-1/II Obrobitelnost materiálů I. Díl rozlišuje a značí ocelové materiály podle výchozího a technologického stavu viz. tabulka č. 10.

Index	Stav materiálu
a	Taženo za studena
b	Taženo, kováno nebo válcováno za tepla
c	Technologický přídavek po cementaci materiálu
c	Jádro materiálu po cementaci
e	Cementovaná plocha po kalení
f	Kalená plocha po nitridaci
g	Kaleno povrchově

Tab. 10: Indexy dle stavu materiálu [17]

3.1.6 Určení třídy obrobitelnosti pro materiál FV 535 (X8CrCoNiMo10-6)

Maximální pevnost v tahu materiálu FV 535 je $R_{m_{max}} = 897 \text{ Mpa}$

Chemické složení		Kchs1(tab. 1a)	Kmh(tab.1b)
Cr	11,5 %	1,62	Z1 (1,00)
Co	7,5%	2,00	
Mn	1,35%	2,37	
Mo	1%	0,48	
Ni	1,2%	0,34	
Si	0,8%	1,07	
V	0,6%	0,15	
C	0,12%	1,3	
Kchs2		9,33	
		Kchs2 x Kmh	

Tab. 11: Výpočet třídy obrobitelnosti materiálu FV 535

$K_{chs2} \times K_{mh} = 9,33 \times 1 = 9,33 \Rightarrow$ třída obrobitelnosti **9b** (viz. tab. 1b-C – Příloha č. 4)

Z výpočtu obrobitelnosti vyplývá, že materiál FV 535 je hůře obrobitelný než-li etalonový vzorek ČSN 12050.1

3.2 Informace z odborných článků [18]

Obráběný materiál je martenzitická korozivzdorná ocel s označením FV 448 (X22CrMoV12-1). Polotovar je ve tvaru válce o průměru 130 mm a délky 400 mm. Jeho chemické složení, včetně fyzikálních a mechanických vlastností jsou udány v kapitolách 2.2.1 a 2.2.2. Jedná se o relativně tvrdý materiál s vysokou pevností a střední tažností ve srovnání s běžnými uhlíkovými oceli. Vzhledem ke své nízké tepelné vodivosti se nejvíce tepla odvádí do nástroje, což má za následek snížení jeho trvanlivosti.

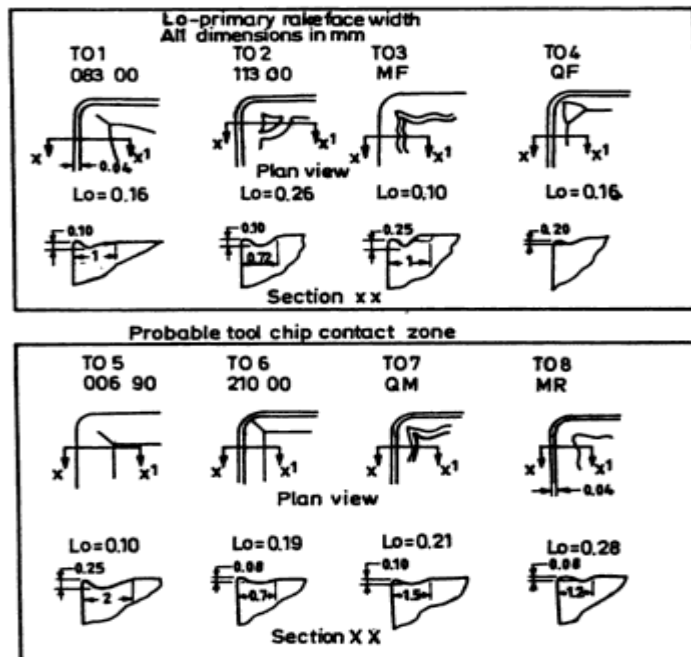
3.2.1 Řezný nástroj

Při volbě vhodného nástroje z hlediska řezného materiálu a geometrie pro obrábění materiálu FV 448 by měly být brány v potaz následující informace:

- jeho vyšší pevnost, tepelná odolnost, houževnatost a vyšších řezné síly.
- jeho nízký součinitel tepelné vodivosti a dynamické účinky z důvodu častých změn v třískové oblasti
- jeho vyšší tvrdost oproti běžným uhlíkovým ocelím a s tím spojený pravděpodobný vliv na abrazivní opotřebení nástroje
- tvoření nežádoucích plynulých třísek, které podporují adhezi a difúzi na povrchu řezného nástroje
- reálná hodnota tažnosti materiálu vede ke stuhovité plynulé třísce a proto je nutné zajistit správné lámání třísky, aby bylo docíleno požadovaného tvaru a velikosti třísky

S ohledem na všechny výše uvedené faktory se břitové destičky ze slinutého karbidu pokryté tenkou vrstvou a utvařečem na čele jeví jako nejvhodnější volba. Byly použity povlakované břitové destičky s označením SNMG 120408 se substrátem P30 a povlaky TiN, TiCN a TiC. Držák nástrojů od výrobce Krupp Widia byl s dírou pro čep s označením PSBNR 2525 -12.

Následující tabulka č. 12 a obrázek č. 24 nám udává jednotlivé varianty geometrie úhlu čela a čísla nástrojů pro tuto studii.



Obr. 24: Jednotlivé provedení úhlů čela [18]

Ref. No for investigation	Manufacturer and Code	Width of Land	Max. depth of secondary rake of edge [mm]	Max. ht. of backwall from edge [mm]
T01	WIDIA 08300	0,16	0,1	0,00
T02	WIDIA 113000	0,26	0,1	0,20
T03	SANDVIK MF	0,10	0,25	0,15
T04	SANDVIK QF	0,16	0,02	0,15
T05	WIDIA00690	0,10	0,15	0,00
T06	WIDIA 21000	0,19	0,08	0,00
T07	SANDVIK QM	0,21	0,10	0,05
T08	SADVİK MR	0,28	0,08	0,00
T00	TIZIT FLAT	0	0	0

Tab. 12: Popis jednotlivých destiček [18]

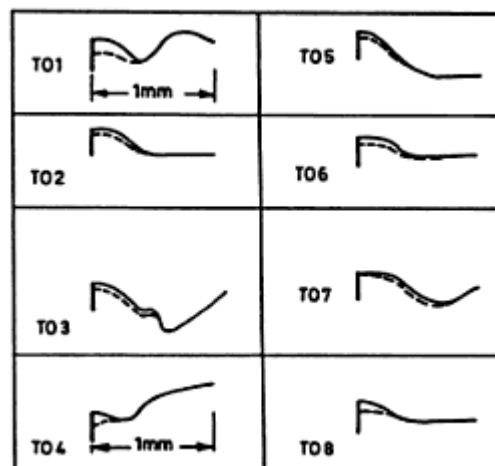
V průběhu této studie byly sledovány řezné síly, opotřebení nástrojů a tvar vzniklých třísek. Pro měření řezných sil byl použit tří-složkový dynamometr Kistler (typ 934A). Finální povrch byl měřen za mocí hrotu Perthometer 55P. Formy opotřebení byly zkoumány pomocí mikroskopu. Vzniklé opotřebení na čele nástroje bylo pozorováno za pomoci mikroskopu a jednotlivé profily opotřebení byly získány při použití souřadnicového zapisovače. Soustružení bez přívodu řezné kapaliny bylo uskutečněné na soustruzích Heidenreich a Harbeck S 500.

Experimenty byly prováděny při různých 5 hodnotách řezné rychlosti v rozsahu 80 – 200 m/min a posuvy byly v rozmezí 0,0065 – 0,25 mm/ot. Hloubka řezu byla 1,25 mm a pro celý experiment byla konstantní hodnotou. Vzniklé třísky se hodnotily dle jejich tvaru a velikosti.

Po výběru konkrétní břitové destičky jako nástroje na základě vlastností obráběného materiálu je zapotřebí se zamyslet na následujícími otázkami:

1. Jak velké jsou řezné síly pro určitou skupinu vzniklých třísek a jak se s nimi mění řezné parametry?
2. Jaká je kvalita povrchu dosažitelná při nižších řezných rychlostech a otáčkách?
3. Jaký je charakter opotřebení a jak se vyvíjí v průběhu řezání?
4. Za jakých řezných podmínek lze docílit ideálního tvaru a velikosti třísky pro různé geometrie břitu?

Mikrogeometrie břitových destiček je uvedena na obr. č. 25. Profily čela nástrojů jsou vykreslena pomocí dotykového přístroje pro všechny břitové destičky.

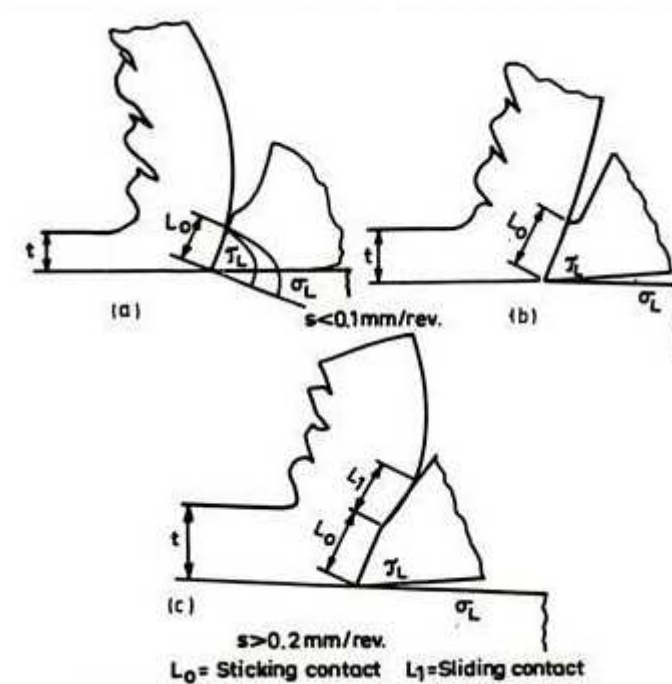


Obr. 25: Profily čela nástroje [18]

Z obr. č. 25 je patrné, že fasetka není ve všech případech zrovna rovná nebo ortogonální k boku čela, ale destičky mají proměnný pozitivní úhel čela. Nejvíce je to zřejmé u břitové destičky s označením T03. Kromě toho veškeré ostří fasetek bylo v rozmezí od 0,03 do 0,05 mm.

3.2.2 Utváření třísek při soustružení materiálu FV 448

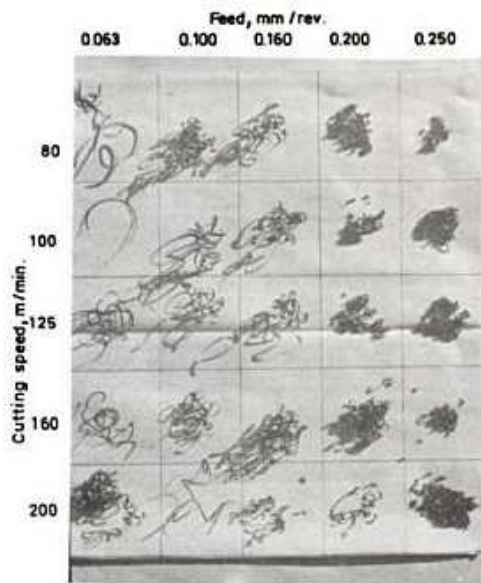
Zástupci třísek vzniklých při minimálním (0,063 mm/ot), středním a maximálním (0,25 mm/ot) jsou zobrazeny na obr. č. 26. Tyto třísky byly plynulé s cyklicky se měnící tloušťkou, jak se dalo očekávat na základě špatné tepelné vodivosti materiálu.



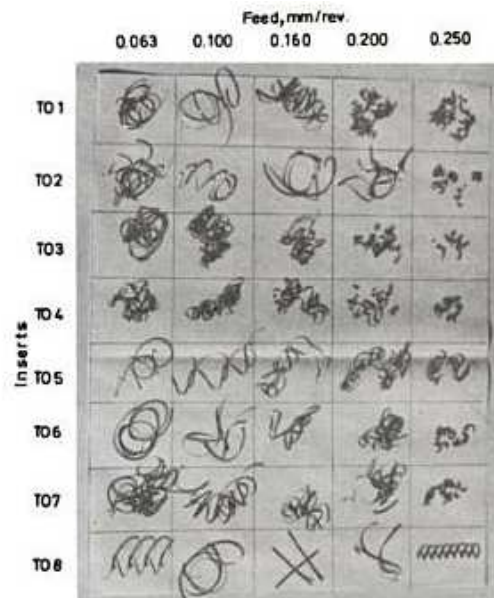
Obr. 26: Tvary třísek [18]

Pouze u posuvů nižších než 0,1 mm/ot došlo ke kontaktu nástroj-tříška rozlehlého přes původní šířku čela. U vyšších posuvů nad 0,2 mm/ot došlo k vytvoření hřebenovitých trhlin. Tyto zobrazené geometrie úhlů čela se mohou aplikovat pouze v případech hrubování při použití vysokých posuvových rychlostí, které nejsou ideální při obrábění žáruvzdorných ocelí. Obr. č. 27 znázorňuje vliv posuvu na kroucení třísek, tvar a velikost při měnících se řezných podmínkách pro jeden řezný nástroj. Zatímco vliv posuvu na vzniklou třísku vyhovujícího tvaru a velikosti je velmi výrazný, řezná rychlost nemá téměř žádný vliv ve zkoumané oblasti. Obr. č. 28. představuje skupiny získaných vzorků třísek při soustružení při různých řezných rychlostech a při použití různých břitových destiček. Destičky s označením T02, T07 a T08 vytváří při obrábění stuhovité třísky a to i při vyšších posuvech.

Nejllepší utváření třísek z hlediska žádoucího tvaru a velikosti třísky v širším rozsahu posuvů představují destičky s označením T03, T04 a T01. První z nich nemá téměř žádnou fasetku, ale je opatřena vysoce pozitivním úhlem čela.



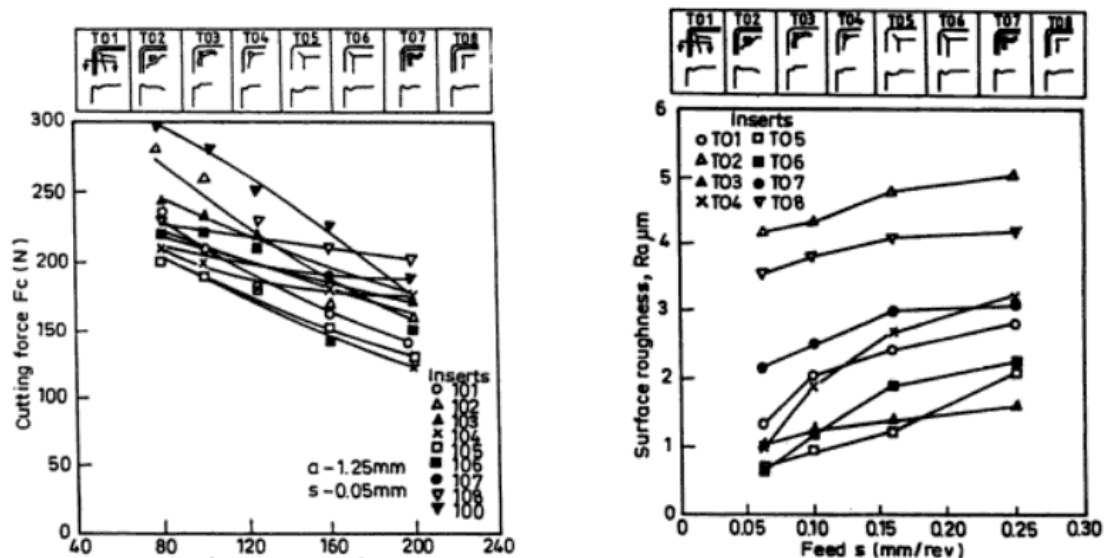
Obr. 27: Tvary třísek [18]



Obr. 28: Tvary třísek pro různé VBD [18]

3.2.3 Řezné síly a drsnosti povrchu

Obrázek č. 30. znázorňuje velikost řezných sil při různých řezných rychlostech. Obecný trend ukazuje, že dochází k poklesu řezné rychlosti při vyšších řezných rychlostech. Tento pokles je mnohem výraznější, než je obvyklé při obrábění kovů. Zadržování tepla v deformačních zónách v důsledku nízké tepelné vodivosti materiálu vede ke koncentraci tepla a vysoké teploty způsobující lokální měknutí deformujícího se materiálu s rostoucí rychlostí deformace. Za zmínku stojí vyšší síla způsobená destičkou T00, která je rozdílná oproti ostatním tím, že není opatřena žádným utvařečem.

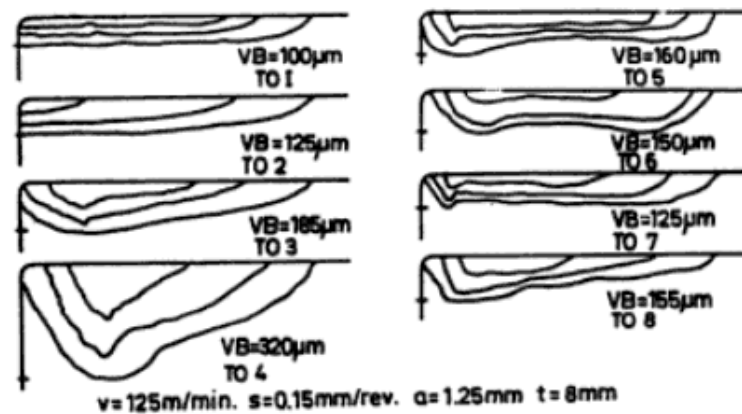


Obr. 29: Závislost řezných sil na posuvech [18] Obr. 30: Závislost posuvu na drsnosti [18]

Změny drsnosti povrchu na horní hranici řezné rychlosti 200 m/min pro různé hodnoty posuvů jsou zobrazeny na obr. č. 30. Hodnota drsnosti R_a se pohybuje v širokém rozsahu od 1 do 4,5 μm . Všechny řezné břity mají specifický poloměr špičky břitu spočívající ve fasetce od 0,03 do 0,04 mm. Mimo dvou břitových destiček T02 a T08 je drsnost obroběného povrchu uvnitř intervalu od 1 do 3 μm a to je v souladu s dřívějšími výsledky. Obě zmíněné břitové destičky měly především výraznou šířku čela a nízký profil čela.

3.2.4 Vzniklé opotřebení

Obráběným materiálem byla popuštěná slitina FV 448 s tvrdostí okolo 310 HV. Povlakované vrstvy TiC a TiCN mají tvrdost asi 2100 HV. Povlakované břitové destičky poměrně výrazně odolávají vůči opotřebení. Průběh opotřebení je znázorněn na obr. č. 31. Pozoruhodným rysem je absence zrychlujícího se opotřebení nebo opotřebení ve tvaru rýh na špičce nástroje a na řezné hraně. Charakteristický rys břitové destičky T04 popisuje velmi malá kontaktní zóna tříska – nástroj. To vedlo k významné okamžité plastické deformaci řezného břitu vyplývajícího z většího opotřebení na hřbetu. Pozorování opotřebení na čele bylo prováděné za pomoci mikroskopu, nepoukazovalo na žádné kráterovité opotřebení. To je v souladu s pozorováními u přerušovaného řezu u podobné oceli při obrábění povlakovanými destičkami ze slinutého karbidu. Opotřebení, které bylo víceméně jednotné hloubky bylo omezeno na čelo nástroje. Opotřebované profily se nanesli na originální profily na obr. č. 31.



Obr. 31: Formy opotřebení pro různé břitové destičky [18]

3.2.5 Poznatky získané ze studie

Na základě této studie se přišlo na následující poznatky:

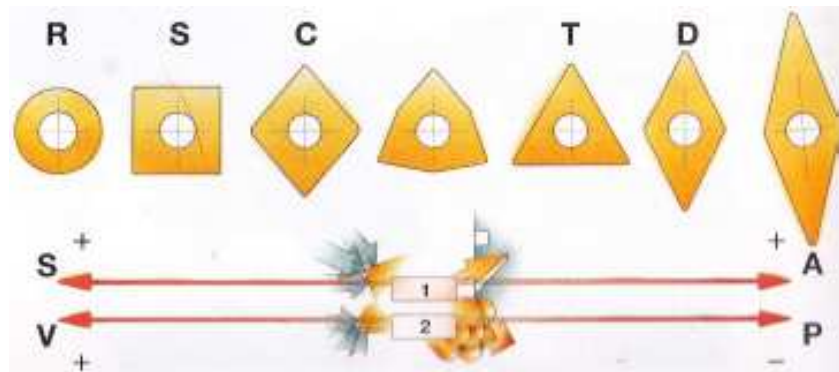
- Povlakované břitové destičky ze slinutého karbidu nabízejí rozumné řešení pro dokončovací soustružení z hlediska kvality povrchu a opotřebení břitu.
- Povlakovaná břitová destička s vysoce pozitivním úhlem čela nabízí nejlepší utváření třísky z hlediska řezných sil, opotřebení nástroje, drsnosti obrobenej plochy a tvaru vzniklých třísek.

3.3 Výběr nástroje pro hrubovací soustružení materiálu FV 535 [11]

1. Volba držáku nástroje – volba držáku nástroje je ovlivněna různými faktory: směrem posuvu, řeznými podmínkami, upnutím obrobku a nástroje ve stroji. Typ držáku je určen úhlem nastavení hlavního ostří a úhlem špičky, které jsou dány tvarem vyměnitelné břitové destičky. Pro testovací hrubovací soustružení materiálu FV 535 zvolit co největší držák, který je možno na daném obráběcím stroji upnout. Toto pravidlo je důležité zejména z důvodu zvýšení tuhosti ve prospěch stability břitu. Dále je zapotřebí zajistit co nejmenší vyložení nástroje.

2. Tvar vyměnitelné břitové destičky – zde je důležité volit dle úhlu nastavení a požadavků na přístup do místa řezu. Z hlediska stability a hospodárnosti obráběcí procesu by měly být přednostně voleny destičky s vyšším úhlem špičky. Na obr. č. 32 jsou zobrazeny různé tvary břitových destiček. Stupnice č. 1 zobrazuje, že z hlediska pevnosti břitu (S) dochází se zvyšujícím se úhlem špičky k navýšení pevnosti. Naproti tomu z hlediska univerzálnosti

použití a přístupnosti (A) se vlastnosti břitových destiček směrem doprava zlepšují. Stupnice č. 2 ukazuje, že tendence ke vzniku vibrací (V) se zvyšuje směrem vlevo, zatímco požadavky na výkon (P) se směrem vpravo snižují. Při výběru pro hrubovací soustružení materiálu FV 535 upřednostnit destičky s nejvyšším úhlem špičky z důvodu vyšší pevnosti břitu.



Obr. 32: Různé tvary břitových destiček [11]

3. Velikost břitové destičky – velikost VBD bezprostředně souvisí s držákem, který byl zvolen. Dále je zapotřebí zohlednit největší hloubku řezu, která má být vybraným nožem obráběna. Pro experimentální soustružení volit břitovou destičku pro hrubování s ohledem na hloubku třísky.

4. Poloměr zaoblení špičky VBD – při hrubovacích operacích je správná volba poloměru zaoblení špičky velice důležitým faktorem. Má velký vliv na pevnost břitu. Pro hrubovací testovací soustružení zvolit břitovou destičku s poloměrem zaoblení špičky (1,2 až 1,6 mm).

5. Typ a geometrie břitové destičky – existuje široké spektrum břitových destiček, každá z nich je vhodná pro určitý obráběný materiál. V případě hrubovací soustružení materiálu FV 535 dbát na to, aby byl materiál odřezáván a ne odtlačován. To zajistí kladný úhel nastavení. Dále zvolit dostatečně pozitivní úhel čela a negativní či nulovou fasetku z důvodu zpevnění břitu.

6. Řezný materiál – řezný materiál by měl být zvolen dle druhu obráběného materiálu a dle konkrétní operace. V našem případě se jedná o materiál, který se řadí mezi martenzitické korozivzdorné oceli. Proto zvolit břitovou destičku ze slinutého karbidu třídy M s vhodným otěruvzdorným povlakem pro hrubovací soustružení materiálu FV 535.

3.3.1 Shrnutí doporučení pro obrábění materiálu FV 535 a FV 448

1. Z hlediska řezného nástroje:

- zajistit stabilní upnutí nástroje (co nejmenší vyložení)
- zvolit vhodný poloměr špičky (hrubovací soustružení $r_{\epsilon} = 1,2 - 1,6$ mm)
- zvolit dostatečně pozitivní úhel čela (přibližně kolem 10°)
- jako řezný materiál použít povlakovaný slinutý karbid
- větší úhel nastavení hlavního ostří (kvůli zajištění tuhosti)
- opatření břitu co nejmenší fasetkou (kvůli zvýšení jeho pevnosti)
- zvolit vhodnou geometrii břitu, která zajistí co nejmenší tření mezi čelem nástroje a odcházející třískou
- použití větší hloubky řezu a posuvu, pokud to umožní tuhost daného obráběcího stroje

2. Z hlediska obráběcího stroje

- volba dostatečně tuhého stroje se spolehlivým chodem vřetene
- při soustružení dlouhého tyčového materiálu zajistit dostatečnou podpěru
- použití stroje se stabilní konstrukcí
- volba správné chladicí kapaliny (vhodná je olejová emulze se 6 až 8 % koncentrací)
- zajistit dostatečný přívod řezné kapaliny do místa řezu, aby bylo co nejvíce tepla odvedeno (ideální je přívod pomocí tlakového chlazení viz. kap. č. 2.4.1.2)

3. Z hlediska obrobku

- zajistit tuhé upnutí obráběného materiálu
- zajistit co nejmenší vyložení obrobku, aby nedocházelo k vibracím

4. Testování řešení

V této kapitole jsou uvedeny veškeré informace týkající se samotného provedení experimentu soustružení na materiálu FV 535 a použitého experimentálního vybavení. Testování bylo provedeno v soukromé dílně pana Pavla Fořta v Plzni- Letkově.

4.1 Experimentální vybavení a podmínky

4.1.1 Obráběcí stroj




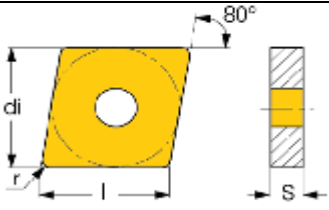
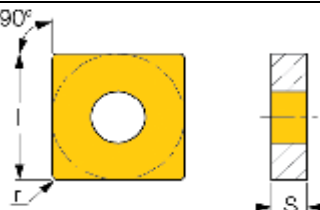
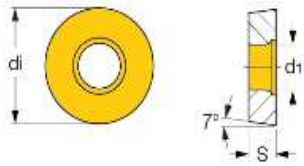
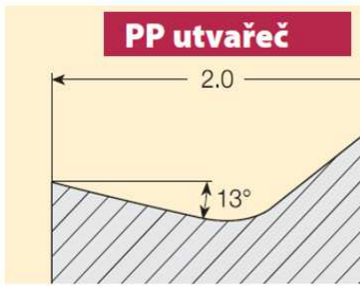
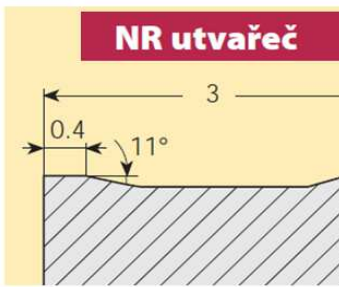
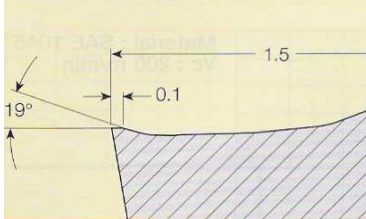



Experimentální obrábění bylo prováděno na univerzálním hrotovém soustruhu SU 50 (obr.č. 33) od výrobce TOS Lipník nad Bečvou.



Obr. 33 : Hrotový soustruh

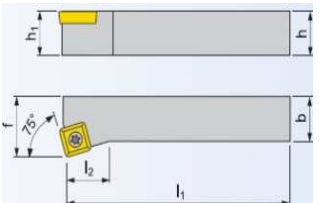
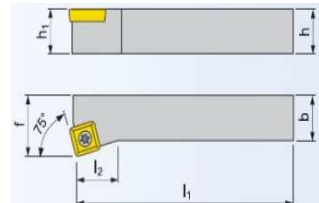
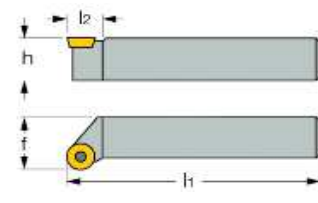
4.1.2 Nástroj

Pro experiment byly vybrány tři vyměnitelné břitové destičky od firmy Iscar. Volba těchto destiček byla na základě získaných informací uvedených v kap. č. 3.3 a na základě konzultace s firmou Iscar. Všechny tři břitové destičky byly od firmy Iscar, jelikož firma PCC tohoto výrobce řezných nástrojů upřednostňuje.

Označení břitové destičky	CNMG 190612 – PP IC 807	SNMG 190612 – NR IC907	RCMX 200700
Obrázek VBD			
Rozměry břitové destičky	 <p>$l = 19,30 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $d_i = 19,05 \text{ mm}$</p>	 <p>$l = 19,05 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$ $r = 1,2 \text{ mm}$</p>	 <p>$d_i = 20 \text{ mm}$ $S = 7 \text{ mm}$ $d_1 = 6,5 \text{ mm}$</p>
Rozsah řezných podmínek	$a_p = 2 - 8 \text{ mm}$ $f_n = 0,3 - 0,6 \text{ mm/ot}$	$a_p = 3 - 8 \text{ mm}$ $f_n = 0,4 - 0,77 \text{ mm/ot}$	$a_p = 2,5 - 10 \text{ mm}$ $f_n = 0,1 - 0,8 \text{ mm/ot}$
Utvařec třísky	 <p>PP utvařec</p>	 <p>NR utvařec</p>	
Povlak břitové destičky	 <p>IC807 PVD POVLAK</p>	 <p>IC907 PVD POVLAK</p>	 <p>IC807 PVD POVLAK</p>

Tab.13: Parametry břitových destiček

4.1.2.1 Držáky nástrojů

Typ nožového držáku	SSKNR 3232 PC (pro čtvercovou břitovou destičku)	SCKNR 3232 PC (pro břitovou destičku s úhlem špičky 80°)	SRGCR 3232 P-20 (pro kruhovou břitovou destičku)
Obrázek nožového držáku			
Rozměry nožového držáku	$h = h_1 = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_o = \lambda_s = 0^\circ$ $\kappa_r = 75^\circ$	$h = h_1 = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_o = \lambda_s = 0^\circ$ $\kappa_r = 75^\circ$	$h = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = 25 \text{ mm} \quad f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_o = \lambda_s = 0^\circ$
Vyložení nožového držáku z nožové hlavy	35 mm	35 mm	35 mm

Tab. 14: Držáky nástrojů

4.1.3 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro experiment byly totožné pro všechny použitelné břitové destičky. Jelikož diagram utváření třísek pro vybrané břitové destičky má velmi široký rozsah, nebylo možné z něj vycházet, a to z důvodu tvaru dodaného zkušebního výkrovku firmou PCC. Byl zde omezený počet řezů, a proto by nebylo možné testovat více kombinací řezných parametrů. Konkrétní hodnoty byly pečlivě voleny na základě doporučení přímo od výrobce břitových destiček. Hloubka řezu a posuv byly po celou dobu konstantní. Hodnota řezné rychlosti byla proměnnou z důvodu čelního soustružení na klasickém hrotovém soustruhu.

Řezné podmínky	$a_p = 3 \text{ mm}$ $f_n = 0,42 \text{ mm/ot}$ $v_c = 53 - 38,5 \text{ m/min}$ (lokálně proměnná)
Způsob chlazení	Olejevou emulze Blascut BC 25(8% koncentrace)
Objem chlazení	1,5 – 2 l/min

Tab. 15: Řezné parametry

4.1.4 Obráběný materiál

Obráběný materiál byla ocel FV 535 (X8CrCoNiMo10-6). Jednalo se o výkovek, který byl po kalení a popuštění o tvrdosti 47 HRC. Jeho chemické složení a fyzikální mechanické vlastnosti jsou součástí přílohy č. 5.



Obr. 34: 3D model výkovku

4.1.5 Použité experimentální vybavení

4.1.5.1 Mikroskopická kamera

Pro pořízení snímků výsledného opotřebení břitových destiček byla použita mikroskopická kamera (obr. č. 35). Tato kamera je schopna docílit zvětšení 10 a až 200x.



Obr. 35: Mikroskopická kamera Digitus

4.1.5.2 Lupa s průměrnou stupnicí

Měření opotřebení na hřbetě bylo měřeno pomocí lupy s průměrnou stupnicí (obr. č. 36) s přesností na 0,1 mm.



Obr. 36: Lupa s průměrnou stupnicí

4.1.5.3 Světelný metalografický mikroskop od firmy Zeiss

Pomocí optického mikroskopu od firmy Zeiss (obr. 37) byly pořízeny snímky struktury základního materiálu a vzniklých třísek.



Obr. 37: Optický mikroskop od firmy Zeiss

4.2 Průběh experimentu

Tento experiment byl zaměřen na vyhodnocení trvanlivosti nástroje při soustružení materiálu FV 535 pro jednotlivé použité břitové destičky a jejich vzájemné srovnání. Jelikož dodaný výkovek firmou PCC měl vnější průměr 450 mm a vnitřní průměr 350 mm nebylo možné testovací soustružení provést na halové laboratoři KTO na ZČU. Ve firmě PCC též nebylo možné provádění experimentu a to především z ekonomických důvodů, jelikož ve firmě je zaveden systém nepřetržitého provozu. Z tohoto důvodu byl experiment realizován na klasickém hrotovém soustruhu SU 50 u soukromého živnostníka pana Pavla Fořta v Plzni – Letkově.

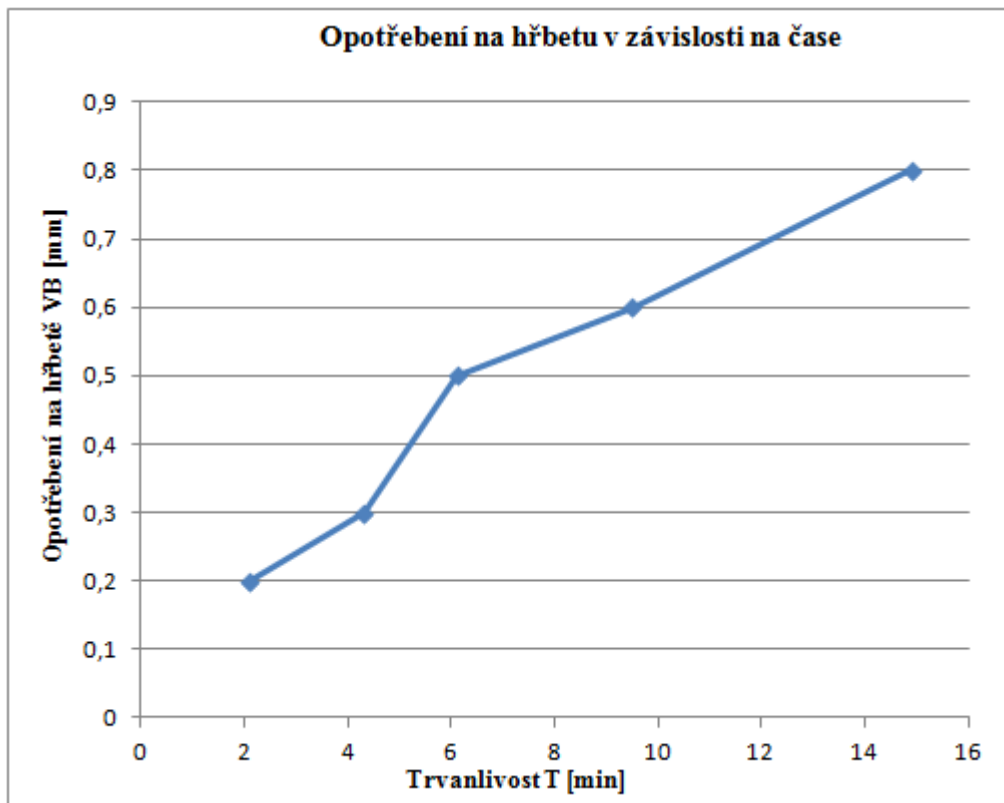
Po upnutí výkovku za vnitřní průměr začal samotný proces soustružení. S ohledem na tvar dodaného výkovku (obr. č. 35) se musela součást soustružit čelně. V průběhu soustružení se vždy po určité době změřila hodnota opotřebení na hřbetě břitové destičky pomocí lupy s průměrnou stupnicí. Sledovaným parametrem se stalo opotřebení na hřbetě. Jako kritérium opotřebení bylo stanoveno $VB_{\max} = 0,8$ mm nebo pokud dojde ke vzniku vrubu (vylomení) $VB_N = 1$ mm. Po dosažení této hodnoty byl pořízen snímek opotřebení pomocí mikroskopické kamery. Celkový čas řezání byl měřen pomocí stopek.

4.3 Hodnocení trvanlivosti

4.3.1 Břitová destička SNMG 190612 – NR IC907

Graf č. 1 znázorňuje závislost opotřebení na hřbetu na čase břitové destičky čtvercového průřezu. Počáteční hodnota opotřebení naměřená v čase 2,1 min činila $VB = 0,2$ mm.

Z grafu č. 1 je zřejmé, že nárůst opotřebení je lineárního charakteru. Konečná hodnota opotřebení nastala v čase 14,9 min, kdy opotřebení na hřbetě dosáhlo předem stanovené hodnoty. Dále v průběhu experimentu bylo sledováno opotřebení na hřbetě (obr. č. 39) a opotřebení na čele nástroje (obr. č. 38), kde došlo ke křehkému porušení břitu ve formě vydrolování ostří z důvodu nízké tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek.



Graf 1: Závislost opotřebení hřbetu na čase u čtvercové destičky



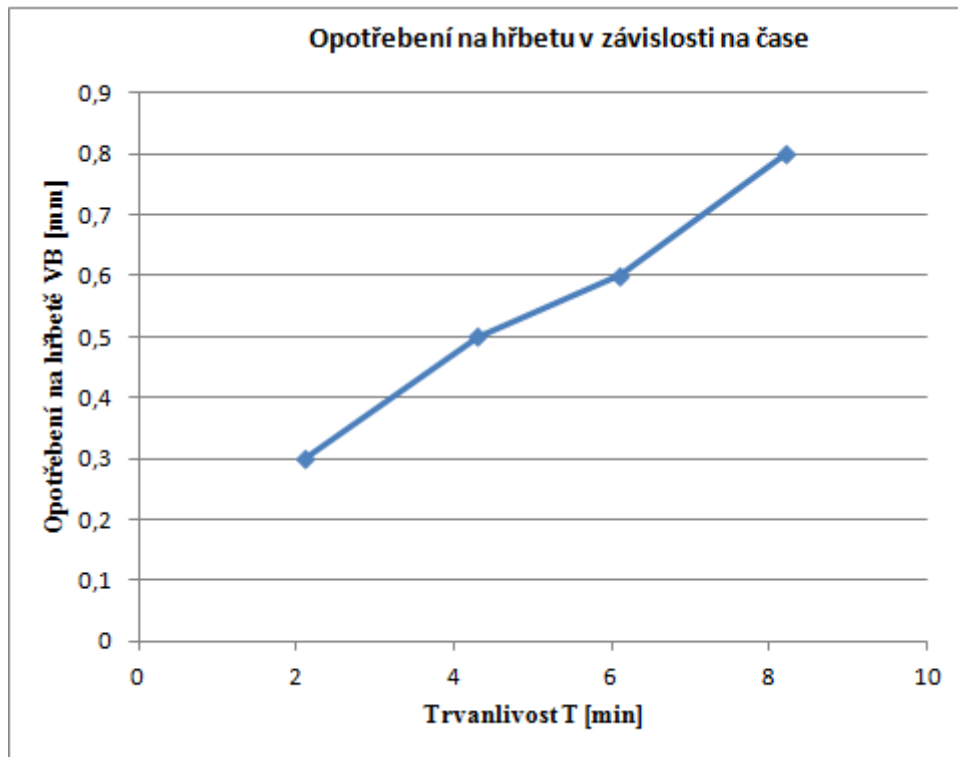
Obr. 38 : Opotřebení na čele



Obr. 39: Opotřebení na hřbetě

4.3.2 Břitová destička CNMG 190612 – PP IC 807

U břitové destičky kosočtvercového tvaru měla závislost opotřebení hřbetu na čase lineární charakter. V čase 2,1 min byla zaznamenána počáteční hodnota opotřebení na hřbetě $VB = 0,3$ mm. V průběhu experimentu docházelo k narůstání opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu (obr. č. 40). Oproti předchozí čtvercové destičce se docílila hodnota maximálního opotřebení na hřbetě $VB_{max} = 0,8$ mm podstatně dříve a to v čase 8,2 min. Opotřebení na čele nástroje (obr. č. 41) bylo jako v předchozím případě ve formě vydrolování ostří.



Graf 2: Opotřebení hřbetu v závislosti na čase u kosočtverecné destičky



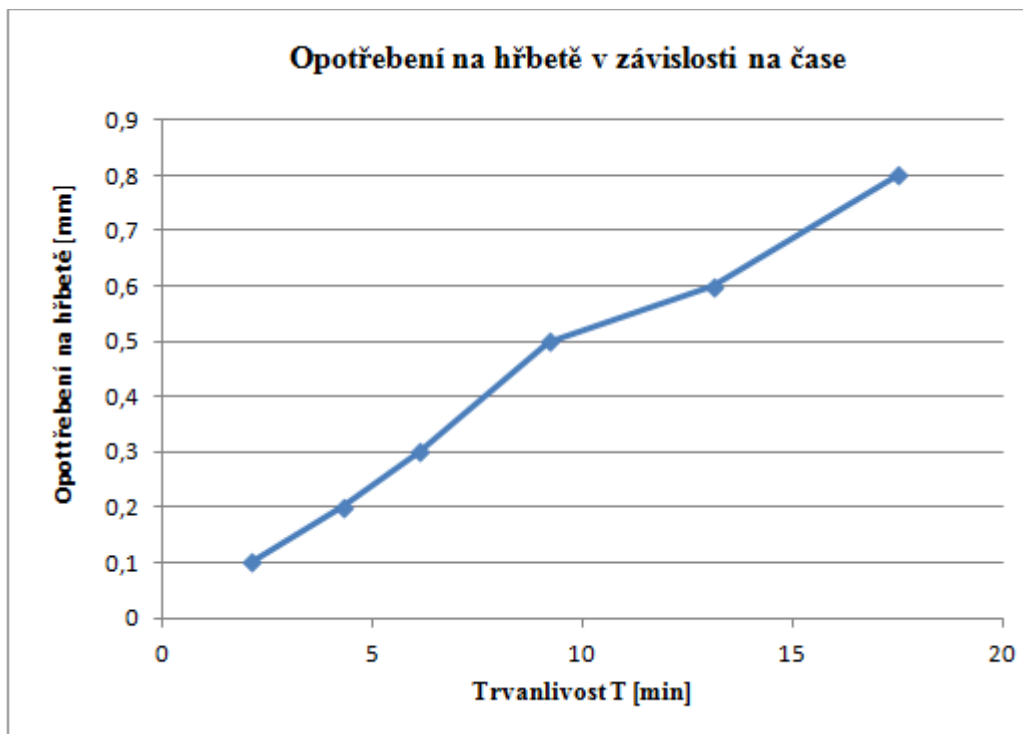
Obr. 40: Opatření na hřbetě



Obr. 41: Opatření na čele

4.3.3 Břitová destička RCMX 200700

Závislosti opotřebení na hřbetu na čase u kruhové břitové destičky znázorňuje graf č. 3. Počáteční hodnota opotřebení $VB = 0,1$ mm byla naměřena v čase 2,1 min. Nárůst opotřebení je též lineárního charakteru jako je tomu v ostatních případech. Limitní hodnoty opotřebení na hřbetě bylo dosaženo v čase 17,5 min. Bylo též sledováno opotřebení na hřbetě, které je zobrazeno na obr. č. 42 a opotřebení na čele nástroje viz. obr. č. 43, kde docházelo k plastické deformaci břítu.



Graf č. 3: Závislosti opotřebení na hřbetě na čase u kruhové destičky



Obr. 42: Opotřebení na hřbetu

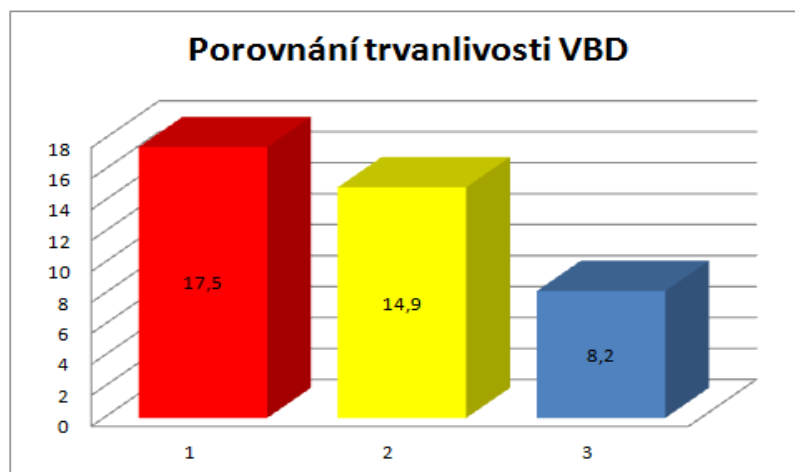


Obr. 43: Opotřebení na čele

4.4 Srovnání trvanlivostí jednotlivých břitových destiček

Na grafu č. 4 je znázorněno srovnání jednotlivých trvanlivostí břitových destiček. Všechny tři břitové destičky byly testovány za stejných řezných podmínek. Varianta č. 1, která představuje břitovou destičku kruhového tvaru dosáhla při experimentu nejvyšší trvanlivosti $T=17,5$ min. Nejvyšší trvanlivost u destičky kruhového typu lze vysvětlit tím, že má nejvyšší pevnost a při obráběcím procesu má největší plochu v řezu oproti zbylým dvěma břitovým destičkám a dojde tak většímu rozložení odvedeného tepla z místa řezu na větší plochu.

Varianta č. 2 zobrazuje břitovou destičku ve tvaru čtverce. Její celková trvanlivost byla 14,9 min.,. Tato břitová destička předčila poslední břitovou destičku č. 3 (destička ve tvaru kosočtverce) z důvodu, že její břit je zpevněn negativní fasetkou o velikosti 0,4 mm. Destička kosočtvercového tvaru dosáhla nejnižší trvanlivosti a to konkrétně 8,2 min.



Graf 4: Porovnání trvanlivostí jednotlivých VBD

4.5 Vzniklé tvary třísek

V průběhu experimentu byly také sledovány tvary vzniklých třísek (viz. paralelně řešená diplomová práce - „Utváření ocelových třísek při soustružení ocelových slitin „Jethete“ a „Hykro“ ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.) U každé použité břitové destičky se odebíraly vzniklé třísky na začátku řezu, uprostřed řezu a ke konci řezu. Tabulka č. 16 zobrazuje tvary třísek z jednotlivých oblastí při soustružení břitovou destičkou kosočtvercového tvaru. Tvary třísek vzniklé při soustružení břitovou destičkou čtvercového tvaru jsou uvedeny v tab. č. 17. V neposlední řadě třísky, které vznikly při použití kruhové břitové destičky uvádí tab. č. 18.

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička CNMG 190612 – PP IC 807
První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	 <p>W = 8,4 ISO 6</p>
Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	 <p>W = 26,9 ISO 5</p>


Tab. 16 : Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle normy ISO 3865 pro břitovou destičku CNMG 190612 – PP IC (1. část)




Tab. 16: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku CNMG 190612 – PP IC 807 (2. část)

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička SNMG 190612 – NR IC907
První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	 <p>W = 11 ISO 6</p>
Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	 <p>W = 28,1 ISO 5</p>

Tab. 17: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku SNMG 190612 – NR IC907 (1. část)

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička SNMG 190612 – NR IC907
Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	

Tab. 17: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku SNMG 190612 – NR IC907 (2. část)

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička RCMX 200700
První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	

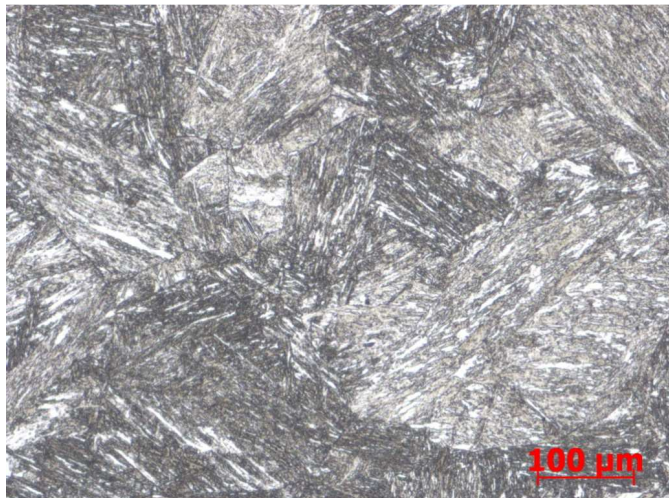
Tab. 18: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku RCMX 200700 (1. část)

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička RCMX 200700
Druhá oblast ($v_c = 48 - 43 \text{ m/min}$)	
Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5 \text{ m/min}$)	

Tab. 18: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku RCMX 200700 (2. Část)

4.6 Rozbor materiálu FV 535

Dodaný výkovek materiálu FV 535 byl podroben rozboru mikrostruktury. Důvodem tohoto kroku bylo zjištění, jakým způsobem je výkovek tepelně zpracován. Po odříznutí zkoumaného vzorku řezným kotoučem následovalo jeho přebroušení a naleptání. Poté byl pořízen snímek pomocí optického mikroskopu ZEISS. Snímek je zobrazen na obr. č. 44. Bylo zjištěno, že se jedná o hrubozrnnou kalicí strukturu martenziticko – bainitického typu. Dále byly zjištěna hodnota tvrdosti výkovku pomocí Rockwellovy metody. Jako vnikací těleso byl použit diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° . Zjištěná hodnota tvrdosti byla 47 HRC. Na základě zjištění mikrostruktury a tvrdosti výkovku lze říci, že dodaný polotovár byl kalený a následně popuštěný.



Obr. 44: Mikrostruktura oceli FV 535

4.7 Metalografická analýza vzniklých třísek

Metalografická analýza vzniklých třísek byla provedena, aby se zjistilo k jaké strukturní změně dochází při řezném procesu oproti základnímu materiálu. Celkem byly zkoumány tři vzorky třísek. Každý vzorek třísky příslušel jedné břitové destičce použité v experimentu. Zkoumané třísky se z důvodu pohodlnější manipulace zalily do pryskyřice. Poté následovalo broušení vzorků na metalografických bruskách. Pomocí broušení byla docílena ideálně rovinná plocha vzorku o co nejnižší možné drsnosti. Broušením se povrch zarovná zhruba na drsnost odpovídající $\frac{1}{4}$ velikosti brusných zrn.

Mechanické leštění bylo provedeno z důvodu zahlazení stop po nejjemnějším broušení. Provádí se na metalografickém plátně s brusnými částicemi rozptýlenými v tekutině nebo pastě. Obvykle se používá diamantová pasta obsahující destičky diamantu o velikosti zrn 0,1 – 0,3 μm , která povrch zarovná. Po vyleštění následuje leptání. Leptání se provádí z toho důvodu, aby došlo ke zvýraznění mikrostruktury, která by jinak nebyla světelným mikroskopem pozorovatelná. Závěrečným bodem bylo zhotovení snímků pomocí optického mikroskopu.

Na obr. č. 45 je zobrazen metalografický rozbor vzorku třísky při použití břitové destičky kosočtvercového tvaru. Je z něj patrné, že došlo v průběhu řezného procesu k popuštění na sorbitickou strukturu z důvodu nízké tepelné vodivosti obráběného materiálu a tvaru břitové destičky. U kruhové (obr. č. 46) a čtvercové břitové destičky (obr. č. 47) se zachovala původní struktura martenzitického typu.



Obr. 45: Metalografický rozbor třísky vzniklé při obrábění kosočtvercovou destičkou



Obr.46: Metalografický rozbor třísky vzniklé při obrábění kruhovou destičkou



Obr. 47: Metalografický rozbor třísky vzniklé při obrábění čtvercovou destičkou

5. Technicko – ekonomické zhodnocení

Při obrábění těžkoobrobitelných ocelových slitin typu jako je testovaná slitina FV 535 je kladen důraz na výrobce nástroje. Hlavním problémem je zde zajištění kontrolovatelného odchodu třísek. Ideální utváření třísek má pozitivní vliv i na trvanlivost břitu nástroje, která má přímý vliv na ekonomičnost výroby.

Testovací soustružení probíhalo pouze na materiálu FV 535, jelikož firma PCC dodala pouze tento materiál z důvodu, že tyto materiály jsou finančně náročné. S ohlednutím na tvar dodaného výkovku (obr. č. 34) byly použity pouze tři břitové destičky, jelikož u tohoto výkovku nebylo více materiálu na odebrání. Veliké rozměry výkovku neumožnily provést experiment v halové laboratoři na ZČU, a proto byl uskutečněn u soukromého živnostníka v Plzni – Letkově na klasickém hrotovém soustruhu.

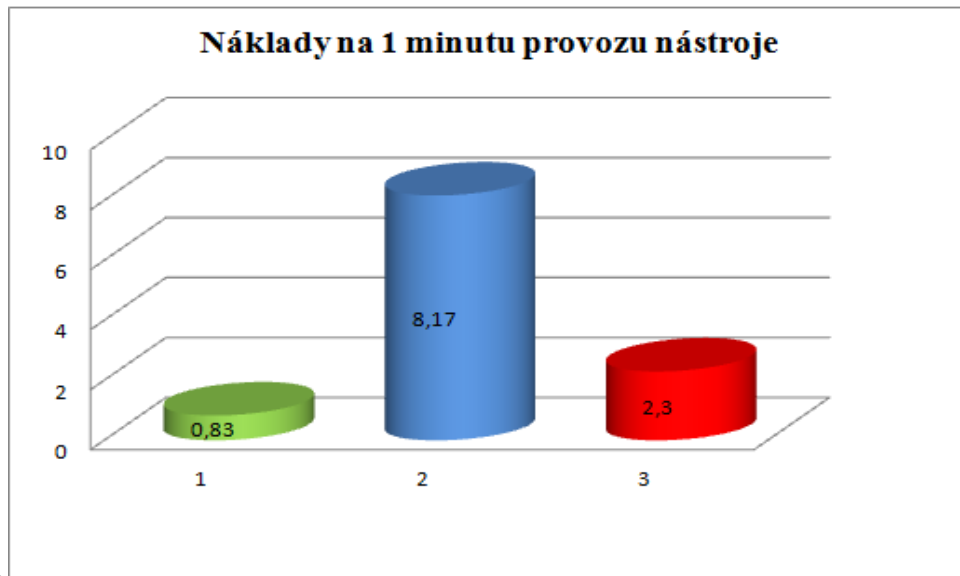
Náklady na 1 minutu provozu nástroje:

$N_{pn} = \frac{C_{pn}}{T \cdot n}$ [Kč/min] ; C_{pn} – pořizovací cena nástroje, T – trvanlivost nástroje, n – počet břitů na nástroji

Tvar VBD	Pořizovací cena nástroje C_{pn} [Kč]	Trvanlivost T [min]	Počet břitů na nástroji n	Náklady na 1 minutu provozu nástroje N_{pn} [Kč/min]
kosočtvercová	268	8,2	4	8,17
kruhová	102	17,5	7	0,83
čtvercová	274	14,9	8	2,30

Tab. 19: Výpočet nákladů na 1 minutu provozu nástroje

V tab. č. 19 jsou vypočteny náklady na 1 minutu provozu nástroje. Porovnání jednotlivých nástrojů z hlediska nákladů na 1 minutu provozu nástroje zobrazuje graf č. 5. Je z něj zřejmé že nejnižších nákladů se docílilo s kruhovou destičkou o něco vyšších nákladů dosáhla destička čtvercového tvaru. Naprosto nejvyšších nákladů bylo dosaženo při použití kosočtvercové destičky.



Graf 5: Náklady na 1 minutu provozu nástroje

Ve firmě PCC se při soustružení materiálu FV 535 používá břitová destička kruhového tvaru s označením RCMX 200700. Jelikož při soustružení touto destičkou vznikají třísky nežádoucího tvaru a délky dochází k častému ucpávání dopravníku třísek a tudíž dochází k prostojům. Celková časová ztráta při použití kruhové destičky RCMX 200700 přepočtena na koruny činí na jeden obrobený kus 525 Kč, což má za následek zvýšení nákladů. Jeden výkovek se obrábí cca 300 minut.

Při přepočtení nákladů nástroje na obrobení 1 výkovku u kruhové destičky RCMX 200700, čtvercové destičky SNMG 190612 – NR IC907 a kosočtvercové destičky CNMG 190612 – PP IC 807 viz tab. 20 lze dojít k závěru, že jako nejvýhodnější varianta pro hrubovací soustružení materiálu FV 535 se jeví čtvercová destička SNMG 190612 – NR IC907 u které náklady na výrobu jednoho kusu činí 165 Kč. Je to dáno především z důvodu, že u této destičky nedochází časovým ztrátám způsobením odstraňováním třísek, které ucpávají dopravník.

RCMX 200700	$300 \cdot 0,83 = 249 \text{ Kč}$
SNMG 190612 – NR IC907	$300 \cdot 2,3 = 690 - 525 = 165 \text{ Kč}$
CNMG 190612 – PP IC 807	$300 \cdot 8,17 = 2451 - 525 = 1926 \text{ Kč}$

Tab.20: Náklady na provoz nástroje vztahované na výrobu 1 kusu

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo z hlediska teoretické roviny analyzovat vlivy působící na utváření třísky a na trvanlivost břítu nástroje a uvést doporučení pro obrábění materiálů FV 535 a FV 448. Hlavním úkolem experimentální části bylo provést soustružení materiálu FV 535 a vybrat z testovaných břitových destiček tu, která dosáhla nejlepších výsledků z hlediska trvanlivosti a utváření třísky.

Před samotným experimentem byly zvoleny tři břitové destičky. Volba jejich tvaru, geometrie a povlaku se vybírala na základě vlastností obráběného materiálu, druhu obráběcí operace a společné konzultace s firmou ISCAR, která dodává břitové destičky firmě PCC. Pro všechny tři břitové destičky se stanovily stejné řezné podmínky. Vzhledem k tomu, že nebylo možné provést testování přímo ve firmě PCC ani v halové laboratoři KTO na ZČU z důvodu velkých rozměrů dodaného výkovku, probíhal experiment u soukromého živnostníka pana Pavla Fořta v Plzni Letkově na univerzálním hrotovém soustruhu SU 50. Vzhledem k nižší tuhosti tohoto stroje oproti stroji, který používá firma PCC nemohly být testovány stejné řezné podmínky.

Při experimentálním soustružení se sledovanými parametry staly trvanlivost břítu nástroje v závislosti na opotřebením na hřbetě a tvar vzniklých třísek (viz. kapitola 4.5, která je převzata z paralelně vznikající diplomové práce s názvem „Utváření ocelových třísek při soustružení ocelových slitin „Jethete“ a „Hykro“ ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.“

Průběh experimentu dokázal, že v dnešní době existují nástroje se kterými lze tento materiál za přijatelných trvanlivostí břitů a tvaru vzniklých třísek obrábět. Nejvyšší trvanlivosti $T = 17,5$ min dosáhla břitová destička kruhového tvaru s označením RCMX 200700, ale její nevýhodou se stal tvar vzniklých třísek, které mají za následek časové prostoje z důvodu odklizení třísek z ucpaného dopravníku. Tyto prostoje činí na obrobení 1 výkovku ve firmě PCC přibližně ztrátu 525 Kč. Naopak nejnižší trvanlivosti $T = 8,2$ min bylo dosaženo při použití břitové destičky s označením CNMG 190612 – PP IC 807. Jako nejvhodnější varianta břitové destičky z komplexního hlediska se jeví břitová destička čtvercového průřezu s označením SNMG 190612 – NR IC907 u které bylo dosaženo druhé nejvyšší trvanlivosti $T = 14,9$ min a utvářela požadovaný tvar třísky, tudíž u ní nenastanou časové ztráty způsobené manipulací s třískami a bylo s ní dosaženo nejnižších provozních nákladů.

Závěrem lze doporučit navržené řešení otestovat přímo ve firmě PCC na CNC karuselu značky Morando. Díky tomuto kroku by bylo možné ověřit, zda je možné dosáhnout obdobných výsledků zvolenou VBD, kterých bylo dosaženo na klasickém hrotovém soustruhu SU 50 v Plzni – Letkově.

Použitá literatura

- [1] Chemical properties of material FV 535,
http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=280
- [2] Martensitic stainless steels, <http://www.aubertduval.com/metal-steel-aluminium-products/grades-table/stainless-steels/metallurgy/martensitic-stainless-steels.html>
- [3] European steel and alloy grades,
http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=28
- [4] Deutsche Edelstahl werke - http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/RSH/1.4923_de.pdf
- [5] Příručka obrábění. Přeložil: Miroslav Kudela. Praha, fa Sandvik CZ, 1997, ISBN 91-97 22 99-4-6
- [6] Prof. Ing. J. Koutský DrSc.: Materiály tepelně-energetických zařízení
- [7] Doc. Ing. Antonín Humár, CSc. – Technologie obrábění 1. Část
- [8] Ing. Tomáš Strnad, Ph.D. - OBROBITELNOST AUSTENITICKÉ OCELE podklad k předmětu KTO/EMO
- [9] Ing. Jan Řehoř, Ph.D – Přednášky k předmětu EMO
- [10] Ing. Jan Řehoř, Ph.D – Přednášky k předmětu TO
- [11] – Technická příručka obrábění, <http://www.sandvik.coromant.com>
- [12] - AB SANDVIK COROMANT. *General Turning*,
http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/ENG/MTG_A.PDF
- [13]- Bc. Martin Hort > Vysokotlaké chlazení,
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15326
- [14] Inovace ve výrobě leteckých komponent, <http://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-ve-vyrobe-leteckych-komponent.html>
- [15]- PRAMET TOOLS, s.r.o: Katalog společnosti Pramet Tools. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2010. 328 s.
- [16] - Koudelka P. - Optimalizace dokončování tvarových ploch při frézování těžkoobrobitelných materiálů. Plzeň 2009
- [17] *FEDERÁLNÍ MINISTERSTVO HUTNICTVÍ A STROJÍRENSTVÍ*, Obrobitelnost materiálů I. Díl, OP ŠKODA PLZEŇ, Československá socialistická republika. Celostátní normativ CNN 10-0-1/II, Praha 1977
18 – Turning of heat resistant steel FV 448,

http://books.google.cz/books?id=HnJxiCz-W5EC&pg=PA9&lpg=PA9&dq=FV448+chemical+properties&source=bl&ots=sCDHeJ2zrJ&sig=1AvJGYTe4PX7HfX7UMJYYZa2Lp8&hl=cs&sa=X&ei=z_4OT_TJPIju-gbd5tHuAg&ved=0CGMQ6AEwCQ#v=onepage&q=FV448%20chemical%20properties&f=false

7. Přílohy k diplomové práci

Příloha č. 1



Parametry hrotového soustruhu SU 50

- Počet os: 2
- Rozsah otáček vřetena: 11,2 – 1400 ot/min
- Maximální točný průměr nad ložem/suportem: 500/250 mm
- Maximální možný průřez nožového držáku v nožové hlavě: 32 x 32 mm
- Vzdálenost mezi hroty: 1500 mm
- Kužel ve vřetenu: MORSE 6
- Počet stupňů otáček vřetena/posuvu: 22/87
- Rychlost podélného/příčného posuvu : 0,027-3,8/0,013-1,9 mm/ot
- Vodící šroub – průměr x stoupání: 50 x 12 mm
- Výkon hlavního elektromotoru/elektromotoru posuvu: 11/0,55 kW
- Příkon: 3 kW
- Výrobce: TOS Lipník nad Bečvou

Příloha č. 2

ZČU	FAKULTA STROJNÍ KTO		List č. 1.
STROJNÍ KARTA			
STROJ	Karuselový soustruh	TYP	MORANDO
ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	Automatický	ROK VÝROBY	1949
HLAVNÍ PRACOVNÍ PARAMETRY STROJE	Počet os	2	
	Rozsah otáček vřetena	1,4 – 280 ot/min	
	Maximální dovolený průměr obrobku	1300 mm	
	Maximální hmotnost obrobku	10 000 Kg	
	Maximální možný průřez nožového držáku v nožové hlavě	40 x 40 mm	
	Pracovní rozsah osy Z	800 mm	
	Pracovní rozsah osy X	650 mm	
	Rozsah hodnot posuvu osy X a osy Z	1 – 10 000 mm/min	
	Maximální počet nástrojů v zásobníku	12	
	Čas výměny držáku nástroje	20 s	
	Výkon hlavního elektromotoru	60 kW	
PŮDORYSNÝ ROZMĚR	3250 mm x 2200 mm	VÝROBCE	COREMU SPA
HMOTNOST	19 000 Kg		
OBRÁZEK			

Příloha č. 3

STROJÍRENSTVÍ Normativy								OCELI třída 10 - 19, 26 - 29								Tabulka číslo: 1 a	
OBRÁBĚNÍ - konstanty Kchs 1																	
% prvků	C	Mn	Si	Cr	V	Co	Al	% prvků	Mn	Si	Cr	V	Co	Al	Ta Nb Cu		
	N	Ti	Ni	W	Mo	Ta Nb Cu	N		Ti	Ni	W	Mo	Ta Nb Cu				
	Kchs 1								Kchs 1								
0,10	1,40	0,85	0,23	0,10	0,10	0,10	0,15	3,60									
0,12	1,30	0,82	0,26	0,10	0,10	0,12	0,17	3,70									
0,14	1,25	0,80	0,29	0,10	0,10	0,13	0,19	3,80									
0,16	1,18	0,78	0,32	0,10	0,10	0,14	0,21	3,90									
0,18	1,12	0,76	0,35	0,10	0,10	0,15	0,23	4,00									
0,20	1,08	0,74	0,38	0,10	0,10	0,16	0,25	4,20									
0,22	1,05	0,72	0,40	0,11	0,10	0,17	0,27	4,40									
0,24	1,02	0,74	0,43	0,11	0,10	0,19	0,29	4,60									
0,26	1,02	0,76	0,46	0,12	0,10	0,20	0,31	4,80									
0,28	1,07	0,78	0,49	0,12	0,10	0,21	0,32	5,00									
0,30	1,13	0,82	0,52	0,13	0,10	0,22	0,34	5,50									
0,35	1,26	0,88	0,57	0,14	0,11	0,24	0,38	6,00									
0,40	1,40	0,95	0,62	0,15	0,11	0,26	0,42	6,50									
0,45	1,53	1,05	0,67	0,16	0,12	0,28	0,46	7,00									
0,50	1,67	1,15	0,74	0,18	0,13	0,30	0,50	7,50									
0,55	1,75	1,22	0,80	0,19	0,14	0,31	0,53	8,00									
0,60	1,87	1,30	0,86	0,21	0,15	0,33	0,57	8,50									
0,65	2,00	1,37	0,91	0,22	0,16	0,35	0,60	9,00	9,20								
0,70	2,15	1,45	0,97	0,23	0,16	0,37	0,64	9,50	9,60	6,75	1,46	0,77	2,47	4,40	4,55		
0,75	2,25	1,52	1,02	0,24	0,17	0,39	0,67	10,00	10,00	7,00	1,52	0,79	2,60	4,70			
0,80	2,35	1,60	1,07	0,25	0,18	0,40	0,70	10,50	10,40	7,25	1,57	0,80	2,70	4,85			
0,85	2,45	1,67	1,12	0,26	0,19	0,42	0,73	11,00	10,80	7,50	1,62	0,82	2,80	5,00			
0,90	2,57	1,75	1,17	0,27	0,19	0,44	0,76	11,50	11,20	7,75	1,67	0,84	2,92	5,20			
0,95	2,68	1,82	1,22	0,28	0,20	0,46	0,80	12,00	11,50	8,00	1,72	0,86	3,05	5,40			
1,00	2,80	1,90	1,28	0,30	0,21	0,48	0,84	12,50	11,80	8,25	1,76	0,88	3,16	5,60			
1,10	3,00	2,02	1,35	0,32	0,22	0,50	0,90	13,00	12,10	8,50	1,80	0,91	3,30	5,75			
1,20	3,20	2,15	1,42	0,34	0,23	0,53	0,97	13,50	12,60	8,75	1,85	0,93	3,40	5,90			
1,30	3,40	2,30	1,50	0,36	0,24	0,56	1,03	14,00	13,00	9,00	1,90	0,96	3,50	6,05			
1,40	3,60	2,45	1,60	0,38	0,25	0,59	1,10	14,50	13,30	9,25	1,95	0,98	3,62	6,20			
1,50	3,78	2,50	1,70	0,40	0,26	0,62	1,15	15,00	13,60	9,60	2,00	1,00	3,75	6,35			
1,60	3,95	2,65	1,80	0,42	0,27	0,65	1,20	16,00	14,20	10,00	2,13	1,04	3,95				
1,70	4,13	2,77	1,88	0,44	0,28	0,68	1,25	17,00	15,00		2,28	1,08	4,20				
1,80	4,30	2,90	1,96	0,46	0,29	0,70	1,30	18,00	15,60		2,40	1,12	4,40				
1,90	4,45	3,00	2,03	0,47	0,30	0,72	1,35	19,00	16,20		2,55	1,15	4,60				
2,00	4,60	3,15	2,12	0,48	0,31	0,75	1,40	20,00	17,00		2,68	1,18	4,85				
2,10		3,25	2,20	0,50	0,31	0,77	1,45	21,00			2,80		5,05				
2,20		3,35	2,28	0,52	0,32	0,80	1,50	22,00			2,95		5,30				
2,30		3,50	2,36	0,53	0,33	0,82	1,55	23,00			3,10		5,50				
2,40		3,60	2,44	0,55	0,34	0,85	1,60	24,00			3,22		5,75				
2,50		3,68	2,50	0,56	0,35	0,87	1,65	25,00			3,35		6,00				
2,60		3,75	2,58	0,58	0,36	0,90	1,70	26,00			3,50		6,20				
2,70		3,85	2,66	0,60	0,37	0,92	1,75	27,00			3,62		6,40				
2,80		4,00	2,72	0,61	0,38	0,94	1,80	28,00			3,75		6,60				
2,90		4,10	2,80	0,62	0,39	0,96	1,85	29,00			3,87		6,80				
3,00		4,20	2,88	0,64	0,39	0,98	1,90	30,00			4,00		7,00				
3,10			2,95	0,65	0,40	1,00	1,95	32,00			4,30		7,40				
3,20			3,02	0,67	0,40	1,02	2,00	34,00			4,55						
3,30			3,10	0,68	0,41	1,04	2,05	36,00			4,80						
3,40			3,16	0,70	0,42	1,06	2,10	38,00			5,05						
3,50			3,22	0,71	0,42	1,08	2,15	40,00			5,40						

Vliv Cu je od Kchs 2 odečítán

Příloha č. 4

STROJÍRENSTVÍ Normativy				OCELI třída 10 - 19, 26 - 29				Tabulka číslo: 1 b							
O B R Á B Ě N Í				tab.A- oceli přírodní nebo žíhané - <u>Kmh</u> tab.B- oceli zušlechtěné nebo kalené - <u>Kmh</u> tab.C- skupiny obrobitelnosti											
A. Ocel přírodní nebo žíhaná				B. Ocel zušlechtěná nebo kalená											
A ₁ -soustruž., hoblování, obrážení				B ₁ -soustružení, hoblování, obrážení, frézování, vrtání											
Tvrdoost - pevnost				Materiál				Tvrdoost - pevnost				Materiál			
HV	HB	MPa	kp/mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄	HV	HB	MPa	kp/mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄		
				Kmh							Kmh				
121	115	400	41	0,68			195	180	600	61	0,70	0,80	0,93		
126	121	420	43	0,66			210	196	650	66	0,76	0,87	1,00		
135	127	440	45	0,64	0,64		227	212	700	71	0,83	0,95	1,06		
144	138	480	48	0,63	0,63		243	228	750	76	0,92	1,02	1,12		
153	149	520	52	0,62	0,62	0,75	259	244	800	81	1,00	1,10	1,20		
170	166	580	59	0,61	0,70	0,82	275	259	850	86	1,07	1,16	1,26		
182	178	620	63	0,64	0,75	0,87	291	275	900	92	1,15	1,23	1,36		
193	189	660	67	0,68	0,80	0,93	308	292	950	97	1,23	1,30	1,38		
204	200	700	71	0,72	0,85	0,97	325	307	1000	101	1,30	1,37	1,44		
214	212	740	75	0,77	0,90	1,02	340	323	1050	107	1,38	1,42	1,50		
226	224	780	79	0,82	0,94	1,07	355	337	1100	112	1,46	1,50	1,57		
237	235	820	84	0,87	0,98	1,11	369	350	1150	116	1,54	1,57	1,64		
248	246	860	88	0,95	1,03	1,16	383	363	1200	122	1,62	1,65	1,70		
258	259	900	92	1,00	1,08	1,20	397	378	1250	127	1,70	1,70	1,75		
271	271	940	96	1,05	1,13	1,24	413	393	1300	132	1,78	1,78	1,82		
282	282	980	100	1,10	1,18	1,28	430	409	1350	138	1,86	1,86	1,90		
293	293	1020	104	1,15	1,24	1,32	442	420	1400	143	1,95	1,95			
303	304	1060	108	1,20	1,30	1,36	417	412	1450	148	2,02	2,02			
315	315	1100	112	1,26	1,34	1,40	474	446	1500	153	2,10	2,10			
325	327	1140	116	1,32	1,38	1,45	486	457	1550	158	2,20	2,20			
339	338	1180	120	1,38	1,42	1,50	502	469	1600	163	2,30	2,30			
349	350	1220	124	1,44	1,48	1,55	529	492	1700	173	2,45	2,45			
360	363	1260	128	1,50	1,54	1,60	560	518	1800	183	2,60	2,60			
370	370	1294	132	1,55	1,60	1,65	590	535	1900	193	2,75	2,75			
380	380	1320	135	1,60	1,65	1,68	620	555	2000	203	2,90	2,90			
390	390	1360	139	1,65	1,68	1,72	647	573	2100	212	3,05	3,05			
400	400	1390	142	1,70	1,72	1,75	678	590	2200	225	3,20	3,20			
410	410	1430	146	1,75	1,76	1,77	707	606	2300	234	3,40	3,40			
420	420	1470	150	1,80	1,80	1,80	737	622	2400	245	3,60	3,60			
A ₂ - Frézování, vrtání				C. Skupiny obrobitelnosti											
Pevnost - tvrdoost				Materiál				Kchs. Kmh	Skup. obrob.	Kchs2. Kmh	Skup. obrob.				
Hv	HB	MPa	kp/mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄									
				Kmh											
121	115	400	41	0,90	0,90		nad -47,70	1b	6,01 - 7,50	10b					
126	121	420	43	0,84	0,84		37,01-47,60	2b	4,81 - 6,00	11b					
135	127	440	45	0,80	0,80		30,01-37,80	3b	3,86 - 4,80	12b					
144	138	480	48	0,75	0,76		23,81-30,00	4b	3,38 - 3,85	13b					
153	149	520	52	0,70	0,73	0,75	18,91-23,80	5b	2,46 - 3,07	14b					
170	166	580	59	0,64	0,70	0,82	15,01-18,90	6b	1,96 - 2,45	15b					
nad 166 HB podle tab. A1 nebo B1								11,98-15,00	7b	1,58 - 1,95	16b				
								9,51-11,97	8b	1,26 - 1,57	17b				
								7,51- 9,50	9b	1,00 - 1,25	18b				
Druh materiálů: Z ₁ - oceli konstrukční a nástrojové tvářené a lité Z ₂ - oceli austenitické, korozivzdorné, nemagnetické - tvářené Z ₄ - oceli jako Z ₂ , ale lité															

Příloha č. 5

WNr. (číslo materiálu) 1.4911					Cr-Co-Ni-Mo žárupevná ocel					OCEL Kurzname (značka) X8CrCoNiMo 10-6			
Chemické složení [hm. %]													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Nh	Co	B	N	
0,05–0,12	0,10–0,80	0,20–1,35	max 0,025	max 0,020	9,80–11,5	0,20–1,20	0,50–1,10	0,10–0,60	0,20–0,60	5,00–7,50	0,005–0,015	max 0,035	
Normy DIN													
LW													
Mechanické vlastnosti													
Rozměr t, d [mm]						–							
Stav						zušlechtěný							
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] min						835							
Mez pevnosti R_m [MPa]						980–1 130							
Tažnost A_5 [%] min						15							
Kontrakce Z [%]						–							
Nárazová práce KV [J] min						34							
Tvrдость HB						–							
Min hodnoty meze kluzu $R_p 0,2$ [MPa] při zvýšených teplotách													
Teplota [°C]					200	300	400	500	550	600			
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa]					735	726	696	598	520	471			
Fyzikální vlastnosti													
Hustota ρ [kg · m ⁻³]			Měrné teplo c_p [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]			Teplotní součinitel roztlačnosti α [K ⁻¹]		Tepelná vodivost λ_t [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]		Rezistivita [Ω · mm ² · m ⁻¹]			
7 800			460			10,3 · 10 ⁻⁶		21		0,60			
Odolnost proti degradačním procesům													
ODOLNOST PROTI OXIDACI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT na vzduchu do 700°C													
ODOLNOST PROTI TEČENÍ Mez pevnosti při tečení v tahu R_{mT} [MPa]													
Teplota [°C]					550				600				
$R_{mT}/10^3$					392				275				
$R_{mT}/10^4$					284				167				
Technologické údaje													
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ													
žihání na měkko			700–750 °C			ochlazovat v peci							
kalení			1 160–1 180 °C			ochlazovat v oleji							
mezižhání			610–620 °C			výdrž na teplotě 5h							
vytvrzení			620–650 °C			výdrž na teplotě 5h, ochlazovat na vzduchu							