

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Utváření ocelových třísek při soustružení materiálů „Jethete“ a „Hykro“
ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.

Autor: **Bc. Zdeněk ČERNÝ**

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 diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Černý	Jméno Zdeněk	
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 materiálů „Jethete“ a „Hykro“ ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	67	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na problematiku utváření třísek při soustružení materiálu jethete M152. V diplomové práci jsou uvedeny analýzy výběru nejvhodnějšího nástroje, řezného prostředí, řezných podmínek a ostatních parametrů za cílem dosažení vhodného tvaru a délky třísky při experimentálním soustružení. Dále jsou zde prezentovány výsledky experimentu s navrženými nástroji a veškerými zvolenými podmínkami pro soustružení, provedené pro firmu Precision Castparts CZ s.r.o. Popisované výsledky jsou v diplomové práci doloženy experimenty na reálném výrobku.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Materiál jethete M152, materiál hykro (EN40B), korozivzdorná ocel, břitová destička, řezné podmínky, utváření třísky, soustružení, chlazení, geometrie nástroje, obrobitelnost</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Name Černý	Name Zdeněk
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 "Jethete" and "Hykro" in Precision Castparts CZ Ltd.	

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	67	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis is focused on chip formation in turning material jethete M152. This thesis includes analyzes of selecting the most appropriate tool, cutting environment, cutting conditions and other parameters in order to achieve proper shape and length of chip during experimental turning. There are also presented experimental results with the proposed instruments and all elected conditions of turning made for the company Precision Castparts CZ s.r.o. in this thesis. Results described in this thesis are supported by experiments on a real product.</p>
KEY WORDS	Material jethete M152, material hykro (EN40B), stainless steel, tool tip, cutting conditionals, chip formation, turning, tool geometry, machinability

Obsah

Obsah.....	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod do problematiky.....	9
1.1 Cíle řešení.....	9
2. Analýza současného stavu soustružení vybraných materiálů a vyhodnocení	10
2.1 Rozbor materiálů jethete M152 a hykro (EN40B).....	11
2.1.1 Materiál jethete M152	11
2.1.1.1 Výhody a nevýhody materiálu jethete M152	12
2.1.1.1 Korozivzdornost materiálu jethete M152.....	12
2.1.1.2 Obrobitelnost materiálu jethete M152.....	13
2.1.1.2.1 Chemické prvky ovlivňující obrobitelnost materiálu jethete M152.....	14
2.1.1.3 Chemické složení materiálu jethete M152	15
2.1.1.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu jethete M152	16
2.1.1.5 Tepelné zpracování materiálu jethete M152	17
2.1.1.6 Využití materiálu jethete M152.....	17
2.1.2 Materiál hykro (EN40B)	18
2.1.2.1 Obrobitelnost materiálu hykro (EN40B).....	19
2.1.2.2 Chemické složení materiálu hykro (EN40B)	19
2.1.2.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu hykro (EN40B)	19
2.1.2.4 Tepelné zpracování materiálu hykro (EN40B)	21
2.1.2.5 Využití materiálu hykro (EN40B).....	22
2.1.3 Porovnání materiálů jethete M152 a hykro (EN40B)	22
2.2 Utváření třísky.....	23
2.2.1 Dělení třísky	23
2.2.2 Problematika spojená s utvářením třísky	24
2.2.3 Faktory ovlivňující utváření třísky	25
2.2.4 Řešení problému dlouhé a tvarem nevhodné třísky	28
3. Návrh řešení na vybraných obráběcích strojích ve firmě.....	36
3.1 Výběr rezného materiálu	36
3.2 Výběr břitové destičky	40
3.2.1 Výběr tvaru břitové destičky	41
3.2.2 Volba poloměru špičky (r_ϵ) břitové destičky.....	43
3.2.3 Volba jednostranné, či oboustranné břitové destičky.....	45
3.2.4 Volba geometrie břitové destičky	45
3.2.5 Výběr utvařeče třísky břitové destičky.....	47
3.2.6 Volba úhlu nastavení hlavního ostří (κ_r).....	48
3.3 Řezné podmínky.....	51
3.3.1 Zvolení rezných podmínek pro navrhnuté břitové destičky	51
3.4 Volba druhu chlazení při obrábění	52
3.5 Závěrečné shrnutí	55
4. Testování řešení v PCC, příp. na ZČU	57
4.1 Příprava experimentu	57
4.1.1 Obráběcí stroj použitý při experimentu a výkres zkušební vzorku.....	57
4.1.2 Břitové destičky a nožové držáky, nasazené při experimentu	57
4.1.3 Řezné podmínky a způsob chlazení při experimentu.....	59
4.2 Popis průběhu experimentu	60
4.3 Výsledky z provedeného experimentu	61
4.3.1 Popis vyhodnocování výsledků získaných z experimentu	61

4.3.2 Grafické znázornění výsledků z provedeného experimentu	64
4.4 Stanovení třídy obrobitelnosti materiálu jethete M152	70
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení	72
6. Závěr.....	75
Použitá literatura	76
Přílohy	79
Seznam příloh.....	II

Seznam použitých zkratk a symbolů

mm – milimetr	a_p – radiální hloubka třísky
$^{\circ}\text{C}$ – stupeň celsia	v_c – řezná rychlost
$^{\circ}$ - úhlový stupeň	f_n – posuv na otáčku
kg/dm^3 - kilogram na decimetr krychlový	n - otáčky
$\text{W}/\text{m}\times\text{K}$ – watt na metr kelvin	r_e - poloměr špičky nástroje
Ω - ohm	κ_r - úhel nastavení hlavního ostří
MPa – megapascal	α – úhel hřbetu
$\text{m}/\text{m}\times\text{K}$ – metr na metr Kelvin	γ – úhel čela
$\text{J}/\text{kg} \times \text{K}$ – joule na kilogram kelvin	λ_s – úhel sklonu ostří
HRC – tvrdost podle Rockwella	l/min – litr za minutu
HV – tvrdost podle Vickerse	kW - kilowatt
HB – tvrdost podle Brinella	g – gram
J/cm^2 – joule na centimetr čtvereční	dm^3 - decimetr krychlový
Kč/kg – korun českých za kilogram	ml - mililitr
Kč – korun českých	min - minuta
% - procento	Kč/hod – korun českých za hodinu
bar – bar (tlak)	cm^3/min – centimetr krychlový za minutu
mm/ot – milimetr za otáčku	cm^3 - centimetr krychlový
ot/ min – otáčky za minutu	s - sekunda
m/min – metr za minutu	Kč/ks – korun českých za kus

1. Úvod do problematiky

Soudobé celosvětové strojírenství klade stále vyšší nároky na vlastnosti materiálů, používané k výrobě strojních součástí. Od obvykle používaných materiálů se vyžadují takové vlastnosti, které lze splnit pouze výjimečně a to na základě značného navýšení ceny materiálů, z důvodů vysokých nákladů při jeho výrobě. Doposud používané materiály pro výrobu strojních součástí jsou stále častěji nahrazovány nově vyzkoumanými materiály, které vykazují mnohem výhodnější vlastnosti pro potřeby současného strojírenství.

Nově vyvinuté perspektivní materiály přináší do oblasti strojírenství nové možnosti. Hlavní spektrum využívání perspektivních materiálů jsou v oblasti automobilového, leteckého, kosmického, lodního, vojenského a energetického průmyslu. Všechny tyto oblasti průmyslu pracují s materiály nejvyšších jakostí a požadavků. Zkonstruovat a vyrobit např. kvalitní a výkonný automobil, díl draku a motoru letadla nebo turbínu pro výrobu elektrické energie, lze pouze v případě využití vysoce výkonných jakostních materiálů, které splní veškeré požadované nároky. „V této souvislosti jsou rozhodující vlastnosti použité jakosti materiálu, jako např. vysoká mikročistota, korozivzdornost, pevnost, tvrdost, leštitelnost, tuhost, pevnost tečení aj.“ [1].

Rozvoj nových materiálů je v současné době tak rychlý, že neumožňuje stabilní kategorizaci jejich skupin. Z tohoto faktu vyplývá, že výběr nejvhodnějšího použitého materiálu, se značně ztěžuje. Při výběru nového materiálu mohou vznikat potíže při samotném procesu obrábění, protože nejsou plně známy správné řezné podmínky. U nového materiálu je známo jen několik jeho základních vlastností, všechny ostatní důležité vlastnosti těchto materiálů, musí jednotlivé firmy vyzkoumat a určit samy.

Z těchto důvodů je potřeba před samotným nasazením nového materiálu do výroby, provést řadu zkušebních obrábění. Největší problémy vznikající z neznámých řezných podmínek při obrábění, jsou poté rychlé opotřebení nástrojů, nízká produktivita, nevhodný tvar třísky nebo špatný výběr samotného nástroje (vyměnitelné břitové destičky). I přes všechny výše popsané problémy, které vznikají při použití nově vyvinutých materiálů, jsou firmy vzhledem k jejich výhodným vlastnostem, donuceny. Firmy, které si osvojily veškeré vlastnosti a tajemství nově vyvinutých materiálů, mají na trhu jednoznačnou výhodu. Všechny pracně vyzkoumané hodnoty a vlastnosti o nových materiálech si firmy pečlivě chrání a tím si vytváří svůj „know - how“ a zabraňují tak dalším firmám proniknout svými výrobky na špičku strojírenského trhu.

1.1 Cíle řešení

Cílem řešení diplomové práce je navržení vhodných obráběcích podmínek při soustružení materiálů jethete M152 a (EN40B) tak, aby při soustružení takového obrobku z uvedených materiálů, byla odváděna z místa řezu vhodná délka a tvar třísky (tříska kratší než 10 cm).

Pro splnění cíle bude provedeno zkušební soustružení na daných materiálech a bude provedena úvaha o možných změnách řezných podmínek (řezná rychlost, posuv a hloubka třísky), tvaru a geometrie břitu (řezné úhly) a úvaha nad řezným prostředím (např. zavedení chlazení pod vysokým tlakem až k břitu nástroje).

2. Analýza současného stavu soustružení vybraných materiálů a vyhodnocení

Firma Precision Castparts CZ byla založena v roce 2000 společností Wyman – Gordon se sídlem v North Grafton, Massachusetts, USA. Hlavním výrobním programem je CNC obrábění rotačních dílů (o průměru 150 – 1500 mm a maximální výšce 800 mm) pro letecký a energetický průmysl.

Materiály jethete M152 a hykro (EN40B) jsou ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o. se sídlem v Plzni používány při výrobě vysoce namáhaných součástí do oblasti leteckého průmyslu zhruba od roku 2005. Tyto materiály jsou při výrobě používány vzhledem k jejich výhodným vlastnostem, jakými jsou korozivzdornost, vysoká pevnost, odolnost proti oxidaci, žáruvzdornost, dobrá houževnatost a vysoká mez dlouhodobé únavy při tečení (viz. specifikace vlastností těchto materiálů kapitola 2.1.1.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu jethete M152 a kapitola 2.1.2.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu hykro (EN40B)).

Při soustružení obou materiálů ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o. však dochází k dlouhé a tvarem nevhodné tříске. Tyto stužkové až vinuté dlouhé třísky, představují nevhodný tvar třísky a nejsou při soustružení žádané. Navíc tyto dlouhé třísky představují několik negativních vlastností, jako např. více času spotřebovaného při manipulaci s třískou, zhoršenou manipulaci s třískami, zadírání třísek v dopravnících obráběcích strojů, zhoršení kvality obrobeného povrchu součástí, ale též poškození nástroje a zkrácení jeho životnosti.

Po nalezení vhodných řezných podmínek pro soustružení těchto materiálů, dojde k utváření třísek vhodného tvaru a k odstranění všech negativních vlastností, které při procesu soustružení u obou jmenovaných materiálů vznikají. Jelikož druh a vlastnosti obráběného materiálu jsou dány, lze k dosažení vhodného tvaru třísky vyzkoušet a zavést změny v řezných podmínkách, ve tvaru a geometrii břitu, nebo v řezném prostředí.

Firma Precision Castparts CZ s.r.o. však při výrobě rotačních dílů z těchto materiálů provádí pouze hrubovací operace. Důvody pro nevyrobení konečného tvaru součásti jsou dány požadavky zákazníka, který si veškeré další úpravy (obrábění na čisto) zhotoví sám (z důvodu ochrany zákaznickovo „know – how“, který se týká hotového tvaru výrobku).

Celý výrobní proces lze tedy stručně shrnout do této podoby. Podle tvaru součásti, který zákazník požaduje, si firma Precision Castparts CZ s.r.o. nechá zhotovit výkovek. Tento výkovek (vykován v zápustce) je dodán z Portlandu, Oregon USA, kde společnost Precision Castparts vlastní divizi kováren. Na dodaném výkovku (viz příloha III, který je tvarem velmi podobný zkušebnímu materiálu, a který byl dodán pro experiment) se provedou pouze hrubovací operace a to za použití břitové destičky RCMX 200 700, jejíž parametry jsou uvedeny v tab. 29 (při řezných podmínkách hloubka třísky $a_p = 4 - 5$ mm, posuv na otáčku $f_n = 0,4 - 0,5$ mm/ot a řezné rychlosti $v_c = 75 - 70$ mm/min), které se provádí na obráběcím stroji MORANDO (viz příloha I). Poté je výrobek expedován přímo zákaznickovy a celý výrobní proces je tak ukončen.

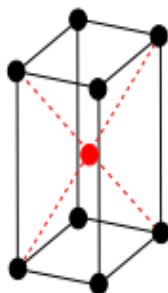
2.1 Rozbor materiálů jethete M152 a hykro (EN40B)

V této kapitole jsou popsány základní fyzikální a mechanické vlastnosti těchto materiálů. Dále pak jejich výhody a nevýhody, chemické složení, obrobitelnost, způsoby tepelného zpracování, využití materiálů v praxi, způsoby jejich obchodního značení v různých zemích a vzájemné porovnání obou materiálů.

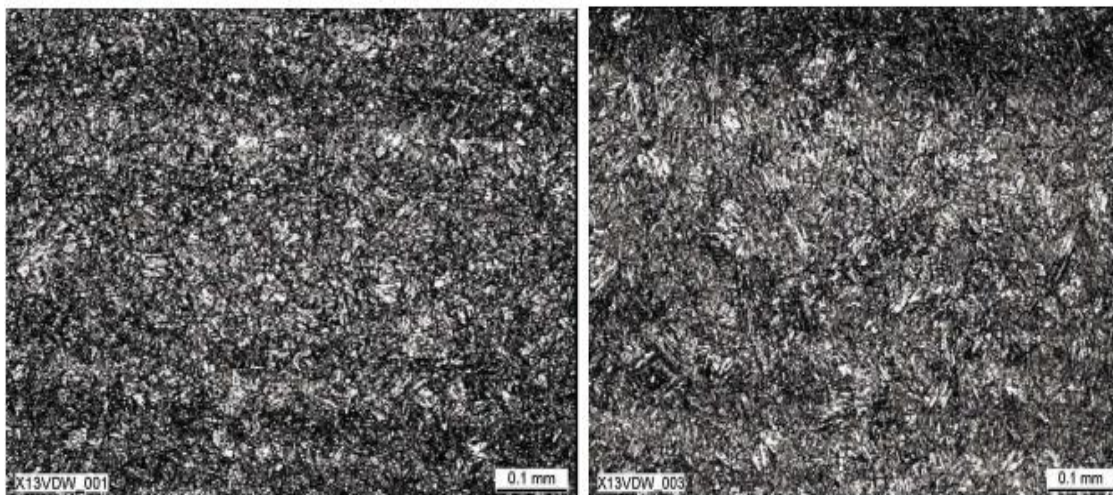
2.1.1 Materiál jethete M152

Tento materiál je nový typ ocelové slitiny, patřící do skupiny martenzitických korozivzdorných ocelí. Tento typ materiálu patří dle normy ČSN 42 0002:1976 do třídy oceli 17. Materiál jethete M 152 obsahuje vysoký obsah chrómu (12 – 11,7 %), což při malém obsahu uhlíku (0,14 – 0,12 %) vytváří při vysokých teplotách plně austenitickou ocel. Pokud je z austenitické oblasti provedeno rychlé ochlazení (zakalení), získá materiál svou typickou martenzitickou strukturu. Martenzitická struktura začíná vznikat při ochlazování přibližně od teploty 230 °C.

Materiál Jethete M152 má tetragonální prostorově středěnou mřížku (viz obr. 1), která vzniká díky vysokému obsahu chrómu i při malých ochlazovacích rychlostech. Mikrostruktura tohoto materiálu při stonásobném a při pětisetnásobném zvětšení je znázorněna na obr. 2.



Obr. 1: Tetragonální prostorově středěná mřížka materiálu jethete M152 [2]



Obr. 2: Mikrostruktura materiálu jethete M152 při stonásobném (vlevo) a pětisetnásobném (vpravo) zvětšení [3]

Vzhledem k tomu, že každá země používá svoji normu, má i tento materiál podle normy příslušné země svoje označení. V tab. 1 jsou uvedeny normy a k nim uvedeny příslušné označení materiálu jethete M152 ve vybraných zemích.

Země	Anglie	Německo	USA	Francie
Norma	BS	DIN	AISI/SAE	ANFOR
Značení	S151	X11CrNiMo12	5719	Z12CNDV12

Tab. 1: Značení materiálu jethete M152 ve vybraných zemích

2.1.1.1 Výhody a nevýhody materiálu jethete M152

Tento materiál má oproti obvykle používaným ocelovým materiálům řadu předností, které vyplývají z jeho výhodných vlastností, jakými jsou:

- ✓ vysoká pevnost (viz mechanické vlastnosti v tab. 4)
- ✓ odolnost proti korozi (viz kapitola 2.1.1.1 Korozivzdornost materiálu jethete M152)
- ✓ žáruvzdornost (do teploty 800 °C)
- ✓ dobrá houževnatost (viz mechanické vlastnosti v tab. 4)
- ✓ dobrá tuhost (viz mechanické vlastnosti v tab. 4)
- ✓ vysoká mez dlouhodobé únavy při tečení (viz mez únavy při tečení v obr. 3)

Mezi nevýhodné vlastnosti tohoto materiálu však zcela jistě patří:

- obtížná obrobiteľnosť (viz kapitola 2.1.1.2 Obrobiteľnosť materiálu jethete M152)
- nízká tepelná vodivost (viz fyzikální vlastnosti tab. 3)
- pořizovací cena (320 - 280 Kč/kg)

2.1.1.1 Korozivzdornost materiálu jethete M152

Korozivzdornost u této oceli je dosažena hlavně díky vysokému procentu obsahu chromu (12 - 11,7 %) a při porovnání s nelegovanými oceli dosahuje výrazně lepší odolnosti proti korozi. Navíc další legující prvky, jakými jsou nikl, molybden, měď a dusík, ještě více zvyšují její korozivzdornost. „Dalším předpokladem pro dostatečnou korozi odolnost, je ale také vhodná úprava povrchu, jakého se dosahuje následným mořením nebo jemným broušením a leštěním“[4]. Odolnost proti korozi, u tohoto typu materiálu, je tedy dosažena vhodným chemickým složením, správné volby tepelného zpracování a opracování povrchu.

Korozivzdornost materiálu jethete M152 však nemůže být zaručena v případě, pokud nastane mechanické poškození pasivní vrstvy, jelikož pasivní vrstva dává tomuto materiálu odolnost proti korozi. Odolnost proti korozi vychází ze schopnosti se pasivovat. „Pasivace

povrchu závisí na přítomnosti dostatečného množství oxidačního činidla“[5]. Schopnosti oxidačního činidla výrazně zlepšuje přísada křemíku. Nejnebezpečnějším druhem koroze pro tento typ materiálu, je lokální forma koroze a korozní praskání za napětí.

Nejdůležitějším aspektem zachování korozivzdornosti je „zaručit schopnost pasivace povrchu při styku s oxidačním prostředím (musí být v tuhém roztoku rozpuštěno minimálně 11,74 % chrómu). Protože se část chrómu váže na uhlík jako karbid $(Fe, Cr)_{23}C_6$, musí být minimální obsah chrómu v oceli $Cr[\%] = 11,74 + 1,454 C[\%]$. Ze vztahu vyplývá, že v materiálu jethete M152 s nižším obsahem uhlíku se pohybuje optimální množství chrómu kolem 12 %“ [6].

Přesto může dojít i u této korozivzdorné oceli ke korozi. Při porovnání s klasickými ocelovými materiály, je ale průběh takovéto koroze mnohem pomalejší a mírnější. Podstatně prodlouženou životnost této korozivzdorné oceli, oproti běžným ocelovým materiálům, ospravedlňuje vyšší cenu tohoto typu materiálu.

2.1.1.2 Obrobitelnost materiálu jethete M152

Tento typ materiálu vykazuje zhoršenou, až obtížnou obrobitelnost. Na obrobitelnost materiálu má obecně vliv chemické složení (čím větší je podíl legujících prvků, tím se obrábění stává náročnějším), struktura (podíl vměstků), tepelné zpracování, fyzikální vlastnosti (teplená vodivost) a mechanické vlastnosti (tvrdost, pevnost a tvárnost). V případě této korozivzdorné oceli, je tato zhoršená, až obtížná obrobitelnost, způsobena především těmito zásadními faktory:

- chemickým složením - vysoký obsah legujícího chrómu (12 - 11,7 %) při malém obsahu uhlíku (max. 0,15 %) způsobuje zhoršení obrobitelnosti
- vysokou pevností a houževnatostí (viz mechanické vlastnosti v tab. 4)
- nízkou tepelnou vodivostí (viz fyzikální vlastnosti tab. 3) – vzhledem k nízké tepelné vodivosti dochází při obrábění materiálu ke značnému nárůstu teploty. Následkem tohoto ohřevu materiálu dochází ke shromažďování tepla v okolí právě obráběcího břitu nástroje, což jednoznačně snižuje jeho trvanlivost a negativně působí na obrobitelnost
- sklonem ke zpevnování materiálu za studena – vysoká rychlost zpevnění plastickou deformací za studena vede jednak k většímu množství energie potřebné k utváření třísky, ale také ke zvýšení tvrdosti až na hodnotu 500 – 400 HB v povrchové vrstvě o hloubce 0,1 mm obráběné plochy. V případě, že hloubka zpevněné zóny materiálu je stejně velká jako hloubka třísky, dojde k výraznému namáhání břitu
- chemickou difúzi mezi povrchem obrobku a břitem nástroje

Důsledkem výše uvedených činitelů dochází při obrábění materiálu jethete M152 k rychlému opotřebení břitu (ale i k praskání až vylamování řezné hrany břitu), negativní tvorbě nárůstku na břitu nástroje (což způsobí nízkou jakost obráběného povrchu), ke vzniku dlouhých stužkových a vinutých třísek (což je spojené i s jejich špatným odchodem z místa řezu), k plastické deformaci řezné hrany nástroje (vlivem nízké tepelné vodivosti) a vysokým řezným silám.

2.1.1.2.1 Chemické prvky ovlivňující obrobiteľnosť materiálu jethete M152

Jedna z niekoľkých možností, jak účinně zlepšit obrobiteľnosť i lámavost třísek u materiálu jethete M152, se naskytá už při samotné výrobě materiálu. Hmotnostní procento chemického složení jednotlivých legujících prvků může obrobiteľnosť jednak zlepšit, ale v častějších případech též zhoršit.

Chemické prvky s pozitivním vlivem na obrobiteľnosť:

Síra (S) – větší množství přísady síry v této korozivzdorné oceli by jednoznačně zlepšilo obrobiteľnosť. Síra vytváří s manganem sulfid manganu (MnS), který má prokazatelně kladný vliv na obrobiteľnosť, jelikož přispívá ke zlepšení lámavosti třísek, snížení teploty řezání a také ke snížení opotřebení nástroje. Navíc další pozitiva jsou, že „sulfidy snižují koeficient tření mezi ocelí a nástrojem, působí jako mazivo na řezné hraně a způsobují hladší povrch obrobku“ [7]. Negativa způsobená zvýšením obsahu síry (sulfidů) jsou v klesající odolnosti proti korozi a oslabení soudržnosti austenitických zrn. Proto pro zlepšení obrobiteľnosti oceli vlivem obsahu síry, je vhodné nepřekročit její hodnotu 0,3 % síry.

Měď (Cu) - v poslední době nastává možnost kompenzace vlivu síry přísadou mědi. Měď v porovnání se sírou neoslabuje soudržnost austenitických zrn, čímž nedochází k poklesu tvařitelnosti za tepla. Při hodnotě obsahu mědi 0,3% je zlepšena kalitelnost a při zvýšení přísady mědi na hodnotu 0,5 % se navíc pozitivně ovlivňuje i odolnost proti korozi. Mezní hranice obsahu mědi v oceli je 0,6 %. Nad touto hranicí dochází ke zhoršení obrobiteľnosti, ale také svařitelnosti oceli a vzniku povrchových trhlin.

Mangan (Mn) – u ocelí s nízkým obsahem uhlíku (jako je materiál jethete M152) podporuje tvorbu kratší třísky. Mangan má též dobrou afinitu k síře, s kterou tvoří sulfidy. Negativa manganu v oceli jsou ve zvyšování sklonu k zhrubnutí zrna při překrystalizaci (nutno dodržet austenitizační teplotu oceli), náchylnosti k popouštěcí křehkosti a malé difúzní rychlosti. Mangan je levný a snadno dostupný, pro lepší obrobiteľnosť se používá až do obsahu 2 %.

Fosfor (P) – pokud je obsažen v oceli v malém množství (do 0,04 %), má příznivý vliv na tvoření kratší třísky. Při vyšším obsahu fosforu (nad 0,04 %) v oceli, dochází k vyvolání popouštěcí křehkosti, sklonu k lámavosti za studena a zhoršení vrubové houževnatosti a svařitelnosti oceli.

Chemické prvky s negativním vlivem na obrobiteľnosť:

Chrómový (Cr) – u oceli snižuje tepelnou vodivost a zvyšuje její pevnost. Dále chróm zvyšuje abrazivní opotřebení nástroje a má tedy na obrobiteľnosť oceli negativní účinek. Výhodou legujícího chrómu je, že při jeho obsahu nad 11,7 %, jednoznačně navyšuje korozivzdornost v nerezových ocelích.

Nikl (Ni) – má negativní vliv na obrobiteľnosť z důvodu zvyšování houževnatosti a pevnosti (více než chróm) u oceli. Pozitivní vlastnost niklu je, že při jeho obsahu nad 1 %, dochází k navýšení odolnosti proti korozi v nerezových ocelích.

Molybden (Mo) – má negativní vliv na obrobiteľnosť, jelikož zvyšuje pevnost materiálu. Působí však pozitivně na odolnost oceli proti korozi a chemickým vlivům.

Uhlík (C) – vzhledem k jeho malému obsahu (pod 0,3 %) má negativní vliv na obrobiteľnosť. Pozitívny vliv na obrobiteľnosť má uhlík v rozmezí 0,6 – 0,3 %. Zvýšení obsahu uhlíku nad hranici 0,6 % není vhodné z důvodu nárůstu řezného odporu.

Křemík (Si) – u oceli zvyšuje pevnost, tvrdost a snižuje tepelnou vodivost. Z těchto důvodů má negativní vliv na obrobiteľnosť. Pozitívny vlastnosti křemíku jsou ve zvýšení odolnosti proti žárúvzdornosti a oxidaci v nerezových ocelích. Při obsahu křemíku do 0,5 % se však křemík nepovažuje za legující prvek, ale za dezoxidační přísadu.

Dusík (N) – zhoršuje obrobiteľnosť vlivem růstu deformačního zpevnění a zvýšení pevnosti materiálu. Výhodou je, že i v malém množství (v jakém je přítomný v materiálu jethete M152), přispívá k odolnosti materiálu proti korozi.

Wolfram (W), vanad (V) – tyto prvky mají na obrobiteľnosť obecně negativní vliv.

Závěrem lze konstatovat tvrzení, že prvky, které by jednak zlepšily obrobiteľnosť, ale i pozitivně ovlivnily tvorbu nárůstku, se do koroziúvzdorných ocelí přidávat nemohou, protože by negativně ovlivnily jejich odolnost vůči korozi. „Pro zvýšení obrobiteľnosti koroziúvzdorných ocelí je výhodné držet obsah síry na horní hranici povoleného množství s vytvořenými siričkovými struskami (tzv. siričky). V materiálu se vlivem siričků vytvářejí kujné vměstky oxidů s nízkým bodem tavení, které při obrábění působí jako mazivo. Při vysokých řezných rychlostech umožňuje tavení těchto oxidů dokonalé mazání řezných nástrojů, což prodlužuje jejich životnost a způsobuje lepší odlamování třísek“ [8].

2.1.1.3 Chemické složení materiálu jethete M152

Základními prvky chemického složení materiálu jethete M152 je určitě železo (jelikož se jedná o typ oceli), chróm (jako hlavní legující prvek), nikl (který ovlivňuje mechanické vlastnosti, strukturu materiálu a podporuje kalitelnost) a molybden. Na základě těchto prvků dostává tento materiál svoje unikátní vlastnosti. Chemické složení materiálu jethete M152 je uvedeno v tab. 2. Pro větší přehled jsou chemické prvky uspořádány podle jejich největšího zastoupení v materiálu zleva doprava.

Název chemického prvku	Fe (železo)	Cr (chróm)	Ni (nikl)	Mo (molybden)	Mn (mangan)	V (vanad)
Hmotnost v %	82,44 - 82,17	12 - 11,7	2,75 - 2,5	1,8 - 1,7	0,8 - 0,7	0,33 - 0,3
Název chemického prvku	Si (křemík)	C (uhlík)	N (dusík)	Cu (měď)	P (fosfor)	S (síra)
Hmotnost v %	0,2 - 0,15	0,14 - 0,12	0,04 - 0,03	0,03 - 0,02	0,013 - 0,01	0,013 - 0,01

Tab. 2: Chemické složení materiálu jethete M152 [9]

2.1.1.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu jethete M152

Základní fyzikální vlastnosti materiálu jethete M152 jsou uvedeny v tab. 3.

Název fyzikální vlastnosti	Hodnoty
Hustota při 20 °C	7,7 kg/dm ³
Tepelná vodivost při 20 °C	30 W/m×K
Elektrický odpor při 20 °C	0,6 Ω
Tepelná roztažnost při 100 °C	10,5 · 10 ⁻⁶ m/m×K
Měrné tepelná kapacita při 20 °C	460 J/kg×K

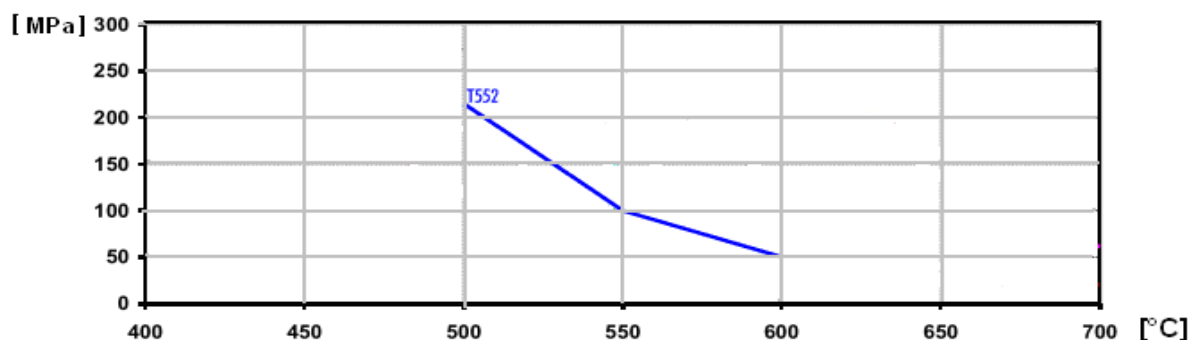
Tab. 3: Fyzikální vlastnosti materiálu jethete M152 [10]

Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 4. Všechny hodnoty mechanických vlastností pro materiál, jsou uvedeny při pokojové teplotě, tedy 20 °C.

Název mechanické vlastnosti	Hodnoty
Pevnost v tahu (R _m)	1150 - 930 MPa
Mez kluzu (R _e)	966 - 800 MPa
Tažnost (A)	14 - 10 %
Zúžení (Z)	40 - 38 %
Tvrдость	36 - 34 HRC
Vrubová houževnatost	35 - 30 J/cm ²
Modul pružnosti (elastičnosti)	216 000 MPa

Tab. 4: Mechanické vlastnosti materiálu jethete M152 [11]

Materiál jethete M152 disponuje vysokou mezí dlouhodobé únavy při tečení. Pro názornější představu hodnoty meze dlouhodobé únavy při tečení, je v obr. 3 uvedena závislost hodnoty meze dlouhodobé únavy při tečení s teplotou a časem. Mez pevnosti je napětí, při jehož trvalém působení při dané teplotě je střední doba lomu rovna času.



Obr. 3: Mez dlouhodobé únavy tečení při 100 000 hodinách materiálu jethete M152 [12]

2.1.1.5 Tepelné zpracování materiálu jethete M152

Tepelné zpracování materiálu je přehledně znázorněno v tab. 5. Materiál jethete M152 se nejčastěji obrábí v žíhaném stavu a kalení se provádí až po opracování. Po procesu kalení se výrazně zvýší pevnost materiálu. Při kalení však vznikne křehká martenzitická struktura, proto po kalení musí vždy následovat popouštění.

Výrazné nebezpečí, které může vzniknout u tohoto materiálu je křehnutí, které vzniká při ohřevu v okolí teplot 550 – 350 °C. Je tedy nutné se při tepelném zpracování vyhnout tomuto rozmezí teplot. „Nebezpečné je i křehnutí způsobené vodíkem, které může vznikat po tepelném zpracování v určitých atmosférách, nebo při moření“ [13].

Druh tepelného zpracování	Popis tepelného zpracování
Kování	Je prováděno při teplotě mezi 1180 – 850 °C. Poté je materiál ochlazen v peci.
Žihání	Je provedeno ohřevem materiálu na 700 – 690 °C po dobu 6 hodin. Materiál je po ohřevu ochlazen v peci.
Kalení	Je provedeno ohřevem materiálu na teplotu 1030 – 1070 °C. Materiál je po ohřevu ochlazen v olejové lázni, nebo vzduchem.
Popouštění	První popouštění materiálu je provedeno ohřevem na teplotu 670 – 640 °C a po ohřevu následuje ochlazení na vzduchu. Druhé popouštění je provedeno ohřevem na teplotu 580 – 560 °C a po ohřevu následuje ochlazení na vzduchu.

Tab. 5: Jednotlivé druhy tepelného zpracování u materiálu jethete M152 [14]

2.1.1.6 Využití materiálu jethete M152

Tento materiál je pro své výhodné vlastnosti používán především pro různé konstrukční prvky, které vyžadují vysokou pevnost a dobrou odolnost proti oxidaci a to až do teploty 800 °C. Tím je zaručena dlouhá životnost a vysoká spolehlivost v provozu. Tento typ

korozivzdorné oceli nachází v praxi uplatnění především v leteckém průmyslu, dále pak v automobilovém, chemickém, energetickém a strojírenském průmyslu, např. při výrobě:

- velmi zatěžovaných lopatkových turbín a turbínových kotoučů
- kuličkových šroubů
- kuličkových ložisek
- vstřikovačů paliva
- brzdových dílů pro Boeing 747
- hřídelů, čepů a kroužků (působících v agresivním prostředí, např. v mořské vodě)

2.1.2 Materiál hykro (EN40B)

Jedná se o chróm molybdenovou ocel, patřící do skupiny ocelí, které jsou určeny pro nitridování. Dle normy ČSN 42 0002:1976 patří tento materiál do třídy oceli 15. Tato chróm molybdenová ocel, se především využívá pro její výhodné vlastnosti, kterými zajisté jsou:

- ✓ vysoká odolnost proti opotřebení (vzhledem k nitridaci povrchu materiálu na tvrdost 65 – 61 HRC)
- ✓ dobrá houževnatost (viz mechanické vlastnosti v tab. 8)
- ✓ dobrá pevnost (viz mechanické vlastnosti v tab. 8)

Mezi nevýhodné vlastnosti tohoto materiálu však zcela jistě patří:

- obtížná obrobiteľnosť (viz kapitola 2.1.2.1 Obrobiteľnosť materiálu hykro (EN40B))
- pořizovací cena (270 - 240 Kč/kg)

Vzhledem k tomu, že každá země používá svoji normu, má tento materiál podle normy příslušné země svoje označení. V tab. 6 jsou uvedeny normy a k nim uvedeno příslušné označení materiálu ve vybraných zemích.

Země	Anglie	Německo	Španělsko	Švédsko	Itálie	Francie
Norma	BS	DIN	UNE	SS	UNI	AFNOR
Značení	722M24	32CrMo12	F.124.A	2240	32CrMo12	30CD12

Tab. 6 : Značení materiálu hykro (EN40B) ve vybraných zemích

2.1.2.1 Obrobitelnost materiálu hykro (EN40B)

Na obrobitelnost materiálu má obecně vliv jeho chemické složení (čím větší je podíl legujících prvků, tím se obrábění stává náročnějším), struktura (podíl vměstků), tepelné zpracování, fyzikální vlastnosti (teplená vodivost) a mechanické vlastnosti (tvrdost, pevnost a tvárnost).

Tento typ materiálu disponuje zhoršenou obrobitelností, která je způsobena především těmito zásadními faktory:

- chemickým složením – prvky typu chróm (Cr), molybden (Mo), křemík (Si) a uhlík (C) svým hmotnostním zastoupením v tomto materiálu působí negativně na obrobitelnost (viz kapitola 2.1.1.2.1 Chemické prvky ovlivňující obrobitelnost materiálu jethete M152)
- vysokou pevností a houževnatostí (viz mechanické vlastnosti v tab. 8) – tato vysoká houževnatost materiálu způsobuje, že materiál klade při plastické deformaci vysoký odpor, ale též, že je materiál velmi odolný vůči porušení (to při obrábění velmi často souvisí se vznikem dlouhé a tvarem nevhodné třísky).

2.1.2.2 Chemické složení materiálu hykro (EN40B)

Hlavními legujícími prvky, které vytvoří tento typ materiálu je chróm, molybden a mangan. Tyto tři prvky mají v chemickém složení materiálu hykro (EN40B) z legujících prvků největší zastoupení. Chemické složení materiálu je uvedeno v tab. 7. Pro větší přehled jsou chemické prvky uspořádány podle jejich největšího zastoupení v materiálu zleva doprava.

Název chemického prvku	Fe (železo)	Cr (chróm)	Mo (molybden)	Mn (mangan)	S (síra)	P (fosfor)
Hmotnost v %	94,3 - 94,1	3,5 - 3	0,65 - 0,45	0,6 - 0,45	0,4 - 0,3	0,35 - 0,28
Název chemického prvku	Si (křemík)	C (uhlík)	Ni (nikl)	Al (hliník)	Ti (titan)	
Hmotnost v %	0,35 - 0,1	0,28 - 0,2	0,18 - 0,12	0,03 - 0,02	0,02 - 0,01	

Tab. 7: Chemické složení materiálu hykro (EN40B) [15]

Vliv jednotlivých chemických prvků na obrobitelnost této chróm molybdenové oceli je podobný, jako u předchozího materiálu a je uveden v kap. č. 2.1.1.2.1 Chemické prvky ovlivňující obrobitelnost materiálu jethete M152.

2.1.2.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu hykro (EN40B)

Základní fyzikální vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 8 a základní mechanické vlastnosti při pokojové teplotě, tedy 20°, jsou uvedeny v tab. 9.

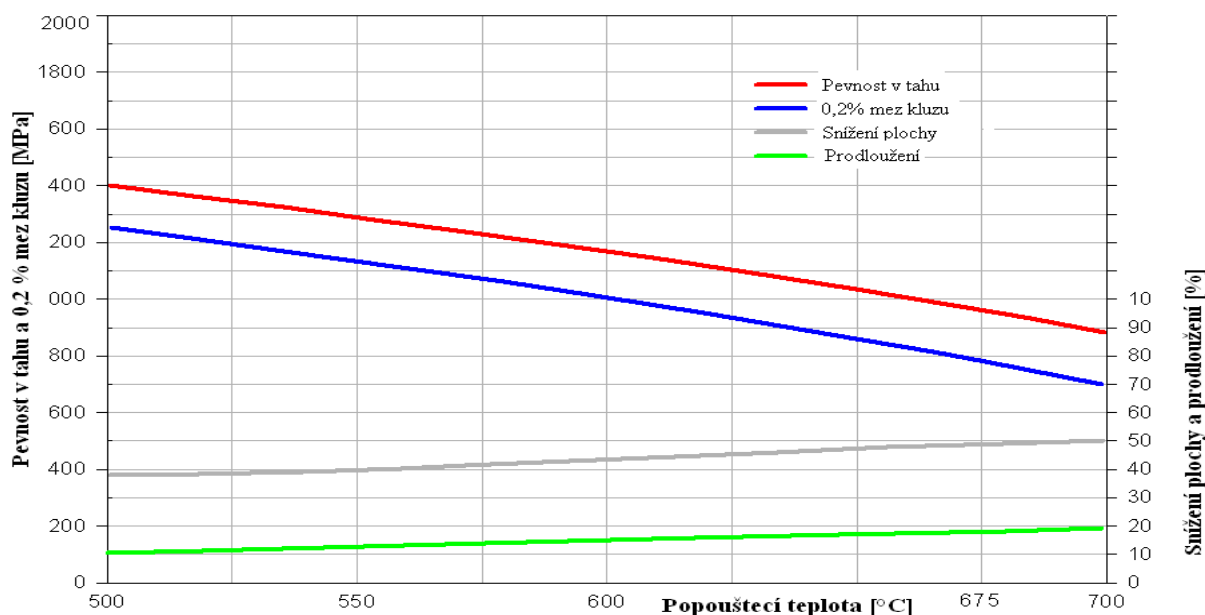
Název fyzikální vlastnosti	Hodnoty
Hustota při 20 °C	7,73 kg/dm ³
Elektrický odpor při 20 °C	0,19 Ω
Tepelná vodivost při 20 °C	42 W/m×K
Měrná tepelná kapacita při 20 °C	430 J/kg×K
Tepelná roztažnost při 20 °C	11,5 · 10 ⁻⁶ m/m×K

Tab. 8: Fyzikální vlastnosti materiálu hykro (EN40B) [16]

Název mechanické vlastnosti	Hodnoty
Pevnost v tahu (Rm)	1000-850 MPa
Mez kluzu (Re)	680-650 MPa
Tažnost (A)	13-12 %
Tvrdost	302 - 248 HB
Vrubová houževnatost	42-35 J/cm ²
Modul pružnosti (elastičnosti)	210 000 MPa

Tab. 9: Mechanické vlastnosti materiálu hykro (EN40B) [17]

Na obr. 4 jsou znázorněny změny hodnot mechanických vlastností (pevnosti v tahu, meze kluzu, snížení plochy a prodloužení) v závislosti na hodnotě popouštěcí teploty.



Obr. 4: Mechanické vlastnosti v závislosti na popouštěcí teplotě u materiálu hykro (EN40B) [18]

2.1.2.4 Tepelné zpracování materiálu hykro (EN40B)

Postup tepelného zpracování je uveden v tab. 10. Závěrečnou nitridací se dosahuje velmi tvrdého povrchu s tvrdostí kolem 65 – 61 HRC a odolnosti povrchu proti opotřebení. Tato nitridovaná vrstva je navíc odolná proti korozi v méně agresivních prostředích a též napomáhá ke zvýšení meze únavy povrchové vrstvy při střídavém namáhání.

Druh tepelného zpracování	Popis tepelného zpracování
Kování	Je provedeno při teplotě mezi 1150 – 850 °C. Poté je materiál ochlazen v peci.
Žihání na měkko	Je provedeno při teplotách mezi 700 – 650 °C s následným pomalým ochlazením.
Kalení	Je provedeno ohřevem materiálu na teplotu 910 – 880 °C. Prodleva na austenitizační teplotě je minimálně 30 minut. Materiál je po ohřevu ochlazen v olejové lázni.
Popouštění	Je provedeno ohřevem na vybrané popouštěcí teploty mezi 700 - 570 °C. Prodleva na popouštěcí teplotě je minimálně 1 hodinu.
Nitridování	Je provedeno ohřevem do teploty 500 °C v atmosféře s 20% plynným amoniakem, po dobu přibližně 80 hodin. Hloubka nitridované vrstvy je kolem 0,5 mm.

Tab. 10: Jednotlivé druhy tepelného zpracování u materiálu hykro (EN40B) [19]

2.1.2.5 Využití materiálu hykro (EN40B)

Vysoká prokalitelnost tohoto typu materiálu dovoluje použít tento typ oceli i na rozměrnější díly. Materiál je obvykle dodáván v kaleném a temperovaném stavu a je vhodný např. při výrobě:

- vaček
- pístních čepů
- pastorků, ozubených kol
- hřídelů čerpadel, klikových hřídelů, ojnicí
- vřeten, součástí strojů
- šroubů
- torzních tyčí

2.1.3 Porovnání materiálů jethete M152 a hykro (EN40B)

Porovnání obou materiálů (viz tab. 11) je provedeno podle jejich již uvedených mechanických a fyzikálních vlastností, chemického složení, zařazení obou materiálů a pořizovací ceny. Porovnání obou materiálů má za cíl odhalit jejich rozdílnost, proto nebudou porovnány jejich vlastnosti, které mají podobné hodnoty.

Materiál	jethete M152	hykro (EN40B)
Třída oceli dle ČSN 42 0002:1976	17	15
Obchodní označení	X11CrNiMo12	32CrMo12
Tepelná vodivost při 20 °C	30 W/m×K	42 W/m×K
Elektrický odpor při 20 °C	0,6 Ω	0,19 Ω
Modul pružnosti (elastičnosti)	216 000 MPa	210 000 MPa
Pevnost v tahu (R _m)	1150 – 930 MPa	1000 – 850 MPa
Mez kluzu (R _e)	966 – 800 MPa	680 – 650 MPa

Tab. 11: Porovnání materiálů podle různých hledisek (1. část)

Tvrдость	36 – 34 HRC	65 – 61 HRC (po nitridaci)
Vrubová houževnatost	35 – 30 J/cm ²	42 – 35 J/cm ²
Obsah chrómu	12 – 11,7 %	3,5 – 3 %
Obsah niklu	2,75 – 2,5 %	0,18 – 0,12 %
Obsah molybdenu	1,8 – 1,7 %	0,65 – 0,45 %
Požizovací cena	320 - 280 Kč/kg	270 - 240 Kč/kg

Tab. 11: Porovnání materiálů podle různých hledisek (2. část)

2.2 Utváření třísky

Utváření třísky je jeden z nejdůležitějších aspektů při samotném obrábění. Každý druh obrábění z tohoto hlediska vykazuje typické utváření třísky, která při daném druhu obrábění vzniká. I když se na první pohled může zdát, že tvar třísky je vždy stejný, při hlubší analýze je názorně vidět, jak je utváření třísky při různých procesech obrábění odlišné, v porovnání např. procesu vrtání s procesem frézování.

Při obrábění je vždy na prvním místě dosažení správného tvaru obrobku v předepsaných tolerancích a požadované jakosti povrchu, což následně vede ke spokojenosti zákazníka. Ke spokojenosti technologa je však při obrábění zapotřebí mnohem více. Jednak co nejvíce omezit zmetkovitost při výrobě, vyrábět součásti co možná nejefektivněji, to je co nejjednodušeji a v co nejkratším čase. Toto je kromě jiného, podmíněno též vhodným utvářením třísky při obrábění.

2.2.1 Dělení třísky

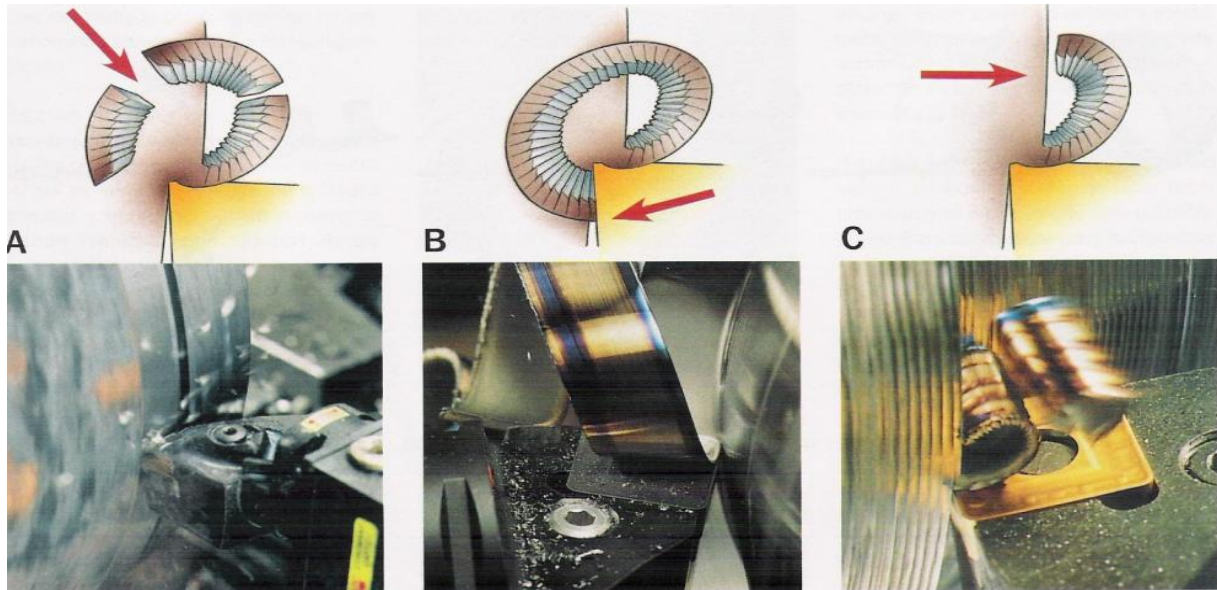
Při procesu obrábění může dojít k odlomení třísky třemi způsoby, a to konkrétně:

- ❖ samoodlomením třísky
- ❖ odlomením třísky proti nástroji
- ❖ odlomením třísky proti obrobku

Samoodlomení třísky je typické např. při soustružení litiny. Při obrábění houževnatých materiálů (jako jsou materiály jethte M152 a hykro (EN40B)), je odlomení třísky buď proti nástroji, nebo proti obrobku. Odlomení třísky proti nástroji (čelu břitu) je nevýhodné z hlediska poškozování břitu (tím se mění geometrie čela břitu) a snižování trvanlivosti břitu. V tomto případě je vhodné použít jinou geometrii nástroje, nebo provést změny v řezných podmínkách.

Odlomování třísky proti obrobku se stává negativním v takovém případě, kdy při velké hloubce řezu dochází k nevhodnému rozletování třísek. Při tomto problému je velmi vhodné

použít nižší úhel nastavení hlavního ostří ($60 - 45^\circ$). Pro názornou představu, jsou všechny tři způsoby odlomování třísky znázorněny na obr. 5.



Obr. 5: Tři způsoby odlomování třísek, A – samoodlomením třísky, B – odlomením třísky proti nástroji, C – odlomením třísky proti obrobku [20]

2.2.2 Problematika spojená s utvářením třísky

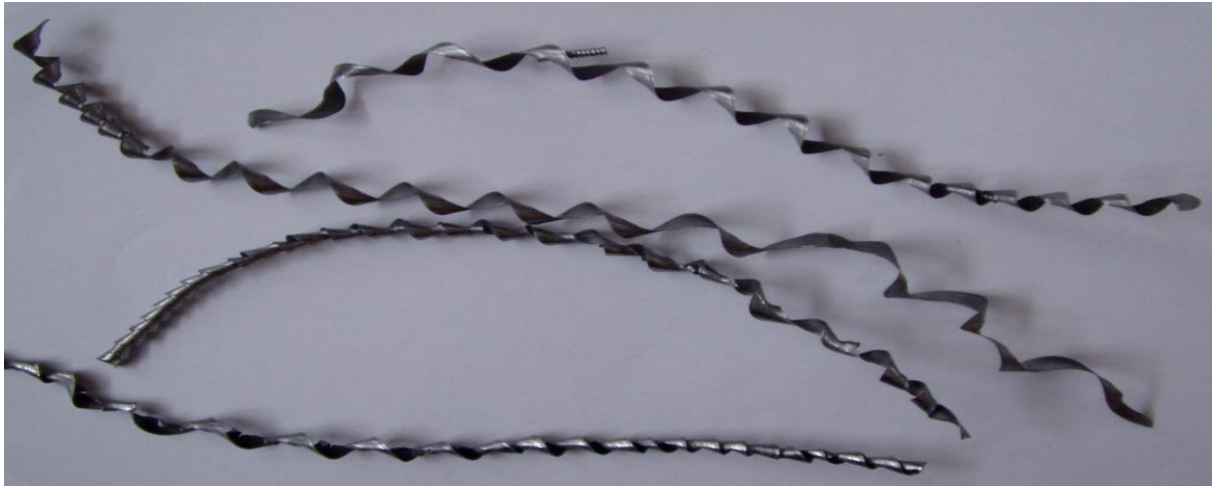
Současný rychlý vývoj nových materiálů v oblasti strojírenství, přináší pro technology zabývající se tvorbou třísky při obrábění, mnoho problémů. Po nalezení vhodných řezných podmínek a tím kontrolovaného odchodu (utváření) třísek z řezné oblasti, pro daný materiál, nemusí nalezené řezné podmínky a zvolené obráběcí nástroje pro nově vyzkoumaný materiál vůbec platit a při procesu obrábění nově vyvinutého materiálu, vznikají opět nežádoucí tvary a délky třísek.

Nevhodná tříska je taková tříska, která znesnadňuje proces obrábění a navíc zvyšuje náklady v oblasti týkající se třískového hospodářství. Mezi takové třísky patří především stužkové a vinuté dlouhé třísky, které mají při obrábění nežádoucí následky v podobě:

- snížení trvanlivosti břitu nástroje
- zvýšení tepla v místě obrábění
- zhoršení kvality obrobeného povrchu
- zhoršenou manipulaci s třískami
- zadírání třísek v dopravnících stroje
- snížení výkonu obrábění
- ohrožování obsluhy stroje
- zahlcení pracovního prostoru nepřehlednou změť vzájemně propletených třísek

Obecně lze konstatovat, že čím větší procento legujících prvků nově vyzkoumaný materiál obsahuje, tím se proces utváření třísky stává složitějším. Na obr. 6 je uveden příklad vlnité šroubovitě dlouhé třísky, která je při obrábění nežádoucí. Naopak obr. 7 ukazuje vhodný tvar obloukovitě dělené třísky, která patří při obrábění mezi tvary žádaných třísek.

Pokud se při obrábění dosahuje požadovaných kuželovitých šroubovitých krátkých třísek, nebo již zmíněných obloukovitých třísek, jednoznačně to přispívá ke zvýšení kvality (jakosti) obrábění, ale také ke spokojenosti všech osob, které se na procesu obrábění podílí.



Obr. 6: Nežádoucí vlnitá šroubovitě dlouhá tříska



Obr. 7: Vhodný tvar třísky při obrábění (obloukovitě dělená tříska)

2.2.3 Faktory ovlivňující utváření třísky

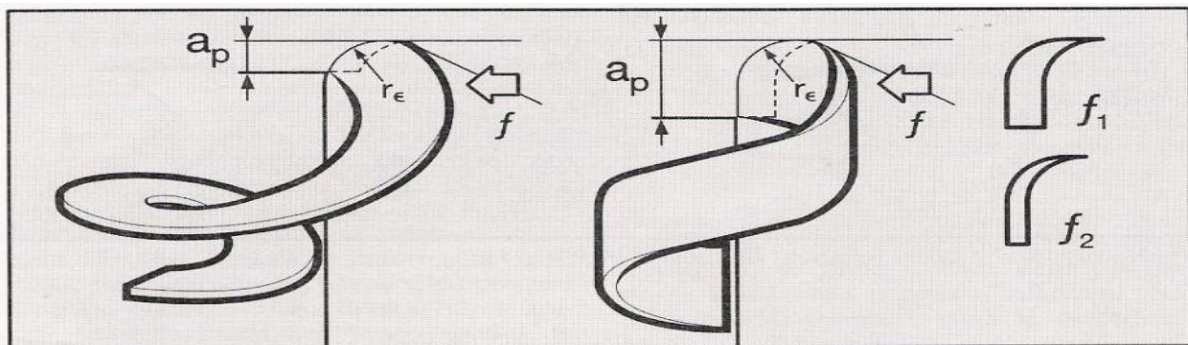
Při utváření třísky je velké množství faktorů, které ovlivňují tvar třísky ať negativně, či pozitivně, nebo ve větší, nebo menší míře. Pro dosažení vhodné třísky je někdy zapotřebí nevynechat ani jediný faktor a všechny faktory ovlivňující utváření třísky, sladit ve správné míře dohromady.

Obráběný materiál – obráběný materiál ovlivňuje v největší míře tvar třísky. Vhodným příkladem je např. obrábění nelegované oceli a legované oceli. Při obrábění nelegované oceli se tříška utváří mnohem snadněji a celý proces obrábění je tím ihned od samotného začátku jednodušší, než je tomu v případě obrábění legované, nebo dokonce vícelegované oceli. Vedle druhu obráběného materiálu je ale též rozhodující jeho tvrdost, stav, tvar a velikost.

Řezné podmínky – řezná rychlost, hloubka řezu, otáčky (obrobku, či nástroje) a hodnota posuvu. Všechny tyto faktory mají svůj podíl na tvorbě třísky. Tak např. při zvýšení vhodné hodnoty posuvu a hloubky řezu, dojde ke složitější kontrole nad odváděnou třískou z místa řezu (tříška jednoduše přeskočí utvařeč třísky a tím se začnou utvářet nevhodné tvary a délky třísky, jako při obrábění s hladkou vyměnitelnou břitovou destičkou), než je tomu v případě dodržení optimálních řezných podmínek, hloubky řezu a hodnoty posuvu.

Obr. 8 znatelně ukazuje rozdíl při zvětšené hloubce řezu a tím vzniku nevhodného tvaru třísky. Změna řezné rychlosti v porovnání se změnou hloubky řezu a hodnoty posuvu, se projeví na utváření třísky v menší míře, protože řezná rychlost ovlivňuje především trvanlivost břitu nástroje.

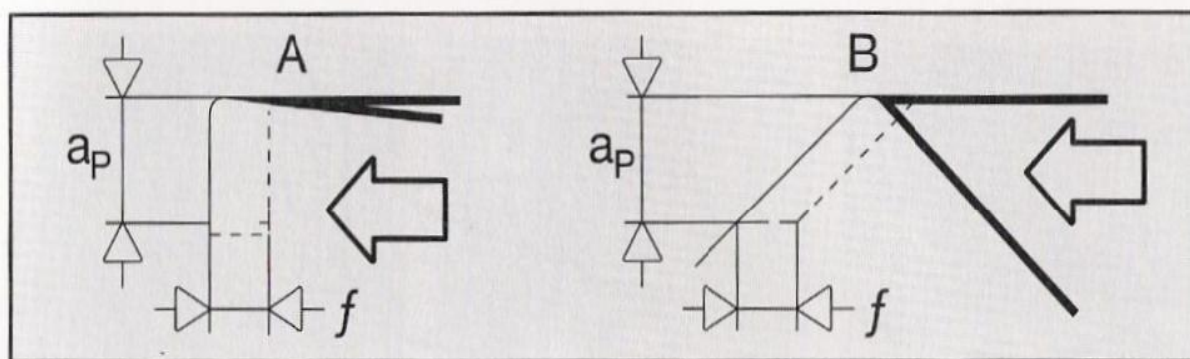
Nasazení chlazení – použití chladicích kapalin (především vodní emulze) působí pozitivně na snadnější utváření třísky. Navíc při použití čerpadla s vysokým výkonem (a tlakem) a zavedením chladicí trysky až do místa řezu, velmi napomáhá k ulomení třísky a zamezuje vzniku dlouhých a tvarem nevhodných třísek. Více informací o tlakovém chlazení je uvedeno v kap. 2.2.4 Řešení problému dlouhé a tvarem nevhodné třísky – řezné prostředí.



Obr. 8: Ovlivnění tvaru třísky změnou hloubky řezu [21]

Úhel nastavení hlavního ostří nástroje κ_r – (jedná se o úhel mezi hlavním řezným břitem a směrem posuvu) má podstatný vliv na tvorbu tloušťky třísky, šířky třísky a směru pohybu třísky. Pokud se úhel nastavení hlavního ostří zmenšuje, bude docházet ke snížení tloušťky třísky a nárůstu šířky třísky (viz obr. 9). Se zmenšováním úhlu nastavení hlavního ostří dojde ke zvětšení stoupání šroubovice třísky. Zde obecně platí, že, je-li úhel nastavení hlavního ostří menší ($45^\circ - 60^\circ$), tříška se utváří mnohem jednodušeji, než při vyšších hodnotách nastavení tohoto úhlu.

Poloměr špičky břitové destičky r_ϵ - ovlivňuje odchod třísky podobným způsobem jako úhel nastavení hlavního ostří nástroje, ale jen do určité hloubky řezu. „Pokud je hloubka řezu vůči poloměru špičky břitu malá, je břit v záběru tvořen hlavně zaoblenou špičkou. Při větší hloubce řezu má poloměr špičky břitu větší vliv a více se uplatní skutečný úhel nastavení břitu, čímž vzniká tříška otočená směrem ven“ [22]. Lze konstatovat, že se snižujícím se poloměrem špičky břitové destičky se dělení třísek zlepšuje na úkor menší pevnosti destičky.



Obr. 9: Proces obrábění s úhlem nastavení hlavního ostří 90° (A) a 45° (B) [23]

Způsob obrábění – obecně platí, že nejtěžší kontrola třísky vzniká při soustružení, vrtání a vyvrtávání. Při soustružení se jedná hlavně o kopírování, nebo soustružení tvarů. Při tomto procesu obrábění působí na břit velké množství faktorů (úhel nastavení, hloubka řezu, směr řezu, hodnota posuvu a řezná rychlost) a v případě špatného nastavení jen jednoho z těchto faktorů, vznikají následně nevhodné, nežádoucí dlouhé třísky.

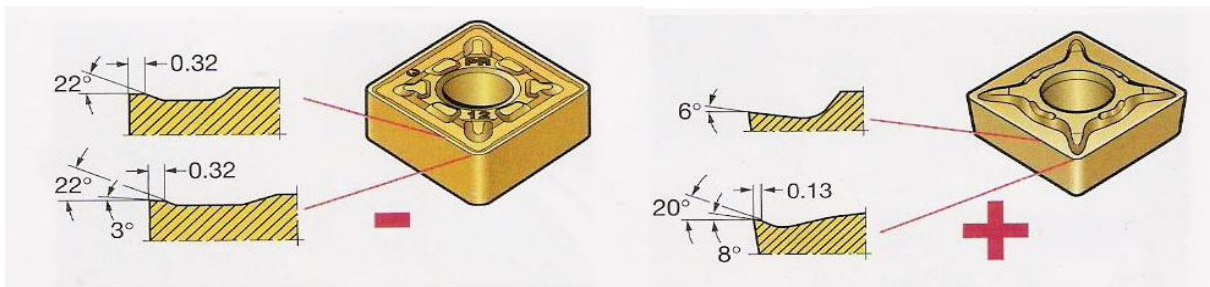
Pro vrtání a vyvrtávání platí, že třísky musí mít vhodný tvar pro odvod z místa řezu. V opačném případě vzniká riziko ulomení nástroje vlivem nahromadění třísek. Naopak bezproblémové utváření třísek je při procesu frézování, při kterém dochází téměř vždy k relativně krátké třísce.

Konstrukce břitové destičky – břitová destička svojí geometrií ovlivňuje utváření třísky, její vedení, kontrolu třísky, ale také její délku a odlomení tím, že obsahuje komplexní kombinaci úhlů, plošek a zaoblení. Utváření třísky u břitové destičky nepochybně ovlivňuje geometrie břitové destičky, úhel čela, velikost primární fasetky a utvařeče třísky. Utvařeče třísky jsou vhodným řešením pro změnu tvaru (délky) vznikající třísky.

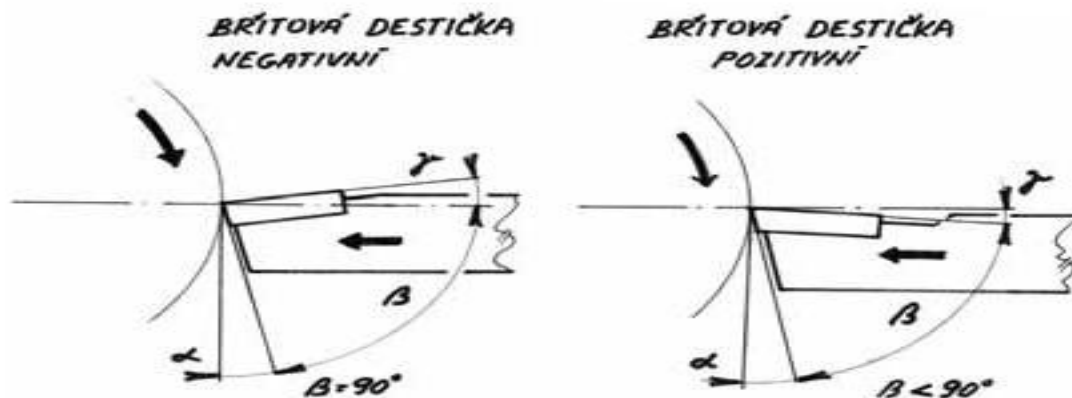
Konstrukce břitové destičky bude zcela odlišná v porovnání např. s destičkou určenou pro jemné dokončovací operace (zde je v záběru poloměr špičky a z tohoto důvodu se geometrie zaměřuje především na roh vyměnitelné břitové destičky, jejíž aplikační oblast je dána menšími hodnoty posuvu a hloubky řezu), oproti destičce, určené pro těžké hrubování (zde je důležitá geometrie na celé ploše čela a její aplikační oblast je určena pro větší hodnoty posuvu a hloubky řezu).

Správná volba konstrukce břitové destičky napomáhá k dosažení optimálních výsledků při procesu obrábění a navíc umožňuje řídit řezné síly, teploty při obrábění a kvalitu obrobeného povrchu, což se jednoznačně pozitivně projeví na výkonu obrábění a trvanlivosti samotného břitu nástroje.

Geometrie břitové destičky – geometrie břitové destičky může být pozitivní, nebo negativní (viz obr. 10). Mezi oběma druhy geometrie je velký rozdíl. „ Negativní břitová destička má při pohledu na příčný řez hlavního břitu úhel 90° . Pozitivní břitová destička má tento úhel menší než 90° stupňů. Negativní břitovou destičku je nutno v držáku nastavit negativně (k zajištění volného místa v tečném směru s obrobkem), zatímco pozitivní břitová destička má tento volný úhel již zabudovaný v sobě “ [24] (viz obr. 11).



Obr. 10: Základní tvar negativní (vlevo) a pozitivní (vpravo) geometrie břitové destičky [25]



Obr. 11: Nastavení negativní a pozitivní břitové destičky v nožovém držáku [26]

2.2.4 Řešení problému dlouhé a tvarem nevhodné třísky

Při řešení problému se vznikem dlouhé a tvarem nevhodné třísky, je pro správný postup vhodné zamyšlení nad tím, kde je samotný počátek příčiny tohoto problému. Poté se zaměřit na jádro tohoto problému. Pro zjištění místa, kde samotný problém s tvořením dlouhé třísky nastává, je nutné se zaměřit na oblast utváření třísky. Pokud totiž dojde ke zlepšení v oblasti utváření třísky, dojde následně i k možnosti zlepšení odvodu třísky.

Pokud se při procesu obrábění tvoří dlouhá a tvarem nevyhovující tříška, ukazuje to jednoznačně na problém v oblasti utváření třísek, které jsou ve většině případů způsobeny:

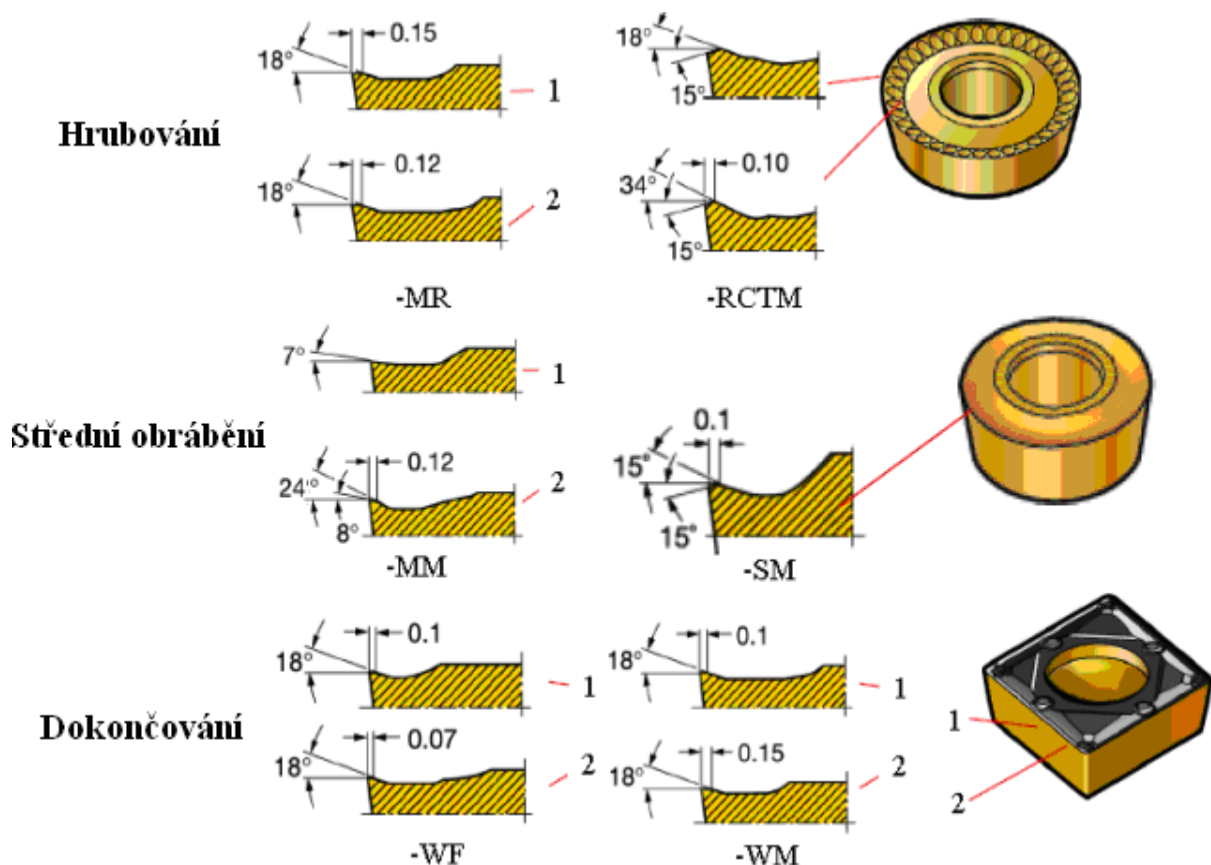
- materiálem, ze kterého je obrobek vyroben
- nesprávným výběrem geometrie nástroje
- nesprávnou volbou řezných podmínek
- nesprávným výběrem pracovního postupu a strategie obrábění
- řezným prostředím

Následně budou provedeny úvahy nad jednotlivými způsoby, které mají za následek dlouhou a tvarem nevhodnou třísku. Ke každému způsobu budou navrženy vhodné návody a tipy, jak zamezit tvorbě dlouhé třísky.

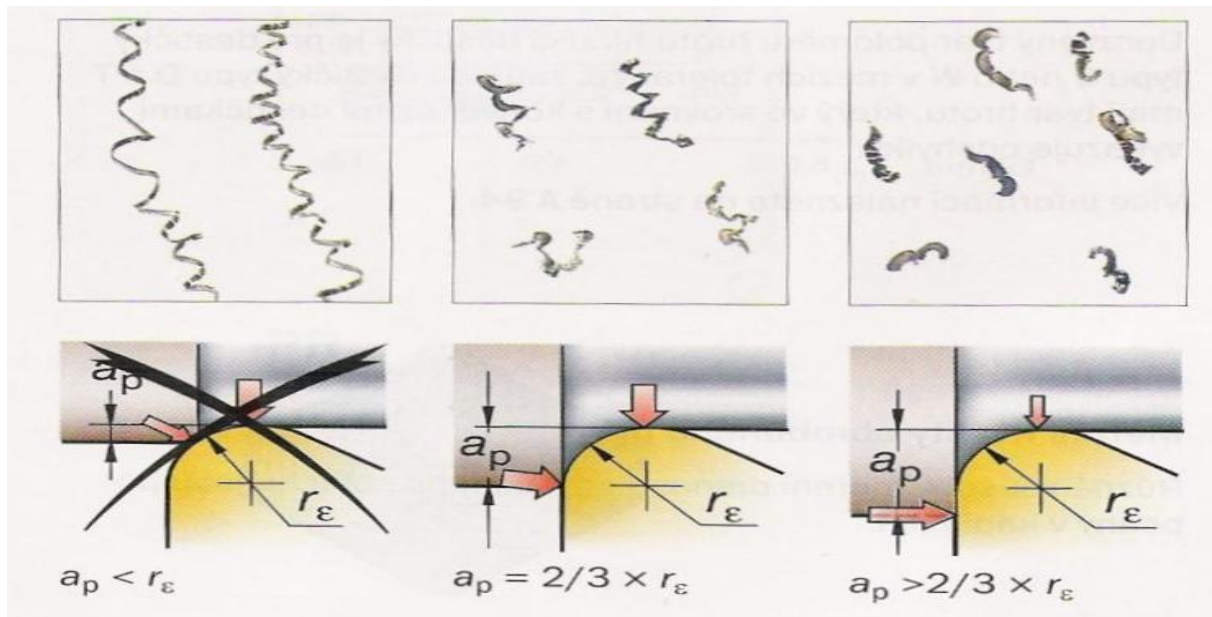
Materiál, ze kterého je obrobek vyroben – v této oblasti nelze provést žádná opatření, jelikož materiál obrobku je pevně stanoven.

Geometrie nástroje – této oblasti je vhodné věnovat velikou pozornost, jelikož mnoho problémů s dlouhou třískou, bylo odstraněno zavedením níže uvedených, jednoduchých pravidel, kterými jsou:

- používání nástroje s geometrií, která má dostatečně velký pozitivní úhel (čela a hřbetu) a ostrou řeznou hranu s pevným břitem (z důvodu zmenšení vzniku vibrací, lepší kontroly třísek a nižších řezných sil)
- při soustružení používat utvařeče třísky (viz obr. 12)
- nedopustit výraznější otupení ostří, neboť toto způsobí rychlé zahřívání materiálu i samotného ostří břitu nástroje
- menší úhel nastavení hlavního ostří (pod 90°) je výhodnější, než při nastavení velkého úhlu hlavního ostří, při kterém může vzniknout deformačně zpevněný otřep, který způsobí rychlé opotřebení nástroje ve tvaru vrubu na hřbetě břitu
- hloubka řezu nesmí být menší než poloměr špičky břitové destičky (obr. 13)



Obr. 12: Utvařeče třísky na břitové destičce ze slinutého karbidu [27]



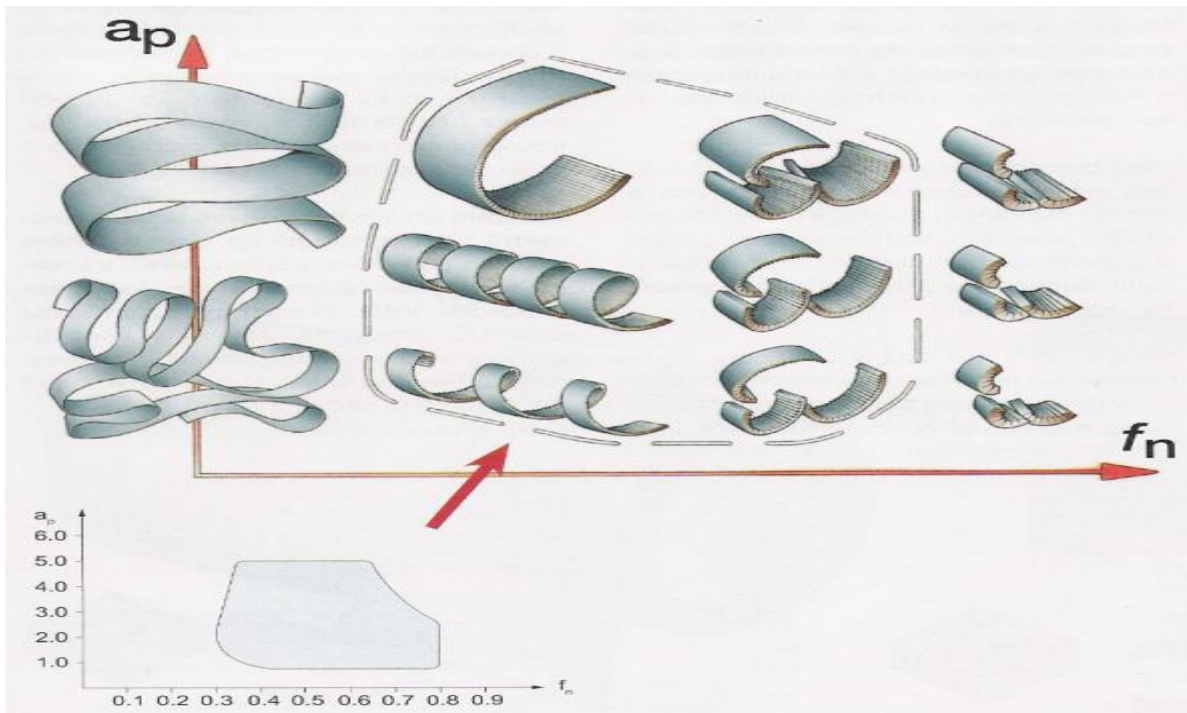
Obr. 13: Poloměr špičky břitové destičky ve vztahu k hloubce řezu [28]

Geometrii nástroje je vhodné navrhnout takovým způsobem, aby nástroj jednak hladce vytvářel třísky, ale také je dokázal lámat na přijatelnou velikost. Geometrie nástroje je vždy vyvinuta pro aplikační oblast, stanovenou doporučenými intervaly posuvu a hloubky řezu.

Volba řezných podmínek – je další klíčový faktor, který musí být volen velmi pečlivě a s důkladným zvážením, protože má jednak vliv na zamezení vzniku dlouhé a tvarem nevhodné třísky, ale též na hospodárnost celého procesu obrábění. U většiny případů vzniku dlouhé třísky, lze odhalit chybu v nastavení řezných podmínek. V mnoha případech je to příliš velká hodnota řezné rychlosti.

Zvýšení řezné rychlosti má sice za následek snížení strojního času a tím i zvýšení produktivity obrábění, na druhé straně ale dojde k velmi rychlému otupení břitu. Je tedy nevhodné používat velké řezné rychlosti při obrábění materiálů, které jsou problematické na utváření třísky.

Při volbě řezných podmínek hrají též svoji důležitou roli hloubka řezu a hodnota posuvu. Z praxe lze při obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku konstatovat, že správnému nalezení a skloubení obou těchto hodnot, předchází často mnoho zkušebních obráběcích testů s daným materiálem. Obr. 14 ukazuje přibližné tvary vznikajících třísek při různých hodnotách hloubky řezu a posuvu na otáčku. Při obrábění je snaha dosáhnout tvarů třísek, které se v obr. 14 nacházejí v zakroužkované oblasti.



Obr. 14: Tvary třísek v závislosti na hloubce řezu a posuvu na otáčku [29]

Výběr pracovního postupu a strategie obrábění – i v této oblasti je zapotřebí dodržovat jednoduchá pravidla pro obecné zamezení vzniku dlouhé třísky, kterými jsou:

- používat povlakované břitové destičky (což má za následek zvýšení trvanlivosti břitové destičky)
- vyložení nástroje by mělo být pokud možno minimální (aby docházelo k co nejmenším vibracím)
- pro soustružení a frézování je vhodný slinutý karbid (viz kapitola 3.1 Výběr rezného materiálu)
- na dokončování je možné použít cermet, pro hrubování je však velmi nevhodný (viz kapitola 3.1 Výběr rezného materiálu)
- při frézování volit strategii sousledného frézování, „nesouledné frézování znamená příliš dlouhou dobu kontaktu s vrstvou, ve které dochází k deformačnímu vytvrzování a kromě toho, k nárůstu řezné síly“ [30]
- při špatném tvaru třísek při upichování (zapichování) možnost upnutí nástroje v obrácené poloze (viz obr. 15)
- nástroj musí vykazovat vysokou tuhost a stabilní upnutí
- stroj musí mít vysokou tuhost a stabilní konstrukci



Obr. 15: Upnutí nástroje v obrácené poloze při upichování (zapichování) [31]

Řezné prostředí – má také vliv na tvorbu třísky. Při obrábění materiálů, které jsou náchylné na tvorbu dlouhé třísky, nelze tento fakt opomíjet. V podstatě lze proces obrábění (z hlediska řezného prostředí) rozdělit na tyto varianty:

- obrábění bez chladicí kapaliny (za sucha)
- obráběním s minimálním množstvím maziva (MQL)
- obrábění s použitím chlazení
- obrábění s kapalinou přivedenou pod vysokým tlakem
- obrábění s chlazením pomocí plynu

Podle použití chladicí kapaliny při obrábění lze očekávat následné tři účinky:

- ✓ chladicí účinek – pro snížení teploty v místě řezu (řezná kapalina však musí mít nižší teplotu, než je teplota v místě řezu)
- ✓ mazací účinek – pro snížení tření mezi nástrojem a obrobkem v jejich styčném bodě
- ✓ vyplachovací (čistící) účinek – pro odvádění třísek z místa řezu

Obrábění bez chladicí kapaliny (za sucha) – jedná se o nový trend v oblasti obrábění, který zcela eliminuje řeznou kapalinu. Obrábění bez chladicí kapaliny přináší výhody v podobě úspor v nákladech na řeznou kapalinu, její likvidaci a skladování a také zlepšení okolního prostředí vlivem nevdechování výparů z chladicí kapaliny. Na druhé straně si však vysoká teplota v místě řezu vyžádá daň v podobě nižší trvanlivosti nástroje. Tato metoda je velmi vhodná při obrábění materiálů, jako jsou konstrukční oceli, litiny, tvárné hliníkové litiny a slitiny mosazi.

Obrábění s minimálním množstvím maziva (MQL) – jedná se o minimalizaci chladicí kapaliny při obrábění. Jako chladicí kapaliny se nejčastěji používají oleje. Použití přírodních maziv, esterů a mastných alkoholů, je také možné. Chladicí kapalina je pomocí centrálního mazacího systému jemně rozprašována přímo do místa řezu, což má za následek snížení tření mezi obrobkem a nástrojem, vyšší trvanlivost nástroje a v neposlední řadě úsporu chladicích kapalin. Nevýhodou je však zabudování mazacího systému na obráběcí stroj a nemožnost vyplachování (čištění) třísek z místa řezu.

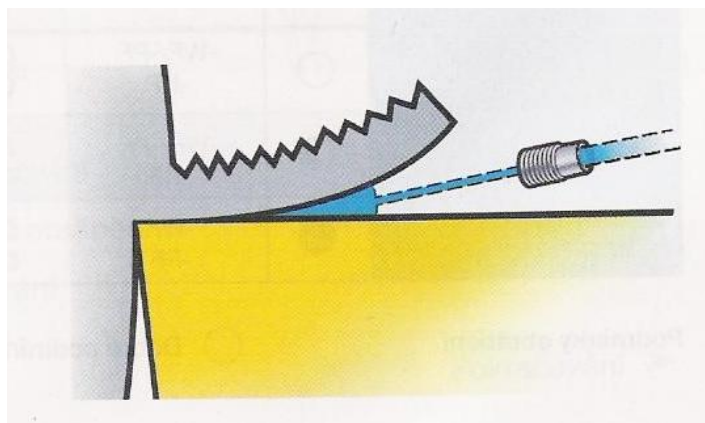
Obrábění s použitím chlazení – při obrábění se nejčastěji používá emulze oleje. Lze však použít např. také vzduch, řezný olej nebo grafit, rozptýlený v oleji či tuku. Více informací o tomto druhu chlazení je uvedeno v kap. 3.4 Volba druhu chlazení při obrábění.

Obrábění s kapalinou přivedenou pod vysokým tlakem – Pod pojmem vysoký tlak se v tomto případě rozumí tlak od 20 bar. Jedná se o systém tlakového chlazení, který pomocí trysek umístěných přímo na nástrojovém držáku, přivádí (směřuje) chladicí kapalinu pod tlakem přímo do místa (bodu) v blízkosti řezné hrany nástroje. Chladicí médium má velkou kinetickou energii a do místa řezu se tedy dostane ve formě kapaliny (a ne jako ve formě páry u nízkotlakého chlazení). V místě řezu (místě vzniku třísky) působí na právě vznikající třísku tlak kapaliny, který při dostatečně vysokém tlaku jednoduše vznikající třísku ulomí (deformuje). Protože je právě vznikající žhavá tříška tak prudce ochlazená, že dojde pomocí tepelného šoku k drobení třísky.

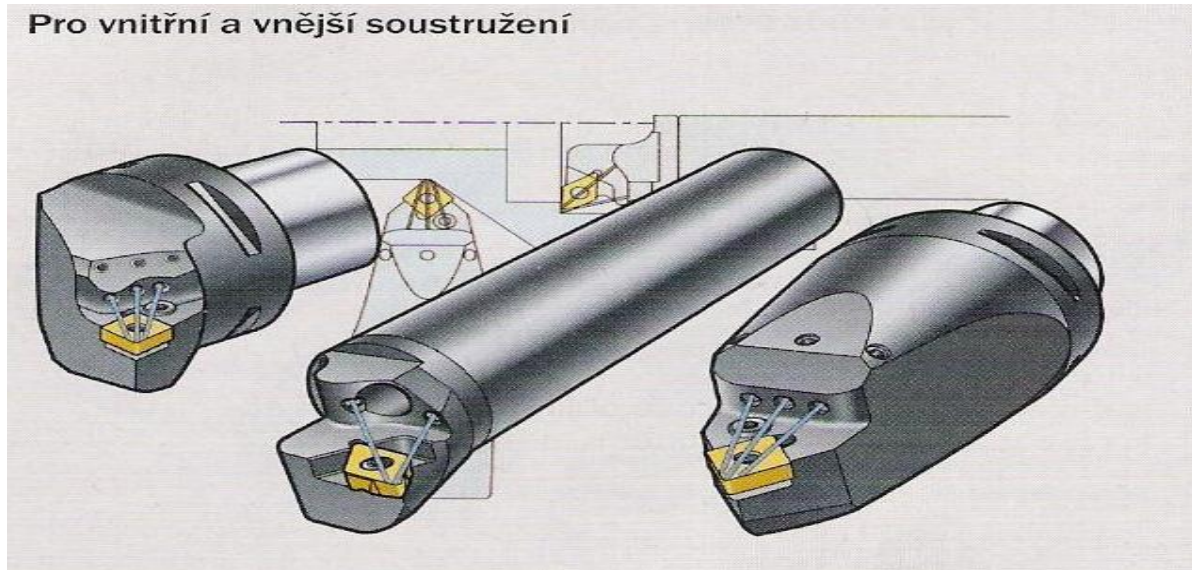
Při tlakovém chlazení dojde ke vzniku hydraulického klínu na čele nástroje, což jednoznačně vede k velmi intenzivnímu ochlazení celé oblasti řezání a k zajištění vzniku stejnoměrných trhlin v celé tloušťce třísek (trhliny vedou k dělení třísky na menší části). Další obrovskou výhodou tlakového chlazení je fakt, že navyšuje trvanlivost nástroje a zlepšuje kvalitu obrobeneho povrchu, při stejných řezných podmínkách.

Všechna uvedená pozitiva tlakového chlazení, mají v konečném hodnocení za následek nižší výrobní náklady a zvýšení produktivity práce. „Např. při hrubovacím soustružení hřídele z materiálu inconel 718, se vlivem tlakového chlazení (80bar) zmenšila délka vytvářených třísek zhruba ze 760 mm na 13 mm a trvanlivost nástroje se zvýšila o 60 % a to při zvýšení řezné rychlosti z 37 m/min na 92 m/min (při nezměněné hloubce řezu 4 mm a posuvu na otáčku 0,35 mm/ot)“ [32].

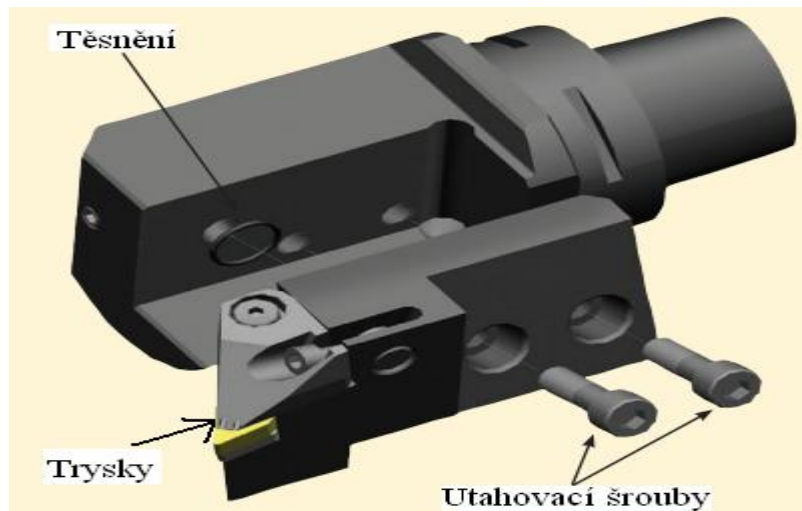
Na obr. č. 16 je názorně vidět funkce hydraulického klínu, který nadzvedává právě tvořenou třísku a tím pomáhá k jejímu dělení. Ku prospěchu dělení třísky hraje též fakt, že při tlakovém chlazení je právě vznikající tříška (která je teplá) tak prudce ochlazená proudem kapaliny, že to způsobí její zkřehnutí a tím následně její lepší dělení. Na obr. 17 jsou znázorněny systémy tlakového chlazení nástrojů od firmy Sandvik a na obr. 18 systém tlakového chlazení od firmy Seco.



Obr. 16: Vytvoření hydraulického klínu při tlakovém chlazení [33]



Obr. 17: Tlakové chlazení nástrojů - systém „CoroTurn HP“ od firmy Sandvik [34]



Obr. 18: Tlakové chlazení nástroje – systém „Jetstream Tooling“ od firmy Seco [35]

Při hodnocení popsaného obrábění s chladicí kapalinou, přivedenou pod vysokým tlakem, lze shrnout následné přednosti při nasazení tohoto systému do následných bodů:

- použití vhodné pro všechny druhy materiálů
- pomáhá při rozdělování třísky na menší kousky a jejich odvedení z řezné oblasti
- snižuje teplotu vyměnitelné břitové destičky i obrobku (odvodem tepla)
- zlepšení kontroly nad utvářením třísek
- snížení opotřebení vyměnitelné břitové destičky

- snížení drsnosti povrchu obrobku následkem rychlého vytlačení třísky z čelní plochy
- možnost zvýšení řezných podmínek při obrábění (z toho plyne navýšení produktivity obrábění)

Nevýhody tlakového chlazení zajisté jsou:

- vysoká pořizovací cena (základem je 80 000 Kč, čím vyšší tlak chlazení, tím vyšší cena) zabudování celého systému tlakového chlazení (např. čerpací jednotka, filtrační, odsávací a zásobovací systém) na obráběcím stroji
- nutnost zakoupení speciálních nástrojových držáků, potřebných k využití systému tlakového chlazení
- doporučení od výrobce k nasazení tlakového systému na použitý obráběcí stroj
- zvýšení spotřeby elektrické energie (vlivem používání tlakového čerpadla)

Obrábění s chlazením pomocí plynu – se používá při obrábění těžkoobrobitelných materiálů (inconel, korozivzdorné oceli), jelikož tyto materiály mají nízkou tepelnou vodivost a tvoří dlouhou třísku. Jako nejvhodnější plyn, se jeví použití tekutého dusíku.

„Jednou z metod aplikace je vstřikování tekutého dusíku mikrotryskou na čelo řezného nástroje před utvařecí třísky a druhou mikrotryskou přímo na ostří nástroje. Experimentálně bylo zjištěno, že nejefektivnější metodou je současné chlazení obrobku i nástroje. Experimentálně se prokázalo, že podchlazení nástroje zvyšuje jeho tvrdost. Životnost nástroje se díky zvýšené tvrdosti zvýší až pětinasobně a též dojde ke snížení tření mezi nástrojem a obrobkem. Také je docíleno snížení drsnosti povrchu, v důsledku sníženého opotřebení řezné hrany (toto je zapříčiněno zvýšenou tvrdostí nástroje)” [36].

Vlivem úplného podchlazení obrobku i nástroje, je vznikající tříska tak prudce ochlazená, že se rozpadne (rozdrolí) na malé segmenty.

Nevýhodou této metody jsou však vysoké náklady na pořízení celého chladicího systému, následně pak náklady na provoz, nutnost odsávání a odvětrávání pracoviště a především dodržování bezpečnostních pokynů, aby nedošlo k ohrožení zdraví obsluhy stroje, nebo personálu.

Všechny tyto výše uvedené způsoby chlazení budou popsány následně v kap. 3.4 Volba druhu chlazení při obrábění a podrobeny úvaze, která určí jejich vhodnost při nasazení u materiálů, tvořících dlouhou třísku.

3. Návrh řešení na vybraných obráběcích strojích ve firmě

V této části kapitoly jsou popsány jednotlivé typy úvah, které byly použity při volbě nejvhodnějších kritérií způsobu obrábění daného materiálu tak, aby bylo dosaženo jednak co největší produktivity obrábění a to v závislosti na docílení vhodného tvaru a délky třísky (což je hlavním cílem této práce).

Před začátkem úvahy nad jednotlivými kritérii, které mají vliv na tvar vznikající třísky, je vhodné stanovení všech podmínek pro obrábění. Po stanovení těchto podmínek, se možnosti řešení problému s tvořením třísky výrazně omezí. Tyto obráběcí podmínky jsou uvedeny v tab. 12 a jsou dané firmou Precision Castparts CZ s.r.o., pro samotné obrábění.

Způsob obrábění	Typ operace	Způsob soustružení	Materiál obrobku
Soustružení	Hrubování	Podélné soustružení, čelní soustružení a tvarové soustružení (do materiálu i směrem ven z materiálu)	jethete M152 (korozivzdorná ocel)

Tab. 12: Omezující podmínky pro řešení vhodného tvaru vznikající třísky

3.1 Výběr řezného materiálu

Výběr řezného materiálu je velmi důležitým faktorem, který je třeba správně zvážit, už na samotném začátku návrhu. Volba řezného materiálu (materiálu břitu) se provádí v závislosti na materiálu obrobku a typu operace (hrubování, střední dokončování, dokončování). Jelikož obrábění daného materiálu obrobku je velmi problematické (viz kapitola 2.1.1.2 Obrobitelnost materiálu jethete M152), je volba řezného materiálu klíčovým faktorem, která rozhodne o hodnotách zvolených řezných podmínek.

Z řezných podmínek poté vychází důležité hodnoty v podobě strojního času, životnosti nástroje a v neposlední řadě možnosti, zmenšit náklady na obrábění takovýchto materiálů.

Řezný materiál je při obrábění (v místě dotyku břitu s obráběným materiálem) vystaven mechanickému a tepelnému namáhání, což vede k otupování břitu. Z tohoto důvodu musí mít řezný materiál větší tvrdost než obráběný materiál. Další požadavky kladené na řezný nástroj jsou:

- ✓ pevnost v ohybu a v tlaku (vyhovující silovému zatížení břitu)
- ✓ houževnatost (dynamické zatížení řeznými silami)
- ✓ tepelná vodivost (pro co nejvyšší odvod tepla)
- ✓ chemická stálost a chemická neutrálnost (i za teplot řezání) vůči obráběnému materiálu
- ✓ odolnost proti otěru

- ✓ vysoká řezivost (pro schopnost oddělovat třísku)
- ✓ součinitel tření (čím menší tření, tím menší vznik tepla)
- ✓ odolnost proti vzniku trhlin a pevnost vazby vnitřních fází

Pro úvahu nad výběrem nejvhodnějšího řezného materiálu, který by dovedl splnit všechny podmínky uvedené v tab. 12, byly vybrány tyto řezné materiály:

- polykrystalický kubický nitrid bóru (viz tab. 13)
- cermet (viz tab. 14)
- řezná keramika (viz tab. 15)
- polykrystalický diamant (viz tab. 16)
- slinutý karbid (viz tab. 17)
- rychlořezná ocel (viz tab. 18)

Řezný materiál	Polykrystalický kubický nitridu bóru
Výhody	<p>Velmi tvrdý řezný materiál (5000 - 3500 HV), který si zachovává vysokou tvrdost i při velmi vysokých teplotách (2 000 °C).</p> <p>Velká odolnost proti abrazivnímu opotřebení.</p> <p>Polykrystalický kubický nitridu bóru se především používá pro obrábění materiálů o tvrdosti nad 45 HRC (litiny, tvrzené a kalené oceli).</p>
Nevýhody	<p>Nevýhodou tohoto řezného materiálu je, že není vhodný pro obrábění houževnatých materiálů (vznik velkého opotřebení břitu).</p> <p>Dalším faktem je, že tento řezný materiál by neměl být používán pro obrábění materiálů s tvrdostí pod 45 HRC (jelikož poté dochází k velkému opotřebení břitu).</p> <p>Vysoká pořizovací cena (až 3500 Kč) za jednu břitovou destičku (pro tento druh obráběného materiálu).</p>
Výsledné rozhodnutí	<p>Vzhledem k houževnatosti obráběného materiálu (viz tab. 4) a jeho tvrdosti pod 45 HRC, není tento řezný materiál vhodný pro jeho obrábění.</p>

Tab. 13: Úvaha nad použitím řezného materiálu z polykrystalického kubického nitridu bóru

Řezný materiál	Cermet
Výhody	<p>Je velmi vhodný pro vysoké řezné rychlosti a malé hodnoty posuvu (tedy převážně dokončovací operace a kopírování tvarů).</p> <p>Možnost obrábění korozivzdorných ocelí.</p> <p>Vysoká odolnost proti opotřebení na hřbetě břitu, vysoká tvrdost za tepla a malý sklon k vytváření nárůstku.</p>
Nevýhody	<p>Nemožnost použití při větších hloubkách třísky.</p> <p>Nevhodnost pro přerušované řezy a malá pevnost břitu při vysokých hodnotách posuvu.</p>
Výsledné rozhodnutí	<p>Jelikož se jedná o hrubovací typ operace s hloubkou třísky $a_p = 4 - 5$ mm a posuvu na otáčku $f_n 0,4 - 0,5$ mm/ot (a cermety jsou určeny pro malé hloubky třísky a malé hodnoty posuvu) a časté přerušované řezy, není cermet v tomto případě vhodným řezným nástrojem.</p>

Tab. 14: Úvaha nad použitím řezného materiálu z cermetu

Řezný materiál	Řezná keramika
Výhody	<p>Řezná keramika je nejčastěji využívána při soustružení za použití vysokých řezných rychlostí.</p> <p>Použitelnost pro širokou oblast obráběných materiálů (včetně korozivzdorných ocelí).</p> <p>Keramické řezné materiály jsou tvrdé (2100 – 1500 HV) a nereagují chemicky s materiálem obrobku.</p>
Nevýhody	<p>Nízká odolnost proti tepelným trhlinám a malá lomová houževnatost.</p>
Výsledné rozhodnutí	<p>Vzhledem k tomu, že při obrábění daného materiálu vzniká velké množství tepla (850 – 750 °C), které působí na břity nástroje, není řezná keramika vzhledem k její uvedené nevýhodě vhodným řezným materiálem.</p> <p>Toto tvrzení potvrdily i experimenty provedené firmou ISCAR na tomto druhu materiálu. Při soustružení ($a_p = 4$ mm, $f_n = 0,5$ mm/ot, $v_c = 65$ m/min) docházelo k rychlé tvorbě trhlin na břitové destičce z řezné keramiky, což po zhruba 30 sekundách způsobilo její úplné prasknutí.</p>

Tab. 15: Úvaha nad použitím řezného materiálu z řezné keramiky

Řezný materiál	Polykrystalický diamant
Výhody	<p>Velmi dobrá odolnost proti otěru (vlivem velmi velké tvrdosti - až 6000 HV) a abrazivnímu opotřebení.</p> <p>Vhodné použití u obrobků, kde je vyžadována vysoká přesnost rozměrů a vysoká jakost obrobeného povrchu.</p> <p>Použití u neželezných a nekovových materiálů (např. slitiny hliníku a křemíku, mosazi, umělá pryskyřice a mnoho dalších).</p>
Nevýhody	<p>Vysoká afinita k železu (která činí tento řezný materiál nepoužitelný pro obrábění železných materiálů).</p> <p>Malá chemická stabilita při zvýšených teplotách (teplota v místě řezu nesmí překročit 600 °C).</p> <p>Nevhodnost pro obrábění houževnatých materiálů s vysokou pevností (z důvodu vzniku velkého opotřebení).</p>
Výsledné rozhodnutí	Vzhledem k tomu, že obráběný materiál obsahuje železo, nelze tento řezný materiál při jeho obrábění použít.

Tab. 16: Úvaha nad použitím řezného materiálu z polykrystalického diamantu

Řezný materiál	Slinutý karbid
Výhody	<p>Slinutý karbid má velmi širokou oblast použití.</p> <p>Vzhledem k materiálu obrobku je vhodné použití slinutého karbidu skupiny M. Tato skupina je i mimo jiné použití, vhodná právě pro obrábění korozivzdorných ocelí, které tvoří při soustružení delší třísku.</p> <p>Oproti rychlořezné oceli (které je též vhodná pro materiál obrobku) se opotřebované břitové destičky ze slinutého karbidu jednoduše pootočí, nebo vymění v nožovém držáku. V obou případech se dosáhne stejné geometrie a nastavení.</p> <p>Tvrdost 1900 – 1200 HV až do teploty 1000 °C.</p>
Nevýhody	Břitové destičky ze slinutého karbidu se upínají do nožového držáku, je tedy zapotřebí vlastnit různé typy nožových držáků.
Výsledné rozhodnutí	Slinutý karbid (skupiny M) je vzhledem k podmínkám obrábění nejvhodnějším řezným materiálem pro daný typ obráběného materiálu.

Tab. 17: Úvaha nad použitím řezného materiálu ze slinutého karbidu

Řezný materiál	Rychlořezná ocel
Výhody	<p>Je to velmi houževnatý řezný materiál, který vydrží i rázy při přerušovaném obrábění.</p> <p>Je vhodná při obrábění korozivzdorných ocelí.</p> <p>Nůž z rychlořezné oceli se upíná rovnou do nožové hlavy, není tedy zapotřebí vlastnit nožový držák.</p> <p>Možnost vybroušení ostré řezné hrany (která je při soustružení korozivzdorných ocelí důležitá).</p>
Nevýhody	<p>Po otupení nože z rychlořezné oceli musí dojít k jeho naostření. Po naostření nemá nůž stejnou geometrii jako před naostřením a navíc klesá produktivita výroby, jelikož vznikají ztráty času z ostření nože a jeho opětovným upnutím do nožové hlavy a nutnosti najetí nože do předcházející polohy.</p>
Výsledné rozhodnutí	<p>Vzhledem k tomu, že se jedná o hromadnou výrobu, není rychlořezná ocel vhodným řezným materiálem (kvůli prostojům při ostření, či výměně nože).</p> <p>Rychlořezná ocel by byla vhodná např. při sériové výrobě z hlediska menší finanční náročnosti na její pořízení (oproti jiným řezným materiálům) a také k možnosti nevlastnit nožové držáky na břitové destičky.</p>

Tab. 18: Úvaha nad použitím řezného materiálu z rychlořezné oceli

Při shrnutí tab. 13 – 18 je zřejmé, že vhodnými řeznými materiály, pro daný typ obráběného materiálu, jsou rychlořezná ocel a slinutý karbid (skupiny M). Jak již bylo uvedeno v tabulkách těchto řezných materiálů, nasazení jednoho či druhého řezného materiálu především ovlivňuje rozsah výroby. Závěrem lze tedy konstatovat tvrzení, že z hlediska nižších nákladů na řezný materiál je u kusové výroby vhodnější použití rychlořezné oceli, u hromadné výroby z hlediska produktivity je však jednoznačně vhodnější nasazení břitových destiček ze slinutého karbidu.

3.2 Výběr břitové destičky

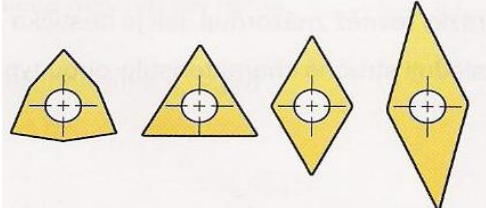
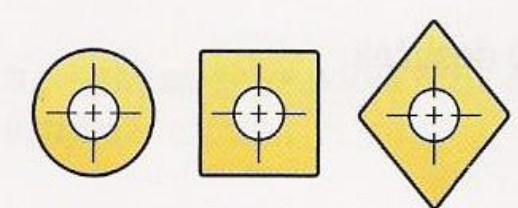
V této části kapitoly bude uvedena úvaha nad výběrem všech kritérií, které se týkají břitové destičky. Jedná se o výběr tvaru břitové destičky, poloměru její špičky, zda se bude jednat o jednostrannou, či oboustrannou břitovou destičku, úhlu nastavení hlavního ostří, geometrie břitové destičky a utvařecí třísky břitové destičky.

Všechna tato uvedená kritéria mají u břitových destiček vliv na utváření třísky. Zvláště při obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, musí být všechna tato kritéria zvolena správně a vhodně sladěna dohromady. V opačném případě (stačí špatné zvolení pouze jednoho kritéria), už nelze při obrábění dosáhnout vhodného tvaru a délky třísky.

3.2.1 Výběr tvaru břitové destičky


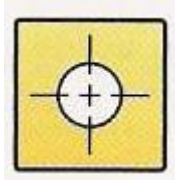

Před výběrem samotného tvaru břitové destičky, by měl být k dispozici upínací systém břitové destičky a velikost i typ nožového držáku. Vzhledem k rozsahu a zaměření této diplomové práce, nebudou tyto dva faktory podrobeny hlubší analýze. Navíc firma Precision Castparts CZ s.r.o. má svůj systém upínání břitových destiček a typ nožových držáků, pevně zabudovaný.

Při volbě tvaru břitové destičky, bylo pro výběr uvažováno sedm základních a nejpoužívanějších tvarů (viz tab. 19). V tab. 19 je uvedena úvaha nad těmito sedmi typy základních tvarů břitových destiček.

Tvar břitové destičky		
Výhody	Tyto tvary břitových destiček, s úhlem špičky od 80° - 35° umožňují jejich univerzálnější použití, lepší přístupnost při soustružení tvarů, nižší sklon k vibracím a menší požadavky na výkon obráběcího stroje.	Břitové destičky těchto tvarů poskytují velkou pevnost břitu a možnost soustružení přerušovanými řezy.
Nevýhody	Tyto tvary břitových destiček mají menší pevnost břitu, menší schopnost odvodu tepla a menší možnost záběru břitu oproti vpravo uvedeným tvarům břitových destiček.	U takovýchto tvarů břitových destiček je zapotřebí většího výkonu obráběcího stroje. Oproti břitovým destičkám uvedených vlevo, je u těchto větší sklon ke vzniku vibrací při obrábění. Z jejich tvaru je též vidět, že disponují menší přístupností k soustružení tvarů a možností menšího univerzálního použití.
Celkové shrnutí	Vzhledem k tomu, že se jedná o hrubovací operace, jsou tyto tvary břitových destiček nevhodné pro použití (z důvodu malé pevnosti břitu a nutnosti malé hloubky řezu, by totiž nemohly být dodrženy takové hloubky řezu a hodnoty posuvu, které jsou typické pro hrubovací operace). Použití těchto tvarů břitových destiček by totiž mělo za následek zvýšení strojního času a ztráty, spojené s produktivitou obrábění.	Tvary těchto břitových destiček vykazují pevný břit a jsou proto vhodné pro hrubovací operace (vzhledem k možnosti velkého zatížení břitu). Proto budou tyto tvary břitových destiček podrobeny další analýze (viz tab. 20).

Tab. 19: Porovnání vybraných tvarů břitových destiček

Z tab. 19 (vzhledem k hrubovacímu procesu) vychází použití třech tvarů břitových destiček. Při výběru nejvhodnějšího tvaru je zapotřebí hlubší analýzy, která je uvedena v tab. 20. Zde jsou také uvedeny důvody výběru nejvhodnějšího tvaru břitové destičky.

Tvar břitové destičky	Výhody	Nevýhody
	<p>Úhel špičky u této břitové destičky je 80°, což ve spojení s jejím tvarem této břitové destičce umožňuje dobré utváření třísky. Dalšími výhodami jsou, že v porovnání s níže uvedenými tvary, jsou požadavky na výkon obráběcího stroje a sklon k vibracím nejmenší.</p> <p>Přístupnost při soustružení tvarů a univerzálnost použití, jsou při porovnávání jejich tvarů též nejvýhodnější.</p>	<p>Tento tvar břitové destičky je vhodný pro hrubování, ale při porovnání s níže uvedenými tvary je nejméně vhodný pro obrábění přerušovanými řezy a má také menší počet řezných hran (v porovnání s čtvercovým a kruhovým tvarem břitové destičky).</p> <p>Pouze dvě řezné hrany (u jednostranné břitové destičky tohoto tvaru).</p>
	<p>Úhel špičky 90° dává pevný břit a možnost snášet obrábění při přerušovaném řezu. Utváření třísky je navíc mnohem lepší, než u kruhového tvaru.</p> <p>Čtyři řezné hrany (u jednostranné břitové destičky tohoto tvaru).</p>	<p>Oproti tvaru destičky s úhlem špičky 80° má tento tvar destičky větší sklon k vibracím a nutnost většího výkonu obráběcího stroje.</p> <p>Menší počet řezných hran v porovnání s kruhovým tvarem břitové destičky.</p>
	<p>Kruhový tvar destičky zajišťuje největší pevnost břitu při hrubování ze všech tvarů a také nejlepší odolnost břitu proti opotřebení při obrábění přerušovaným řezem.</p> <p>Další výhodou je možnost vícenásobného použití (pootočení) tohoto tvaru břitové destičky, oproti výše uvedeným tvarům.</p>	<p>Kvůli velkému úhlu opásání je tento tvar destičky nevhodný při použití u materiálů, které tvoří dlouhou třísku.</p> <p>V porovnání s výše uvedenými tvary jsou tyto tvary destiček typické pro velké sklony k vibracím a velkým požadavkům na výkon obráběcího stroje.</p>
<p>Výsledné rozhodnutí</p>	<p>Vzhledem k obráběnému materiálu, u kterého je typické, že při jeho soustružení vzniká dlouhá a tvarem nevyhovující tříska, se jeví jako výhodnější použití břitových destiček s úhlem špičky 90° nebo 80°. Tyto břitové destičky v porovnání s kruhovou břitovou destičkou, budou jistě utvářet vznikající třísku mnohem lépe, čímž se zamezí vzniku dlouhé třísky.</p>	

Tab. 20: Úvaha nad výběrem tvaru břitové destičky

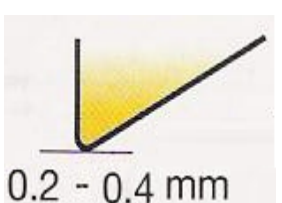
3.2.2 Volba poloměru špičky (r_ϵ) břitové destičky

Poloměr špičky je prvním místem kontaktu břitové destičky s materiálem obrobku. Poloměr špičky tvoří přechod mezi hlavním a vedlejším ostřím a představuje velmi důležitý faktor při obrábění, protože svou hodnotou poloměru ovlivňuje:



- posuv na otáčku (f_n)
- hloubku řezu (a_p)
- sklon k vibracím
- pevnost (stabilitu) břitové destičky
- kvalitu obrobeného povrchu
- lámání třísek
- trvanlivost břitu

Z tohoto důvodu je vhodné, určitou zvolenou hodnotu poloměry špičky při obrábění, pečlivě promyslet. Důležitou pomůckou pro výběr nejvhodnější hodnoty poloměru špičky je dobrá znalost prováděných operací s břitovou destičkou. V tomto případě se opět jedná o omezující podmínky, které jsou uvedeny v tab. 12.

V praxi se nejčastěji vyskytují hodnoty zaoblení špičky v rozmezí 0,2 – 2,4 mm. A právě z rozmezí těchto hodnot bude následně provedena úvaha, ze které vyplyne zvolení (s ohledem na způsob obrábění), nejvhodnějšího poloměru špičky břitové destičky (viz tab. 21).

Hodnota poloměru břitové destičky	Výhody	Nevýhody
 <p>0.2 - 0.4 mm</p>	<p>Takto zvolená břitová destička má výhodu v podobě velmi malého sklonu k vibracím při obrábění (při porovnání s většími hodnotami poloměru špiček).</p> <p>Touto břitovou destičkou je možno docílit velmi vysoké jakosti obrobeného povrchu.</p>	<p>Při zvolení poloměru špičky v tomto rozmezí dojde k podstatnému zmenšení pevnosti břitové destičky.</p> <p>Pevnost břitové destičky a trvanlivost břitu je malá (při porovnání s většími hodnotami poloměru špiček), proto lze tuto destičku použít pouze při dokončovacích operacích s použitím posuvu na otáčku (f_n) v rozmezí 0,1 – 0,3 mm/ot a hloubky řezu (a_p) do 1,5 mm.</p>

Tab. 21: Úvaha nad výběrem hodnoty poloměru špičky břitové destičky (1. část)

Hodnota poloměru břitové destičky	Výhody	Nevýhody
 <p>0.8 - 1.2 mm</p>	<p>Poloměr špičky 0,8 – 1,2 mm představuje určitý kompromis mezi ostatními hodnotami poloměrů špiček.</p> <p>Poloměr špičky v tomto rozmezí zajišťuje při obrábění dobrou pevnost břitové destičky a možnost posuvu na otáčku v rozsahu $f_n = 0,4 - 0,7$ mm/ot a hloubky řezu $a_p = 1,5 - 5$ mm.</p>	<p>Na druhou stranu je však potřeba počítat s vyššími vibracemi, než u menších hodnot poloměru špičky.</p>
 <p>1.6 - 2.4 mm</p>	<p>Velký poloměr špičky má za následek dosažení velké pevnosti břitové destičky (při porovnání s předcházejícími případy), z důvodu možnosti rozložení tlaku na větší plochu.</p> <p>Takto pevná břitová destička je schopna nasazení při těžkých hrubovacích operacích, kde hodnota hloubky řezu je v rozmezí $a_p = 5 - 15$ mm a posuv na otáčku (f_n) může být až 1 mm/ot.</p> <p>Trvanlivost takovéto břitové destičky je větší, než u předchozích poloměrů špičky (jelikož se teplo může rozložit a rozvést do větší plochy).</p>	<p>U takto velkého poloměru špičky bude zcela jistě docházet k větším vibracím a utváření třísky bude mnohem složitější (než u menších hodnot poloměrů špiček).</p> <p>Nutností je, aby celá soustava stroj – nástroj – obrobek, vykazovala dostatečně velkou tuhost.</p>
<p>Výsledné rozhodnutí</p>	<p>Vzhledem k tomu, že se jedná o hrubovací operace, je poloměr špičky 0,2 – 0,4 mm nevhodný (kvůli pevnosti břítu).</p> <p>Z hlediska špatné obrobitelnosti materiálu, ale také vzhledem k tomu, že jde o hrubovací operace, je poloměr špičky břitové destičky v rozmezí 0,8 – 1,2 mm nejvhodnější. Pro dosažení větší pevnosti a trvanlivosti břitové destičky, je zvolen poloměr špičky 1,2 mm.</p> <p>Jelikož při soustružení daného typu materiálu dochází ke vzniku dlouhé neutvářené třísky, není poloměr špičky 1,6 – 2,4 mm nejvhodnější (podporoval by tvorbu delších třísek).</p>	

Tab. 21: Úvaha nad výběrem hodnoty poloměru špičky břitové destičky (2. část)

Z výsledného rozhodnutí z tabulky 21, tedy vychází, že jako první volba (varianta) se použije poloměr špičky 1,2 mm. Pokud by se ale při soustružení objevily velké sklony k vibračním, nebo špatné lámání třísky, bylo by vhodné použít menší poloměr špičky (tedy 0,8 mm).

Dalším důležitým faktorem, který vede k lepšímu utváření třísky je dodržení větší hloubky řezu, než je hodnota poloměru špičky. V tomto případě je tato podmínka splněna, jelikož hloubka řezu při hrubování bude přibližně v rozmezí 4 – 5 mm, což je jednoznačně více, než je hodnota poloměru špičky 0,8 – 1,2 mm.

3.2.3 Volba jednostranné, či oboustranné břitové destičky

Jak již vyplývá z názvu kapitoly, břitová destička může být opatřena řeznými hranami na jedné straně, nebo obou stranách. V tab. 22 je uvedena úvaha nad oběmi možnostmi a výběr vhodnější varianty.

Typ destičky	Jednostranná břitová destička	Oboustranná břitová destička
Výhody	Zajišťuje při hrubování vyšší stabilitu destičky (jelikož druhá strana je bez geometrie, břitová destička je pevnější). Břitová destička může mít pozitivní i negativní úhel hřbetu.	Dvojnásobný počet řezných hran oproti jednostranné břitové destičce. Z toho plyne i celková vyšší životnost břitové destičky (neplatí však tvrzení, že bude také dvojnásobná životnost celé břitové destičky, jelikož má menší pevnost).
Nevýhody	Dvojnásobně menší počet řezných hran (oproti oboustranné břitové destičce).	Vzhledem k oboustrannému použití břitové destičky má menší stabilitu. Možnost poškození druhé strany břitové destičky během obrábění (vlivem otřesů a nárazů). Nemožnost pozitivního úhlu hřbetu.
Výsledné rozhodnutí	Vzhledem k tomu, že při obrábění daného materiálu se předpokládá trvanlivost jednoho břitu břitové destičky velmi malá (kolem 4 – 8 minut), je vhodné zvolit oboustrannou břitovou destičku, která bude mít dvojnásobný počet řezných hran oproti jednostranné břitové destičce.	

Tab. 22: Úvaha nad výběrem jednostranné či oboustranné břitové destičky

3.2.4 Volba geometrie břitové destičky

Geometrii břitové destičky je vhodné volit podle obráběného materiálu. Je tedy zapotřebí znalost jeho mechanických vlastností a také určitá zkušenost, či představa, jak se bude obráběný materiál při samotném obrábění chovat. Geometrie břitové destičky může být

negativní, či pozitivní. V kapitole 2.2.1 Dělení třísky, jsou uvedeny rozdíly mezi těmito dvěma způsoby geometrie a také uvedeny jejich obrázky (obr. 10 a 11).

Zvolení geometrie břitové destičky je třeba provést velmi pečlivě, jelikož správná volba geometrie břitové destičky pro daný obráběný materiál má zajistit následující podmínky při obrábění:

- maximální trvanlivost nástroje
- dostatečnou pevnost břitu
- klidný průběh obrábění (řezání)
- požadovanou přesnost a jakost obrobené plochy

Jelikož tyto zmíněné požadavky jsou v častých případech protichůdné, není jednoduché zvolit takovou geometrii, aby vyhověla všem těmto požadavkům. V tab. 23 je uvedena úvaha při výběru nejvhodnější geometrie pro daný případ soustružení materiálu.

<p>Popis problematiky u obráběného materiálu (jethete M152)</p>	<p>U tohoto materiálu dochází ke snadnému ulpívání materiálu na břitu a tvorbě nárůstku na hrotu (v oblasti sekundární plastické deformace). Dalším problémem je velké pěchování materiálu v oblasti primární plastické deformace.</p>
<p>Výběr geometrie břitové destičky (úhlu čela γ)</p>	<p>Při použití negativní geometrie by docházelo ke špatnému řezání materiálu a tím k ještě většímu pěchování třísky, což by mělo za negativní následek vznik velmi napěchované, dlouhé třísky.</p> <p>Z tohoto důvodu je nutné zvolit pozitivní úhel čela. Tím dojde k podstatně lepšímu (hladšímu) řezání a snadnějšímu lámání třísky. Další výhodou je snížení odporu, při vnikání břitové destičky do řezu.</p> <p>Nevýhoda u pozitivního úhlu čela je ve zmenšení (zeslabení) pevnosti břitu.</p>
<p>Výběr geometrie břitové destičky (úhlu hřbetu α)</p>	<p>Při zvolení pozitivní geometrie úhlu hřbetu dojde ke snížení pevnosti břitu a to tak, že čím bude úhel hřbetu větší, tím bude menší úhel břitu (tedy i menší pevnost celého břitu).</p> <p>Jelikož je při hrubování břit vystaven velkému tlaku, není tedy vhodné použití pozitivního úhlu hřbetu.</p> <p>Vhodnější je použití nulového úhlu hřbetu, čímž dojde k podstatnému navýšení pevnosti (tím tedy i trvanlivosti) břitu.</p> <p>Další podstatnou výhodou je možnost zvolení oboustranné břitové destičky, což by při použití pozitivního úhlu hřbetu nebylo možné.</p>
<p>Výsledné rozhodnutí</p>	<p>Jako nejvhodnější varianta geometrie břitové destičky pro daný případ obrábění, se jeví použití nulového úhlu hřbetu v kombinaci s pozitivním úhlem čela.</p>

Tab. 23: Úvaha nad geometrií břitové destičky

3.2.5 Výběr utvařeče třísky břitové destičky

Utvařeče třísky jsou vhodným řešením pro usměrňování a lámání třísky při soustružení. V případě soustružení daného materiálu (jethete M152), který má sklony vytvářet při soustružení dlouhé třísky, není o použití utvařeče třísky pochyb.

Na trhu je mnoho firem, které nabízejí „podle popisů utvařečů třísky“ ty nejlepší utvařeče třísky pro daný typ obráběného materiálu. Nastává tedy otázka, jak vybrat z tolika utvařečů třísky, právě ten nejvhodnější.



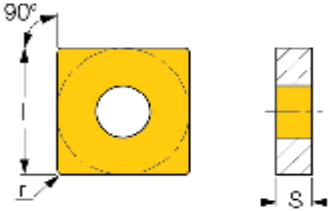
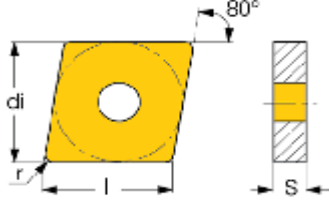
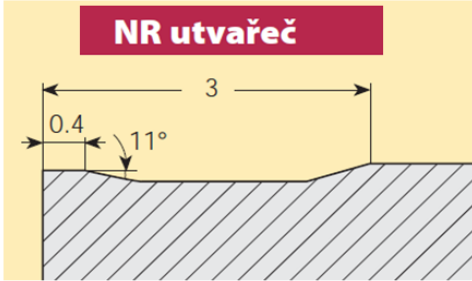
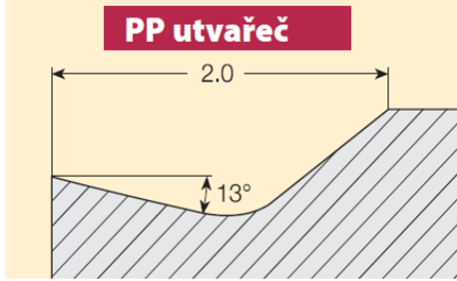
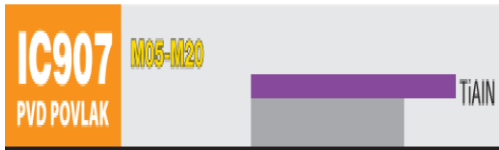

První možnou variantou je cesta pokus – omyl. Nebude – li vybraný utvařeč vyhovovat, použije se jiný. Tato varianta je však finančně i časové náročná.

Druhou variantou je co možná nejvíce zredukovat výběr utvařečů třísek podle: třídy obráběného materiálu, použití na přímo obráběný materiál, zda již byly provedeny pokusy s těmito utvařeči třísky na tomto (nebo podobném materiálu obrobku) a jaké měli výsledky. Tato varianta vyžaduje dostatek času, trpělivosti a také zkušenosti technologa, aby v konečném výstupu byl vybrán nejvhodnější utvařeč třísky.

Při výběru vhodného tvaru utvařeče třísky pro tento obráběný materiál, je nutné vycházet již ze zvolených kritérií u břitových destiček (úhel špičky břitové destičky bude 90° a 80° , úhel hřbetu je roven nule, úhel čela je pozitivní a řezný materiál je slinutý karbid), ale také z omezujících podmínek (viz tab. 12), z kterých vyplívá, že se jedná o hrubovací typ operací.

Navržení řezné hrany zvolených břitových destiček bylo proto provedeno tak, aby bylo dosaženo její nejvyšší stability. Rozdíl mezi oběma břitovými destičkami je jednak v geometrii, ale také v doporučených oblastech řezných podmínek. Jak je patrné z tab. 24, břitová destička typu SNMG 190612 – NR IC907 má navrženou řeznou hranu tak, aby pomocí fazetky o velikosti 0,4 mm bylo dosaženo ještě větší stability řezné hrany a tím také zvýšení trvanlivosti břitové destičky (tím, že se tlak na břit destičky může rozložit na větší plochu). Další výhodou tohoto typu břitové destičky (v porovnání s břitovou destičkou typu CNMG 190612 – PP IC807) je ve větším snášení přerušovaných řezů (vlivem fazetky). Nejnižší posuv na otáčku je s ohledem na velikost fazetky 0,4 mm/ot, jelikož je nutné dostat vznikající třísku až za fazetku.

Břitová destička typu CNMG 190612 – PP IC807 nemá fazetku (viz tab. 24), což zajistí snadnější lámání třísek a také výrazně menší odpor břitové destičky při vnikání do materiálu (vzhledem k její ostré řezné hraně) a také snížení řezných sil při soustružení, které je vhodné v případě takto špatně obrobitelného materiálu co nejvíce minimalizovat. Nižší řezné síly při obrábění zajistí i nižší energii na vznik třísky, což vede k nižší hodnotě teploty v oblasti řezu. Doporučené oblasti řezných podmínek tohoto typu břitové destičky, jsou s ohledem na ostrou řeznou hranu, menších hodnot.

Typ břitové destičky	SNMG 190612 – NR IC907	CNMG 190612 – PP IC807
Obrázek břitové destičky		
Parametry břitové destičky	 <p>$l = 19,05 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$</p> <p>$r = 1,2 \text{ mm}$</p>	 <p>$l = 19,30 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$</p> <p>$r = 1,2 \text{ mm}$ $d_i = 19,05 \text{ mm}$</p>
Řezné podmínky	<p>$a_p = 3 - 8 \text{ mm}$</p> <p>$f_n = 0,4 - 0,77 \text{ mm/ot}$</p>	<p>$a_p = 2 - 8 \text{ mm}$</p> <p>$f_n = 0,3 - 0,6 \text{ mm/ot}$</p>
Utvařeč třísky břitové destičky	 <p>NR utvařeč</p>	 <p>PP utvařeč</p>
Povlak břitové destičky	 <p>IC907 PVD POVLAK</p>	 <p>IC807 PVD POVLAK</p>

Tab. 24: Zvolené břitové destičky s utvařečem třísky [37]

3.2.6 Volba úhlu nastavení hlavního ostří (κ_r)

Jakým způsobem proniká břit nástroje do obrobku, závisí na úhlu nastavení hlavního ostří (jedná se o úhel mezi hlavním ostřím břitové destičky a směrem posuvu, viz obr. 19). Podrobnější popis úhlu nastavení hlavního ostří je již uveden v kapitole 2.2.3 Faktory ovlivňující utváření třísky. V této kapitole bude tedy provedena pouze úvaha nad jeho nejvhodnějším zvolením, protože tím lze ovlivnit:

- tvar vznikající třísky
- působení složek řezných sil
- délku řezné hrany v záběru
- operace, které lze daným nástrojem provádět

Při úvaze o hodnotě tohoto úhlu je zapotřebí vycházet ze zvoleného tvaru břitové destičky (viz kapitola 3.2.1 Výběr tvaru břitové destičky). Je třeba si uvědomit, že při úhlu nastavení hlavního ostří na 90° , bude tloušťka třísky rovna právě zvolenému posuvu na otáčku (viz obr. 19). Při nastavení menšího úhlu (pod 90°) se bude tloušťka třísky vzhledem k posuvu na otáčku zmenšovat.

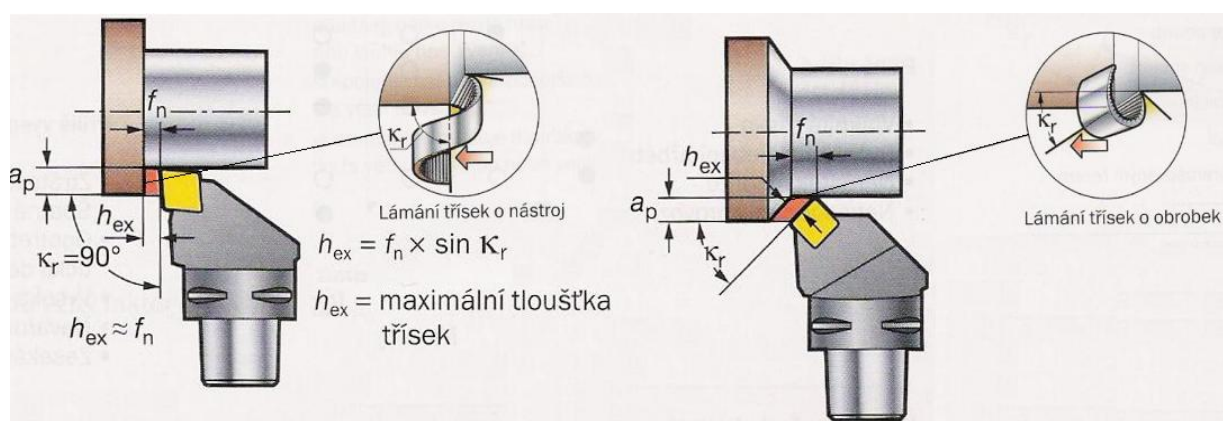
V tab. 25 je provedeno porovnání nastavení úhlu hlavního ostří ve třech rozmezích a poté zvolení nejvhodnějšího úhlu vzhledem ke zvoleným tvarům břitových destiček (viz tab. 20) a omezujících podmínek při obrábění (viz tab. 12). Vhodnou poznámkou je, že úhel nastavení hlavního ostří, určí typ (tvar) nožového držáku. Až konečným uložením břitové destičky do nožového držáku, je dosažen požadovaný úhel nastavení hlavního ostří.

Úhel nastavení hlavního ostří	Popis	
Malý (méně než 45°)	Příliš malý úhel nastavení pod 45° se používá velmi zřídka, např. kvůli tomu, že může způsobit snížení trvanlivosti břitu (protože je tříška příliš tenká). V tomto případě by také platilo, že čím je úhel nastavení menší, tím větší je i drsnost obrobené plochy, neboť malý úhel nastavení vedlejšího ostří by způsoboval velké stopy po obrábění.	
Střední ($75^\circ - 45^\circ$)	Výhody	Nevýhody
	Výhodou tohoto nastavení je, že břit při vstupu do materiálu (řezu) zabírá dále od špičky břitu, což má za následek vznik „měkčího“ začátku obrábění, bez značného rázového namáhání břitu (navíc tím je výrazně zvýšena trvanlivost břitu). Oproti většímu nastavení úhlu je v tomto případě dosaženo menšího zatížení břitu (vlivem zvětšení délky styku ostří s obráběným materiálem) a tím možnosti zvýšení hodnoty posuvu. Další výhodou je i větší rozložení tepla na větší plochu břitu – větší odvod tepla od ostří do tělesa nástroje, klesá tím teplota břitu a trvanlivost břitu se zvyšuje.	Nevýhodou je jistě omezení při soustružení vybrání s rohovým úhlem 90° a také sklony ke vznikům axiálních i radiálních sil (což může vést ke vzniku vibrací).

Tab. 25: Úvaha nad výběrem úhlu nastavení hlavního ostří (1. část)

Velký (90° - 75°)	Výhody	Nevýhody
	<p>Čím se bude úhel nastavení hlavního ostří zvětšovat, tím více se bude zvětšovat i axiální síla (radiální síla se bude naopak zmenšovat), až při úhlu nastavení 90° bude vznikat pouze axiální síla. Z toho plyne výhoda, že při působení pouze axiální síly (nebo jen malé radiální síly v porovnání s axiální silou) bude výsledná síla směřovat ke skličidlu a sklon k vibracím je tedy jednoznačně menší, než u středního úhlu nastavení.</p>	<p>Při zvětšování úhlu bude docházet ke stále vyšším řezným silám působícím při vstupu a výstupu z materiálu (z řezu). Tím bude klesat i trvanlivost nástroje. Složka axiální síly bude stále větší (radiální síly budou naopak stále menší), až při úhlu nastavení 90° budou působit pouze axiální síly (směrem ke skličidlu). Tím jsou sice velmi eliminovány sklony k vibracím, ale nastává velké tření mezi vedlejším břitem a obráběným materiálem, což způsobí snížení trvanlivosti bříty vlivem zvýšení tepla v okolí špičky bříty.</p>
<p>Výsledné rozhodnutí</p>	<p>Vzhledem k hrubovacím operacím a obráběním přerušovaným řezem, je nejvhodnější použít střední úhel nastavení hlavního ostří (75° - 45°). Díky tomuto úhlu nastavení bude vznikat tenčí tříška a zatížení se tedy rozdělí po větší délce bříty (tím se spotřebuje i méně energie na tvoření třísky).</p> <p>Nemožnost soustružit vybrání s rohovým úhlem 90° (při takto nastaveném úhlu hlavního ostří) nevádí, jelikož po hrubování bude následovat ještě dokončovací operace.</p> <p>Navíc možnost vyšší hodnoty posuvu (než v případě velkého úhlu nastavení) způsobí výrazný nárůst produktivity obrábění (zkrácení času obrábění a lepší využití bříty).</p> <p>Použití středního úhlu nastavení je velmi vhodné i z hlediska obráběného materiálu, který bude mít tvrdou povrchovou kůru (jelikož se jedná o výkovek). Je tedy vhodná velká pevnost bříty při prvním vstupním řezu.</p> <p>Zvolená hodnota úhlu nastavení hlavního ostří je 75°.</p>	

Tab. 25: Úvaha nad výběrem úhlu nastavení hlavního ostří (2. část)



Obr. 19: Vliv úhlu nastavení hlavního ostří na tloušťku třísky [38]

3.3 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek při obrábění je závislá na mnoho faktorech, které se týkají následných vlastností:

- řezného nástroje
- obráběcího stroje
- obráběného materiálu
- řezného prostředí

Vlastnosti řezného nástroje – zde je pro volbu řezných podmínek důležitý druh řezného materiálu a všechny parametry týkající se břitové destičky a nožového držáku (jelikož tuhost, velikost, tvar a vyložení nožového držáku též ovlivňuje volbu řezných podmínek).

Vlastnosti obráběcího stroje – konstrukce obráběcího stroje neudává technologovi pouze údaje o způsobu a možnostech obrábění a maximální možné velikosti (průměru) obrobku, ale ovlivňuje též řezné podmínky. Obráběcí stroj určený pro hrubovací operace při porovnání s obráběcím strojem pro dokončovací operace, se bude zcela jistě lišit např. příkonem elektromotorů, tuhostí konstrukce a velikostí základů stroje. Těmito faktory jsou ovlivněny řezné podmínky u obráběcích strojů a při volbě musí být tyto faktory brány v úvahu.

Vlastnosti obráběného materiálu – jde především o přesnost rozměrů, tvaru, drsnost obrobeného povrchu a ovlivnění povrchové vrstvy obrobené plochy. Např. při hrubovací operaci je na prvním místě snaha o dosažení co největšího úběru odebraného materiálu za jednotku času. V případě obrábění na čisto je ale kladen požadavek na dodržení předepsaných přesností rozměrů, tvarů a drsnosti. Je tedy zřejmé, že řezné podmínky budou u obou operací zcela odlišné.

Vlastnosti řezného prostředí – při obrábění daného materiálu vzniká v místě řezu velké množství tepla (vlivem malé tepelné vodivosti). Při obrábění s nasazením chlazení je možné snížit jednak toto teplo, ale také tření mezi nástrojem a obrobkem (což dovolí zvýšit řezné podmínky, viz tab. 26).

3.3.1 Zvolení řezných podmínek pro navrhnuté břitové destičky

V předchozí kapitole (3.3 Řezné podmínky), jsou zmíněny veškeré faktory, které byly brány v úvahu při sestavování (volení) řezných podmínek. Nutno dodat, že pro správnou volbu řezných podmínek, je důležité, postupovat v tomto pořadí:

1. zvolit hloubku řezu (a_p) pro daný břit
2. zvolit posuv na otáčku (f_n) v souladu s doporučenou oblastí použití pro daný břit (viz tab. 24)
3. určit řeznou rychlost (v_c) v souladu s přiřazením materiálu břitu k materiálu obrobku a příkonu obráběcího stroje

V tab. 26 jsou uvedeny řezné podmínky pro již dvě zvolené břitové destičky.

Hodnoty řezných podmínek pro hrubovací operace u materiálu jethete M152 pro stroj MORANDO		
Břítová destička	SNMG 190612 – NR IC907	CNMG 190612 – PP IC807
Řezné podmínky bez chlazení	$a_p = 4 \text{ mm}$ $f_n = 0,4 \text{ mm/ot}$ $v_c = 45 \text{ m/min}$	$a_p = 4 \text{ mm}$ $f_n = 0,35 \text{ mm/ot}$ $v_c = 50 \text{ m/min}$
Řezné podmínky při chlazení olejovou emulzí při objemu 25 – 20 l/min	$a_p = 4,5 \text{ mm}$ $f_n = 0,45 \text{ mm/ot}$ $v_c = 60 \text{ m/min}$	$a_p = 4,5 \text{ mm}$ $f_n = 0,4 \text{ mm/ot}$ $v_c = 65 \text{ m/min}$
Řezné podmínky při chlazení olejovou emulzí pod tlakem 70 bar	$a_p = 5 \text{ mm}$ $f_n = 0,55 \text{ mm/ot}$ $v_c = 85 \text{ m/min}$	$a_p = 4,5 \text{ mm}$ $f_n = 0,45 \text{ mm/ot}$ $v_c = 90 \text{ m/min}$

Tab. 26: Řezné podmínky pro vybrané břítové destičky

3.4 Volba druhu chlazení při obrábění

Při procesu obrábění se 98 – 95 % práce řezání přemění v teplo. Toto teplo má však negativní vliv na řezné vlastnosti nástroje (snižuje jeho trvanlivost) a u obrobku zhoršuje kvalitu obrobeneho povrchu. Z těchto důvodů je snaha o co největší odvod tohoto tepla z místa řezu.

U daného materiálu obrobku (jethete M152) je zvolení druhu chlazení potřeba zvážit velmi pečlivě, jelikož při hrubovacích operacích (při soustružení) bude vznikat velké množství tepla (850 – 750 °C) v místě řezu. Navíc malá tepelná vodivost tohoto materiálu, odvod tepla nijak nezlepšuje.

V tab. 27 jsou uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých druhů chlazení a následně uváženo, který způsob chlazení je nejvhodnější pro daný případ obrábění a druh obráběného materiálu.

Druh (způsob) chlazení	Výhody	Nevýhody
S minimálním množstvím maziva (MQL)	Snížení tření ve styčných plochách mezi břitem destičky a obrobkem, což má za následek zvýšení trvanlivosti břítové destičky. Snížení nákladů na chladicí kapalinu a žádné náklady na její likvidaci.	Pomocí systému MQL se dosáhne mazání pouze mezi břitem destičky a obrobkem (ve styčných plochách). Pouze velmi malé chlazení břítové destičky.
	Z důvodu potřeby snížení tepla v místě řezu není tento způsob chlazení vhodný.	

Tab. 27: Úvaha nad výběrem chlazení při obrábění (1. část)

Druh (způsob) chlazení	Výhody	Nevýhody
Bez chladicí kapaliny (za sucha)	<p>Finanční úspora v nákladech na chladicí kapalinu, její likvidaci a skladování.</p> <p>Zlepšení pracovního prostředí vlivem nevypařování výparů z chladicí kapaliny.</p>	<p>Při nechlazení dochází k dosažení vysokých teplot (850 – 750 °C) v místě řezu. Toto teplo má nepříznivý účinek na trvanlivost břitové destičky.</p> <p>Další nevýhodou při nechlazení je nastavení menších hodnot řezných podmínek, např. při porovnání s chlazením (viz tab. 26).</p>
<p>Nenasazení chlazení by tedy v tomto případě obrábění mělo být jen ve výjimečných situacích, jako např. při nefunkčnosti tlakového čerpadla, nebo jiného závažného problému.</p>		
Řezným olejem	<p>Řezné oleje mají dobrý mazací účinek a smáčivost. Tím dojde k vytvoření mazací vrstvičky ve styčných plochách, která sníží tření (mezi břitem destičky a obrobkem).</p>	<p>Nevýhodou tohoto způsobu chlazení je však menší chladicí účinek.</p> <p>Náklady na pořízení řezného oleje.</p> <p>Rozmazání řezného oleje po různých částech obráběcího stroje.</p>
<p>Vzhledem k potřebě snížení teploty v místě řezu, není tento způsob chlazení vhodný.</p>		
Vzduchem	<p>Oproti chlazení olejovou emulzí vzduch neznečišťuje pracovní prostředí svými výpary.</p> <p>Odstranění volně ležících třísek v okolí řezné zóny.</p>	<p>Při chlazení vzduchem nedochází k takovému snížení teploty v místě řezu, jako např. při porovnání s chlazením olejovou emulzí ve velkých objemech.</p> <p>Samotný vzduch nesníží tření mezi břitem destičky a obrobkem.</p> <p>V konečném součtu se při chlazení vzduchem dosáhne u břitové destičky ze slinutého karbidu pouze minimální prodloužení trvanlivosti.</p>
<p>Vzhledem k uvedeným nevýhodám není chlazení vzduchem v tomto případě vhodnou volbou.</p>		

Tab. 27: Úvaha nad výběrem chlazení při obrábění (2. část)

Druh (způsob) chlazení	Výhody	Nevýhody
Olejovou emulzí	<p>Při chlazení do místa řezu dojde ke snížení teploty z řezné oblasti, což má pozitivní následek ve zvýšení trvanlivosti břitové destičky.</p> <p>Snížení tření mezi břitem destičky a obrobkem, což má kladný vliv na zvýšení trvanlivosti břitové destičky.</p>	<p>Při chlazení olejovou emulzí je při obrábění tohoto materiálu nutnost dodržet chlazení (do místa řezu) v co největších objemech (minimálně 10 l/min). Pokud by došlo k situaci, že se do místa řezu dostane pouze malé množství kapaliny (např. vlivem špatného nastavení trysky, nebo by např. třísky bránily přívodu kapaliny), může dojít k popraskání materiálu (vlivem měnících se teplot), ale také ke vzniku tepelných šoků na břitu destičky.</p> <p>Při použití olejové emulze pod nízkým tlakem (do 10 bar) se při chlazení velká část přemění na páru (která má mnohem menší schopnost snížit tření v oblasti řezu a zchladit třísku, než kapalina). Navíc tato pára z olejové emulze znečišťuje pracovní prostředí svými výpary.</p> <p>Náklady spojené s nákupem chladicí kapaliny, její skladování a likvidace.</p>
	I přes výše uvedené nevýhody je tento druh chlazení vhodný (při chlazení ve velkých objemech a do místa řezu), jelikož dojde k ochlazení břitu destičky a také ke snížení tření mezi břitem a obrobkem.	
Použití pevných látek (grafit, lůj)	Nanesení pevné látky přesně na místo obrábění.	Při tomto způsobu dojde pouze k možnosti snížení tření mezi břitem destičky a obrobkem.
	Ochlazení v místě řezu je v tomto případě minimální, a proto není tento způsob chlazení vhodný.	

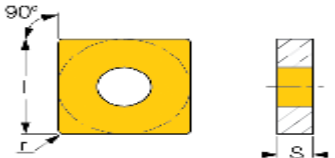
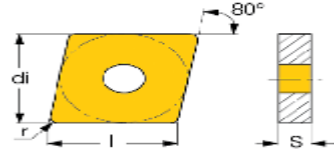

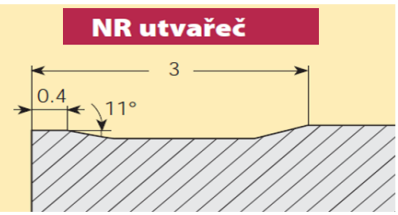
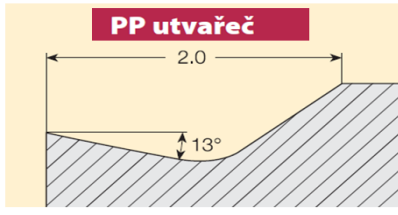
Tab. 27: Úvaha nad výběrem chlazení při obrábění (3. část)

Druh (způsob) chlazení	Výhody	Nevýhody
<p>Olejovou emulzí přivedenou pod vysokým tlakem (70 bar)</p>	<p>Jedná se o velmi účinný způsob chlazení, které navíc přináší mnoho výhod v podobě zvýšení trvanlivosti nástroje, pomoc při utváření třísky, snížení teploty v místě řezu a možnost zvýšení řezných podmínek (produktivity obrábění). Viz kap. 2.2.4 Řešení problému dlouhé a tvarem nevhodné třísky (str. 33).</p>	<p>Nevýhody tohoto způsobu chlazení jsou především ve finančním pořízení celého systému tlakového chlazení (minimálně 80 000 Kč) a také nákup nástrojových držáků, které umožní tlakového chlazení.</p> <p>Zvýšení spotřeby elektrické energie (využívání tlakového čerpadla).</p>
<p>Pokud finanční hospodaření firmy dovoluje nákup tohoto systému, je tento způsob chlazení velmi vhodný.</p>		
<p>Tekutým dusíkem</p>	<p>Vlivem podchlazení obrobku i nástroje nedochází při soustružení k vytvoření dlouhé třísky (i když je tento materiál typický pro své dlouhé třísky při soustružení).</p> <p>Zvýšení životnosti nástroje (vzhledem k jeho zvýšené tvrdosti).</p> <p>Snížení tření mezi nástrojem a obrobkem a také drsnosti povrchu.</p>	<p>Vysoké pořizovací náklady celého chladicího systému a další náklady spojené s jeho provozem.</p> <p>Nutnost odsávat a odvětrávat pracoviště.</p> <p>Dodržování přísných bezpečnostních pokynů, aby nedošlo k ohrožení zdraví obsluhy obráběcího stroje, nebo personálu.</p>
<p>Chlazení tekutým dusíkem je možné v tomto případě obrábění použít (pokud má firma dostatečné financování).</p>		
<p>Výsledné rozhodnutí</p>	<p>Chlazení olejovou emulzí, olejovou emulzí přivedenou pod vysokým tlakem (70 bar) a tekutým dusíkem jsou vhodné pro daný případ obrábění.</p> <p>Z těchto třech druhů chlazení je nejvhodnější chlazení olejovou emulzí přivedenou pod velkým tlakem (vzhledem k uvedeným výhodám).</p> <p>Pokud však firma nehodlá investovat peníze do výstavby celého systému tlakového chlazení, je poté nejvhodnější způsob chlazení olejovou emulzí.</p>	

Tab. 27: Úvaha nad výběrem chlazení při obrábění (4. část)

3.5 Závěrečné shrnutí

V tab. 28 jsou uvedeny zvolené břitové destičky spolu s jejich parametry, délce řezné podmínky a druh chlazení, které jsou na základě rozborů a analýz doporučeny jako nejvhodnější alternativy při soustružení materiálu jethete M152 pro firmu Precision Castparts CZ s.r.o.

	Zvolený druh	Kapitola
Řezný materiál	Břítová destička ze slinutého karbidu	3.1
Tvar břítové destičky	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>SNMG 190612 – NR IC907</p>  <p>$l = 19,05 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$ $r = 1,2 \text{ mm}$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>CNMG 190612 – PP IC 807</p>  <p>$l = 19,30 \text{ mm}$ $s = 6,35 \text{ mm}$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $d_i = 19,05 \text{ mm}$</p> </div> </div>	3.2.1
Poloměr špičky břítové destičky (r_ϵ)		3.2.2
Typ břítové destičky	Oboustranná břítová destička	3.2.3
Geometrie břítové destičky	Pozitivní úhel čela, nulový úhel hřbetu ($\alpha = 0^\circ$)	3.2.4
Utvařeč třísky břítové destičky	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>NR utvařeč</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>PP utvařeč</p>  </div> </div>	3.2.5
Úhel nastavení hlavního ostří (κ_r)	75°	3.2.6
Řezné podmínky	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>$a_p = 5 \text{ mm}$ $f_n = 0,55 \text{ mm/ot}$ $v_c = 85 \text{ m/min}$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>$a_p = 4,5 \text{ mm}$ $f_n = 0,45 \text{ mm/ot}$ $v_c = 90 \text{ m/min}$</p> </div> </div>	3.3.1
Způsob chlazení	Olejovou emulzí pod vysokým tlakem (70 bar)	3.4

Tab. 28: Doporučené alternativy při soustružení materiálu jethete M152

4. Testování řešení v PCC, příp. na ZČU

Vykonání celého experimentu mělo dle původního návrhu proběhnout ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o. Vzhledem k nepřetržitému provozu ve firmě nemohl však být tento návrh uskutečněn, jelikož vedení této firmy nechťelo narušovat nepřetržitý provoz kvůli ztrátě času z prostoje obráběcího stroje během celého experimentu.

V tomto případě se měl experiment uskutečnit na Západočeské univerzitě v Plzni v halových laboratořích KTO. Jelikož však v těchto halových laboratořích nebyl k dispozici žádný obráběcí stroj (soustruh), který by byl schopen upnout testovaný materiál (vzhledem k velkému průměru obrobku – 450mm, viz příloha III), musel být experiment proveden jako kooperace. Experiment byl následně proveden u soukromé kovoobráběcí firmy, Pavel Fořt.

4.1 Příprava experimentu

V této části kapitoly jsou uvedeny veškeré poznatky, které byly zaznamenány, nebo získány během zkušební soustružení testovaného materiálu. Jedná se tedy o typ obráběcího stroje, druh použitých břitových destiček spolu s nožovými držáky, zvolené řezné podmínky a způsob chlazení při obrábění.

4.1.1 Obráběcí stroj použitý při experimentu a výkres zkušební vzorku

Veškeré důležité parametry, které se týkají obráběcího stroje použitého při experimentu, jsou přehledně uvedeny ve strojní kartě (viz tab. v příloze II.).



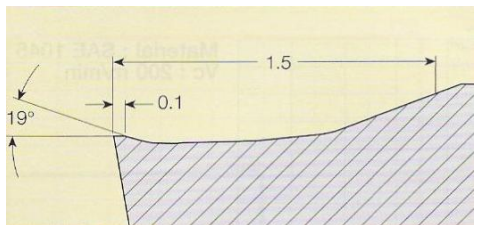

V příloze III. je uveden výkres zkušební vzorku, na kterém byly provedeny veškeré experimenty. Z výkresu je patrné, že se jedná o již popisovanou korozivzdornou ocel (jethete M152). Druhý materiál pro experiment hykro (EN40B) nebyl firmou Precision Castparts CZ s.r.o. dán k dispozici (z důvodu financí). Experiment byl proto proveden pouze na materiálu jethete M152. Materiál jethete M152 byl při experimentu obráběn v tepelně zpracovaném stavu (kaleno, popuštěno).

4.1.2 Břitové destičky a nožové držáky, nasazené při experimentu

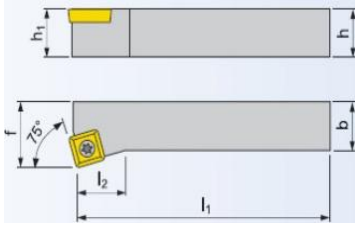
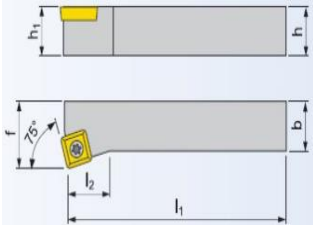
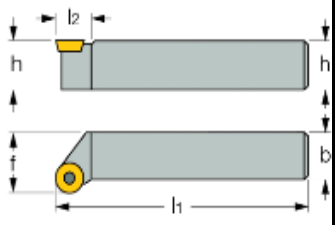
Při experimentálním soustružení materiálu byly použity tři druhy břitových destiček. Dvě břitové destičky byly použity podle provedení výběru břitových destiček dle kapitoly 3. „Návrh řešení na obráběcích strojích ve firmě“. Jedná se o břitové destičky SNMG 190612 – NR IC907 a CNMG 190612 – PP IC 807, jejichž parametry jsou uvedeny v tab. 24.

Třetím druhem břitové destičky, která byla použita, byla břitová destička RCMX 200700, kterou v současné době při obrábění (stejněho druhu materiálu) používá firma Precision Castparts CZ s.r.o. Její parametry jsou uvedeny v tab. 29.

Protože se jednalo o tři, tvarem rozdílné břitové destičky, musely být použity též tři druhy nožových držáků. Nožové držáky, které byly při experimentu použity, jsou přehledně uvedeny v tab. 30.

Typ břitové destičky	RCMX 200700
Obrázek břitové destičky	
Parametry břitové destičky	 <p>$d_i = 20 \text{ mm}$ $S = 7 \text{ mm}$ $d_1 = 6,5 \text{ mm}$</p>
Řezné podmínky	$a_p = 2,5 - 10 \text{ mm}$ $f_n = 0,1 - 0,8 \text{ mm/ot}$
Utvařec třísky břitové destičky	
Povlak břitové destičky	

Tab. 29: Parametry břitové destičky RCMX 200700 [39]

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			
Parametry nožového držáku	$h = h_1 = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_0 = \lambda_s = 0^\circ$ $\kappa_r = 75^\circ$	$h = h_1 = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_0 = \lambda_s = 0^\circ$ $\kappa_r = 75^\circ$	$h = b = 32 \text{ mm}$ $l_2 = 25 \text{ mm} \quad f = 40 \text{ mm}$ $l_1 = 170 \text{ mm}$ $\gamma_0 = \lambda_s = 0^\circ$
Vyložení nožového držáku z nožové hlavy	35 mm	35 mm	35 mm

Tab. 30: Nožové držáky použité při experimentu

4.1.3 Řezné podmínky a způsob chlazení při experimentu

Řezné podmínky zvolené při experimentu, byly stejné pro všechny tři druhy břitových destiček. Volba řezných podmínek, byla v tomto pořadí. Jako první byla zvolena hloubka řezu pro dané břity. Hodnota hloubky řezu $a_p = 3 \text{ mm}$ vyhověla všem třem břitovým destičkám s ohledem na jejich možné rozmezí hloubky řezu.

Poté byla zvolena hodnota posuvu. Minimální možný posuv na otáčku pro destičku SNMG 190612 – NR IC907, je $f_n = 0,4 \text{ mm/ot}$ (vzhledem k možnému rozmezí hodnot posuvu). Nejbližší vyšší možný posuv na otáčku na klasickém hrotovém soustruhu byl $f_n = 0,42 \text{ mm/ot}$. Jelikož hodnota posuvu na otáčku $f_n = 0,42$ vyhověla i zbylým dvěma břitovým destičkám s ohledem na jejich možné rozmezí hodnot posuvu, byla zvolena právě tato hodnota.

Jako poslední byla zvolena řezná rychlost. Ta byla zvolena v souladu s přiřazením materiálu břitu k materiálu obrobku, ale také především s ohledem k příkonu obráběcího stroje. Jelikož se jednalo o klasický hrotový soustruh s příkonem 3 kW, hodnota řezné rychlosti byla zvolena na $v_c = 53 \text{ m/min}$ (při otáčkách $n = 45 \text{ ot/min}$).

Volba druhu chlazení při experimentu vycházela z již provedené analýzy (viz tab. 27 z kapitoly 3.4 Volba druhu chlazení při obrábění). Jelikož nejvhodnější způsoby chlazení (olejovou emulzí pod vysokým tlakem, nebo tekutým dusíkem) nebylo možné vzhledem k omezeným možnostem použít, bylo použito chlazení olejovou emulzí. Použitý typ olejové emulze byl Blascut BC 25. Objem chlazení olejovou emulzí při obrábění byl mezi 1,5 – 2 l/min.

V tab. 31 jsou přehledně shrnuty hodnoty řezných podmínek a veškeré informace, které se týkají druhu chlazení při experimentu.

Typ břitové destičky	CNMG 190612 – PP IC 807	SNMG 190612 – NR IC907	CRNX 200700
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	Olejovou emulzí Blascut BC 25		
Objem chlazení	1,5 – 2 l/min		

Tab. 31: Řezné podmínky a způsob chlazení při experimentu

Závěrem nutno konstatovat, že zvolené řezné podmínky při experimentu nejsou shodné s řeznými podmínkami při obrábění ve firmě Precision Castparts s.r.o., z důvodu rozdílné tuhosti strojů.

4.2 Popis průběhu experimentu

Celý experiment byl proveden v halové dílně u soukromé kovoobráběcí firmy Pavel Fořt. Před začátkem celého experimentu, byly pečlivě vybrány parametry břitových destiček (viz kap. 3. Návrh řešení na vybraných obráběcích strojích ve firmě) a nožové držáky (viz tab. 30). Poté byl zvolen způsob chlazení a stanoveny řezné podmínky (viz tab. 31).

Vzhledem k součásti zkušebnímu materiálu (viz příloha III) a možnosti většího počtu zkušebních řezů, byl zvolen čelní způsob soustružení. Podélný způsob soustružení by vzhledem k použitému klasickému obráběcímu stroji nebyl možný (jelikož zkušební součást má nepravidelný tvar a vyžadovala by soustružení kopírováním povrchu). Zkušební součást byla upnuta v trojčelistovém univerzálním sklíčidlu za průměr 450 mm v délce 8 mm.

Celkem bylo při zkušebním experimentu provedeno dvanáct zkušebních řezů, se shodnými řeznými podmínkami uvedenými v tab. 31 (více řezů nebylo možné provést, vzhledem k tvaru zkušební součásti). S každou břitovou destičkou tedy byly provedeny čtyři zkušební řezy (při stejných řezných podmínkách). Pro využití možnosti porovnávat chování různých tvarů břitových destiček během procesu obrábění, byly nožové držáky jednotlivých druhů destiček rozměrově podobné a také všechny tři nožové držáky byly vyloženy z nožové hlavy o stejnou hodnotu (35 mm).

Při každém zkušebním řezu, pro všechny druhy břitových destiček, byly následně odebrány vytvořené třísky a to na začátku, uprostřed a na konci každého zkušebního řezu.

Začátek řezu začínal na průměru 374 mm a končil na průměru 272 mm. První oblast byla v rozsahu od 374 – 340 mm ($v_c = 58 - 48$ m/min), druhá oblast byla v rozsahu od 340 - 306 mm ($v_c = 48 - 43$ m/min) a třetí oblast byla v rozsahu od 306 – 272 mm ($v_c = 43 - 38,5$ m/min). Jelikož se jednalo o již zmiňované čelní soustružení, prováděné na klasickém hrotovém soustruhu (který nedisponoval plynulou regulací otáček), řezná rychlost se směrem ke středu zkušební součásti zmenšovala.

4.3 Výsledky z provedeného experimentu

Průběh celého experimentu a následné odebrání vytvořených třísek, byl proveden z důvodu následného vyhodnocení a rozboru vzniklých třísek. Výsledek experimentu má prokázat, která z použitých břitových destiček, s ohledem na daný obráběný materiál, nejlépe tvaruje a láme třísky na vhodnou délku a je tedy pro obrábění materiálu jethete M152 nejvhodnější.

4.3.1 Popis vyhodnocování výsledků získaných z experimentu

Třísky, které vznikly při experimentálním soustružení, byly podrobeny rozborům, pro získání informací o tvaru vznikající třísky. Jelikož nejdůležitějším zdrojem informací, pro vznik a oddělování třísky a veškerými jevy spojenými s obráběním, jsou v oblastech plastické a rozrušivé deformace, vyhodnocování vzniklých třísek bylo vedeno touto cestou.

Pro zjištění tvaru vzniklých třísek a koeficientu příčného pěchování v různých oblastech experimentu, musely být třísky z jednotlivých oblastí vzniku podrobeny následujícímu měření. Nejdříve se ze všech tří oblastí vybraly tři třísky, které představovali vznik třísek v těchto oblastech. Důvod k výběru tří třísek z jedné oblasti byl proveden z hlediska dosažení přesnějšího a naopak zamezení chybného měření. Z těchto třech vybraných třísek byly následně pomocí nůžek na kov odděleny malé části třísky, u kterých byla změřena pomocí třmenového mikrometru jejich tloušťka. Obdobným způsobem se naměřila tloušťka všech třísek pro jednotlivé oblasti soustružení. Veškeré hodnoty naměřených tloušťek třísek jsou uvedeny v tab. v příloze IV.

Aby bylo možné stanovit součinitel příčného pěchování třísky (který závisí na plastické deformaci), musela být vypočtena tloušťka odřezávané vrstvy. Tloušťka odřezávané vrstvy pro břitové destičky CNMG 190612 – PP IC 807 a SNMG 190612 – NR IC907 je uvedena v rov. 1 a pro břitovou destičku RCMX 200700 uvedena v rov. 2

$$\sin \kappa_r = \frac{a}{f_n} \Rightarrow a = f_n \cdot \sin \kappa_r = 0,42 \cdot \sin 75^\circ = 0,406 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \frac{\frac{D_i}{2} - a_p}{\frac{D_i}{2}} = \frac{\frac{20}{2} - 3}{\frac{20}{2}} = 0,7 \Rightarrow \varphi = 45,57^\circ$$

$$a = \sin \varphi \cdot f_n = \sin 45,57^\circ \cdot 0,42 = 0,286 \text{ mm} \quad (2)$$

a - tloušťka odřezávané vrstvy [mm]; D_i – průměr kruhové břitové destičky [mm]

κ_r - úhel nastavení hlavního ostří [°]; a_p – radiální hloubka třísky [mm]

f_n – posuv na otáčku [mm/ot]

Po zjištění hodnot tloušťek odřezávaných vrstev pro jednotlivé druhy břitových destiček, je již možné stanovit součinitel příčného pěchování třísky (viz rov. 3). Naměřené hodnoty tloušťky třísek (viz tab. v příloze IV.) byly vyděleny tloušťkou odřezávané vrstvy pro daný tvar břitové destičky a vypočtené hodnoty součinitele příčného pěchování třísky byly zaznamenány podle tvaru použité břitové destičky do tab. (viz příloha V).

$$K_a = \frac{a_1}{a} > 1 \quad [-] \quad (3)$$

K_a – součinitel příčného pěchování třísky [-]; a_1 – tloušťka třísky [mm]

Pro vyhodnocení intenzity deformace byl vypočten poměrný kluz (viz rov. 4), který je také závislý na plastické deformaci. Hodnoty poměrného kluzu jsou uvedeny v tab. v příloze VI. Nutno poznamenat, že hodnoty úhlu čela (γ) jsou pro každou břitovou destičku rozdílné. Pro CNMG 190612 – PP IC 807 je $\gamma = 13^\circ$, pro SNMG 190612 – NR IC907 je $\gamma = 11^\circ$ a pro RCMX 200700 je $\gamma = 17^\circ$.

$$\gamma_i = \frac{K^2 - 2 \cdot K \cdot \sin \gamma + 1}{K \cdot \cos \gamma} \quad [-]; K = K_a \quad (4)$$

γ_i – poměrný kluz [-]; γ – úhel čela [$^\circ$]

Pro stanovení jednotlivých tvarů třísek, které vznikly v jednotlivých oblastech soustružení, bylo nutné jednotlivé třísky z každé oblasti zvážit na vahách a z hustoty obráběného materiálu (V_m) a naměřením objemu třísek v měrném válci (V_t) stanovit objemový součinitel třísek. Podle hodnoty objemového součinitele třísek (W) se pak jednotlivé tvary třísek přiřadí do příslušné ISO třídy třísek.

Naměřené hodnoty objemů třísek v měrném válci a zjištěné hodnoty hmotnosti třísek jsou uvedeny v tab. v příloze VII. Z hlediska dosažení přesnějšího měření byl postup zjišťování objemu a hmotnosti třísek dvakrát zopakován.

Pro umožnění výpočtu objemového součinitele třísek (W) je potřeba stanovit objem (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly (V_m), viz rov. 5. Hmotnost třísek je již známá (viz tab. v příloze VII.) a hustota obráběného materiálu již byla zmíněna v tab. 3 (fyzikální vlastnosti materiálu jethete M152). Zjištěné hodnoty objemu (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly, jsou uvedeny v tab. v příloze VIII.

$$V_m = \frac{m}{\rho_m} \quad [dm^3] \quad (5)$$

V_m – objem (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly [dm^3]; m – hmotnost třísek [kg]

ρ_m – hustota obráběného materiálu [kg/dm^3]

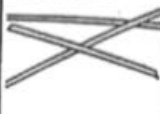









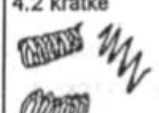



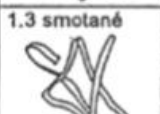
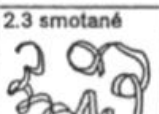
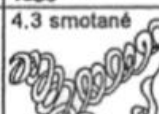
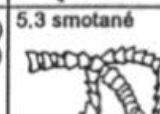
Výpočet objemového součinitele třísek je proveden podle rov. 6. Výsledky jsou zaznamenány v tab. v příloze VIII. V těchto tabulkách je také uvedeno, o jaký tvar třísky se na základě normy ISO 3685 jedná a také do jaké třídy tvary třísek patří.

$$W = \frac{V_t}{V_m} [-] \quad (6)$$

W – objemový součinitel třísek [-]

V_t – objem třísek volně nasypaných do odměrného válce [ml]

Na obr. 20 je uvedena tabulka, která znázorňuje tvary třísek dle ISO normy 3685 v 8 třídách a dalších podskupinách. V tab. 32 je uvedena velikost objemového součinitele třísek pro jednotlivé ISO třídy třísek.

1. Stružkové třísky	2. Vinuté třísky	3. spirálové třísky	4. vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité šroubovitě třísky	6. Obloukovité 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 třísky 
1.3 smotané 	2.3 smotané 		4.3 smotané 	5.3 smotané 		

Obr. 20: Tvary třísek dle ISO normy 3685 [40]

ISO třída	1,2	3,4	5	6,7	8
Hodnota objemového součinitele třísek (W)	$W \geq 90$	$W \geq 50$	$W \geq 25$	$W \geq 8$	$W \geq 3$

Tab. 32: Velikost objemového součinitele pro jednotlivé ISO třídy třísek [41]

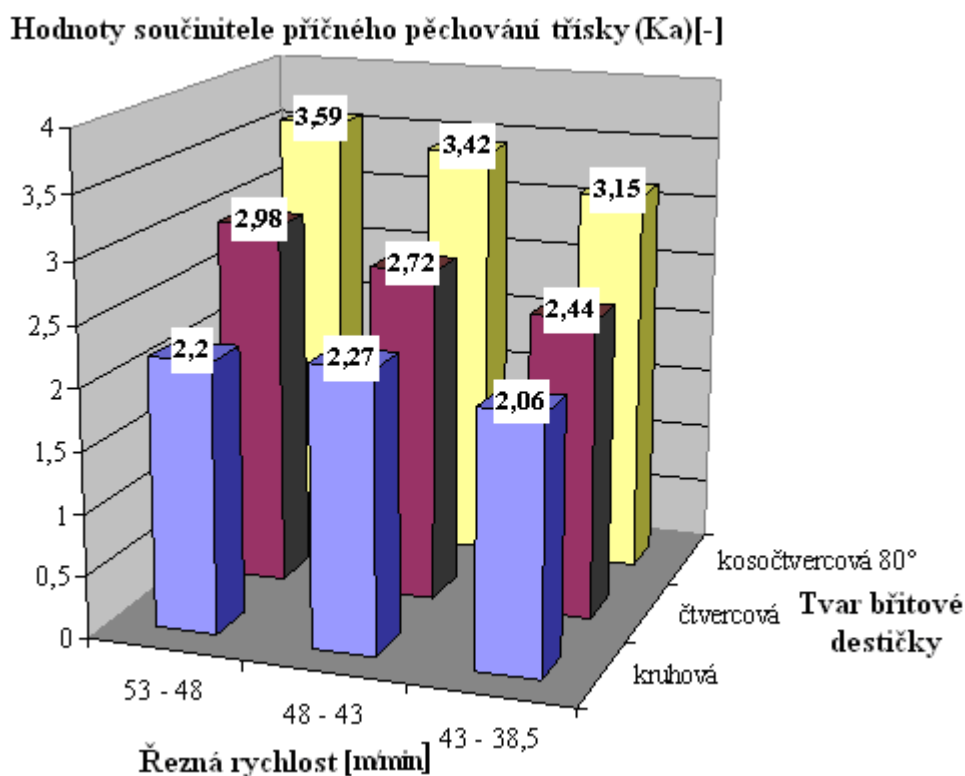
Na závěr této kapitoly jsou v tab. 33 uvedena veškerá použitá měřidla, která byla při vyhodnocování výsledků z experimentu použita. Veškeré měření bylo provedeno při teplotě 21,5 °C a 58 % vlhkosti vzduchu.

Název měřidla	Třmenový mikrometr s měřícím rozsahem 0-25mm s přesností 0,01mm	Laboratorní váhy	Měrný válec
Účel použití	Měření tloušťky třísek	Zvážení hmotnosti třísek	Zjištění objemu třísek

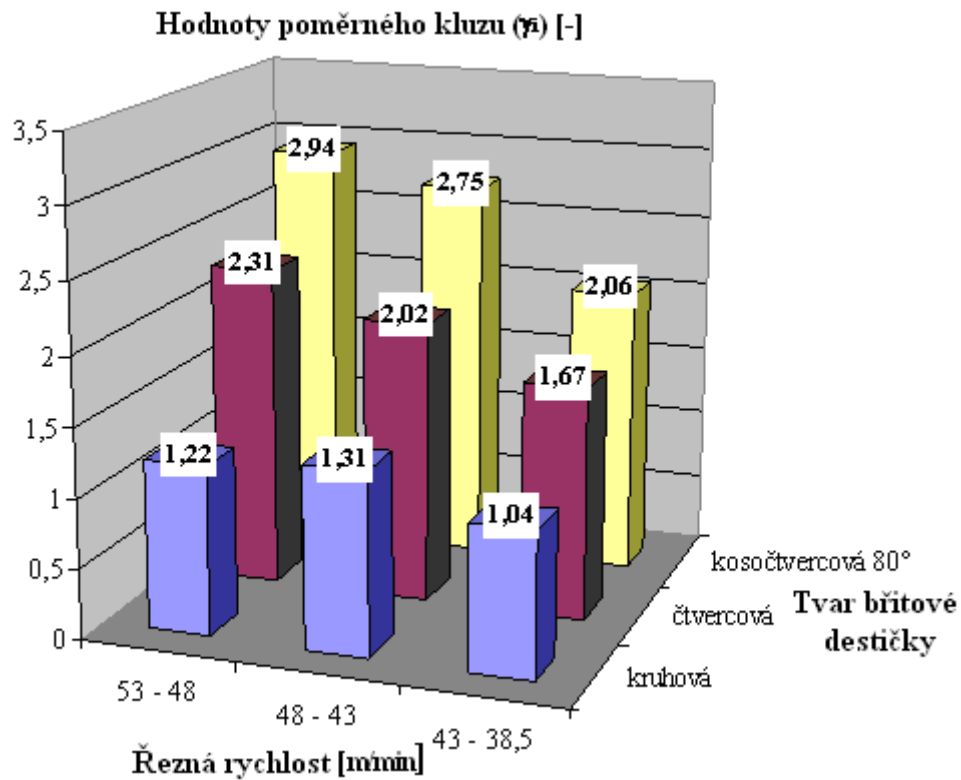
Tab. 33: Měřidla použitá při vyhodnocování výsledků z experimentu

4.3.2 Grafické znázornění výsledků z provedeného experimentu

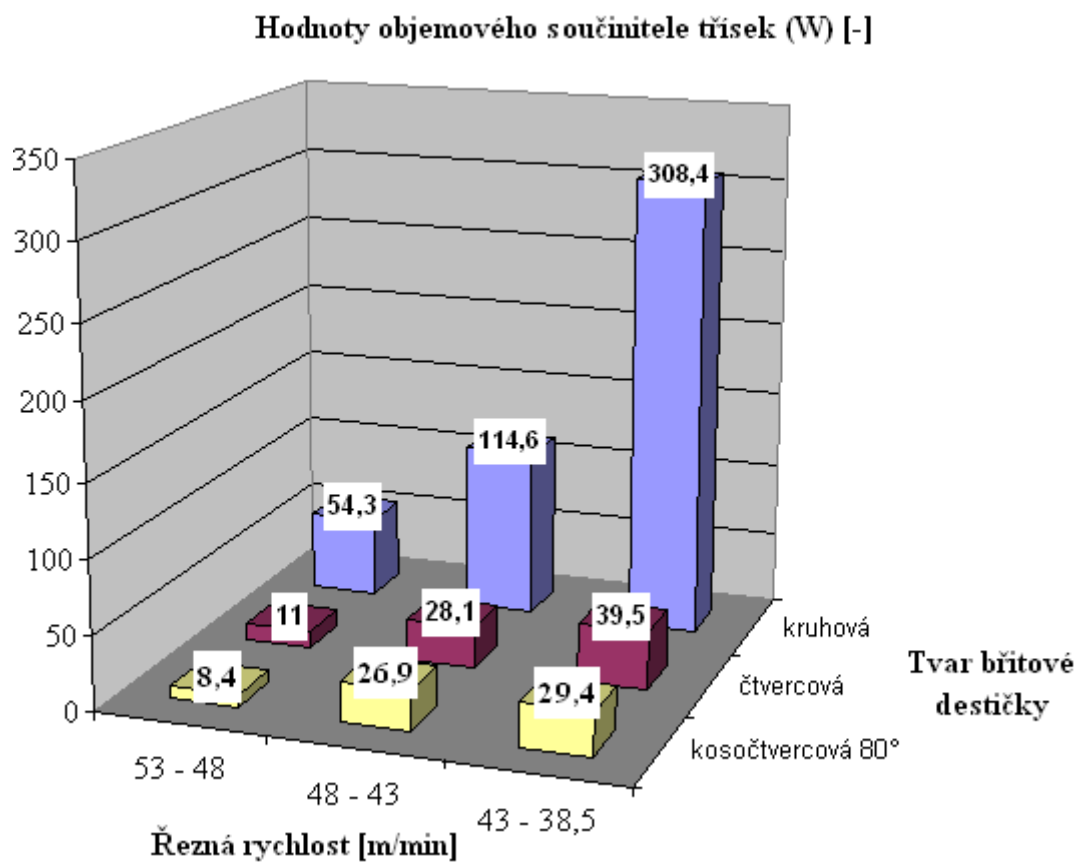
Pro lepší přehlednost zjištěných údajů a výsledků z provedeného experimentu, jsou jednotlivé důležité výsledky znázorněny pomocí grafu 1 až 3. V tab. 34 až 36 jsou znázorněny skutečné tvary vzniklých třísek při experimentu, dále jejich objemový součinitel a tvar třísky dle ISO normy 3685.



Graf 1: Zobrazení hodnot součinitele příčného pěchování třísky




Graf 2: Zobrazení hodnot poměrného kluzu




Graf 3: Zobrazení hodnot objemového součinitele

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. 34: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku CNMG 190612 – PP IC 807 (1. část)

Oblast hodnocení třísek	Použitá břitová destička CNMG 190612 – PP IC 807
Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	 <p>W = 29,4 ISO 5</p>



Tab. 34: 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>


Tab. 35: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku SNMG 190612 – NR IC907 (1. část)

<p>Druhá oblast (v_c = 48 - 43 m/min)</p>	 <p>W = 28,1 ISO 5</p>
<p>Třetí oblast (v_c = 43 – 38,5 m/min)</p>	 <p>W = 39,5 ISO 5</p>

Tab. 35: 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)	 <p>W = 54,3 ISO 4</p>
Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	 <p>W = 114,6 ISO 2</p>

Tab. 36: 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
Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	

Tab. 36: Objemový součinitel třísek a jejich zařazení dle ISO normy 3685 pro břitovou destičku RCMX 200700 (2. část)

4.4 Stanovení třídy obrobitelnosti materiálu jethete M152

Na základě znalosti chemického složení (viz tab. 2), mechanických vlastností materiálu (tvrdości a pevnosti, viz tab. 4), a stavu materiálu (kaleno, popuštěno), lze stanovit třídu obrobitelnosti materiálu jethete M152.

V tab. 37 je provedeno stanovení třídy obrobitelnosti pro materiál jethete M152. Veškeré nutné informace týkající se určení třídy obrobitelnosti byly získány z tabulek pro stanovování třídy obrobitelnosti (viz příloha IX.).

Materiálu jethete M152 byla dle tabulek pro stanovení třídy obrobitelnosti přiřazena třída obrobitelnosti 9b (viz tab. 37). Etalonový materiál této skupiny je ocel 12 050.1 (14b). Porovnáním materiálu jethete M152 s etalonovým materiálem této skupiny vychází, že materiál jethete M152 má horší obrobitelnost, než etalonový materiál (jelikož má materiál jethete M152 třídu obrobitelnosti 9b, tedy nižší číslo než má etalonový materiál).

Prvky z chemického složení	Konstanta Kcha1	Konstanta Kmh
Uhlík (C) = 0,14 – 0,12 %	1,28	1,25
Mangan (Mn) = 0,8 – 0,7 %	1,52	
Křemík (Si) = 0,2 – 0,15 %	0,34	
Chróm (Cr) = 12 – 11,7 %	1,7	
Nikl (Ni) = 2,75 – 2,5 %	0,58	
Vanad (V) = 0,33 – 0,3 %	0,1	
Molybden (Mo) = 1,8 – 1,7 %	0,69	
Součet hodnot	6,21	
Výpočet třídy obrobiteľnosti	$Kcha1 * Kmh = 6,21 * 1,25 = 7,76 \rightarrow 9b$	

Tab. 37: Stanovení třídy obrobiteľnosti u materiálu jethete M152

5. Technicko-ekonomické vyhodnocení

Technicko-ekonomické vyhodnocení bylo provedeno na třech břitových destičkách (z důvodu dodání jen jednoho druhu materiálu pro experiment a také z možnosti provedení pouze dvanácti zkušebních řezů z hlediska tvaru dodaného materiálu).

Technické vyhodnocení provedeného experimentu má za cíl stanovit, jaká z použitých břitových destiček je nejvhodnější z hlediska tvaru vzniklé třísky. Ekonomické vyhodnocení má za cíl určit, která z použitých břitových destiček je pro výrobu nejekonomičtější.

Pro stanovení technického vyhodnocení je vhodné vycházet z tab. 34 až 36, kde jsou uvedeny tvary vzniklých třísek a jejich hodnota objemového součinitele z hlediska tvaru použité břitové destičky. Z tab. 34 až 36 jasně vychází, že při použití zvolených břitových destiček CNMG 190612 – PP IC 807 a SNMG 190612 – NR IC907 vzniká vhodnější tvar třísky, než u břitové destičky RCMX 200700 (kterou v současné době používá firma Precision Castparts CZ s.r.o.). Z hlediska technického hodnocení tedy vyplývá, že tyto dvě břitové destičky jsou vhodné pro obrábění materiálu jethete M152.

Pro určení ekonomického vyhodnocení, je nutné za prvé zjistit hodnotu úběru materiálu za jednu minutu. Pro určení úběru materiálu za jednu minutu je nutné stanovit čas trvání jednoho přejezdu (viz rov. 7) a úběr odebraného materiálu při jednom přejezdu (viz rov. 8). Poté je již možné stanovit úběr materiálu za jednu minutu (viz rov. 9). Tento způsob výpočtu úběru materiálu za jednu minutu je použit z toho důvodu, že řezná rychlost není konstantní. (jednalo se o čelní soustružení a klasický hrotový soustruh nedisponoval plynulou regulací otáček).

Nyní je možné stanovit maximální možný úběr materiálu pro jednotlivé břitové destičky (viz rov 10 až 12).

$$t = \frac{l}{f_n \cdot n} = \frac{51}{0,42 \cdot 45} = 2,7 \text{ min} \quad (7)$$

t - délka soustružení jedné třísky [min]; l – délka obráběného povrchu [mm]

f_n – posuv na otáčku [mm/ot]; n – otáčky [ot/min]

$$U_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot a_p \cdot (d^2 - d_1^2) = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 3 \cdot (374^2 - 272^2) = 155,254 \text{ cm}^3/\text{přejezd} \quad (8)$$

U – úběr odebraného materiálu při jednom přejedu [$\text{cm}^3/\text{přejezd}$]; a_p – hloubka třísky [mm]
d – počáteční průměr soustružení [mm]; d_1 – konečný průměr soustružení [mm]

$$U = \frac{U_1}{t} = \frac{155,254}{2,7} = 57,501 \text{ cm}^3/\text{min} \quad (9)$$

V tab. 38 jsou uvedeny hodnoty trvanlivosti jednoho břitu pro konkrétní tvar břitové destičky. Kriteriační hodnota opotřebení byla stanovena na $VB = 0,8$ mm. Pro měření opotřebení břitové destičky byla použita lupa s průměrnou stupnicí (1 dílek = 0,1 mm) a pro zjištění času břitové destičky v záběru byly použity stopky.

Břítové destička	CNMG 190612 – PP IC 807	SNMG 190612 – NR IC907	RCMX 200700
Trvanlivost jednoho břítu (T) [min]	8,2	10,8	18,5

Tab. 38: Hodnoty trvanlivost jednoho břítu u různých druhů břítových destiček

$$U_C = U \cdot T_C \cdot p = 57,501 \cdot 8,2 \cdot 4 = 1886033 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

$$U_S = U \cdot T_S \cdot p = 57,501 \cdot 10,8 \cdot 8 = 4968086 \text{ cm}^3 \quad (11)$$

$$U_R = U \cdot T_R \cdot p = 57,501 \cdot 18,5 \cdot 7 = 7446380 \text{ cm}^3 \quad (12)$$

U_C - úběr materiálu pro břítovou destičku CNMG 190612 – PP IC 807 [cm³]

U_S - úběr materiálu pro břítovou destičku SNMG 190612 – NR IC907 [cm³]

U_R - úběr materiálu pro břítovou destičku RCMX 200700 [cm³]

U – úběr materiálu [cm³/min]

T_C – trvanlivost jednoho břítu břítové destičky CNMG 190612 – PP IC 807 [min]

T_S – trvanlivost jednoho břítu břítové destičky SNMG 190612 – NR IC907 [min]

T_R – trvanlivost jednoho břítu břítové destičky RCMX 200700 [min]

p – počet řezných hran břítové destičky

Pro zjištění, která z břítových destiček je při nasazení v reálné výrobě neekonomičtější, je potřeba uvést následné údaje. Firma Precision Castparts CZ s.r.o. používá při soustružení materiálu jethete M152 břítovou destičku RCMX 200700. Z důvodu zadíráání třísek v pracovním prostoru a v dopravnících stroje, však vznikají prostoje. Finanční vyčíslení těchto prostojeů na jeden kus součásti činní přibližně 733 Kč (viz tab. 39).

Hodinová sazba stroje MORANDO	Čas prostoje vlivem odstraňování třísek na jeden kus	Finanční ztráty z prostojeů na jeden kus
800 Kč/hod	0,916 hod/ks	733 Kč/ks

Tab. 39: Finanční vyčíslení ztráty z prostojeů na jeden kus

Jelikož se jedná o výrobu tvarem podobných součástí z tohoto materiálu, bude i hodnota úběru materiálu pro zhotovení součásti stejná (protože se jedná o výkovek, může se některé hodnoty minimálně lišit, čímž se však budou minimálně lišit i hodnoty úběru materiálu). Zjištěná hodnota úběru materiálu nutná pro úplné zhotovení součásti z materiálu jethete M152, je přibližně $U = 14509,631 \text{ cm}^3$.

S přihlédnutím k výsledkům provedeného experimentu vychází, že při použití břítových destiček CNMG 190612 – PP IC 807 a SNMG 190612 – NR IC907 dochází k vhodnému tvaru i délce třísky a tím k odstranění prostojeů při soustružení.

Při zhodnocení všech zjištěných a dopočtených údajů (viz tab. 40) vychází, že nejekonomičtější břitová destička při výrobě je břitová destička SNMG 190612 – NR IC907. Při použití této břitové destičky bude výroba jedné součásti levnější o 115 Kč, než u břitové destičky RCMX 200700, kterou v současné době firma používá. Břitová destička SNMG 190612 – NR IC907 je vhodná i z hlediska technického hodnocení.

Břitová destička	CNMG 190612 – PP IC 807	SNMG 190612 – NR IC907	RCMX 200700
Maximální úběr materiálu pro břitovou destičku [cm ³]	1886,033	4968,086	7446,380
Nutný úběr materiálu pro zhotovení součásti [cm ³]	14509,631		
Počet břitových destiček na zhotovení jedné součásti [ks]	7,69 → 8	2,92 → 3	1,94 → 2
Pořizovací náklady na břitovou destičku [Kč/ks]	268	274	102
Náklady na břitové destičky [Kč]	2320	822	204
Ztráty z prostojů vlivem odstraňování třísek [Kč/ks]	0	0	733
Celkové náklady (z hlediska použité břitové destičky) [Kč/ks]	2144	822	937

Tab. 40: Stanovení nákladů na výrobu jedné součásti z materiálu jethte M152 z hlediska použité břitové destičky

Závěrem k této kapitole nutno dodat, že veškeré potřebné informace o výrobním procesu (viz tab. 39 a 40), byly získány z konzultací s panem Tomášem Havlem, zaměstnancem firmy Precision Castparts CZ s.r.o.

6. Závěr

Experimentální program pro firmu Precision Castparts CZ s.r.o. byl zaměřen pouze na zkušební obrábění materiálu jethete M152 (druhý materiál hykro (EN40B) nebyl firmou dodán) s cílem dosažení vhodných tvarů a délek třísek při procesu soustružení. Naplnění tohoto cíle vyžadovalo rozsáhlou analýzu výběru vhodného nástroje, řezného prostředí, řezných podmínek a dalších parametrů, souvisejících s procesem soustružení. Dále bylo nutné zařadit obráběný materiál do příslušné třídy obrobitelnosti. Vzhledem k jeho chemickému složení a mechanickým vlastnostem, byl materiál jethete M152 zařazen do třídy obrobitelnosti 9b.

Výsledky z provedených analýz mimo jiné ukázaly, že vhodnými nástroji pro soustružení materiálu jsou břitové destičky CNMG 190612 – PP IC 807 a SNMG 190612 – NR IC907, které byly následně použity pro experiment.

Tyto dvě vybrané břitové destičky, doplnila břitová destička RCMX 200700, která je v současné době používána při soustružení materiálu jethete M152 firmou Precision Castparts CZ s.r.o. Experimentální program byl z důvodu nepřetržitého provozu firmy proveden jako kooperace u soukromé kovoobráběcí firmy, Pavel Fořt. Experiment byl proveden na reálném obrobku (tvaru i rozměrem, který firma vyrábí) a to na klasickém hrotovém soustruhu SU 50. Z důvodu odlišné tuhosti jednotlivých strojů, nemohly být dodrženy stejné řezné podmínky, jako ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.

Výsledky provedeného experimentu, který byly získány při řezných podmínkách (hloubka řezu $a_p = 3\text{ mm}$, posuv na otáčku $f_n = 0,42\text{ mm/ot}$ a řezné rychlosti $v_c = 53 - 38,5\text{ m/min}$) prokázal, že zvolené břitové destičky CNMG 190612 – PP IC 807 a SNMG 190612 – NR IC907 splnily cíle této diplomové práce a utvářely třísky na vhodný tvar i délku. Naopak břitová destička RCMX 200700 (která zastupuje současně používané břitové destičky ve firmě Precision Castparts CZ s.r.o.) měla ze všech použitých břitových destiček vzhledem k utváření třísky nejhorší výsledky, jelikož nedokázala utvářet třísky na potřebný vhodný tvar, ani délku.

Z výsledků technicko-ekonomického hodnocení vyplývá jednoznačně důležitý poznatek, že břitová destička SNMG 190612 – NR IC907 je při obrábění daného materiálu lepší volbou, než právě používaná břitová destička RCMX 200700, protože při použití břitové destičky RCMX 200700 dochází k tvorbě dlouhých a tvarem nevhodných třísek, které způsobují prostoje (z důvodu odstranění namotaných třísek z nástroje nebo pracovního prostoru a dopravníků třísek stroje). Při použití břitové destičky SNMG 190612 – NR IC907 dochází k vhodnému tvaru i délce třísky a tím k odstranění těchto nežádoucích prostojů a k navýšení produktivity obrábění.

Z konečného součtu nákladů na jeden kus vyráběného obrobku vyplývá, že je nejvhodnější použití právě této břitové destičky (SNMG 190612 – NR IC907), která oproti současně používané břitové destičce (RCMX 200700) zmenší náklady na výrobu jedné součásti o 115 Kč. Z tohoto důvodu vychází doporučení pro firmu Precision Castparts CZ s.r.o., v nahrazení současně používané břitové destičky RCMX 200700, vhodnější břitovou destičkou SNMG 190612 – NR IC907.

Použitá literatura

- [1] *Http://www.bohler.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-10-19]. Speciální materiály. Dostupné z WWW: <http://www.bohler.cz/czech/specialni_materialy_vyuziti.php#top>
- [2] *Http://www.vscht.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-11-17]. Fyzika kovů. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/studijni_materialy/fyzika_kovu/fyzika_kovu.pdf>
- [3] *Http://www.aubertduval.com* [online]. 2010 [cit. 2011-12-17]. A carburizing stainless steel for structural applications. Dostupné z WWW: <http://www.aubertduval.com/uploads/tx_obladydownload/105771_Brochure_CX13VD_Mars_2010.pdf>
- [4] *Http://www.euro-inox.org* [online]. 2002 [cit. 2011-11-12]. Stainless Steel Properties. Dostupné z WWW: <http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf>
- [5] *Http://www.ateam.zcu.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-11-12]. Korozivzdorné oceli 3. Dostupné z WWW: http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf
- [6] *Http://svanda.webz.cz* [online]. 2006 [cit. 2011-11-12]. Vliv legujících prvků na vlastnosti ocelí. Dostupné z WWW: <<http://svanda.webz.cz/vyuka/legury.htm>>
- [7] *Http://www.nanocon.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-11-12]. LEGOVÁNÍ AUSTENITICKÉ NEREZAVĚJÍCÍ OCELI SÍROU A MĚDÍ. Dostupné z WWW: <<http://www.nanocon.cz/data/metal2005/sbornik/papers/140.pdf>>
- [8] *Http://www.nerez.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-02-5]. NERREZOVÉ OCELI SE ZVÝŠENOU OBROBITELNOSTÍ. Dostupné z WWW: <http://www.nerez.cz/section.php?content=machining>>
- [9] *Http://www.aircraftmaterialsuk.com* [online]. 2001 [cit. 2011-10-20]. Data Sheet. Dostupné z WWW: <<http://www.aircraftmaterialsuk.com/data/alstst/JetheteM152.html>>
- [10] *Http://www.bohler.at* [online]. 1999 [cit. 2011-10-20]. BÖH LER T552 EX TRA. Dostupné z WWW: <<http://www.bohler.at/deutsch/files/downloads/T552DE.pdf>>
- [11] *Http://www.atimetals.com* [online]. 2005 [cit. 2011-10-20]. ATI Jethete M152. Dostupné z WWW: <<http://www.atimetals.com/allvac/pages/steel/UNSS64152.htm>>
- [12] *Http://www.bohler.at* [online]. 1999 [cit. 2011-10-21]. BÖH LER T552 EX TRA. Dostupné z WWW: <<http://www.bohler.at/deutsch/files/downloads/T552DE.pdf>>
- [13] *Http://www.ateam.zcu.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-11-12]. Korozivzdorné oceli 3. Dostupné z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf>
- [14] *Http://www.bohler.at* [online]. 1999 [cit. 2011-10-21]. BÖH LER T552 EX TRA. Dostupné z WWW: <<http://www.bohler.at/deutsch/files/downloads/T552DE.pdf>>
- [15] *Http://www.shelleysteels.co.uk* [online]. 2008 [cit. 2011-10-22]. SHEELLEY STEELS LTD. Dostupné z WWW: <<http://www.shelleysteels.co.uk/en40b.htm>>

- [16] *Http://www.dew-stahl.com* [online]. 08.2011 [cit. 2011-11-05]. Cr-Mo-legierter Nitrierstahl 1.8515 31CrMo12. Dostupné z WWW: <http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/Baustahl/1.8515_de.pdf>
- [17] *Http://www.shelleysteels.co.uk* [online]. 2008 [cit. 2011-10-22]. SHEELLEY STEELS LTD. Dostupné z WWW: <<http://www.shelleysteels.co.uk/en40b.htm>>
- [18] *Http://www.metalravne.com* [online]. 2011 [cit. 2011-10-27]. Steel 32CRMO12. Dostupné z WWW: <<http://www.metalravne.com/selector/steels/32CRMO12.html>>
- [19] *Http://www.shelleysteels.co.uk* [online]. 2008 [cit. 2011-10-22]. SHEELLEY STEELS LTD. Dostupné z WWW: <<http://www.shelleysteels.co.uk/en40b.htm>>
- [20] *Technická příručka obrábění*. Švédsko : Elanders, 2005. Utváření třísky, s. A6 až A8
- [21] *Příručka obrábění*. Praha : Scientia, 1997. Utváření třísky, s. I-8 až I-24
- [22] *Technická příručka obrábění*. Švédsko : Elanders, 2005. Utváření třísky, s. A6 až A8
- [23] *Příručka obrábění*. Praha : Scientia, 1997. Utváření třísky, s. I-8 až I-24
- [24] *Technická příručka obrábění*. Švédsko : Elanders, 2005. Utváření třísky, s. A10
- [25] *Technická příručka obrábění*. Švédsko : Elanders, 2010. Srovnání negativních a pozitivních břitových destiček, s. A13
- [26] *Http://www.techtydenik.cz* [online]. 2005 [cit. 2012-02-17]. ŘEZNÉ NÁSTROJE (6). Dostupné z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/reznenastroje.php?part=6>>
- [27] *Http://courseware.zcu.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-11-12]. Obrobitelnost austenitické ocele. Dostupné z WWW: <http://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007+OBROBITELNOST+AUSTENITICK%C3%89+OCELE+++podklad+k+p%C5%99edm%C4%9Btu+KTO/EMO&ct=clnk>
- [28] *Technická příručka*. Švédsko : Elanders, 2010. Poloměr hrotu ve vztahu k hloubce řezu, s. A17
- [29] *Technická příručka obrábění*. Švédsko : Elanders, 2005. Utváření třísky, s. A6 až A8
- [30] *Http://www.vutbr.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-11-12]. Záv. práce soubor veřejné.php. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=28725>
- [31] *Http://www2.coromant.sandvik.com* [online]. 2012 [cit. 2012-01-16]. UPICHOVÁNÍ A ZAPICHOVÁNÍ. Dostupné z WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/CZE/MTG_B.PDF>

- [32] *Http://www.mmspektrum.com* [online]. 2012 [cit. 2012-01-16]. Inovace ve výrobě leteckých komponent. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-ve-vyrobe-leteckych-komponent.html>>
- [33] *Technická příručka*. Švédsko : Elanders, 2010. Systém přívodu řezné kapaliny CoroTurn HP, s. A23
- [34] *Technická příručka*. Švédsko : Elanders, 2010. Systém CoroTurn HP, s. A124
- [35] *Http://www.secotools.com* [online]. 2012 [cit. 2012-01-16]. JESTREAM TOOLING. Dostupné z WWW: <http://www.secotools.com/CorpWeb/north_america/Literature_brochures/Brochure/Custom%20Tooling.pdf>
- [36] *Http://www.ininet.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-02-24]. Kryogenní chlazení při obrábění. Dostupné z WWW: <http://www.ininet.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=44:kryogenni-chlazení-pri-obrabeni&catid=7:clanky&Itemid=14>
- [37] *Komplete machining solutions*. United Kingdom : Birmingham, 2008. ISO turbíny tools, s. C1 – C138
- [38] *Technická příručka*. Švédsko : Elanders, 2010. Tloušťka třísky, s. A11
- [39] *Komplete machining solutions*. United Kingdom : Birmingham, 2008. ISO turbíny tools, s. C1 – C138
- [40] *Http://courseware.zcu.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-04-12]. Obrobitelnost austenitické ocele. Dostupné z WWW: <http://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007+OBROBITELNOST+AUSTENITICK%C3%89+OCELE+++podklad+k+p%C5%99edm%C4%9Btu+KTO/EMO&ct=clnk>
- [41] *Http://courseware.zcu.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-04-12]. Obrobitelnost austenitické ocele. Dostupné z WWW: <http://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007+OBROBITELNOST+AUSTENITICK%C3%89+OCELE+++podklad+k+p%C5%99edm%C4%9Btu+KTO/EMO&ct=clnk>
- [42] *FEDERÁLNÍ MINISTERSTVO HUTNICTVÍ A STROJÍRENSTVÍ*, Obrobitelnost materiálů I. Díl, OP ŠKODA PLZEŇ, Československá socialistická republika. Celostátní normativ CNN 10-0-1/II, Praha 1977

Přílohy


Seznam příloh

I. Strojní karta obráběcí stroje použitého	I
II. Strojní karta obráběcí stroje použitého při experimentech	II
III. Výkres zkušebního vzorku pro obrábění.....	III
IV. Naměřené hodnoty tloušťek třísek	IV
V. Vypočtené hodnoty součinitele příčného pěchování třísky.....	V
VI. Vypočtené hodnoty poměrného kluzu	VI
VII. Zjištěné hodnoty objemů a hmotnosti třísek.....	VII
VIII. Výpočet objemového součinitele třísek	IX
IX. Tabulky pro stanovení třídy obrobiteľnosti	XI

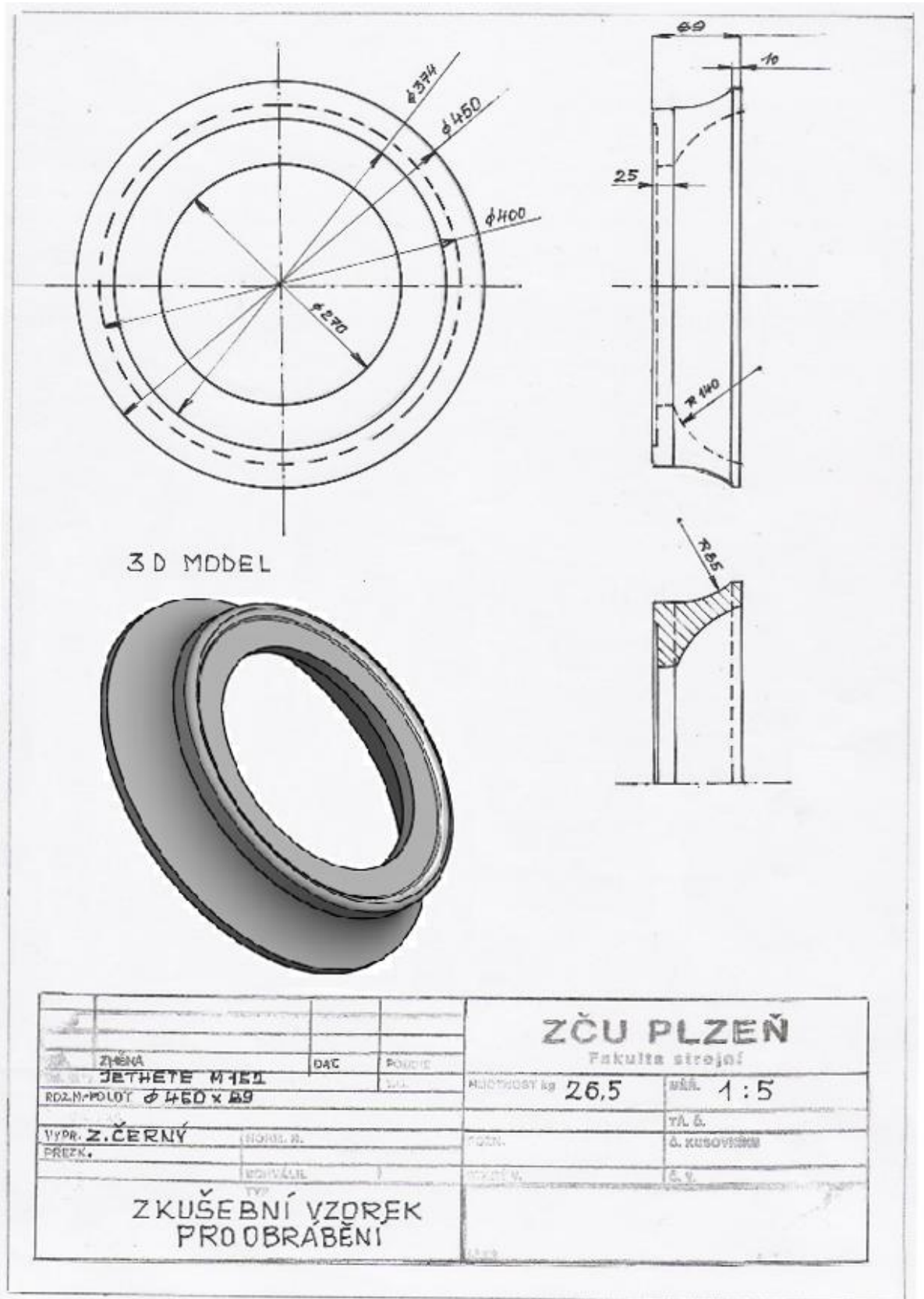
I. Strojní karta obráběcí stroje použitého

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			

II. Strojní karta obráběcí stroje použitého při experimentech

ZČU	FAKULTA STROJNÍ KTO		List č. 2.
STROJNÍ KARTA			
STROJ	Hrotový soustruh		TYP SU 50
ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	Ruční		ROK VÝROBY 1969
HLAVNÍ PRACOVNÍ PARAMETRY STROJE	Počet os		2
	Rozsah otáček vřetena		11,2 – 1400 ot/min
	Maximální točný průměr nad <i>ložem / suportem</i>		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 <i>otáček vřetena / posuvu</i>		22 / 87
	Hodnota <i>podélného / příčného</i> posuvu		0,027 – 3,8 / 0,013 – 1,9 mm/ot
	Vodící šroub – průměr x stoupání		50 x 12 mm
	Výkon hlavního <i>elektromotoru / elektromotoru posuvu</i>		11 / 0,55 kW
Příkon		3 kW	
PŮDORYSNÝ ROZMĚR	3400 mm x 1180 mm		VÝROBCE TOS Lipník nad Bečvou
HMOTNOST	2900 Kg		
OBRÁZEK			

III. Výkres zkušební vzorku pro obrábění



IV. Naměřené hodnoty tloušťek třísek

Použitá břitová destička		CNMG 190612 – PP IC 807	
Řezné podmínky		$a_p = 3 \text{ mm}$ $f_n = 0,42 \text{ mm/ot}$ $\kappa_r = 75^\circ$	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ - $38,5 \text{ m/min}$)
Tloušťka třísek [mm]	1,5	1,45	1,31
	1,49	1,38	1,28
	1,39	1,34	1,25

Použitá břitová destička		SNMG 190612 – NR IC907	
Řezné podmínky		$a_p = 3 \text{ mm}$ $f_n = 0,42 \text{ mm/ot}$ $\kappa_r = 75^\circ$	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ - $38,5 \text{ m/min}$)
Tloušťka třísek [mm]	1,25	1,13	1,02
	1,24	1,12	0,98
	1,14	1,08	0,97

Použitá břitová destička		RCMX 200700	
Řezné podmínky		$a_p = 3 \text{ mm}$ $f_n = 0,42 \text{ mm/ot}$	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ - $38,5 \text{ m/min}$)
Tloušťka třísek [mm]	0,66	0,68	0,64
	0,63	0,68	0,59
	0,60	0,59	0,54

V. Vypočtené hodnoty součinitele příčného pýchování třísky

Použitá břitová destička		CNMG 190612 – PP IC 807		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty součinitele příčného pýchování třísky (K_a) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	3,69	3,67	3,42	3,59
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	3,57	3,40	3,3	3,42
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	3,23	3,15	3,08	3,15

Použitá břitová destička		SNMG 190612 – NR IC907		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty součinitele příčného pýchování třísky (K_a) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	3,08	3,05	2,81	2,98
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	2,78	2,76	2,66	2,73
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	2,51	2,41	2,39	2,44

Použitá břitová destička		RCMX 200700		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty součinitele příčného pýchování třísky (K_a) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	2,10	2,31	2,20	2,20
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	2,38	2,38	2,06	2,27
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	2,24	2,06	1,89	2,06

VI. Vypočtené hodnoty poměrného kluzu

Použitá břitová destička		CNMG 190612 – PP IC 807		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty poměrného kluzu (γ_i) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	3,05	3,03	2,75	2,94
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	2,91	2,73	2,61	2,75
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	2,54	2,45	2,37	2,45

Použitá břitová destička		SNMG 190612 – NR IC907		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty poměrného kluzu (γ_i) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	2,42	2,38	2,11	2,31
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	2,08	2,05	1,94	2,02
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	1,76	1,64	1,62	1,67

Použitá břitová destička		RCMX 200700		
Oblast vyhodnocování třísek	Hodnoty poměrného kluzu (γ_i) [-]			Průměrná hodnota
První ($v_c = 53 - 48$ m/min)	1,35	1,21	1,09	1,22
Druhá ($v_c = 48 - 43$ m/min)	1,44	1,44	1,04	1,31
Třetí ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)	1,26	1,04	0,81	1,04

VII. Zjištěné hodnoty objemů a hmotnosti třísek

Použitá břitová destička		CNMG 190612 – PP IC 807		
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ – 38,5 m/min)	
Objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	45	190	90	
	25	145	55	
Průměrná hodnota	35	167,5	72,5	
Hmotnost třísek [g]	40,191	54,231	23,423	
	24,081	47,771	14,488	
Průměrná hodnota	32,136	48,001	18,956	

Použitá břitová destička		SNMG 190612 – NR IC907		
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ – 38,5 m/min)	
Objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	25	120	150	
	15	59	65	
Průměrná hodnota	20	89,5	107,5	
Hmotnost třísek [g]	16,706	31,957	30,379	
	11,292	17,103	11,533	
Průměrná hodnota	13,999	24,530	20,956	

Použitá břitová destička		RCMX 200700	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53$ - 48 m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48$ - 43 m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43$ - 38,5 m/min)
Objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	360	150	490
	200	100	410
Průměrná hodnota	280	125	450
Hmotnost třísek [g]	44,551	10,408	15,713
	34,821	6,398	6,762
Průměrná hodnota	39,686	8,403	11,238

VIII. Výpočet objemového součinitele třísek

Použitá břitová destička		CNMG 190612 – PP IC 807	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)
Průměrný objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	35	167,5	72,5
Objem (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly (V_m) [cm ³]	4,174	6,234	2,462
W – objemový součinitel třísek [-]	8,4	26,9	29,4
Tvar třísky dle ISO normy 3685	ISO třída 6 – obloukovitá dělená tříška	ISO třída 5 – kuželovitá šroubovitá krátká tříška	ISO třída 5 – kuželovitá šroubovitá krátká tříška

Použitá břitová destička		SNMG 190612 – NR IC907	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)
Průměrný objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	20	89,5	107,5
Objem (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly (V_m) [cm ³]	1,818	3,186	2,722
W – objemový součinitel třísek [-]	11	28,1	39,5
Tvar třísky dle ISO 3685	ISO třída 6 – obloukovitá dělená tříška	ISO třída 5 – kuželovitá šroubovitá dlouhá tříška	ISO třída 5 – kuželovitá šroubovitá dlouhá tříška

Použitá břitová destička		RCMX 200700	
Oblast odběru třísek	První oblast ($v_c = 53 - 48$ m/min)	Druhá oblast ($v_c = 48 - 43$ m/min)	Třetí oblast ($v_c = 43 - 38,5$ m/min)
Průměrný objem třísek v měrném válci (V_t) [ml]	280	125	450
Objem (hutného) materiálu z kterého třísky vznikly (V_m) [cm ³]	5,154	1,091	1,459
W – objemový součinitel třísek [-]	54,3	114,6	308,4
Tvar třísky dle ISO 3685	ISO třída 4 – vlnitá šroubovitá krátká tříska	ISO třída 2 – vinutá dlouhá tříska	ISO třída 2 – vinutá dlouhá tříska

IX. Tabulky pro stanovení třídy obrobitelnosti

STROJÍRENSTVÍ Normativy		OCELI třída 10 - 19, 26 - 29						Tabulka číslo: 1 a							
OBRÁBĚNÍ		- konstanty Kchs 1													
% prvků	C	Mn	Si	Cr	V	Co	Al Ta Nb -Cu	% prvků	Mn	Si	Cr	V	Co	Al Ta Nb -Cu	
	N		Ti	Ni	W	Mo				Ti	Ni	W			
Kchs 1								Kchs 1							
0,10	0,40	0,85	0,23	0,10	0,10	0,10	0,15	3,60		3,30	0,73	0,43	1,10	2,20	
0,12	0,30	0,82	0,26	0,10	0,10	0,12	0,17	3,70		3,37	0,75	0,43	1,12	2,25	
0,14	0,25	0,80	0,29	0,10	0,10	0,13	0,19	3,80		3,45	0,76	0,44	1,14	2,30	
0,16	0,18	0,78	0,32	0,10	0,10	0,14	0,21	3,90		3,52	0,77	0,45	1,17	2,35	
0,18	0,12	0,76	0,35	0,10	0,10	0,15	0,23	4,00		3,60	0,79	0,46	1,20	2,40	
0,20	0,08	0,74	0,38	0,10	0,10	0,16	0,25	4,20		3,70	0,81	0,48	1,24	2,48	
0,22	0,05	0,72	0,40	0,11	0,10	0,17	0,27	4,40		3,80	0,84	0,50	1,28	2,56	
0,24	0,02	0,74	0,43	0,11	0,10	0,19	0,29	4,60		3,90	0,87	0,51	1,32	2,64	
0,26	0,02	0,76	0,46	0,12	0,10	0,20	0,31	4,80		4,00	0,90	0,52	1,36	2,72	
0,28	0,07	0,78	0,49	0,12	0,10	0,21	0,32	5,00		4,15	0,92	0,53	1,40	2,80	
0,30	0,13	0,82	0,52	0,13	0,10	0,22	0,34	5,50		4,40	0,98	0,55	1,50	3,00	
0,35	0,26	0,88	0,57	0,14	0,11	0,24	0,38	6,00		4,80	1,04	0,58	1,65	3,20	
0,40	0,40	0,95	0,62	0,15	0,11	0,26	0,42	6,50		5,10	1,09	0,61	1,75	3,40	
0,45	0,53	1,05	0,67	0,16	0,12	0,28	0,45	7,00		5,40	1,16	0,64	1,90	3,60	
0,50	0,67	1,15	0,74	0,18	0,13	0,30	0,50	7,50		5,70	1,22	0,67	2,00	3,80	
0,55	0,75	1,22	0,80	0,19	0,14	0,31	0,53	8,00		6,00	1,28	0,70	2,12	4,00	
0,60	0,87	1,30	0,86	0,21	0,15	0,33	0,57	8,50		6,25	1,34	0,72	2,25	4,20	
0,65	2,00	1,37	0,91	0,22	0,16	0,35	0,60	9,00	9,20	6,50	1,40	0,75	2,35	4,40	
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	4,55	
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	9,50	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				

[42]

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 - Kmh tab.B- oceli zušlechtěné nebo kalené - Kmh tab.C- skupiny obrábělnosti					
A. Ocel přírodní nebo žíhaná				B. Ocel zušlechtěná nebo kalená			
A1.-soustruž.,hoblování,obrážení				B1.-soustružení, hoblování, obrážení, frézování, vrtání			
Tvrdoost - pevnost				Materiál			
				Z ₁	Z ₂	Z ₄	
HV	HB	MPa	kp/mm ²	Kmh			
121	115	400	41	0,68			
126	121	420	43	0,66			
135	127	440	45	0,64	0,64		
144	138	480	48	0,63	0,63		
153	149	520	52	0,62	0,62	0,75	
170	166	580	59	0,61	0,70	0,82	
182	178	620	63	0,64	0,75	0,87	
193	189	660	67	0,68	0,80	0,93	
204	200	700	71	0,72	0,85	0,97	
214	212	740	75	0,77	0,90	1,02	
226	224	780	79	0,82	0,94	1,07	
237	235	820	84	0,87	0,98	1,11	
248	246	860	88	0,95	1,03	1,16	
258	259	900	92	1,00	1,08	1,20	
271	271	940	96	1,05	1,13	1,24	
282	282	980	100	1,10	1,18	1,28	
293	293	1020	104	1,15	1,24	1,32	
303	304	1060	108	1,20	1,30	1,36	
315	315	1100	112	1,26	1,34	1,40	
325	327	1140	116	1,32	1,38	1,45	
339	338	1180	120	1,38	1,42	1,50	
349	350	1220	124	1,44	1,48	1,55	
360	363	1260	128	1,50	1,54	1,60	
370	370	1294	132	1,55	1,60	1,65	
380	380	1320	135	1,60	1,65	1,68	
390	390	1360	139	1,65	1,68	1,72	
400	400	1390	142	1,70	1,72	1,75	
410	410	1430	146	1,75	1,76	1,77	
420	420	1470	150	1,80	1,80	1,80	
195	180	600	61	0,70	0,80	0,93	
210	196	650	66	0,76	0,87	1,00	
227	212	700	71	0,83	0,95	1,06	
243	228	750	76	0,92	1,02	1,12	
259	244	800	81	1,00	1,10	1,20	
275	259	850	86	1,07	1,16	1,26	
291	275	900	92	1,15	1,23	1,32	
308	292	950	97	1,23	1,30	1,38	
325	307	1000	101	1,30	1,37	1,44	
340	323	1050	107	1,38	1,42	1,50	
355	337	1100	112	1,46	1,50	1,57	
369	350	1150	116	1,54	1,57	1,64	
383	363	1200	122	1,62	1,65	1,70	
397	378	1250	127	1,70	1,70	1,75	
413	393	1300	132	1,78	1,78	1,82	
430	409	1350	138	1,86	1,86	1,90	
442	420	1400	143	1,95	1,95		
417	412	1450	148	2,02	2,02		
474	446	1500	153	2,10	2,10		
486	457	1550	158	2,20	2,20		
502	469	1600	163	2,30	2,30		
529	492	1700	173	2,45	2,45		
560	516	1800	183	2,60	2,60		
590	535	1900	193	2,75	2,75		
620	552	2000	203	2,90	2,90		
647	573	2100	212	3,05	3,05		
678	590	2200	225	3,20	3,20		
707	606	2300	234	3,40	3,40		
737	622	2400	245	3,60	3,60		
A ₂ - Frézování, vrtání				C. Skupiny obrábělnosti			
Pevnost - tvrdoost				Materiál			
				Z ₁	Z ₂	Z ₄	
Hv	HB	MPa	kp/mm ²	Kmh			
121	115	400	41	0,90	0,90		
126	121	420	43	0,84	0,84		
135	127	440	45	0,80	0,80		
144	138	480	48	0,75	0,76		
153	149	520	52	0,70	0,73	0,75	
170	166	580	59	0,64	0,70	0,82	
nad 166 HB podle tab. A1 nebo B1							
Kchs. Kmh		Skup. obrob.	Kchs2. Kmh		Skup. obrob.		
nad -47,70		1b	6,01 - 7,50		10b		
37,01-47,60		2b	4,81 - 6,00		11b		
30,01-37,80		3b	3,86 - 4,80		12b		
23,81-30,00		4b	3,08 - 3,85		13b		
18,91-23,80		5b	2,46 - 3,07		14b		
15,01-18,90		6b	1,96 - 2,45		15b		
11,98-15,00		7b	1,56 - 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							

