

# Obrábění titanu a těžkoobrobitelných slitin soustružením

Jakub Diviš

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub DIVIŠ**  
Osobní číslo: **T080251**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Obrábění titanu a těžkoobrobitelných slitin soustružením**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z oblasti teorie a technologie obrábění
2. Hodnoťte možnosti použití řezných materiálů
3. Provedte průzkum trhu ve výrobě slinutých karbidů
4. Provedte návrh nových destiček ze slinutých karbidů

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Buda, J. – Bekés, J.: teoretické základy obrábání kovů, VTL Bratislava 1974
2. Humař, A.: Materiály pro řezné nástroje, MM publishing s.r.o. Praha 2008
3. Ptáček, L. aj.: Nauka o materiálu, CERM Brno 1999
4. Kocman, K. – Prokop, J.: Technologie obrábění, CERM Brno 1999

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Šálek**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2012**

Ve Zlíně dne 8. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

L.S.



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 22.5.2012



.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>21</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>41</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odporá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

V bakalářské práci se budu věnovat konstrukčnímu návrhu břitové destičky pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, titanu, slitin titanu a tvorbě třísky.

V teoretické části se zabývám druhy obrábění, slinutými karbidy a výrobou slinutých karbidů, dále pak obráběnými materiály všech skupin a hlavně skupinou těžkoobrobitelných materiálů, titanu a jeho slitin.

V praktické části se věnuji průzkumu firem, které nabízejí na trhu destičky na obrábění těžkoobrobitelných materiálů, jednotlivými zkouškami tří destiček, samotného návrhu břitové destičky, zkoušky trvanlivosti břitu a tvorbou třísky při obrábění.

Klíčová slova: slinutý karbid, titan, obrábění, superslitiny

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis deals with the engineering design of tool tip for metal cutting, rather, for cutting of hardly-machinable materials, titanium, titanium alloy and production of cuttings.

The teorethical part deals with the kinds of metal cutting, sintered carbide and production of sintered carbides, last but not least, it deals with machined materials of all groups and types and mainly, the teorethical part aims at group of hardly-machined materials – titanium and titanium alloys.

The practical part deals with business study of companies which offer the tool tips for cutting of hardly-machinable materials, separate tests of three tool tips, design of a tool tip, test of cutting life and producing of cuttings during the cutting operation.

Keywords: sintered karbide, titanium, cutting, alloy

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Šálkovi, za odbornou pomoc, čas a rady, které mi věnoval po dobu vypracované práce.

*Na konci díla poznáme,*

*čím jsme měli začít.*

*( Pascal Blaire )*

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ KOVŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1 ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ .....	14
1.1.1 Soustružení .....	14
1.1.2 Frézování.....	15
1.1.2.1 Nesousledné frézování .....	15
1.1.2.2 Sousledné frézování .....	15
1.1.3 Vrtání.....	16
1.1.4 Vystružování a vyhrubování.....	17
1.1.5 Vyvrtávání .....	17
1.1.6 Hoblování a obrážení .....	17
1.1.7 Protahování a protlačování.....	18
<b>2 SLINUTÉ KARBIDY</b> .....	<b>19</b>
2.1 VÝVOJ SLINUTÝCH KARBIDŮ .....	19
2.2 ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ SLINUTÝCH KARBIDŮ .....	20
2.3 NEPOVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY .....	23
2.4 POVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY.....	24
2.5 VÝROBA SLINUTÝCH KARBIDŮ .....	25
<b>3 OBRÁBĚNÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>27</b>
3.1 ROZDĚLENÍ OBRÁBĚNÝCH MATERIÁLŮ A TABULKY EKVIVALENTŮ .....	27
3.2 SKUPINA P – NÁSTROJOVÉ OCELI.....	27
3.2.1 Nástrojové oceli nelegované (uhlíkové).....	28
3.2.2 Legované nástrojové oceli.....	28
3.3 SKUPINA M .....	28
3.3.1 Korozivzdorné oceli .....	28
3.3.1.1 Martenzitické oceli .....	29
3.3.1.2 Feritické oceli.....	29
3.3.1.3 Austenitické oceli .....	29
3.4 SKUPINA K.....	29
3.4.1 Temperovaná litina.....	29
3.5 SKUPINA N .....	30
3.5.1 Neželezné kovy .....	30
3.6 SKUPINA H.....	31
3.6.1 Zušlechtěné oceli.....	31
<b>4 SKUPINA S – TĚŽKO OBRÁBĚLNÉ MATERIÁLY A SLITINY TITANU</b> .....	<b>32</b>
4.1 TĚŽKO OBRÁBĚLNÉ MATERIÁLY .....	32
4.1.1 Slitiny niklu .....	32



4.1.2	Slitiny kobaltu .....	32
4.1.3	Slitiny železa .....	32
4.2	TITAN A JEHO SLITINY .....	33
4.2.1	Titan .....	33
4.2.2	Slitiny titanu .....	34
4.2.2.1	Slitiny alfa .....	35
4.2.2.2	Slitiny alfa + beta .....	35
4.2.2.3	Slitiny beta .....	37
<b>5</b>	<b>OBRÁBĚNÍ MATERIÁLU SKUPINY S A TITANU .....</b>	<b>38</b>
5.1	OBRÁBĚNÍ MATERIÁLU SKUPINY S .....	38
5.2	OBRÁBĚNÍ TITANU A JEHO SLITIN .....	42
5.2.1	Obrobitelnost .....	42
5.2.2	Problémy při obrábění .....	42
5.2.3	Chování titanu při řezání – tvorba třísky .....	43
5.2.4	Nástrojové materiály .....	43
5.2.5	Řezné kapaliny .....	43
5.3	METODY OBRÁBĚNÍ TITANU A JEHO SLITIN .....	44
5.3.1	Soustružení .....	44
5.3.2	Frézování .....	46
5.3.3	Vrtání .....	46
5.3.4	Vystružování .....	46
5.3.5	Řezání závitů .....	47
5.3.6	Broušení .....	47
5.3.7	Řezání .....	48
5.4	ŘEZNÉ MATERIÁLY A GEOMETRIE PRO OBRÁBĚNÍ LITIN SUPERSLITIN .....	48
5.4.1	Obrobitelnost šedé, tvárné, temperované a bílé (tvrzené litiny), charakter namáhání a opotřebení břitu .....	48
5.4.1.1	Obrobitelnost a obrábění šedé, tvárné a temperované litiny – materiály hlavní skupiny K .....	48
5.4.1.2	Mechanické vlastnosti a mikrostruktura – vliv na obrobitelnost .....	48
5.4.1.3	Vznikající tříška, charakter namáhání a opotřebení břitu .....	49
5.4.2	Obrobitelnost tvrzené (kokilové) litiny .....	51
5.4.2.1	Obrábění tvrzené litiny – namáhání a opotřebení břitu .....	51
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>FIRMY KTERÉ VYRÁBÍ NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ TITANU A TĚŽKO OBRÁBĚLNÝCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>54</b>
6.1	PŘEHLED DESTIČEK A MATERIÁLŮ PRO OBRÁBĚNÍ SKUPINY S .....	54
6.1.1	Sandvik Coromant .....	54
6.1.2	Kennametal .....	55
6.1.3	Seco Tools .....	56
6.1.4	Walter .....	56
6.1.5	Iscar .....	57
<b>7</b>	<b>ANALÝZA KONKURENČNÍCH DESTIČEK .....</b>	<b>59</b>

7.1	CNMG 120408 – MS, KC 5515 (KENNAMETAL).....	60
7.2	TNMG 160404 – MS, KC 5525 (KENNAMETAL).....	61
7.3	TNMG 160408 – PP, IC 328 (ISCAR).....	63
7.4	CNMG 120408 – NMT, WSM 20 (WALTER).....	64
<b>8</b>	<b>UTVÁŘENÍ TŘÍSKY .....</b>	<b>66</b>
8.1	METODY UTVÁŘENÍ TŘÍSKY.....	66
8.2	POROVNÁVÁNÍ UTVÁŘENÍ TŘÍSEK JEDNOTLIVÝCH DESTIČEK .....	67
8.2.1	Porovnání destičky CNMG 120408E - SM a Walter NMS .....	68
8.2.2	Porovnání destičky CNMG 120408E - SM a Walter NMT .....	71
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ TRVANLIVOSTI BŘITU .....</b>	<b>73</b>
9.1	POROVNÁNÍ DESTIČKY CNMG 120408E – SM A WALTER NMS.....	73
9.2	POROVNÁNÍ DESTIČKY CNMG 120408E – SM A WALTER NMT.....	76
9.3	MĚŘENÍ TVRDOSTI OBROBKU.....	79
<b>10</b>	<b>NÁVRH GEOMETRIE DESTIČKY PRO 1.PROTOTYP.....</b>	<b>82</b>
10.1	DESTIČKA CNMG 120408 E-SM.....	82
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

Jednou z důležitých částí výrobního procesu je obrábění. Všechna zařízení a výrobky se skládají z částí, které prošly obráběním s vysokými požadavky na kvalitu. Proto jsou tyto obráběné operace velmi nákladné. Je nutné hledat východisko, jak snižovat náklady a zvyšovat produktivitu výroby.

Tato práce se především zabývá zpracováním titanu a jeho slitin. Hledá odpověď na otázky procesu obrábění a optimalizace podmínek při opracování titanových slitin. Je to shrnutí všech informací, tak jak byly získány z nejrůznějších zdrojů a obsahují informace na dané téma.

V teoretické části bakalářské práce se budu zabývat jednotlivými druhy obrábění kovových materiálů, slinutými karbidy a jejich výrobou a jednotlivými druhy skupin obráběných materiálů. Zaměřím se na těžkoobrobitelné materiály, titan a jeho slitiny, které patří mezi nejhůře obrobitelné materiály.

Hlavním cílem praktické části je návrh nové destičky ze slinutých karbidů. Tohoto cíle se snažím dosáhnout průzkumem konkurenčních firem, které na trhu vyrábí destičky ze slinutých karbidů na obrábění titanu a těžkoobrobitelných materiálů. Dále se budu zabývat měřeními a analyzováním konkurenčních produktů. Jako hlavní součástí návrhu nové destičky je zkouška konkurenčních destiček, např. zkouška na tvorbu třísky, zkouška na trvanlivost bříty a zkouška tvrdosti. Na základě měření vyhodnotím výsledky, navrhnu vhodnou destičku, která se posléze vyzkouší vůči destičkám konkurenčním.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 OBRÁBĚNÍ KOVŮ

Obrábění se uskutečňuje různými metodami obrábění. K hlavním základním metodám patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování a protlačování.

Z hlediska technologických výstupů těchto obráběcích procesů jsou důležité zejména dosažované parametry přesnosti obroběných ploch. [5]

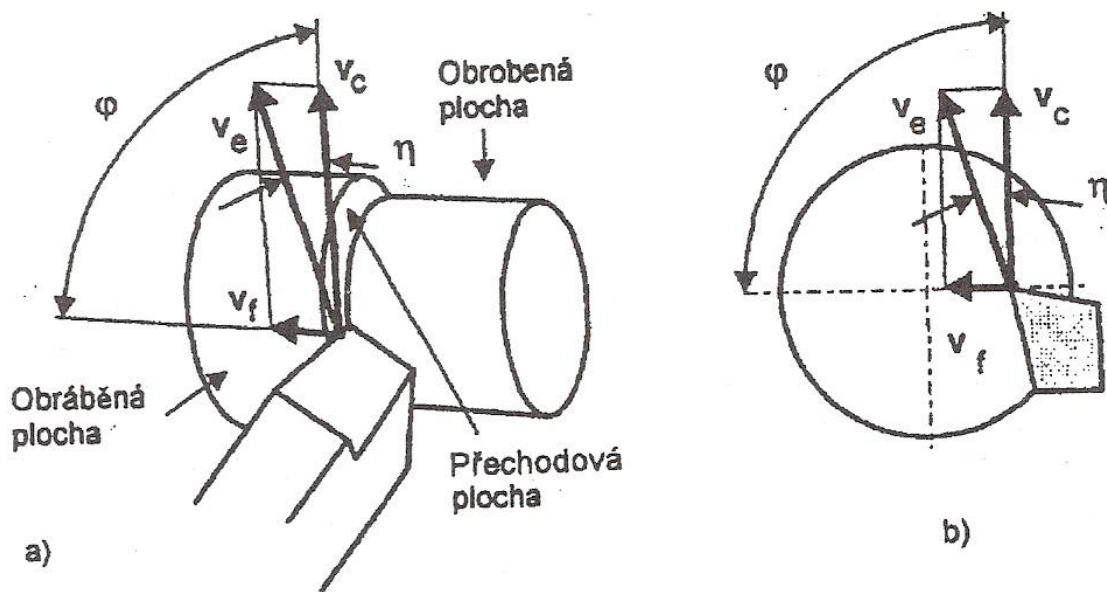
Tab. 1 Dosažované parametry přesnosti obroběných ploch pro základní metody obrábění [5]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů		Drsnost plochy	
		IT		Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
		střední	rozsah	střední	Rozsah
<i>Vnější rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	13	11 až 14	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 12,5
	jemné slin.karbidem jemné diamantem	8 6	7 až 9 5 až 7	0,8 0,4	0,4 až 1,6 0,2 až 0,8
<i>Vnitřní rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 12	3,2	1,5 až 12,5
	<i>Vrtání šroubovým vrtákem</i>				
	bez vedení	13	12 až 14	6,3	6,3 až 25
	s vedením	12	10 až 13	3,2	3,2 až 25
	<i>Vyhrubování</i>	9	9 až 11	3,2	1,6 až 3,2
	<i>Vystružování</i>	8	7 až 9	0,8	0,8 až 3,2
	<i>Zahlubování</i>				
	hrubování	12	11 až 14	3,2	1,6 až 12,5
	dokončování	9	7 až 10	1,6	1,6 až 6,3
	<i>Vyvrtávání</i>				
	hrubování	12	11 až 14	25	12,5 až 50
dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3	
jemné slin.karbidem jemné diamantem	6 5	5 až 8 4 až 7	0,8 0,4	0,4 až 1,6 0,2 až 0,8	
<i>Protahování</i>					
hrubování	8	7 až 8	1,6	0,8 až 3,2	
dokončování	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8	
<i>Rovinné plochy</i>	<i>Frézování</i>				
	hrubování válc.frézou	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.válc..frézou	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	hrub.nožovou hlavou	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.nož. hlavou	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	jemné slinutým karb.	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	<i>Hoblování</i>				
	hrubování	12	12 až 13	50	25 až 100
	dokončování	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5
jemné	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6	

## 1.1 Základní metody obrábění

### 1.1.1 Soustružení

Hlavním pohybem při soustružení je otáčivý pohyb obrobku. Nástroj koná vedlejší pohyby, tj. podélný posuv, rovnoběžně s osou otáčení obrobku, příčný posuv, kolmý k ose obrobku. Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha, výsledkem příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Kromě posuvu koná nástroj ještě přísuv. Tímto pohybem, který probíhá před obráběním, se nastavuje požadovaná hloubka řezu. [7]



Obr. 1 Vektory pohybů při soustružení a) podélné soustružení válcové plochy  
b) příčné soustružení čelní plochy [5]

Druhy soustruhů:

- Hrotový soustruh
- Čelní (lícní) soustruh
- Svislý soustruh (Karusel)
- Revolverový soustruh
- Poloautomatické soustruhy (hrotové, sklíčidlové)
- Automatické soustruhy (křivkové, bezkřivkové, zapichovací, revolverové)
- Speciální soustruhy (podsoustružovací, bubnové, upichovací) [7]

### 1.1.2 Frézování

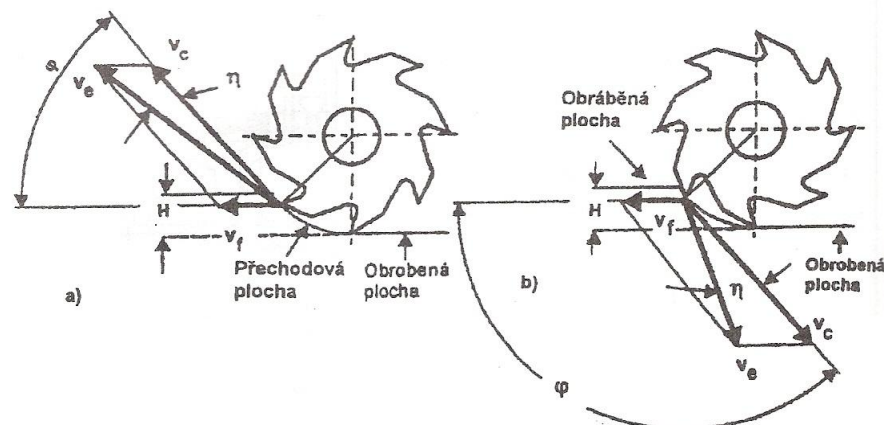
Frézování je taková metoda obrábění, při které se pomocí břitu odebírá materiál obrobku, při otáčení nástroje. Ve většině případů posuv koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních strojů jsou pohyby měnitelné a mohou se dělat ve všech směrech. Řezný proces je přerušovaný a každý zub frézy odřezává krátké třísky jiné tloušťky. [5]

#### 1.1.2.1 Nesousledné frézování

Smysl rotace nástroje je proti směru obrobku. Když vniká nástroj do obrobku, tak vzniká obrobená plocha. Tloušťka třísky se postupem mění z minimální, nulové hodnoty na hodnotu maximální. [5]

#### 1.1.2.2 Sousledné frézování

Rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku. Při vnikání zubu frézy do obrobku vzniká maximální tloušťka třísky. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. [5]



Obr. 2 Kinematika válcového frézování a) nesousledné frézování b) sousledné frézování [5]

Při frézování se používají tyto frézky:

- Konzolové (vertikální, horizontální, univerzální)

- Rovinné (stolové, portálové)
- Speciální (odvalovací, frézky na vačky, pantografické) [7]

Druhy fréz:

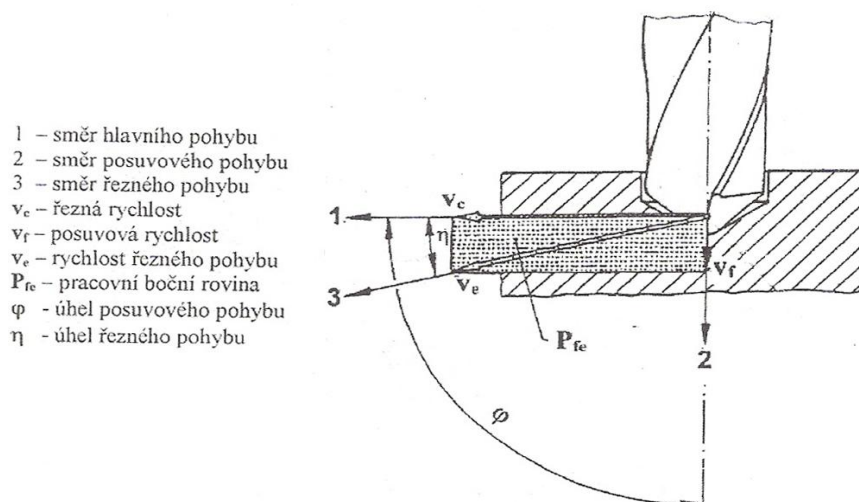
- Válcové
- Čelní
- Kotoučové
- Kuželové
- Tvarové [7]

### 1.1.3 Vrtání

Hlavní řezný pohyb (otáčivý) i posuv ve směru osy vykonává obvykle nástroj, jsou však možné i jiné varianty. Zvláštnosti vrtání i dalších tzv. osových operací (mezi ně patří i vyhrubování, vystružování apod.) je to, že řezná rychlost je na obvodě nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje klesá k nule. [7]

Druhy vrtaček:

- Stolní vrtačka
- Sloupová vrtačka
- Stojanová vrtačka
- Radiální (otočná) vrtačka
- Souřadnicová vrtačka
- Speciální vrtačky [7]



Obr. 3 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [5]

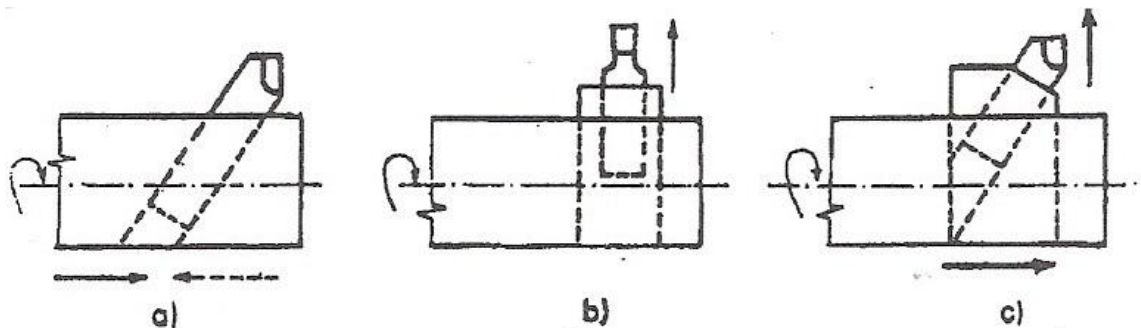


### 1.1.4 Vystružování a vyhrubování

Při výše zadaných požadavcích na parametry přesnosti díry se musí dokončovací práce dělat výhrubníky a výstružníky. Díry které, jsou do průměru 10 mm se pouze vystružují, naopak větší díry se nejprve vyhrubují a potom vystružují. Přídavky pro vyhrubování a vystružování závisí zejména na požadované drsnosti a přesnosti povrchu obrobene díry, ale také na druhu obráběného a nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a dalších parametrech. [5]

### 1.1.5 Vyvrtávání

Hlavní řezný pohyb je otáčivý. Na vodorovných vyvrtávačkách ho vykonává nástroj upnutý ve vřeteně, na soustruzích obrobek. Na soustruzích vykonává posuv nástroj, upnutý v nožové hlavě na vodorovných vyvrtávačkách může posuv konat buď nástroj vysouváním pinoly s vřetenem, nebo obrobek, upnutý na pracovním stole vodorovné vyvrtávačky. Před dokončovací operací se díra upravuje hrubováním. [7]



Obr. 4 Kinematika vyvrtávání a) podélný posuv nástroje, b) příčný posuv nástroje, c) podélný a příčný posuv nástroje [5]

### 1.1.6 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení se používá při obrábění plochých povrchů jednobřitým nástrojem. Hlavní pohyb je přímočarý vratný, při hoblování jej vykonává obrobek, při obrážení nástroj. Posuvový pohyb je přerušovaný, probíhá vždy na konci pracovního dvojzdvihu a je kolmý na směr hlavního pohybu. [7]

Druhy hoblovek:

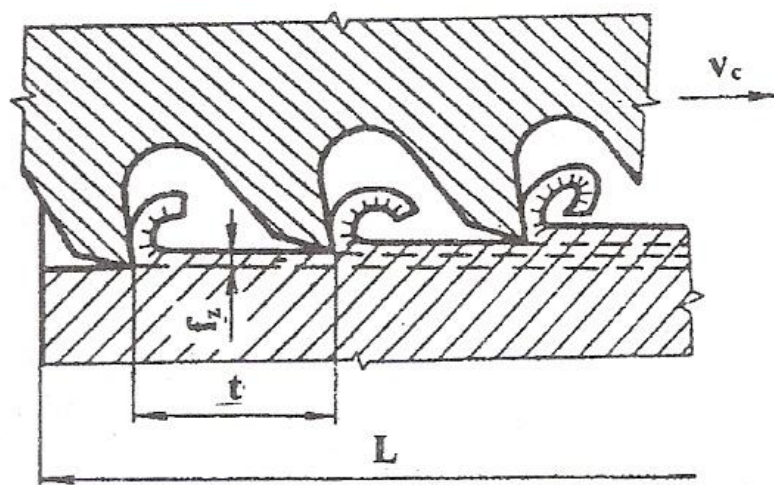
- Jednostranné
- Dvoustranné
- Speciální [7]

Druhy obrážek:

- Vodorovné obrážky
- Svislé obrážky [7]

### 1.1.7 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je obráběcí proces dokončovací, při kterém se velice produktivním způsobem obrábí tvarové díry nebo tvarové plochy. Metody se od sebe liší jen konstrukcí nástroje, velikostí úběru materiálu, který je možno na jeden pracovní zdvih odebrat a způsobem upnutí nástroje. [5]



Obr. 5 Princip protahování [5]

## 2 SLINUTÉ KARBIDY

### 2.1 Vývoj slinutých karbidů

Několik inženýrů a vynálezců se kolem 19. a 20. století snažilo vyrobit umělý diamant. Sice se jim to nepodařilo, ale objevili jiné materiály – karbidy, silicidy a koridy. Ty měly velkou tvrdost a vysokou teplotu tavení. Nejvíce charakteristických vlastností měl karbid wolframu, který byly ve většině případů podobné vlastnostem některých kovů. Ke komerčnímu použití wolframu došlo nejprve pro drátové průvlaky vyrobené odléváním. Produkty, co se vyrobily, byly příliš křehké a z hlediska průmyslového využití nepoužitelné. [1]

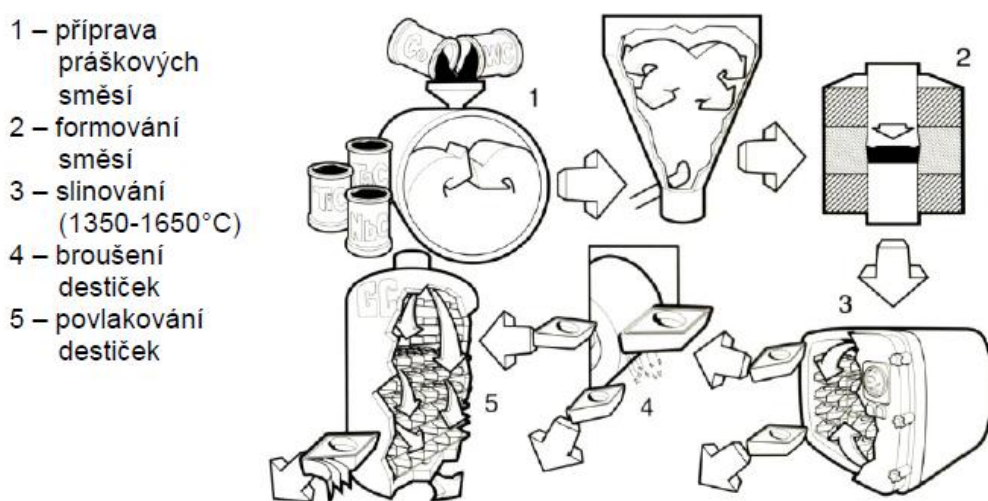
Na začátku 20. století se několika inženýrům podařilo z wolframového prášku vyrobit žhavicí vlákno. Tak začal rozvoj vědního oboru v oblasti práškové metalurgie, který řešil problém výroby řezných materiálů na bázi karbidu wolframu, které byly v té době neskutečně tvrdé a odolné proti opotřebení. [1]

Tab. 2 Vývoj slinutých karbidů, jejich povlaků a povlakování [1]

Rok	Nový materiál, technologie
1923-1925	WC – Co
1929-1931	WC - TiC - Co
1930-1931	WC – TaC (VC, NbC) - Co
1933	WC – TiC – TaC (NbC) - Co
1938	WC – Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> – Co
1947-1970	Submikrometrové WC – Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> – Co
1956	WC – TiC – TaC (NbC) – Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
1959	WC – TiC – HfC – Co
1965-1975	Vysokoteplotní izostatické lisování (HIP)
1965-1978	TiC, TiN, Ti(C,N), HfC, HfN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CVD povlaky na SK WC – Co
1968-1969	WC – TiC – TaC (NbC) – HfC – Co
1969	CVD povlak TiC na vyměnitelné břitové destičce
1969-1971	Termochemické povrchové kalení
1969-1979	Komplexní karbidy s přísadou Ru
1971	CVD povlak Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1972	Submikrometrový slinutý karbid WC – Co
1973	Vícevrstvý CVD povlak TiC+Ti(C,N) TiN
1973-1978	Vícevrstvé povlaky (karbidy, karbonitridy/nitridy, vícenásobné karbidy/karbonitridy/nitridy/oxidy)
1974-1977	Vrstvy polykrystalického diamantu na slinutých karbidech na bázi WC – Co
1978	PVD povlaky TiC a TiN (iontová implantace)
1981	Vícenásobné tenké povlaky typu Al(O, N)
1987-1989	PVD povlaky TiAlN
1992-1996	PACVD povlaky, CVD diamantové povlaky
1995	Funkčně gradientní slinuté karbidy (gradientní struktura)
1995-1996	CVD povlaky kubického nitridu boru – laboratorní vývoj
1999	PVD povlaky TiB <sub>2</sub>
2000	PVD povlaky TiN/TiCN/MoS <sub>2</sub> , TiAlN/WC - C
2004	PVD vícevrstvé TiAlN nano - povlaky
2005	PVD povlaky AlCrN
2007	PVD povlaky Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (AlCr) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

## 2.2 Rozdělení a značení slinutých karbidů

Produktem práškové metalurgie je slinutý karbid – SK, který se vyrábí z různých karbidů a kovového pojiva. Mezi nejdůležitější patří karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Hlavním pojivem se ve většině případů používá kobalt (Co). Slinuté karbidy jsou směsí několika (dvou až více) fází a není možné dále tepelně zpracovávat. Obsahové množství v jednotlivých fázích ovlivňuje jejich houževnatost, tvrdost a odolnost proti opotřebení a otěru. Díky tomu, že jsou velmi tvrdé, tak se dají tvarově a rozměrově upravovat jen broušením, lapováním a elektroerozivním obráběním. Slinuté karbidy nevyrábějí ve tvaru destiček normalizovaných tvarů a rozměrů, které se pájí, ale nejvíce mechanicky upínají na řeznou část nástroje. Destičky s mechanickým upínáním mají několik ostří, které se nevyžívají najednou, ale postupně. Po otupení ostří se destička nedá použít, proto se vyřazuje. Některé nástroje (např. vrtáky a frézy malých rozměrů) se vyrábějí jako monolitické. [5]



Obr. 6 Výroba slinutých karbidů [1]

V technologické praxi se vyrábí slinuté karbidy nepovlakované (standardní provedení) a opatřené různými druhy povlaků.

Podle ČSN ISO 513 (22 0801) se pro označení použijí následující symboly:

- HW – nepovlakované SK na bázi karbidu wolframu WC
- HT – nepovlakované SK (cermety) na bázi karbidu titanu TiC nebo nitridutitanu TiN nebo obou zároveň
- HC – povlakované SK (HW, HT) [5]

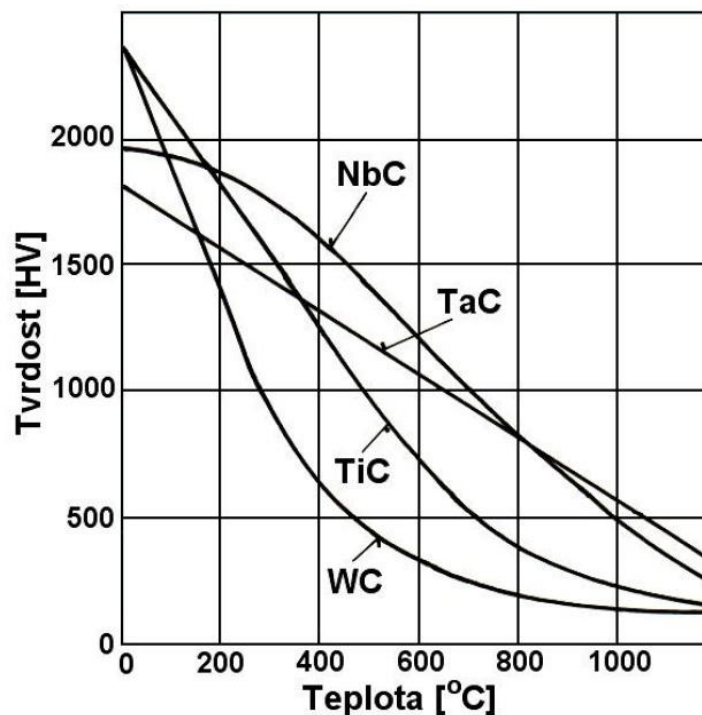
Slinuté karbidy se dají využít na několik druhů obrábění. Toto využití znázorňuje rozdělení do šesti, barevně a písmeny rozlišených skupin (viz Tab. 3). Podskupiny se značí dvoumístným číslem, které vyjadřuje jejich základní mechanické vlastnosti. Je obecně známo, že se vzrůstajícím číslem podskupiny, klesá houževnatost, pevnost v ohybu a při tom roste tvrdost a otěruvzdornost. Druhy SK s vyšším číselným označením se používají pro střední až těžké obrábění a hrubování. Je-li houževnatost vyšší, umožňuje užití vyšší posunové i při přerušovaném řezu. [1,4]

Tab. 3 Základní rozdělení slinutých karbidů [1,4]

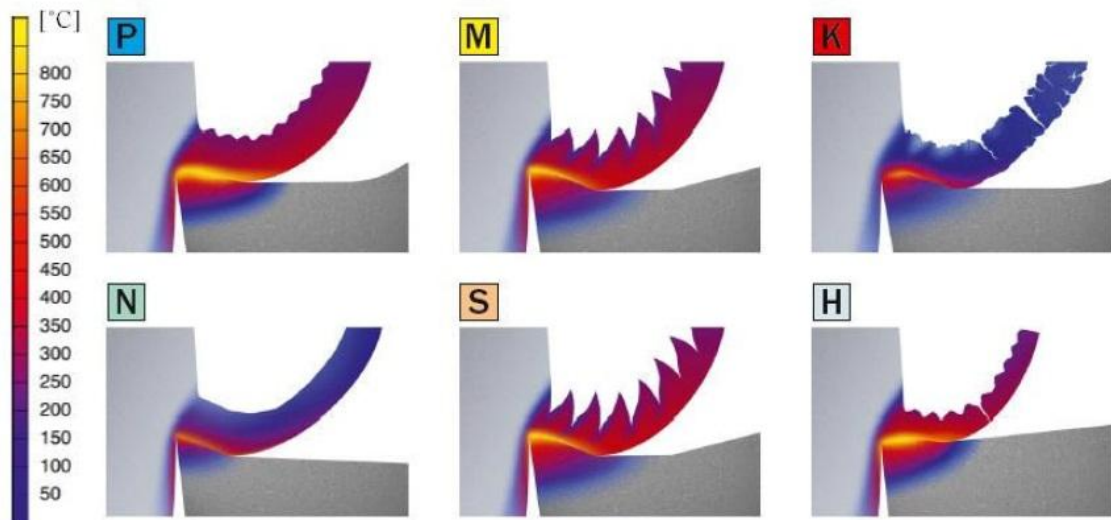
Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
<b>P</b>	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30 - 82) % + TiC (8 - 64) % + Co (5 - 17) % + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů dávající dlouhou a plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automatová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
<b>M</b>	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79 - 84) % + TiC (5 - 10) % + TaC.NbC (4-7) % + Co (6-15) %	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárupevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
<b>K</b>	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87 - 92) % + Co (4 - 12) % + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů dávající krátkou a drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
<b>N</b>	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: litiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
<b>S</b>	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu a Ti slitiny
<b>H</b>	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechtilé oceli s pevností nad 1500 Mpa, kalené oceli HRC 48 - 60, tvrzené kokilové litiny HSh 55 - 58

Když je potřeba vybrat vhodný řezný materiál pro určitý případ použití, poslouží nám kvalifikace ISO. U velké většiny výrobců se takovýto systém využívá jako základní rozdělení při volení optimálního řezného nástroje. Někteří výrobci nerozdělují své výrobky do šesti, ale do tří až pět skupin. To ovšem musí některé skupiny přiřazovat do skupin ostatních, např. skupinu obráběných materiálů **N** zařadí do skupiny **K**, **S** do skupiny **M** a skupinu **H** do skupiny **P**. Dělení do třech základních skupin se provádí podle starší normy ISO. Podrobnější informace o daných vlastnostech určitých druhů slinutých karbidů je potřeba zjistit z dalších popisů jednotlivých výrobců řezných materiálů. [1]

Chemické složení se může lišit i v jednotlivých skupinách, hlavně v obsahu množství přísad kovů (V, Nb, Ta, Ti, Hf) a karbidů (VC, NbC, TaC, Zr/HfC) do dané práškové směsi, které zabraňují v rychlosti růstu zrna WC. Zařazení do skupin odpovídá i schopnost zachování tvrdosti za tepla u tvrdých složek obsažených v daném slinutém karbidu. Například takové slinuté karbidy skupiny K mají jedinou tvrdou strukturní složku WC, která při zvyšování teploty velmi rychle ztrácí svou tvrdost, mnohem rychleji než u jiných karbidů (Obr. 7). Díky této vlastnosti skupina slinutých karbidů K není doporučována k obrábění materiálu, které vytvářejí dlouhou třísku. Dlouhá tříška má totiž větší plochu styku s čelem nástroje a proto ji i více tepelně zatěžuje. [1]



Obr. 7 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě [3]



Obr. 8 Modely utváření třísky a tepelné bilance v průběhu tváření pro slinuté karbidy jednotlivých skupin [16]

### 2.3 Nepovlakované slinuté karbidy

Slinuté karbidy se dle ČSN ISO 516 (22 0801) člení v závislosti na svém složení a oblasti použití do tří skupin:

- **Slinuté karbidy typu P – WC, TiC, Co** - Tyto karbidy jsou určeny pro obrábění železných kovů, kde vzniká dlouhá tříška (oceli, oceli na odlitky, temperované litiny). Nástroje skupiny P mají označení modré barvy.
- **Slinuté karbidy typu M – WC, TiC, TaC, Co** - Tyto karbidy jsou určeny pro obrábění železných kovů, kde vzniká dlouhá a krátká tříška a pro obrábění neželezných kovů (manganové oceli, austenitické oceli, oceli na odlitky). Nástroje skupiny M mají označení žluté barvy.
- **Slinuté karbidy typu K – WC, Co** – Tyto karbidy jsou určeny pro obrábění železných kovů, kde vzniká krátká tříška (šedé litiny, neželezný kovy, měď, bronz, hliník a nekovové materiály). Nástroje skupiny K mají označení červené barvy. [5]

Tab. 4 Složení a vlastnosti vybraných druhů slinutých karbidů [5]

Označení	Složení [ % ]			Měrná hmotn. [g.cm <sup>-3</sup> ]	Tvrdost [HV]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Kof. délk. roztažnosti [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]
	WC	TiC+TaC <sup>1/</sup>	Co							
PO1	30	64	6	7,2	1800	750	3500			
P10	63	28	9	10,7	1600	1300	4600	530000	29	6,5
P20	76	14	10	11,9	1550	1500	4800	540000	34	6,0
P30	82	8	10	13,1	1500	1700	5000	560000	59	5,5
P40	75	12	13	12,7	1400	1900	4900	550000	59	5,5
P50	68	15	17	12,5	1300	2100	4000	520000	54	
M10	74	10	6	13,1	1750	1350	5000	580000	50	5,5
M20	72	10	8	13,4	1550	1600	5000	570000	63	5,5
M30	71	10	9	14,4	1450	1800	4800	550000	63	5,5
M40	79	6	15	13,6	1300	2100	4400	540000	67	6,0
K01	92	4	4	15,0	1800	1200	5900	670000	84	4,5
K10	92	2	6	14,8	1600	1500	5700	630000	80	5,0
K20	93	1	6	14,8	1550	1700	5200	620000	80	5,0
K30	90	1	9	14,4	1450	1900	4700	580000	71	5,3
K40	87	1	12	14,2	1300	2100	4500	570000	67	5,5

<sup>1/</sup> Ve většině případů TaC obsahuje 5 - 40 % NbC

Příklady označování nepovlakovaných slinutých karbidů podle ISO 513 (22 0801):

**HT – P30, HT – M40, HW – K20** [5]

## 2.4 Povlakované slinuté karbidy

Řezné nástroje ze slinutého karbidu se navrhují tak, aby vykazovaly co největší otěruvzdornost a při tom i velkou houževnatost. Ideální řezná destička by byla taková, která by měla tvrdý otěruvzdorný povrch a velmi houževnaté jádro. Takovému požadavku vyhovují vyměnitelné destičky ze slinutého karbidu s tvrdými povlaky karbidu titanu TiC, nitridu titanu TiN nebo oxidu hlinitého AlO. Povlaky jsou jednovrstvé, ale mohou být i vícevrstvé, s jedním nebo i více komponenty.

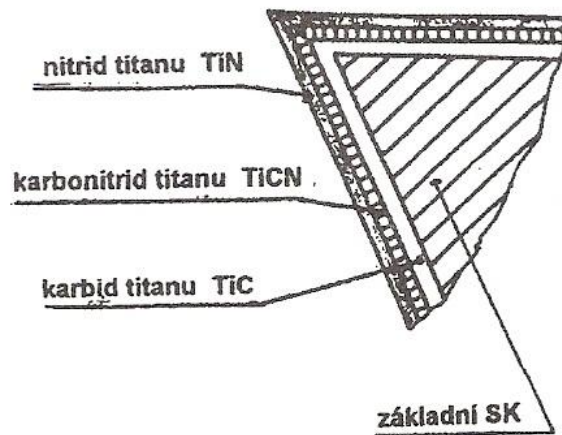
- **Jednovrstvé povlaky** jsou častěji tvořeny TiC nebo TiCN, případně TiN. Tloušťka jednovrstvých povlaků dosahuje až 13 um.
- **Vícevrstvé povlaky** představují dvě, tři a více vrstev. Nejprve se na slinutý karbid nanáší vrstvy s dobrou přilnavostí k podkladu, které však mají nižší odolnost proti opotřebení. Poslední jsou na karbid nanášeny vrstvy s dobrou přilnavostí k předchozí vrstvě. Tyto vrstvy mají vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení.



Jednotlivé vrstvy jsou obvykle řazeny od podkladu k povrchu v tomto pořadí:

TiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC – TiN, TiC – TiCN – TiN, TiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiN.

Povlakové slinuté karbidy mají široké uplatnění pro soustružení, vrtání a frézování strojírenských materiálů, včetně těžkoobrobitelných materiálů. Zhruba 75% soustružnických operací a asi 40% frézovacích operací je v současné době dělána nástroji s povlakovými slinutými karbidy. Na obrázku (Obr. 9) můžeme vidět třívrstvý povlak břitu. [5]



Obr. 9 Třívrstvý povlak břitu – příklad [5]

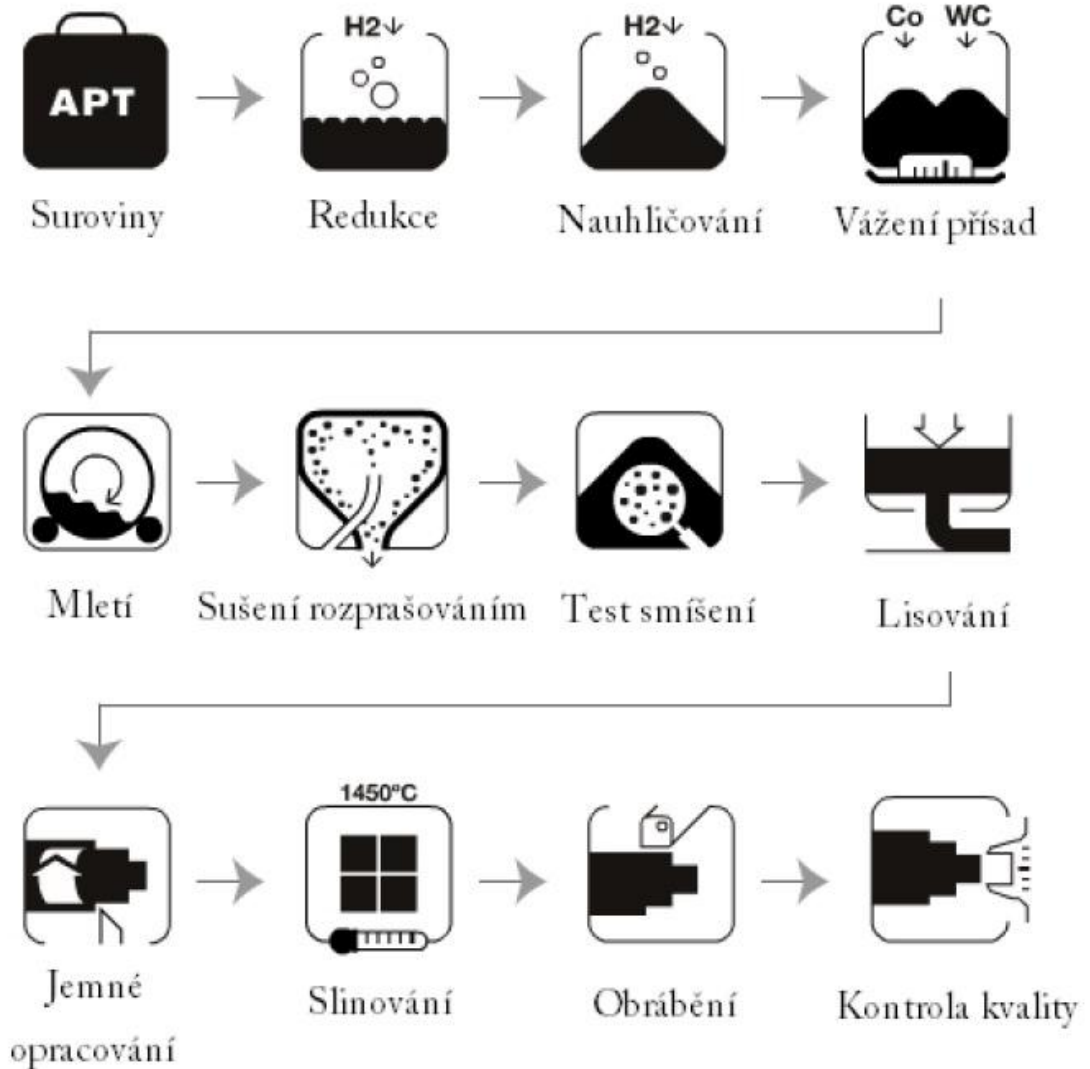
## 2.5 Výroba slinutých karbidů

Slinuté karbidy se vyrábějí pomocí technologie s názvem metalurgie. Celý proces je složen z mnoha operací, které musí být pečlivě prováděny a kontrolovány, kvůli docílení požadovaných vlastností. Složení a struktura mají rozhodující význam na kvalitu výrobku – výkonnost, která je při obrábění požadována. Tolerance obsahu WC, Co a dalších karbidů jsou velice úzké a prochází přísnou kontrolou. Výsledná struktura slinutého karbidu by měla být homogenní a reprodukovatelná. [2]

Základem každé výroby slinutých karbidů, které se používají na řezné nástroje, je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu a její následné slinování. Celý postup (obr.10) lze rozdělit do následujících hlavních fází:

- výroba, příprava prášku
- lisování polotovarů
- slinování
- obrábění polotovarů

- povlakování – u povlakovaných slinutých karbidů [15]



Obr.10 Proces přípravy prášku a výroby nepovlakovaných slinutých karbidů [15]

### 3 OBRÁBĚNÉ MATERIÁLY

#### 3.1 Rozdělení obráběných materiálů a tabulky ekvivalentů

Obráběné materiály se sdružují do skupin s podobnými vlastnostmi vyvolávajícími podobný typ zatížení a opotřebení nástroje. [4]

Tab. 5 Skupiny obráběných materiálů podle normy ISO 513 [1,4]

Označení skupiny	Obráběný materiál	Barva skupiny
P	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 nízko a středně legované oceli sk. 13 (13 0., 13 1., legované oceli tříd 14, 15, 16  feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (tř. 17 a lité 4229..) nástrojové oceli uhlíkové (19 1.., 19 2.., 19 3..) legované nástrojové oceli (19 3.. až 19 8..) uhlíková ocelolitina sk. 26 (4226..) nízko a středně legované ocelolitiny sk. 27 (42 27..)	modrá
M	austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné	žlutá
K	šedé litiny nelegované i legované (42 24..) tvárné litiny (42 23..) temperované litiny (42 25..)	červená
N	neželezné kovy, slitiny Al a Cu	zelená
S	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti	hnědá
H	zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 - 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 - 85	šedá

#### 3.2 Skupina P – nástrojové oceli

Tab. 6 Rozdělení a označování nástrojových ocelí [5]

Základní číselná značka	Význam třetí číslice v základní značce oceli	
19 0xx 19 1xx 19 2xx	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku	Nástrojové oceli nelegované
19 3xx	Oceli manganové, křemíkové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4xx	Oceli chromové	
19 5xx	Oceli chrommolybdenové	
19 6xx	Oceli niklové	
19 7xx	Oceli wolframové	
19 8xx	Oceli rychlořezné	
19 9xx	Volné	

### 3.2.1 Nástrojové oceli nelegované (uhlíkové)

Nelegované oceli na řezné nástroje obsahují 0,5 až 1,3% uhlíku, nejčastěji však 1 až 1,2%. Tvrdost po zakalení závisí na obsahu uhlíku, pohybuje se kolem 56 až 64 HRC. Nelegované oceli mají malou prokalitelnost (při tloušťce nástroje 10 - 80 mm se prokalení pouze do hloubky 2 - 5 mm). Je to výhodné při malých nástrojích, které si zachovají dostatečnou houževnatost i po kalení, na podporu tohoto efektu se obsah doprovodných prvků (mangan, křemík, chrom) udržuje na nižší úrovni než u konstrukčních ocelí. Při těchto ocelích prudce klesá jejich tvrdost za tepla s rostoucí teplotou, proto se používají hlavně na nástroje na obrábění dřeva, pouze omezeně na nástroje na obrábění kovů (hlavně pro nízké řezné rychlosti). [7]

### 3.2.2 Legované nástrojové oceli

Nízko a středně legované oceli obsahují 0,6 až 1,3% uhlíku. Legované jsou zejména přísadami karbidotvorných prvků (mangan, chrom, vanad, wolfram, molybden) a křemíkem. Uvedené přísady zvyšují prokalitelnost (15 - 100 mm), takže lze kalení do oleje, což snižuje napětí a deformace, zejména tvarově složitých nástrojů. Přísady také brzdí pokles tvrdosti za tepla.

Vysokolegované chromové oceli mají obsah uhlíku pod 1% a lze je do průměru 100 mm kalit i proudem vzduchu při vyšších kalicích teplotách. Vysokolegované chromové oceli s obsahem chrómu 12%, uhlíku 1,5 až 2% a přísadami (vanad, wolfram, molybden) mají ledeburickou strukturu s charakteristickou síťovinou, kterou třeba rozrušit tvářením za tepla. Jejich prokalitelnost je ještě vyšší - 150 až 200 mm při kalení z teplot nad 1000 °C. Legované nástrojové oceli se používají zejména na obrábění a řezání neželezných a nekovových materiálů. [7]

## 3.3 Skupina M

### 3.3.1 Korozi vzdorné oceli

Nerezavějící korozi vzdorné oceli jsou oceli, které jsou schopné pasivace. Pasivace umožňuje těmto ocelím odolávat elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Nejdůležitější prvkem mezi korozi vzdornými ocelmi je chrom. Dosáhne-li koncentrace chrómu v oceli minimálně 12%, získává ocel nerezový charakter. Ani tento obsah by nemusel stačit na to,

aby ocel odolávala korozi v kyselinách, jako jsou například v HCl nebo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Proto se do ocelí musí přidávat další legující prvky jako je např. molybden, nikl, tantal nebo titan. [6]

### **3.3.1.1 Martenzitické oceli**

Martenzitické oceli jsou korozivzdorné oceli s obsahem chrómu do 18 % a uhlíku 1,5 %, které po zakalení vykazují martenzitickou strukturu. Nejvyšší korozní odolnost všech typů martenzitických ocelí se projevuje u kvalitního, nejlépe leštěného povrchu. [14]

### **3.3.1.2 Feritické oceli**

Korozivzdorné feritické oceli jsou takové oceli, které obsahují více než 13% chrómu a méně než 0,1% uhlíku. Maximální obsah chrómu je asi 30%. Tyto oceli jsou tvořeny alfa železem, nebo-li feritem a jejich krystalová mřížka je prostorově centrovaná. Korozivzdorné feritické oceli jsou feromagnetické, nejsou kalitelné a jejich pevnost je vyšší než u nelegované uhlíkové oceli. Tyto oceli jsou náchylné na křehnutí za vyšších teplot (nad 900°C), na křehnutí vlivem tvorby fáze sigma a křehnutí při 475°C, což výrazně ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. [14]

### **3.3.1.3 Austenitické oceli**

Korozivzdorné austenitické oceli jsou takové oceli, které kromě chrómu obsahují ve větší míře i další prvky a to zejména mangan, nikl a popř. dusík. U těchto ocelí nedochází k transformacím při tepelném zpracování, ale pouze tehdy, když se tváří za studena. Tyto oceli mají plošně centrovanou krystalovou strukturu. Korozivzdorné austenitické oceli nejsou magnetické v žíhaném stavu a tvrdí se pouze za studena. [13]

## **3.4 Skupina K**

### **3.4.1 Temperovaná litina**

Temperované litiny jsou se svým chemickým složením pod-eutektické bílé litiny s nízkým stupněm eutektičnosti. Jsou tepelně zpracovány tzv. temperováním. Je to tzv. dlouhotrvající-

cí žhání odlitků z bílé litiny, kdy se začíná rozpadat ledeburitický či perlitický cementit. Tímto procesem vzniká vločkový grafit, který je typický pro tuto litinu. [8]

Rozeznáváme dva druhy temperovaných litin a to:

- **Temperovaná litina s bílým lomem** (vzniká oduhličením při temperování, velmi dlouhé tepelné zpracování při vysokých teplotách)
- **Temperovaná litina s černým lomem** (cementit se rozpadá na tuhý roztok austenit či ferit a na grafit) [8]

## 3.5 Skupina N

### 3.5.1 Neželezné kovy

**Měď** má červenou barvu, je velmi dobře tvárná za tepla i za studena, velmi dobře hájitelná a svařitelná. Obtížně se slévá (špatně vyplňuje formu), špatně se obrábí (maže se). Má velmi dobrou elektrickou a tepelnou vodivost a dobrou odolnost proti korozi. Používá se na výrobu slitin (mosazi, bronzu), galvanické povlaky, elektrovodné a konstrukční účely.

**Olovo** je modrošedý kov, má malou tepelnou a elektrickou vodivost a odolnost chemickým vlivům. Dobře se sléváním tváří za tepla i za studena. Obsahuje jedovaté páry a sloučeniny olova. Používá se na konstrukci komor pro výrobu kyseliny sírové, mořících kádí, pláště kabelů, desky akumulátorů, výroba slitin olova.

**Cín** je lesklý bílý kov s tažností 70 až 90 %. Dobře se tváří za tepla i za studena, velmi dobře se slévá a pájí. Dobrá odolnost proti korozi. Používá se na výrobu bílého plechu, trubek a staniolu a také na výrobu slitin.

**Zinek** je bílý kov s namodralým leskem, který je velmi křehký za studena. Ohřevem na 100 až 150 C° se dá kovat, válcovat a táhnou. Velmi dobře se slévá a pájí. Je odolný proti korozi a špatně se obrábí (maže se). Používá se na pozinkování ocelových plechů, výrobu slitin (mosazi), výroba léčiv.

**Mangan** je světle šedý, paramagnetický tvrdý kov. Používá se k výrobě feromagnetu, je to přísadový prvek pro legování oceli, výroba obalů svařovacích elektrod.

**Wolfram** má ocelově šedou barvu. Je velmi tvrdý a obtížně tvarovatelný a svařovatelný, nedá se slévat. Používá se jako přísadový prvek pro legování ocelí, dále na žárovková vlákna, součásti elektronek, topné odpory elektrických pecí, speciální svařovací elektrody.

**Hliník** je kov se stříbrně bílou barvou našedlým nádechem. Kov je nemagnetický, dobře se tváří za tepla i za studena, špatně se slévá, špatně obrábí. Je odolný proti korozi a má dobrou elektrickou vodivost. Používá se na vodiče pro vysoká napětí, dezoxidace železa, svařování termitem, plátování ocelí, výrobu slitin a na výrobu konstrukčních částí letadel.

**Hořčík** má stříbrobílou barvu, je nejlehčí ze všech kovů. Dobře se tváří za tepla, obtížně se slévá (snadno se vznítí) a je nemagnetický. Používá se na výrobu slitin, očkování šedé litiny a na pyrotechnické účely. [8]

## 3.6 Skupina H

### 3.6.1 Zušlechtěné oceli

Jsou to takové oceli, které mají střední obsah uhlíku. Po kalení se popouštějí za vyšší teploty, aby bylo dosaženo vysoké houževnatosti při zachování dobré pevnosti. Tyto oceli je možné koupit už zušlechtěné. Ve své třídě, mají za tečkou číslo 6, 7, 8 (např. 12040.6). Zušlechtěné oceli jsou sice pevnější, ale můžeme je obrábět (soustružit, frézovat, apod.). Zušlechtěná ocel je částečně houževnatá. Zušlechtování se skládá ze dvou metod, z běžného kalení a z popouštění oceli na vyšší teplotu. Při zušlechtování nám nejde o tvrdost oceli, ale o větší zlepšení mechanických vlastností, např. pevnosti v tahu, nebo struktury oceli. Proto může být pak výrobek mnohem lehčí. [7]

## 4 SKUPINA S – TĚŽKO OBRITELNÉ MATERIÁLY A SLITINY TITANU

### 4.1 Těžkoobrobitelné materiály

#### 4.1.1 Slitiny niklu

Jsou mnohem hůř obrobitelné, než slitiny na bázi železa nebo titanu. Jejich hlavní složka je nikl, který má na jejich obrobitelnost velký vliv. Obsah Cr je vyšší než u austenitických ocelí, oproti tomu obsah Fe je výrazně nižší. Jsou těžce obrobitelné, přičemž na jejich obrobitelnosti se projevuje jejich tepelné zpracování. [12]

Dle použití:

- Slitiny konstrukční
- Slitiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi
- Slitiny žáruvzdorné a žárupevné [12]

Slitiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi:

- Termočláňkové
- Odporové
- Magneticky měkké slitiny niklu [12]

#### 4.1.2 Slitiny kobaltu

Mají většinou nejhorší obrobitelnost ze superslitin, ale také mají vysoký obsah Cr, Ni a W. Jejich hlavní složkou je Co. Vyznačují se vysokou pevností za tepla a silným sklonem ke zpevňování. Obdobně jako u slitin Ni vznikají vysoké řezné teploty a síly. Na rozdíl od slitin Ni lze ovlivnit jejich obrobitelnost tepelným zpracováním jen velmi málo. Čím více přídavných prvků, tím větší je pevnost za tepla a horší obrobitelnost. [12]

#### 4.1.3 Slitiny železa

Jejich základní složkou je Fe. Obsahují však více Cr a Ni než běžné austenitické korozivzdorné oceli. V porovnání se slitinami na bázi Ni a Co jsou lépe obrobitelné. Příčinou je především větší pokles tvrdosti za vyšších teplot. Některé z těchto slitin jsou austenitické. Tepelným zpracováním lze jejich obrobitelnost výrazně zlepšit. Obrobitelnost slitin zpev-



něných za studena lze žíháním na měkko nebo žíháním na odstranění vnitřních pnutí zlepšit. Příliš měkké slitiny jsou náchylné ke vzniku nárůstku. Podle obsahu uhlíku se slitiny dělí na:

- Do 2,11% C – železa kujná (oceli)
- Nad 2,11 % C – železa nekujná (šedá litina, surová železa)
- Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku [12]

## 4.2 Titan a jeho slitiny

### 4.2.1 Titan

Titan je jeden z moderních kovů, který byl zaveden do výroby teprve v 60. letech tohoto minulého století. Není tak pevný jako ocel, ale i tak má plno předností. Vyniká vysokou korozní odolností jak při vysokých teplotách, tak i při nízkých teplotách vzduchu. Dále vyniká jeho korozivzdornost v mořské vodě, tak i v chemickém prostředí. Hustota titanu a slitin titanu je okolo  $4,5 \text{ gcm}^{-3}$ . Výroba titanu a titanových slitin je velmi složitý a drahý proces. Teplota tavení titanu je velmi vysoká, okolo  $1725 \text{ C}^\circ$ , což je asi o  $200 \text{ C}^\circ$  vyšší teplota než je teplota tavení u železa. Vodivost titanu je 5krát menší než u železa a 15krát menší než u hliníku. Čistý titan je velmi plastický s pevností v tahu  $220 - 260 \text{ MPa}$ , při prodloužení 60%. Přimíchání menšího obsahu příměsí prudce zvýší jeho pevnost a sníží jeho plasticitu. Titanové slitiny lze také zpevňovat tvářením za studena. Únavová pevnost titanu je ovlivňována obsahem příměsí zejména O, N a H. Proto se metalurgický výrobní proces provádí ve vakuu. Prvky ovlivňující vlastnosti titanu:

- Hliník je základní legující prvek
- Vanad zvyšuje pevnost titanové slitiny a snižuje plasticitu
- Molybden zvyšuje pevnost slitiny
- Mangan zvyšuje tvrdost a pevnost titanových slitin
- Chrom zvyšuje pevnost titanové slitiny
- Uhlík zvyšuje pevnost [9]

Z toho plyne, že legováním můžeme získat slitiny titanu s požadovanou pevností a dobrou plasticitou. [9]

Tab. 7 Údaje o chemickém složení a mechanických hodnotách titanu [12]

UDAJE O CHEMICKÉM SLOŽENÍ A MECHANICKÝCH HODNOTÁCH TITANU							
Grade - stupeň	1	2	3	4	5	7	9
Prvky (%)							
N (max)	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
C (max)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
H (max)	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Fe (max)	0,2	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,25
O (max)	0,18	0,25	0,35	0,4	0,2	0,25	0,15
Al	-	-	-	-	5,5+6,75	-	2,5+3,5
V	-	-	-	-	3,5+4,5	-	2,0+3,0
Pd	-	-	-	-	-	0,12+0,25	-
Pevnost v tahu Rm (MPa) Min.	240	345	450	550	895	345	620
Mez kluzu Re (MPa)							
MIN. MPa	170	275	380	485	830	275	485
MAX. MPa	310	450	550	655	-	450	-
Prodloužení (50 mm) (%)	24	20	18	15	10	20	15
Tvrdość die Vickerse (HV)	140	170	240	310	330	170	290

#### 4.2.2 Slitiny titanu

Vývoj titanových slitin byl velice rychlý a ze začátku byl omezen na SSSR a USA, později se rozvoj rozrostl do ostatních států. Vývojové směry v jednotlivých zemích, nebyly nijak propojeny a tak pro poznání základních rovnovážných diagramů a vlivů prvků na vlastnosti slitin bylo v laboratořích připraveno velké množství slitin. Bylo třeba zvládnout řadu technologických problémů, aby měly slitiny praktické využití. Bylo potřeba ověřit vlastnosti jejich reprodukovatelnosti a stabilitu nejen na zkušebních vzorcích, ale i na součástkách nebo konstrukčních dílech větších rozměrů. [10]

Tab. 8 Druhy slitin titanu [12]

<b>Ti</b>	<b>Ti 6-2-4-6</b>
<b>Ti 17</b>	<b>Ti 6Al-5V</b>
<b>Ti 2Cu</b>	<b>Ti 6Al-4V</b>
<b>Ti 3Al-2.5V</b>	<b>Ti 6Al-5Zr-0.5Mo-Si</b>
<b>Ti Al-Mo-2Sn-Si</b>	<b>Ti 6Al-6V-2Sn</b>
<b>Ti 5Al-2.5 Sn</b>	<b>Ti 8-1-1 (alle Formen)</b>
<b>Ti 6-2-4-2</b>	<b>Ti Ni-Mo</b>

#### 4.2.2.1 Slitiny alfa

Mezi základní slitiny titanu patří TiAl5Sn2,5. Její vlastnosti (tab. 9) se podobají čistému titanu, ale pevnost a z ní odvozené vlastnosti jsou zhruba dvojnásobné. I při větší pevnosti je lze omezeně zpracovat tvářením za studena, zejména při menším obsahu. Používá se převážně v měkkém stavu, zvláštní tepelné zpracování se nevyžaduje. Slitina je strukturně stabilní a použitelná i za zvýšených teplot (do 500 až 550 C°). [10]

*Tab. 9 Mechanické vlastnosti vybraných Ti slitin se strukturou alfa nebo převážně alfa fáze[10]*

Typ	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A (%)	E (GPa)
<b>Ti99,6</b>	<b>240</b>	<b>170</b>	<b>25</b>	<b>103</b>
<b>Ti99</b>	<b>550</b>	<b>480</b>	<b>15</b>	<b>104</b>
<b>TiAl5Sn2,5</b>	<b>825</b>	<b>795</b>	<b>10</b>	<b>110</b>
<b>TiAl5Sn2,5ELI</b>	<b>725</b>	<b>655</b>	<b>10</b>	<b>110</b>
<b>TiAl2Mo4Sn11</b>	<b>1000</b>	<b>895</b>	<b>10</b>	<b>100</b>
<b>TiAl6Zr11Nb2Mo1Ta1</b>	<b>1000</b>	<b>950</b>	<b>9</b>	<b>120</b>
<b>TiAl6Nb2Mo1Ta1</b>	<b>770</b>	<b>670</b>	<b>10</b>	<b>114</b>
<b>TiAl8V1Mo1</b>	<b>895</b>	<b>825</b>	<b>10</b>	<b>124</b>

Předností alfa slitin jsou vhodné vlastnosti i při nízkých a velmi nízkých teplotách, takže slitinu lze používat i při -200 C°.

Přidáním malého množství prvků, stabilizujících fázi beta se vytvořily slitiny, označované jakou pseudo alfa-slitiny nebo slitiny blízké alfa-typu. Jsou to slitiny alfa se 2 až 8% beta fáze v rovnovážném stavu. Jejich základem jsou slitiny typu Ti-Al-Mn s omezeným obsahem legovacích prvků, pevnost se mění zejména v závislosti na obsahu uhlíku od 500 MPa do 1200 MPa. [10]

#### 4.2.2.2 Slitiny alfa + beta

Do skupiny dvoufázových slitin patří největší počet slitin titanu. Mezi nejvýznamnější a nejvíce vyráběné alfa+beta slitiny patří TiAl6V4 (tab. 10). Je zařazena mezi všechny vý-

robce titanových slitin. Její předností je velmi dobrá zpracovatelnost, dobrá svařitelnost, ale také příznivé mechanické vlastnosti. Nejčastější použití je v měkkém stavu s teplotou rekrystalizačního žíhání 700 – 800 °C, po žíhání 1 až 8 hodin se doporučuje pomalé ochlazení do teploty 550 °C. Pevnostní vlastnosti lze zvětšit tepelným zpracováním, které se skládá z kalení z teploty 850-950 °C a stárnutí při 480-510 °C. Nevýhodou je omezená teplota použití (do 450 °C), protože při vyšších teplotách nastává rychlý pokles mechanických vlastností. Slitina je však vhodná pro použití středních, ale i nízkých teplot, zejména při malém obsahu nečistot (TiAl6V4ELI). [10]

Tab. 10 Mechanické vlastnosti slitiny TiAl6V4 [10]

Stav	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A (%)	E (GPa)
žíhaný	990	900	30	100
kalený	1050 až 1200	750 až 1000	2 až 25	90 až 110
vytvrzovaný	1100 až 1250	1025 až 1150	2 až 5	110 až 115

K dvoufázovým slitinám patří i řada dalších, které se sice v literatuře uvádějí, ale jejich praktický význam je omezen. Příklady některých běžnějších typů jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 11 Mechanické vlastnosti vybraných dvoufázových slitin titanu [10]

Typ	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A (%)	E (GPa)
TiAl2Mn1,5	655	560	20	
TiAl6Mo2Cr2FeSi	1050	900	13	115
TiAl6Zr2Si	990	850	6	121
TiAl6Mo3ZrFeSi	1100	950	12	120
TiAl6Mo3,5Zr2Si	1150	1050	10	118

#### 4.2.2.3 Slitiny beta

U přechodových slitin se zvětšuje obsah prvků stabilizujících fázi beta a snižuje obsah Al (do 3%). Někdy i slitiny zařazují mezi pseudo beta-slitiny nebo metastabilní. Vynikají velkou pevností v žíhaném stavu (kolem 1100 MPa) a po tepelném zpracování mají pevnost až 1400 MPa, při menší pevnosti mohou mít i dobré plastické vlastnosti.

Metastabilní beta-slitiny vynikají dobrou tvárností a velkou houževnatostí i zpracovatelností ve vystrnutém stavu, a to i u velkých rozměrů výrobků. Mechanické vlastnosti vybrané slitiny jsou uvedeny zde (tab.12). [10]

Tab. 12 Mechanické vlastnosti slitin beta

Slitina	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	A (%)	E (GPa)	Stav
TiAl3Cr11V13	980	950	15	40	žíháno
TiAl3Cr11V13	1695	1600	6	10	tvářený a vy- tvrzený

## 5 OBRÁBĚNÍ MATERIÁLU SKUPINY S A TITANU

### 5.1 Obrábění materiálu skupiny S

Tyto slitiny, používané především v leteckém a kosmickém průmyslu pro výrobu součástí vystavených namáhání za vysokých teplot, patří k nejhůře obrobitelným strojírenským materiálům. Jejich vznik a vývoj je výsledkem snah po dalším zvyšování pevnosti a korozi-vzdornosti strojírenských materiálů za vysokých teplot. Úměrně se zvyšováním pevnosti za vysokých teplot se však zhoršuje obrobitelnost těchto slitin. [12]

Podle chemického složení dělíme tyto tzv. „superslitiny“ na 4 skupiny:

- slitiny na bázi Fe
- slitiny na bázi Ni
- slitiny na bázi Co
- slitiny Ti [12]

Fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou příčinou zhoršené obrobitelnosti jsou,:

- Nízká tepelná vodivost těchto slitin má za následek zvýšení množství tepla vzniklého primárně, ale zejména sekundárně plastickou deformací, které přechází do bříty (u materiálů s vyšší tepelnou vodivostí by více tohoto tepla odešlo s třískou). To vede k vysokým řezným teplotám (teplotám funkčních ploch bříty, zejména čela), které mohou vedle vysoké intenzity opotřebení bříty i při relativně nízkých řezných rychlostech dosáhnout meze tepelné stability bříty VBD, a tím zvýšit nebezpečí jeho plastické destrukce.
- Velký sklon k adhezi obráběného materiálu, zejména slitin Ni na bříty vede k tvorbě nárůstku se všemi nepříznivými důsledky. Nárůstek může vyvolat vydrolení ostří při periodickém rozrušování a odtrhávání jeho částic. Vzniká tak velmi nepravidelné opotřebení hřbetu i čela silně abrasivním účinkem jeho zpevněných částic.
- Sklon k silnému zpevňování plastickou deformací má za následek silný otěr bříty v místech, kde přichází do styku s materiálem obrobku zpevněným v oblasti sekundární nebo terciární plastické deformace (zpevnění při předchozím hrubo-

vání). To se projevuje hlubokým vrubem (rýhou) na čele i hřbetu v místě, kde končí záběr hlavního ostří s obrobkem.

- Vysoká pevnost materiálu má za následek velké řezné síly a tím dochází k velkému zatížení břít. Výjimku tvoří slitiny Ti, které jsou v porovnání s ostatními superslitinami lépe obrobitelné. Vysoké řezné síly vedou nejen k vysokému mechanickému zatížení břitu, což vyžaduje materiál VBD s vysokou mechanickou pevností, ale i vynaložení velkého množství mechanické energie pro řezání. Tato energie se prakticky celá přemění v teplo, jehož část se odvádí břitem. To vede k vysokému tepelnému zatížení břitu. Pokud by se v tomto případě zachovala úroveň řezné rychlosti jako u běžných ocelí, došlo by u břitu nástroje SK k rychlému opotřebení, nebo k plastické destrukci. Toto nebezpečí je nutno eliminovat volbou podstatně nižších řezných rychlostí  $v_c$ . V diagramu jsou uvedeny hodnoty středních řezných rychlostí  $v_{15}$  při soustružení posuvem  $f = 0,3 \text{ mm/ot}$ . U legované oceli hlavní skupiny P a korozivzdorné oceli austenitické M jsou uvedeny hodnoty  $v_{15}$  pro materiály VBD 6630 a 8030 a pro superslitiny pro materiál 8030.
- Velká pevnost za vysokých teplot má za následek menší pokles řezné síly  $v_c$  účinkem zvýšené řezné teploty.
- Vznik třísky s výrazněji oddělenými elementy obdobně jako u austenitických ocelí vede k silnému kolísání řezné síly a k nepříznivému cyklickému namáhání břitu a ke zvýšenému nebezpečí porušení břitu únavou. [12]

Tab. 13 Obráběné materiály – Obrobitelnost I [12]

Niklové slitiny	Obrobitelnost(%)	Titanové slitiny	Obrobitelnost(%)
Astroloy	14	Ti (čistý) - (trubka)	60
Hastelloy B-2	20	Ti (čistý) - (plech, tyč, výkovek)	45
Hastelloy C (plech)	25	Ti 17	18
Hastelloy C (odlitek)	20	TI 2Cu	30
Hastelloy C-22	20	Ti 3Al-2,5V (tyč, výkovek)	25
Hastelloy C-276	18	Ti 3Al-2,5V (žíhaná trubka)	30
Hastelloy C-4	18	Ti 4Al-4Mo-2Sn-Si	30
Hastelloy G	18	Ti 5Al-2,5 Sn (žíháno)	35
Hastelloy G-3	18	Ti 5Al-2,5 Sn (ELI)	40
Hastelloy N (tyč, výkovek, kroužek)	20	Ti 5Al-2,5 Sn	35
Hastelloy N (odlitek)	18	Ti 5Al-2,5 Fe	30
Hastelloy S	25	Ti 6-2-4-2 (precipitačně vytvrzeno)	25
Hastelloy W	18	Ti 6-2-4-2 (žíháno)	30
Hastelloy X	18	Ti 6-2-4-6 (precipitačně vytvrzeno)	25
IN 100	8	Ti 6-2-4-6 (žíháno)	35
Inconel 600	20	Ti 6Al-4V (žíháno, výkovek, kroužek)	30-35
Inconel 601	20	Ti 6Al-4V (žíhaný odlitek)	35
Inconel 625 (odlitek)	24	Ti 6Al-4V (precipitačně vytvrzeno tyč, výkovek)	30
Inconel 625 (tyč, výkovek, kroužek)	16		
Inconel 625 (trubka)	18		
Inconel 706	20	Ti 6Al-4V (protlačováno)	35
Inconel 708 (tyč, výkovek, kroužek)	16-20	Ti 6Al-4V (ELI)	40
Inconel 713	14-16	Ti 6Al-5Zr-0,5Mo-Si	20
Inconel 713,LC	16	Ti 6Al-6V-2Sn	30
Inconel 718 (odlitek)	16	Ti 8-1-1	30
Inconel 718 (tyč, výkovek, kroužek)	14	Ti Ni-Mo	40
Inconel 718 (trubka)	16		
Inconel 901	14-18	<b>Slitiny železa</b>	<b>Obrobitelnost(%)</b>
Inconel X750 (homogenizačně žíháno)	20		
Inconel X750 (precipitačně tvrzeno)	14	A286 (plech)	20
Mar-M-200	8	A286 (homogenizačně žíháno)	18
Mar-M-247	10	A286 (precipitačně vytvrzeno)	16
Modf.IN 100	8	AM350 (odlitek)	18
Modf. Inconel 792	12	AM350 (tepelně zpracováno)	25



Nikl 201	60	AM355	16
Nimonic 101	10	Custom 455	20
Nimonic 105	18	Discaloy	20
Nimonic 115	14	IN 800	16
Nimonic 263	16	IN 801	20
Nimonic 80A	18	Incoloy 909	16
Nimonic 81	16	Lapelay	25
Nimonic 86	20	M308	20
Nimonic 90	10	N 155 (tyč, výkovek, kroužek)	20
Nimonic 901	18	N 155	16
Nimonic 91	10		
Rene 95	6		
TD Nikl	14		
Udimet 500	12		
Udimet 700	12		
Waspaloy (odlitek)	16		
Waspaloy (tyč, výkovek)	14		

Tab. 14 Obráběné materiály – Obrobitelnost 2 [12]

Kobaltové slitiny	Obrobitelnost(%)	Precipitačně tvrzená ne-rezová ocel	Obrobitelnost(%)
Air Resist 13	4	15-5PH	16
H531	6	17-4PH (precipitačně vytvrzeno)	16
Haynes 25	12	17-4PH (homogenizačně žiháno)	30
Haynes 188 (tyč, výkovek, kroužek)	12	17-7PH (homogenizačně žiháno)	25
Haynes 188 (trubka)	14	PH15-7Mo (precipitačně vytvrzeno)	16
MP35N	16	PH15-7Mo (homogenizačně žiháno)	40
MP 159	16		
Stelite 21	16		
Stelite 30	16		
Stelite 31	16		
W 152	16		
WI 62	14		
Mar-M-302	16		
Mar-M-509	12		

## 5.2 Obrábění titanu a jeho slitin

Titan je jeden z těžkoobrobitelných materiálů. Z důvodu nízké tepelné vodivosti, vysoké aktivity a afinity k materiálu nástroje. Titan patří mezi materiály, které jsou hořlavé a pokud nejsou provedeny zvláštní opatření, představují jisté riziko. [12]

### 5.2.1 Obrobitelnost

Slitiny titanu jsou lépe obrobitelné než všechny ostatní superslitiny. Ke zhoršené obrobitelnosti je nutno připojit nízké přechování třísky a vysokou chemickou aktivitu titanu, hlavně u nově vzniklých čistých povrchů.

Jejich obrobitelnost je ovlivněna typem slitiny. Čistý titan a jeho slitiny  $\alpha$  jsou dobře obrobitelné, na rozdíl od slitin  $\alpha$ - $\beta$ . Při obrábění vznikají vysoké řezné teploty, tak je potřeba chlazení řeznou kapalinou.

Malé přechování má za následek rychlejší pohyb třísky po čele, a proto ke většímu množství tepla vzniklého třením za jednotku času v oblasti sekundární plastické deformaci, a tím i vyšším řezným teplotám.

Nízký součinitel přechování má za následek zkrácení délky kontaktní plochy mezi třískou a čelem, a tím i ke koncentraci tepla v bezprostřední blízkosti ostří. Vysoká chemická aktivita titanu má za následek rychlou oxidaci obrobené plochy a plochy řezu. Dochází k pevnému nalepování třísky na břit, což vyvolává nebezpečí poškození ostří, zejména při přerušovaném řezu při výstupu břitu. [12]

### 5.2.2 Problémy při obrábění

Při obrábění titanu a jeho slitin dochází ke zrychlenému zpevnění povrchu, který způsobuje značné otupování nástroje. Z důvodu malého styku nástroje a obráběného předmětu vzniká malá trvanlivost nástroje, tudíž i vysoký měrný tlak. Titan je chemicky reaktivní a proto se snaží navařovat na nástroj během obrábění, toto vede k vylamování a poškozování nástroje. Nízká tepelná vodivost velmi zvyšuje teplotu v místech, kde se stýká nástroj s třískou, toto také ovlivňuje trvanlivost. Díky nízkému modulu pružnosti dovoluje titan větší šermování obrobku. Titan je velmi náchylný na poškození povrchu při obrábění, obzvláště při broušení. To se může projevit ve snížení únavové pevnosti součásti. Opatřebení brusných kotoučů zaviňuje chemická reakce titanu, ale pouze s některými typy brusiva. [12]

### 5.2.3 Chování titanu při řezání – tvorba třísky

Nižší řezné síly spotřebovaný výkon souvisí s menší plochou kontaktní třísky s čelem nástroje a vede k intenzivnímu opotřebení jeho hřbetu. V důsledku malé plochy kontaktu je úhel deformací velký a tříska je tenká, často o málo drsnější než drsnost řezu. Odcházející tříska je plynulá, ale vyznačuje se výraznými segmenty (pilová tříska). Při obrábění technicky čistého titanu se nárůstek netvoří a zóna plastického tečení na čele je velmi tenká (méně jak 0,012 mm). Charakteristickým znakem tvoření třísky je periodický vznik pásů koncentrovaného smyku s velkou poměrnou deformací, která je doprovázená rychlým smykovým porušením materiálu v důsledku plastické nestability. Proces deformace je s velkou pravděpodobností adiabatickým skluzem. Smykové porušení třísky se objevuje na její vnější straně ve formě trhlin a na vnitřní straně ve formě silně deformovaných pásů.

[11]

### 5.2.4 Nástrojové materiály

Řezné nástroje, které se používají při obrábění titanu, vyžadují velkou odolnost proti opotřebení a požadovanou tvrdost. Nástroje vyrobené ze slinutých karbidů (stupně K20 a K10) dávají optimální výrobní výkon. Vhodné jsou i nástroje z rychlořezných ocelí (wolframová a molybdenová RO) a nejlepší výsledky jsou dosahovány s vysoce legovanými druhy rychlořezných ocelí.

Nové druhy nástrojových materiálů jako např. keramika, povlakované slinuté karbidy, polykristalický diamant, nenašly uplatnění při zvýšení produktivity obrábění titanových součástí. [12]

### 5.2.5 Řezné kapaliny

Dobře použitá řezná kapalina během obráběcích operací velice prodlužuje trvanlivost nástroje. Komplexní operace a malá rychlost potřebují chlorované a sířené oleje, aby zmenšily řezné síly a sklon k zadírání a nalepování titanu. Nejlepší trvanlivosti se dosahuje při použití chemicky aktivních řezných kapalin.

Je potřeba velké množství řezné kapaliny, aby obrobek i nástroj byly během obrábění chladné a nepřehřívali se. Více než oleje jsou vhodnější kapaliny na vodní bázi. Při rychlostním obrábění je nejvhodnější roztok inhibitoru koroze a emulgačního oleje (5-10%). [9]

Tab. 15 Doporučené množství řezné kapaliny při obrábění [12]

Operace	Řezná kapalina (l/min)
<b>Soustružení</b>	20
<b>Řezání závitů</b> - do průměru 25mm	132
50mm	170
75mm	237
<b>Frézování</b> - malé frézy	19/nástroj
- velké frézy	sž 227/nástroj
<b>Vrtání, vystružování</b> - do průměru 25mm	7.11
- velké průměry	0,3 - 0,45x průměr díry
<b>Broušení průměru</b> 4,6 - 9,4mm	7.23
9,4 - 19mm	20 - 65
19 - 30mm	40 - 150
30 - 60mm	64 - 190
<b>Vnitřní odebrání třísky průměru</b>	
7,9 - 9,4 mm	20 - 30
9,4 - 19mm	30 - 98
19 - 30mm	98 - 250
30 - 60mm	250 - 490
<b>Trepanace(vypichování)</b>	
vnější hlava o průměru 50 - 90mm	30 - 180
90 - 150mm	61 - 300
150 - 200mm	120 - 394
vnitřní hlava o průměru 60 - 150mm	415 - 814
150 - 300mm	814 - 1300
300 - 400mm	1300 - 1740
400 - 610mm	1740 - 2160
<b>Honování</b> - menší díry	40/zdvih
- větší díry	0,45/zdvih x délka díry
<b>Bezhrté broušení</b> - menšího průměru	76
- většího průměru	150
<b>Ostatní broušení</b>	0,75/mm šířky kotouče

### 5.3 Metody obrábění titanu a jeho slitin

Běžné metody zahrnují soustružení, čelní válcové frézování, vrtání, řezání závitů závitníkem, vystružování, broušení, broušení pásové, řezání pilou. Hodně jsou rozšířeny metody nekonvenční, jako elektrochemické, chemické a obrábění laserem. [9]

#### 5.3.1 Soustružení

Soustružení patří mezi nejjednodušší operace při obrábění titanu a jeho slitin. Největší produktivitu obrábění dávají slinuté karbidy. Přerušovaný řez, zapichování a drážkování, jsou nejlépe proveditelné nástroji rychlořezných ocelí. Nástroje musí být ostřené a vyměňované

dříve, než by mělo dojít k jeho porušení. Opotřebení bývá 0,04 mm u nožů z slinutých karbidů a 0,8 mm u nožů z RO.

Důležitý je úhel čela – negativní úhel čela. Ten je doporučován pro hrubování nástroji ze slinutých karbidů. Pozitivní úhel čela je výhodný pro polohrubování a dokončování, pokud jsou použity nože z RO.

Pokud se zvětší plocha styku obráběného předmětu s nožem, lze prodloužit trvanlivost nástrojů. Nástroje se musí upevňovat a podpírat co nejbližší ostří, tak aby se zaručila co největší stabilita. Nůž se nastavuje na střed obráběného předmětu.

V podstatě můžeme rozlišit soustružení na dvě velké skupiny:

- soustružení litých ingotů nebo tvarových odlitků, popř. hrubě kovaných výkovků
- soustružení předmětů nebo výrobků obráběných z polotovarů s čistým kovovým povrchem

Podmínky pro obě skupiny se mohou podstatně lišit a záleží zejména na povrchové vrstvě, abychom správně určili jak rychlost, tak i ostatní podmínky řezu.

Soustružení odlitků nebo výkovků s povrchovou vrstvou na níž se projevil vliv kyslíku nebo jiných plynů je značně obtížné, protože pod povrchem odlitků mohou být dutiny. Doporučuje se malá řezná rychlost asi 9m/min, větší tloušťka třísky a posuv 0,3 - 0,5 mm/ot. U výkovků je možno v mnoha případech vystačit jen s opískováním a mořením. Při soustružení nemá řezná rychlost překročit 12 m/min, nástroje mají být houževnaté a u slinutých karbidů je lépe volit větší obsah kobaltu. Poloměr zaoblení špičky nože má být 0,4 mm.

Pro běžné soustružení je možno volit podstatně větší rychlosti a to hlavně podle jeho vlastností a druhu materiálu. Při soustružení titanu slinutými karbidy můžeme volit rychlosti až 100m/min. Pro rychlořezné oceli jsou dovoleny řezné rychlosti asi poloviční. Ideální hodnoty u posuvu se pohybují od 0,2 – 0,3 mm/t. Tloušťka třísky je nepřímo úměrná řezné rychlosti a bývá nejvýše 5 mm. U slitin titanu s vysokou pevností se dá pracovat se stejným posuvem, řezná rychlost ovšem musí být o mnoho menší než u titanu, např. 30 – 50 m/min při použití nástrojů z SK a 10 - 20 m/min, jsou-li nástroje z RO. Při řezání jsou nejdůležitějšími parametry rychlost a posuv. [9]

### 5.3.2 Frézování

Protisměrné frézování může být použito pokud je možné, aby se snížilo vylamování nástroje. Nízká rychlost a běžný posuv snižují teplotu řezání a opotřebení. Posuv na zub musí být volen pečlivě. Řezné rychlosti jsou v rozsahu 60 – 105 m/min.

Nástroje se nesmí zastavit v řezu, nebo se třít po obrobku. Rychlořezné nástroje jsou vhodné pro frézování. SK nástroje dávají větší výkon řezání, ale jsou více náchylné na porušení. Zvětšení úhlu hřbetu zvyšuje trvanlivost při snížení tlaku a deformace ve srovnání s běžnými úhly. Lze frézovat jak válcovými horizontálními frézami, nebo frézami s vertikálními hlavami. Souběžné frézování propůjčuje větší trvanlivost nástrojům, vyžaduje však silnější stroje. V zásadě je lépe volit menší rychlost frézování, větší tloušťku třísky i větší posuv. Chladit lze emulzemi s inhibátorem koroze. Nízkoviskozní sířený – chlorovaný olej může taky použít, když se pracuje s nízkými řeznými rychlostmi. [12]

### 5.3.3 Vrtání

Největším problémem při vrtání je odstranění třísky v dlouhých otvorech. Z tohoto důvodu se doporučuje vždy při vrtání otvoru do hloubky asi poloviny průměru vrtáku vytáhnout nástroj a třísku odstranit. Obzvláště po otupení nástroje se tříska lepí na vrták a nástroj se proto zadírá.

Vrtáky se vyrábějí z rychlořezných ocelí s větším obsahem kobaltu. Je doporučeno, aby se břitzy nástroje chromovali nebo oxidovali a tím se zmenšilo zadírání nástroje. Vrtáky o větších průměrech dr mohou osazovat vložkami ze slinutých karbidů typů G. Zastavení vrtáku, které se stává při vrtání ručním posuvem se vylučuje. K chlazení a mazání se osvědčily sulfované minerální oleje nebo směs jednoho dílu minerálního oleje, pěti dílů rostlinného oleje a 18 dílů vody. Pokud použijeme k chlazení tekutý kysličník uhličitý, lze zmenšit opotřebení nástroje. [9]

### 5.3.4 Vystružování

Vystružovat je možné díry s tolerancí 0,05 do 0,00. Výstružník má snahu se zakusovat a zadírat, ale dobrá konstrukce a pracovní podmínky účinně odstraňují tyto problémy. Přídavek musí být dostatečný, aby bylo zabezpečeno plynulé řezání a zabránilo se zpevnění povrchu.

Používají se nástroje z RO, nástroje ze slinutých karbidů dovolují vyšší rychlost a mají i větší životnost. Výstružníky se zuby ve šroubovici dávají větší životnost, než výstružníky s přímými zuby.

Jako nejlepší oleje se doporučují sířené oleje. Chvění u výstružníků o malých průměrech a šířka břitu je menší, jsou-li výstružníky kuželovité, nebo mají-li větší úhel stoupání šroubovice. Malé úhly podbroušení zhoršují jakost povrchu. Řezná rychlost se volí 15 -60 m/min, posuv 0,1 – 0,2 mm/ot. [9]

### 5.3.5 Řezání závitů

Je to jeden z nejobtížnějších úkonů obrábění titanu, zejména proto, že špatný odvod třísek z otvorů, nalepování titanu na nástroj a zvýšené tření způsobují zadírání a poškození závitníku i zvětšení kroutícího momentu. Doporučuje se používat závitníku se šroubovitými drážkami místo běžných závitníků s přímými drážkami.

Osvědčil se úhel břitu 5, úhel hřbetu 8, úhel sklonu hlavního břitu je 0. Rychlost řezání závitu má být asi 1 – 2 m/min. Průměr předvrtané díry má být o 0,1 mm menší než vnitřní průměr závitu. Délka závitu v otvoru nemá být větší než 1,5 průměru. Doporučuje se řezat vnější závity na soustruhu, závitová očka nejsou vhodná. [9]

### 5.3.6 Broušení

Při obrábění titanových slitin nabývá na významu technologie broušení, která bývá často jedinou technologií, která zaručuje požadovaný úběr materiálu a kvalitu obrobeneho povrchu – což je důležité pro výrobu dynamicky tepelně namáhaných součástí, energetických zařízení a letecké výroby.

Titan a jeho slitiny patří mezi těžkoobrobitelné materiály - z toho plyne, že broušení je 6x až 10x dražší než broušení nerezavějících ocelí. Při broušení titanových slitin se brousící nástroje opotřebují několikrát rychleji jak při broušení ocelových materiálů. Toto je způsobeno mechanickým, chemickým a tepelným namáháním.

Místo tvoření plynulé třísky dochází k intenzivním plastické deformaci materiálu pod zrnem, Tento materiál se slepí se zrnem a nedochází vlastně ke tření mezi zrnem a třískou, ale mezi titanem třísky a titanem obrobku, čím výrazně stoupá teplota řezání. Z hlediska opotřebení brousící materiálů se při zkouškách ukázaly jako nejvhodnější super tvrdé brousící materiály – kubický nitrid boru a syntetický diamant. Optimální velikost zrn SiC má být 60 až 80mm, řezná rychlost 20 – 30 m/s, posuv okolo 0,025 mm/zdvih. [11]

### 5.3.7 Řezání

Nejjednodušeji lze dělit tyče a ingoty pilami z RO. U kotoučových pil jsou výhodné zuby se slutých karbidů.

Pro dělení rámovou pilou je třeba tuhá soustava a chlazení. Malá rychlost a trvalý posuv kombinovaný s hrubými roztečemi zubů a pilový list z RO.

Dělení autogenním plamenem není výhodné, neboť na okolí řezu má značný vliv teplota i plyny a také řezné plochy nejsou čistě hladké a vyžadují další úpravu.

Dělit lze také třecími pilami pásovými i kotoučovými. Často se uplatňuje dělení rozbrušováním, jsou-li ostatní způsoby dělení obtížné. Je však třeba se starat o to, aby styk kotouče s předmětem na jednom místě byl co nejkratší, na místo řezu se musí přivádět dostatečné množství chladící tekutiny. Při dělní třením i rozbrušováním je třeba po řezu kontrolovat, zda-li na strukturu v okolí řezu nemělo podstatný vliv teplo tření nebo pnutí. [9]

## 5.4 Řezné materiály a geometrie pro obránění litin superslitin

### 5.4.1 Obrobitelnost šedé, tvárné, temperované a bílé (tvrzené litiny), charakter namáhání a opotřebení břítu

Z hlediska obrobitelnosti je zapotřebí oddělit šedou, tvárnou a temperovanou litinu, které jsou podle normy ISO 513 zařazeny do hlavní skupiny K a bílou (kokilovou) litinu, která vzhledem k vysoké tvrdosti vyvolává po kvantitativní stránce odlišné namáhání břítu a je podle téže normy ISO zařazena do hlavní skupiny H. [12]

#### 5.4.1.1 *Obrobitelnost a obrábění šedé, tvárné a temperované litiny – materiály hlavní skupiny K*

Do této skupiny je zařazena šedá litina nelegovaná i legovaná tvárná a temperovaná litina. Litina je slitinou železa a uhlíku s obsahem uhlíku v rozmezí  $C \approx 2 \div 4 \%$ . dále obsahuje přísady Si, Mn, P a S. Legovaná litina obsahuje navíc přísady Ni, Cr a Mo, které zvyšují její korozivzdornost a žáruvzdornost. [12]

#### 5.4.1.2 *Mechanické vlastnosti a mikrostruktura – vliv na obrobitelnost*

V mikrostruktura litiny je uhlík přítomen jednak ve formě volného uhlíku – grafitu, jednak ve formě karbidu  $Fe_3C$  – cementitu. Grafit může být ve formě lamelární, jako v šedé litině



nebo globulární, jako v tvárné případně temperované litině. Je rozmístěn v základní struktuře feritické nebo perlitické, nejčastěji ve smíšené struktuře feriticko-perlitické. Velmi dobře obrobitelná je litina feritická s malým podílem perlitu, která obsahuje tvrdosti HB < 150.

- Feritická litina má sklon k nalepování plastického feritu na břit – k tvorbě specifické formy nárůstku.
- Litina feriticko-perlitická nebo perlitická dosahuje v závislosti na jemnozrnnosti perlit tvrdosti v rozmezí 150 ÷ 300 HB. [12]

Ukazatelem obrobitelnosti litiny je tvrdost. Zásadně platí, čím vyšší je tvrdost litiny, tím horší je její obrobitelnost. Vliv tvrdosti na obrobitelnost šedé litiny je silnější, než je vliv tvrdosti na obrobitelnost litiny tvárné a temperované. [12]

Významný vliv má na obrobitelnost litiny i přítomnost karbidické fáze, zejména karbidů legujících prvků. Zatímco jemnozrnný cementit v perlitu má dobrou obrobitelnost, hrubozrnné karbidy obrobitelnost litiny zhoršují.

Zvýšenou tvrdost, a proto zhoršenou obrobitelnost mají rychle chladnoucí tenkostěnná místa odlitků (rohy a výstupky). Silně zhoršenou obrobitelnost mají odlitky obsahující vměstky písku. Hodnoty relativní obrobitelnosti:

- šedá litina ~ 100 %
- temperovaná ~ 95 %
- tvárná ~ 85 % [12]

#### **5.4.1.3 Vznikající tříška, charakter namáhání a opotřebení břitu**

Při obrábění šedé litiny vzniká krátká dělená tříška plasticky téměř nedeformovaná. Při obrábění tvárné a temperované litiny vzniká delší, již částečně plasticky deformovaná tříška.

Řezné síly dosahují při obrábění šedé litiny o tvrdosti HB 200 cca 60 % úrovně řezných sil při obrábění oceli stejné tvrdosti. U tvárné litiny dosahují řezné síly ( $F_c$ ) cca 85 % a u temperované litiny cca 73 % síly při obrábění oceli stejné tvrdosti.

Při obrábění litiny však dochází k většímu kolísání velikosti hlavní složky řezné síly  $F_c$  při odtrhávání plasticky nedeformovaných elementů třísky, což vyvolává cyklické zatížení břitu s relativně velkou amplitudou. V porovnání s plasticky deformovanou třískou při obrábění ocelí je hlavní složka resp. její působíště posunuto blíž k ostří. Těmto požadavkům lépe vyhovují povlakované materiály se substráty typu WC + Co resp. WC + TaC + Co, které mají pevnost v ohybu vyšší, než materiály WC + TiC + TaC + Co při stejném obsahu Co (při pokojové teplotě). [12]

Opotřebením břitu – při tvorbě plasticky nedeformované třísky jsou zdrojem tepla pouze pružné deformace a tření, a proto jsou řezné teploty nižší. Proto je podíl chemického typu opotřebením v těchto případech nižší a převládá opotřebením adhesní.

Vůči tomuto typu opotřebením jsou odolnější druhy povlakovaných materiálů typu WC + Co resp. WC + Ta + Co. Jde např. o materiály 6620, 8016 ale i 8030, 8040. [12]

Při vhodně zvolených řezných podmínkách je charakteristickým typem opotřebením ploška opotřebením hřbetu VB resp. špičky VBD. Při středních řezných rychlostech vzniká ploška opotřebením i na čele. Při vysokých řezných rychlostech může dojít i ke vzniku výmolu na čele, který na rozdíl od výmolů vznikajících při obrábění ocelí, těsně přilehá k ostří a který se často prolomí i na hřbet. V těchto případech se v procesu opotřebením začíná prosazovat chemické opotřebením. [12]

U tvárné a temperované litiny s vyšší tažností vznikají již částečně plasticky deformované třísky, a proto i vyšší řezné teploty. Délka styčné plochy mezi třískou a čelem nástroje je větší než u šedé litiny. V procesu opotřebením se začíná výrazněji uplatňovat chemické opotřebením. [12]

S ohledem na minimální podíl plastické deformace na tvorbě třísky při obrábění šedé litiny, není jakýkoliv požadavek na dodržení kladného úhlu čela VBD naléhavý. Kladné úhly čela jsou preferovány při obrábění materiálů, u kterých vzniká plasticky deformovaná tříška, protože omezují velikost primární a hlavně sekundární plastické deformace, která rozhoduje o úrovni tepelného zatížení břitu, a tím i intenzity jeho opotřebením. [12]

Použití méně pozitivní geometrie čela nebo negativních úhlů  $\chi_0$  má za následek zvýšení úhlu břitu  $\beta$ , a tím i zvýšení jeho pevnosti v bezprostřední blízkosti ostří, což je u nástrojů pro obrábění litiny výhodné (ani zvýšení tepelné zátěže břitu nemůže být podstatné). Proto je možno použít jak negativní VBD s rovným čelem, tak i VBD s předlisovaným utvaře-

čem, který má širší stabilizační fazetku převážně s nulovým nebo negativním úhlem čela. U speciálních utvařečů pro soustružení materiálů skupiny K se však setkáme i s pozitivní geometrií utvařečů zřejmě pro obrábění plastičtějších druhů litiny, zejména feritické tvárné litiny. [12]

#### 5.4.2 Obrobitelnost tvrzené (kokilové) litiny

Tvrzená litina je podle normy ISO 513 zařazena do hlavní skupiny H, protože její tvrdost (pevnost) podstatně převyšuje tyto mechanické vlastnosti ostatních druhů litin. Jejich tvrdost se pohybuje v rozmezí  $55 \div 80$  Sh. Vysoká tvrdost tvrzené litiny vyvolává vysoké řezné síly. V porovnání např. se šedou litinou, u které dosahuje specifický řezný odpor hodnot  $k_{c1} = 780 \div 1560$  MPa dosahují u tvrzené litiny  $k_{c1} = 2060 \div 2300$  MPa.

Obrobitelnost tvrzené litiny je klasifikována jako velmi špatná a nejtvrďší druhy jsou slinutými karbidy prakticky neobrobitelné. [12]

##### 5.4.2.1 Obrábění tvrzené litiny – namáhání a opotřebení břitu

Prakticky nulová plasticita tvrzené litiny vede při obrábění ke vzniku plasticky nedeformované třísky drobné, někdy elementární, se spojenými částicemi. Vysoké hlavní složky řezné síly  $F_c$  působí bezprostředně u ostří, což zvyšuje nebezpečí jeho křehkého porušení.

Navíc dochází i u tvrzené litiny ke stejnému kolísání hlavní složky řezné síly (obdobně jako u šedé litiny), a proto i podstatně vyšší nebezpečí porušení břitu únavou materiálu. Jelikož při obrábění tvrzené litiny platí, že se prakticky veškerá mechanická energie vynaložená na obrábění mění v teplo, je nutno volit nízké řezné rychlosti  $v_c$  pro udržení únosné intenzity opotřebení břitu. [12]

S ohledem na popsany charakter zatížení břitu je kladen na materiál VBD požadavek pevnosti břitu v bezprostřední blízkosti ostří při dostatečné tepelné stabilitě. Těmto požadavkům nejlépe vyhovují povlakované materiály s povlaky PVD nanesené na jemnozrnné podkladové materiály typu WC + Co resp. WC + TaC + Co s optimálním obsahem Co. Z výrobního programu Pramet jsou to materiály 8016, 8030 resp. 6620 nebo nepovlakovaný HF7 resp. HF10. [12]

Pro soustružení jsou nejvhodnější VBD s rovnými čelem bez utvařeče, které mají větší úhly břítu, a tím větší pevnost ostří. Jde např. o destičky CNMA, SNMA, WNMA s rektifikovaným ostřím + negativní fazetkou (provedení S).

Z hlediska základní geometrie je vhodný negativní úhel čela  $\chi_b$ , protože nedochází k plastické deformaci třísky, a použití pozitivních úhlů čela je tudíž zbytečné, a naopak zmenšují úhel břítu  $\beta$ , a tím jeho pevnost. [12]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 FIRMY, KTERÉ VYRÁBÍ NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ TITANU A TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH MATERIÁLŮ

### 6.1 Přehled destiček a materiálů pro obrábění skupiny S

#### 6.1.1 Sandvik Coromant

Firma Sandvik Coromant vyrábí destičky s utvařečem SM a SMR pro soustružení slitin titanu. Používají se pro hrubování, ale také pro dokončovací operace, jak pro nepřetržitý tak pro přerušovaný řez. Nová geometrie utvařeče zajišťuje snadnou optimalizaci, lepší produktivitu a prvotřídní proces bezpečnosti, aby se splňovaly nároky na kvalitu povrchu. [12]



Obr. 11 Utvařeč SM 1105 [12]

Utvařeč na lehké hrubování, první návrh pro titanové slitiny který slouží na :

- Kontinuální a přerušované řezy
- Velká hloubka řezu
- Vysoké posunové rychlosti [12]

Vlastnosti a výhody:

- Silné ostří
- Vynikající výkon titanových slitin
- Vyšší produktivita [12]



Obr. 12 Utvařeč SMR 1115 [12]

Utvařeč na lehké hrubování, první návrh pro titanové slitiny který slouží na:

- Kontinuální a přerušované řezy
- Velká hloubka řezu
- Vysoké posunové rychlosti [12]

Vlastnosti a výhody:

- Silné ostří
- Vynikající výkon titanových slitin
- Vyšší produktivita s menším počtem průchodů
- Nízká hlučnost i při vysokých posunových rychlostech [12]

### 6.1.2 Kennametal

Firma Kennametal vyrábí tvarový MS utvařeč, pro střední obrábění. V kombinaci s pokročilými stupni KC5510 a KC5525 se cena kovů podstatně zvýšila, načež se zachovala bezpečnost procesu.

KC5510 je první volbou pro dokončování až střední obrábění tepelně odolných materiálů a titanu. Povlak PVD byl speciálně vyvinut pro řešení vznikání velkého tepla při obrábění těchto materiálů. Rychlost obrábění se zdvojnásobila ve srovnání s konvenčním povlakem TiAlN. Jemnozrnný substrát tvrdokovu nabízí vynikající pevnost a odolnost proti deformaci a je ideální pro ostré tvary, používané při obrábění těchto materiálů.

Stupeň KC5525 využívá stejný vysokoteplotní povlak PVD jako KC5510 s kombinací kobaltu, jemného zrna karbidu wolframu, které přidávají větší sílu řezací hrany. Stupeň KC5525 je první volbou pro přerušované řezy. [12]

### 6.1.3 Seco Tools

Soustružení žáru-pevných slitin a je obtížný proces, kde jsou kladeny vysoké požadavky na technologii řezných nástrojů a jejich nejvyšší možnou kvalitu. Aby byly splněny tyto parametry, tak Seco Tools vyvinul dvě materiálové třídy pro tuto specifickou oblast soustružení. Vysoce kvalitní nástroje s vynikající odolností proti opotřebení a tepelnou odolností, vyvinul proto utvařec MF1.

Použitím tříd TS2000 a TS2500 a nejnovějších výrobních technologií se zlepšila kvalita i spolehlivost procesu obrábění. [12]



Obr. 13 Destička TS2000 & TS2500 [12]

### 6.1.4 Walter

Firma Walter vyrábí destičky s utvařecí pro obrábění materiálů s obtížnými řeznými vlastnostmi a pro širší rozsah materiálu obrobku než u ocelí. Walter proto vyvinul dva rozsahy geometrie pro skupinu S.Walter NMS, NRS pro superslitiny s vysokou teplotou a Walter NFT, NMT a NRT pro titanové slitiny. [12]



Obr. 14 Utvařec NFT, NMT a NRT [12]



Pro obrábění součástí motorů, kování šroubů nebo použití v leteckém průmyslu.

Geometrie NFT:

- Dokončovací operace
- Ostří pro extrémně vysokou přesnost
- Základní tvary: C, D, V [12]

Geometrie NMT:

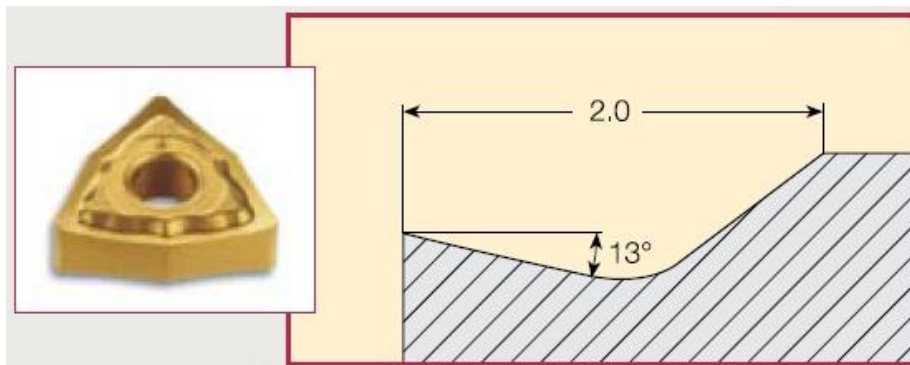
- Střední obrábění
- Použití i pro nestabilní komponenty jako např. vnitřní obrábění
- Nízké řezné tlaky díky zdvojnásobení zakřivené geometrii
- Velmi široký rozsah porušení pro univerzální použití
- Základní tvary C, D, T, W [12]

Geometrie NRT:

- Hrubování
- Stabilní ostří speciálně navrženo tak, aby odolával opotřebení
- Geometrie vyvinuta pro maximální rychlosti úběru kovu
- Základní tvary C, S [12]

### 6.1.5 Iscar

Firma Iscar vyrábí destičky s utvařečem PP z materiálu IC 907 pro střední obrábění.



Obr. 15 Utvařeč PP pro střední obrábění [12]

- Oboustranný, velmi pozitivní
- Ostré, pozitivně radiální okraje
- Pro tepelně odolné slitiny, nerez, slitiny hliníku a měkké oceli s nízkým obsahem uhlíku [12]

Tab. 16 Materiály destiček od firem používané pro obrábění

těžkoobrobitelných materiálů [12]

<b>Destičky používané pro obrábění skupiny S</b>	
<b>Firma:</b>	<b>Materiály destičky:</b>
ISCAR	IC507
ISCAR	IC907
ISCAR	IC3028
KENNAMETAL & WIDIA	KC9225
KENNAMETAL & WIDIA	KC9240
KENNAMETAL & WIDIA	KC9245
KENNAMETAL & WIDIA	TN6010 TiAlN
KENNAMETAL & WIDIA	TN6025 TiAlN
KENNAMETAL & WIDIA	TN5015
KENNAMETAL & WIDIA	TN5020
KENNAMETAL & WIDIA	KC5510 AlTiN
KENNAMETAL & WIDIA	KC5525 AlTiN
MITSUBISHI MATERIALS	US905 TiCN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiN
MITSUBISHI MATERIALS	VP05RT (Al,Ti)N
MITSUBISHI MATERIALS	VP10RT (Al,Ti)N
MITSUBISHI MATERIALS	VP15TF (Al,Ti)N
SANDVIK COROMANT	GC1025
SANDVIK COROMANT	GC1105
SANDVIK COROMANT	S05F
SECO TOOLS	T250D
SECO TOOLS	CP200
SECO TOOLS	CP250
SECO TOOLS	CP500
SECO TOOLS	CP600
SUMITOMO ELECTRIC	EH510Z TiAlN
SUMITOMO ELECTRIC	EH520Z TiAlN
WALTER	WAM20
WALTER	WAM30
WALTER	WSM30

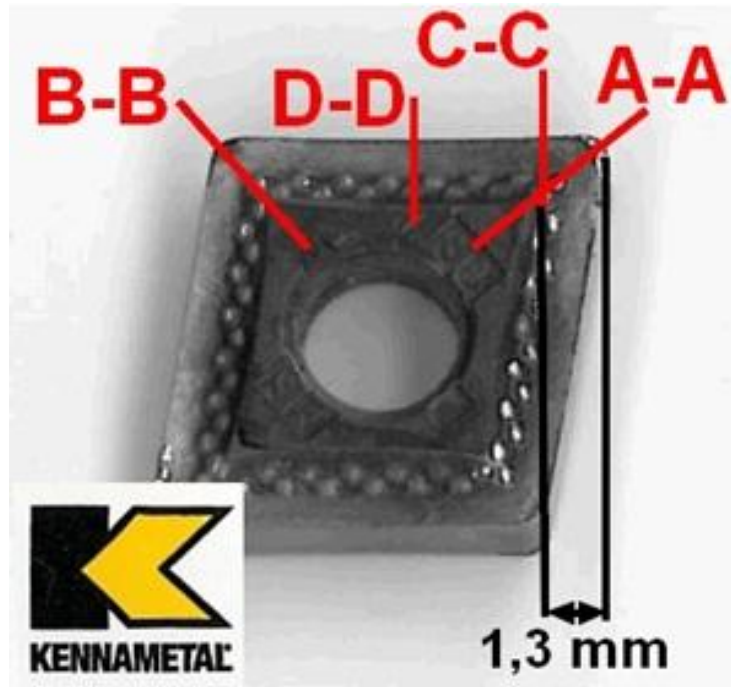
## 7 ANALÝZA KONKURENČNÍCH DESTIČEK

Firma Pramet Tools byla v tomto směru pozadu, jelikož na problematiku obrábění titanu a těžkoobrobitelných slitin neměla žádný sortiment. Firma se proto rozhodla pro vyvinutí destičky do této oblasti, která bude spojená s mojí bakalářskou prací. Na základě teoretických znalostí a zkušeností s obráběním titanu a jeho slitin byl navržen nový utvařeč SM, jako konkurenční byla vybrána konkurenční destička Kennametal (CNMG 120408 – MS, KC 5515), která se proměřila a z dalších zkušeností obrábění se udělal návrh destičky CNMG120408E s utvařečem SM. SM utvařeč se nezkoušel proti Kennametalu, protože v průběhu realizace se objevila na trhu lepší a vhodnější destička pro tuto oblast a to destičky Walter NMT a NMS a proto zkoušky utvařeče SM byly zkoušeny proti těmto destičkám. Destičky byly přeměřeny v několika řezech, aby se dosáhlo úplně přesnosti přeměření tvaru. U obrázku je přiložen vždy řez A-A, ostatní řezy jsou v příloze č. I, II, II, IV.


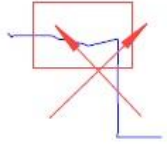
Dále se prováděly metody utváření třísky jednotlivých destiček na materiálu Ti6Al4V. Porovnávaly se výsledky jednotlivých utvařečů Walter NMS, Walter NMT a SM utvařeč firmy Pramet Tools. Odebíral se materiál a dle třídíku třísek ISO a SECO TOOLS se posuzovalo v jakých úsecích se tvoří správná tříška. Výsledky se vynesly do grafu, aby se mohlo posoudit, který z utvařečů nejlépe tvoří a odvádí třísku.

Dále se provádělo měření trvanlivosti, kde se měřilo opotřebení čela a hřbetu břitu. Porovnávaly se výsledky jednotlivých destiček Walter NMS, Walter NMT a SM od firmy Pramet Tools. Při zadaných řezných podmínkách se odebíral materiál pod dobu 11,5 minuty. Pro jednotlivou destičku se provádělo několik měření, kde výsledné hodnoty se zanesly do grafu, z kterého se dá posoudit destička, která z testu vyšla nejlépe.

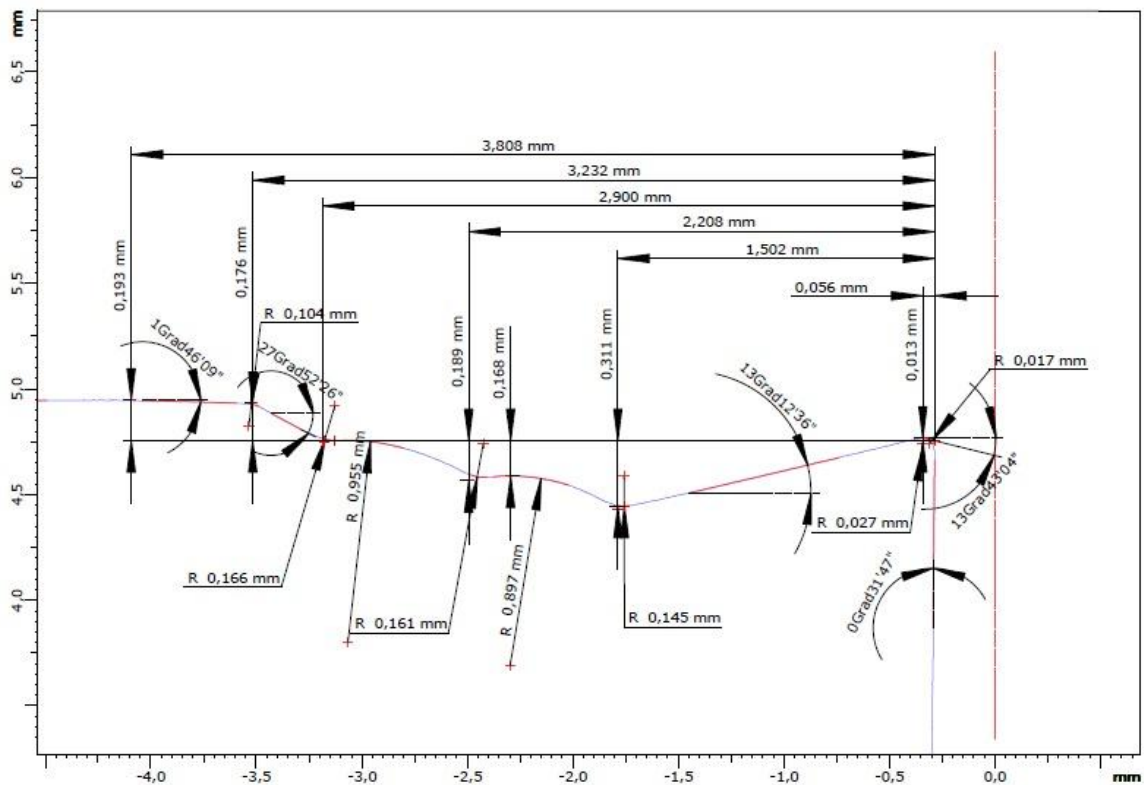
7.1 CNMG 120408 – MS, KC 5515 (Kennametal)



Obr. 16 Destička CNMG 120408 – MS, KC 5515 od firmy Kennametal [12]

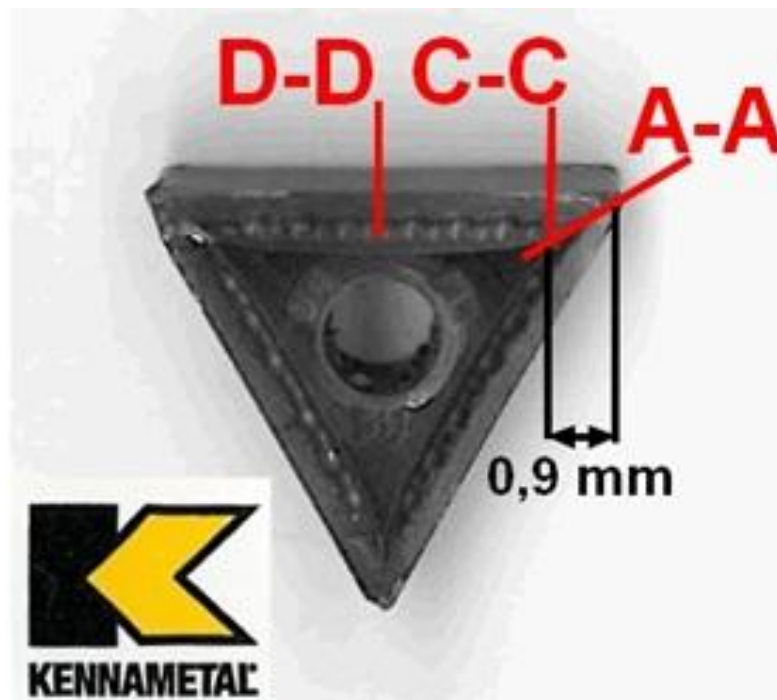
	MarWin 2.06-16 SP 8	CNMG 120408-MS KC5525 A-A Task: 59100 (Kennametal)	30.9.2010 2 12:17:32 Kontrolor: <b>Dvořák M.</b> Podpis:
	Díl:	Číslo výkresu:	Krok obrábění:
Komentář:			
Měřicí přístroj: MarTalk Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07 Lt: 8.99 mm Ls: --- VB: +/-25801 μm Vt: 0.50 mm/s Body: 9000	X:33,27; Z:33,27; 43,78Grad 		
Komentáře:			

Obr.17 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – MS, KC 5515

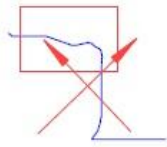


Obr. 18 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – MS, KC 5515

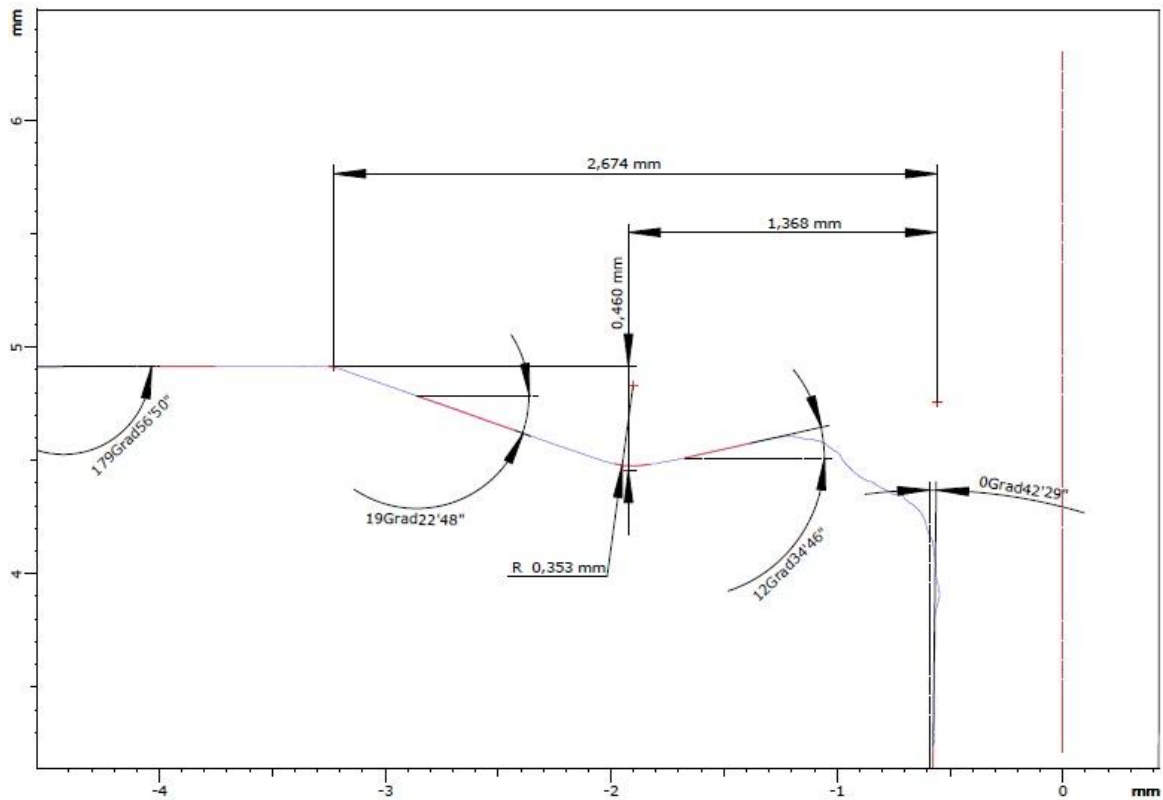
## 7.2 TNMG 160404 – MS, KC 5525 (Kennametal)



Obr. 19 TNMG 160404 – MS, KC 5525 od firmy Kennametal [12]

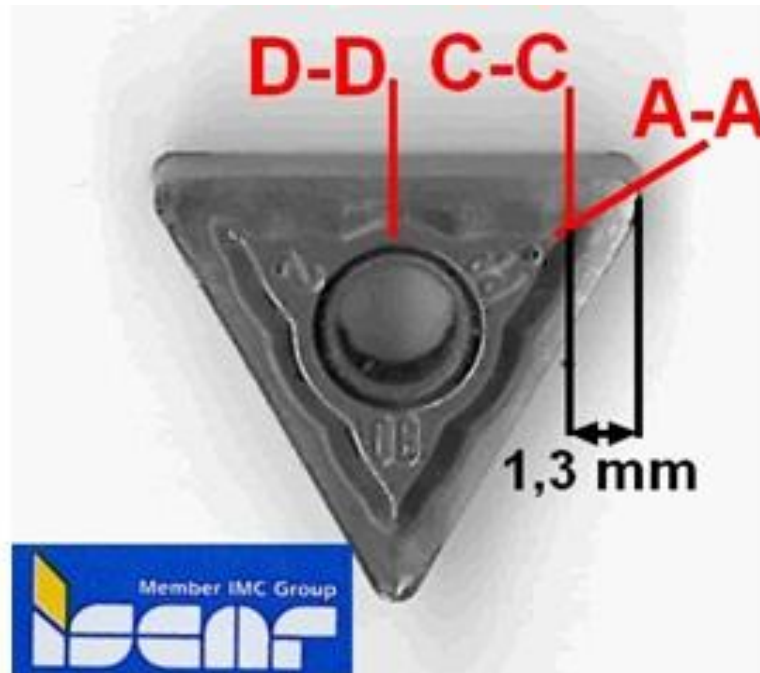
<b>Mahr</b>	MarWin 2.06-16 SP 8	TNMG 160404-MS KC5525 A-A Task: 59100 (Kennametal)	30.9.2010 2 14:01:17 Kontrolor: <b>Dvořák M.</b> Podpis:
	Díl:	Číslo výkresu:	Krok obrábění:
Komentář:			
Měřicí přístroj: MarTalk Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07 Lt: 9.00 mm Ls: -- VB: +/-25801 μm Vt: 0.50 mm/s Body: 9000		X:35; Z:35; 43,77Grad 	
Komentáře:			

Obr. 20 Měření řezu A-A destičky TNMG 160404 – MS, KC 5525


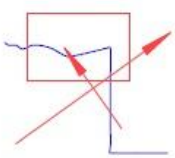


Obr.21 Měření řezu A-A destičky TNMG 160404 – MS, KC 5525

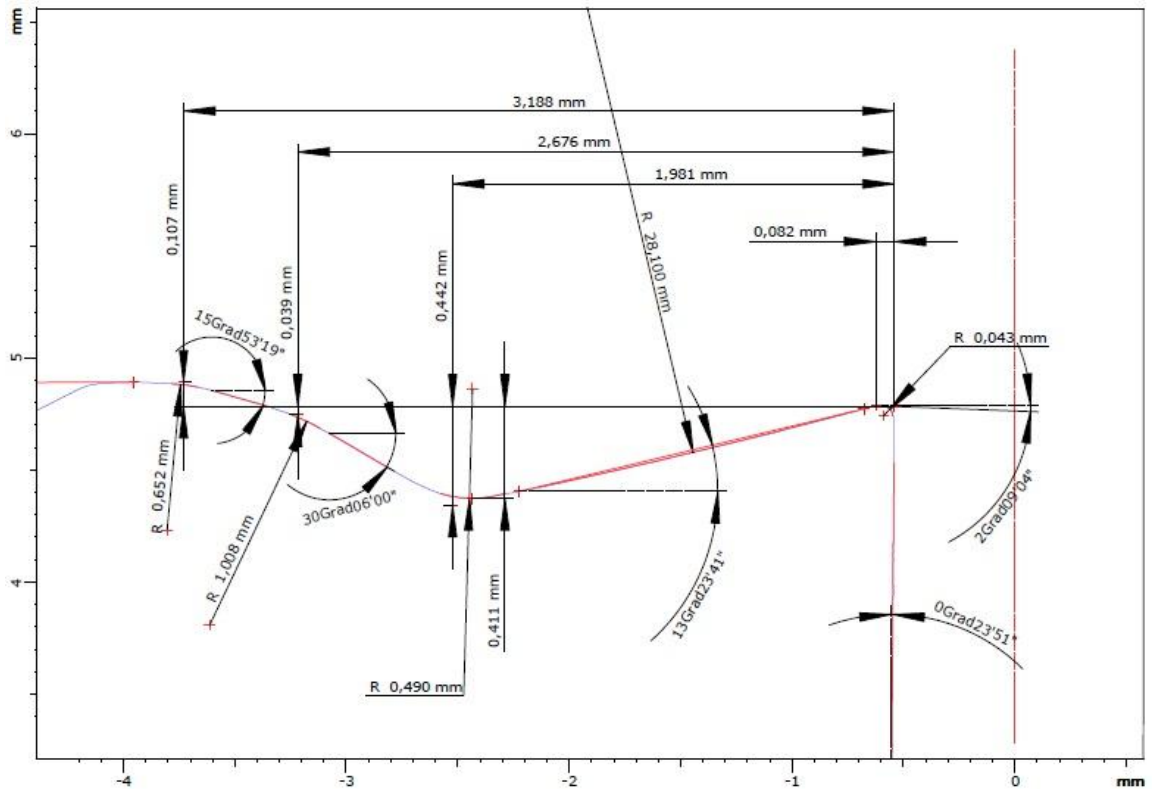
7.3 TNMG 160408 – PP, IC 3P28 (Iscar)



Obr. 22 TNMG 160408 – PP, IC 3P28 od firmy Iscar [12]

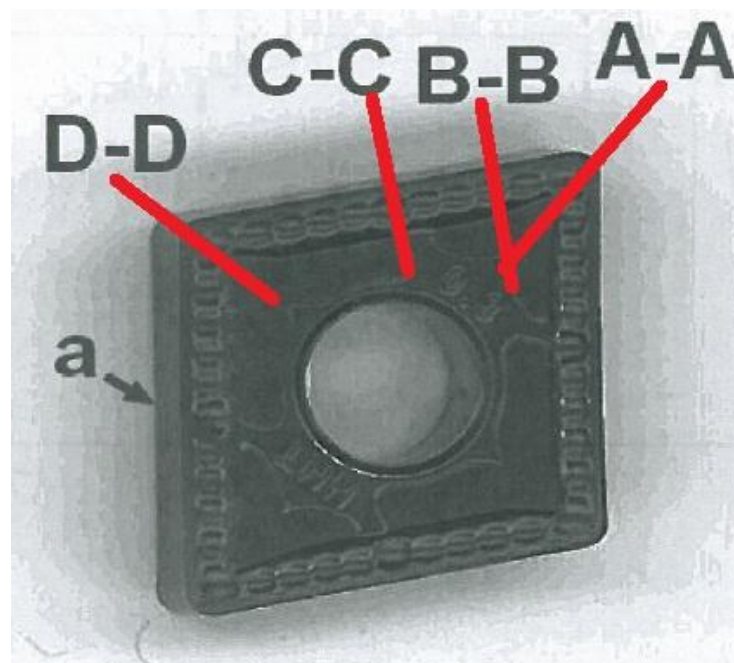
	MarWin 2.06-16 SP 8	TNMG 160408-PP IC 3P28 A-A Task: 59100 (Iscar)	1.10.2010 2 06:55:15 Kontrolor: <b>Dvořák M.</b> Podpis:
	Díl:	Císlo výkresu:	Krok obrábění:
Komentář:			
Měřicí přístroj: MarTalk Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07 Lt: 9.00 mm Ls: --- VB: +/-25801 µm Vt: 0.50 mm/s Body: 9000	X:35; Z:35; 35,51Grad 		
Komentáře:			

Obr. 23 Měření řezu A-A destičky TNMG 160408 – PP, IC 3P28




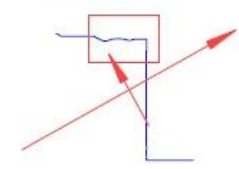
Obr. 24 Měření řezu A-A destičky TNMG 160408 – PP, IC 3P28

#### 7.4 CNMG 120408 – NMT, WSM 20 (Walter)

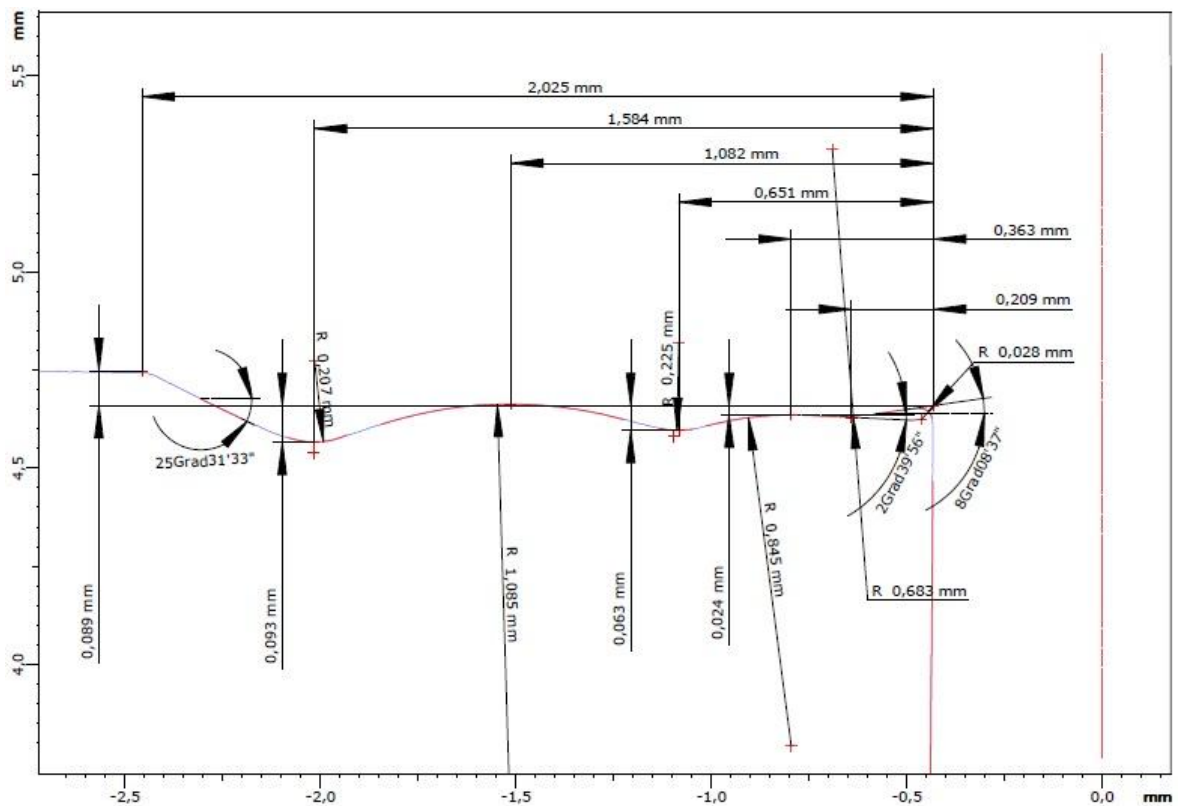


Obr. 25 CNMG 120408 – NMT, WSM 20 od firmy Walter [12]



	MarWin 2.06-16 SP 8	CNMG 120408-NMT ;WSM20 Walter Profile A-A	26.9.2011 2 08:41:53 Kontrolor: <b>Dvořák M.</b> Podpis:
	Díl:	Číslo výkresu:	Krok obrábění:
Komentář:			
Měřicí přístroj: MarTalk Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV Snímač: PCV 350 x 33 mm 5805/10 Lt: 7.00 mm Ls: -- VB: +/-25813 μm Vt: 0.50 mm/s Body: 6999		X:60,00; Z:60,00; 29,24Grad 	
Komentáře:			

Obr. 26 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – NMT, WSM 20



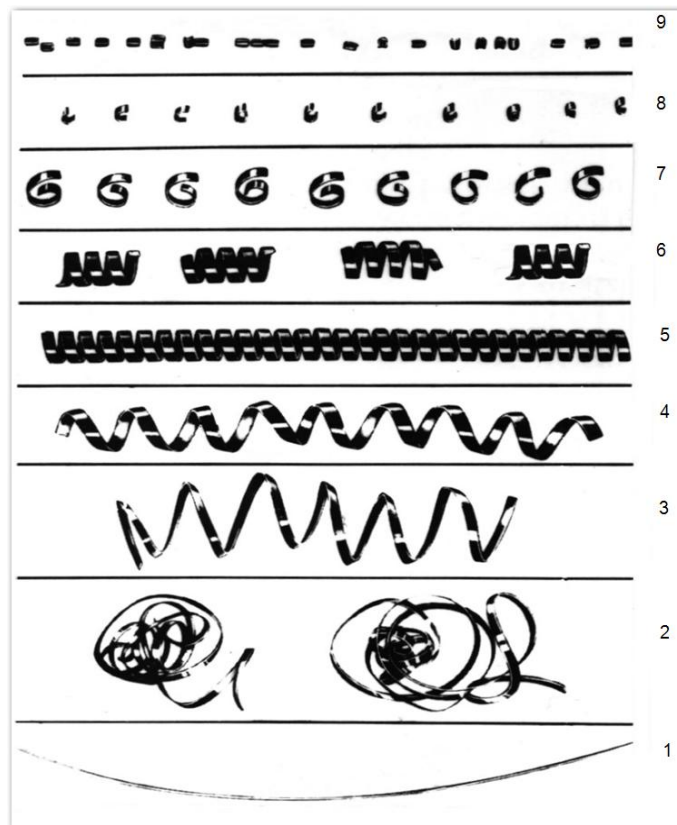
Obr. 27 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – NMT, WSM 20

## 8 UTVÁŘENÍ TŘÍSKY

### 8.1 Metody utváření třísky

TVAR TŘÍSKY							
1. Stuzkové třísky	2. Vlnité třísky	3. Spirálové třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovitě šroubovitě třísky	6. Obloukovité třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité 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. kuželovitě	4.2. krátké	5.2. krátké	6.2. dělené		
1.3. smotané	2.3. smotané		4.3. smotané	5.3. smotané			
<p>směr posuvu 1 od obrobku 2 proti posuvu 3 k obrobku 4 proti posuvu</p>		<p>Směr odchodu třísky je charakterizován třetím číselným údajem připojeným k číselnému označujícímu tvar třísky.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>.. 1 - od obrobku ve směru posuvu</li> <li>.. 2 - k obrobku ve směru posuvu</li> <li>.. 3 - k obrobku proti posuvu</li> <li>.. 4 - od obrobku proti posuvu</li> </ul>		<p>5 9 8 7 6</p>		<p>xx Další členění je charakterizováno třetím číselným údajem připojeným k údají tvaru třísky a to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>.. 5 - lámáná o hlavní rovinu řezu</li> <li>.. 6 - lámáná o hřbet nástroje</li> <li>.. 7 - lámáná o obráběný povrch</li> <li>.. 8 - lámáná o obrobeň povrch</li> <li>.. 9 - lámáná o utvářeč třísky</li> </ul>	

Obr. 28 Utváření třísek při soustružení dle ISO [12]



Obr. 29 Utváření třísek při soustružení dle SECO TOOLS [12]

Při tvorbě třísky se používá tolerance třísek dle normy ISO (Obr. 28), kde je vyhovující tříška 6.2 a 6.1. Směr odchodu třísky je charakterizován třetím číselným údajem připojeným k číslům označujícím tvar třísky. Další dělení je charakterizováno třetím číselným údajem připojeným k údaji tvaru třísky, který udává lámavost v určitém místě.

Firmy SECO TOOLS a PRAMET používají zjednodušenou tabulku tvorby třísky (obr.29), kde skupiny 1-5 představují nevyhovující tvar třísky, 6-9 vyhovující tvar třísky (skupina 9 je tříška přetvářena). Dále se používá značení písmen, které značí:

- T - tříška jde do plochy řezu
- P - tříška jde do plochy řezu (větší průměr), nejde tvrdě
- M – tříška se utváří o neobrobenou část materiálu
- B – spirála klouže po břitu
- R – spirála jde na hřbet a vrací se na břit (rozvíjí břit mimo záběr)
- S – spojené řetězce třísek
- N – neutváří, nelze zařadit podle třídíku Seco Tools, v tomto případě N znamená, že při utváření nelze zvolit ani jeden ze způsobů

## 8.2 Porovnávání utváření třísek jednotlivých destiček

Utváření třísek bylo hodnoceno podle dvou třídíků - SECO TOOLS (zvyklosti v Pramet Tools) a ISO. Tvary utvářecích diagramů se podle obou přístupů shodují, ISO však dovolu- je přesnější popis tvorby třísky.

Nevhodně utvářené třísky jsou znázorněny červeným písmem a u SECO písmenem "N". Vhodně utvářené pak černým písmem.

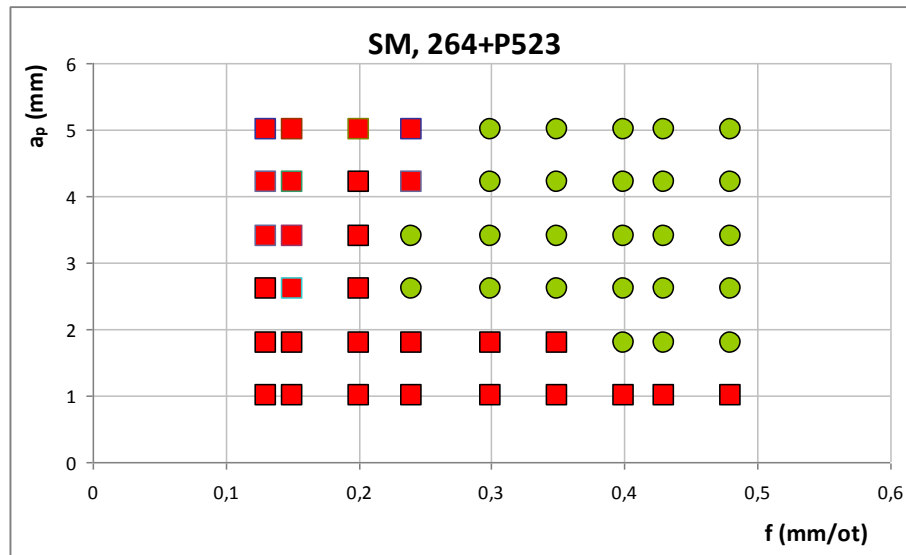
V bodech které jsou značeny čísla \*2/5\* se nejvíce vyskytuje tvar třísky 2, ale objevuje se tam i tvar číslo 5. Patřilo-li alespoň jedno z obou čísel k nevhodnému tvaru utváření třísek, byla tříška považována za nevhodně utvářenou.

Pro každou sérii hloubek řezu byl použit nový břit pro vyloučení vlivu opotřebení na utvá- ření třísek.



Tab. 18 Výsledky utváření třísky CNMG 120408E –SM dle ISO

Depth of cut $a_p$ [mm]	5,0	0	2.3.1.6	5.1.1.6	5.1.1.6	5.1.1.6	5.2.1.6	5.2.1.6	5.2/6.1.1.6	5.2/6.1.1.6	5.2/6.1.1.6
	4,2	0	5.3.1.6	5.3.1.6	5.1.1.6	5.1/5.2.1.6	5.2/6.1.1.6	5.2/6.1.1.6	5.2/6.1.1.6	5.2/6.1.1.6	6.1/6.2.1.6
	3,4	0	2.3/5.3.1.6	2.3.1.6	5.1/5.2.1.6	5.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.2.1.6	6.2.1.6	6.1/6.2.1.6
	2,6	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	5.1/5.2.1.6	5.2.1.6	5.2/6.1.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6
	1,8	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	5.1/5.2.1.6	5.1.1.6	5.1/5.2.1.6	5.1/5.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6
	1,0	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	4.3.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6
	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0,00	0,13	0,14	0,19	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47
Feed $f$ [mm/rev]											



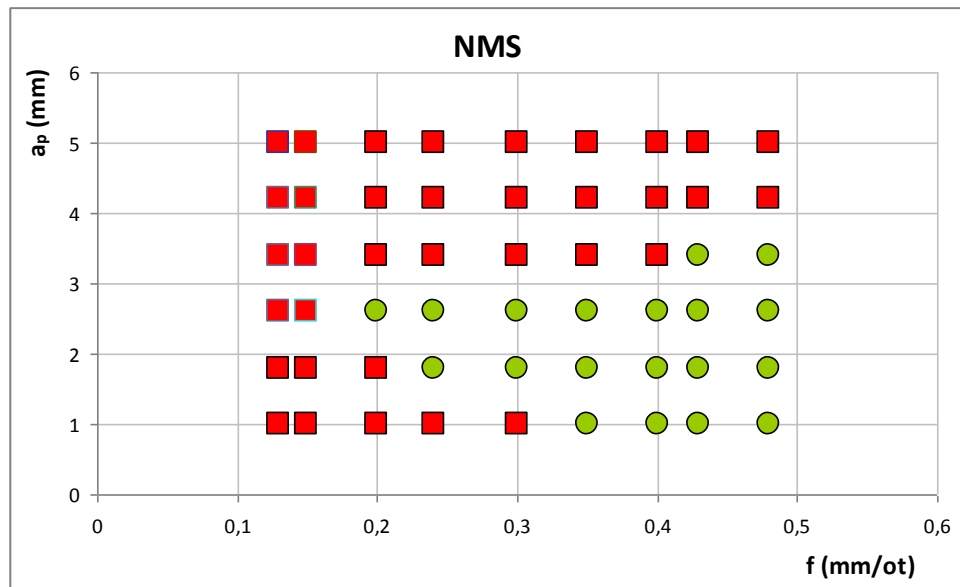
Obr. 31 Graf utváření třísky CNMG 120408E – SM

Tab. 19 Výsledky utváření třísky Walter NMS dle SECO TOOLS

Depth of cut $a_p$ [mm]	5,0	0	5	2/5	5	5/6	5	5	5/6	5/6	5/6
		0	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	4,2	0	5	5	5/6	5/6	5	5	5/6	5	5/6
		0	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	3,4	0	5	5	5/6	5/6	5/6	5	5/6	6/7	7/6
		0	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	2,6	0	5	5	6/7	6/7	7/6	7/8	8/7	8	8
		0	N	N							
1,8	0	4/5	5/2	5	6	7/8	7/8	8/7	8/7	8/7	
	0	N	N	N							
1,0	0	4/5	4/5	4/5	4	4/6	6	6	6	6/7	
	0	N	N	N	N	N					
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0,00	0,13	0,14	0,19	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47	
Feed $f$ [mm/rev]											

Tab. 20 Výsledky utváření třísky Walter NMS dle ISO

Depth of cut $a_p$ [mm]	5,0	0	5.1.1.6	2.3/5.3.1.6	5.1.1.6	5.1/5.2.1.6	5.1.1.6	5.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6
	4,2	0	5.1.1.6	5.1.1.6	5.1./6.1.1.6	5.1./6.1.1.6	5.1/2.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6	2.1/2.2.1.6
	3,4	0	5.1.1.6	5.1.1.6	5.1./5.2.1.6	5.1/5.2.1.6	5.1./2.1.1.6	2.1.1.6	2.1/2.2.1.6	2.2.1.6	6.1/2.2.1.6
	2,6	0	5.1.1.6	5.1.1.6	5.2.1.6	5.2/6.1.1.6	6.1/5.2.1.6	6.1/5.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6
	1,8	0	2.1.1.6	2.3/5.3.1.6	2.1.1.6	2.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6
	1,0	0	2.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6	2.1.1.6	4.1/4.2.1.6	4.2.1.6	4.2.1.6	4.2.1.6	4.2/6.2.1.6
	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0,00	0,13	0,14	0,19	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47
Feed $f$ [mm/rev]											



Obr. 32 Graf utváření třísky Walter NMS

Běžné podmínky pro utváření titanu jsou:

- řezná rychlost  $v_c=25-50$  m/min
- posuv 0,4 mm
- hloubka řez 2-3 mm.

Požadované podmínky pro utvařič SM byly:

- posuv 0,25-0,5 mm
- hloubka řezu 2 -5 mm

V těchto podmínkách utvařič utváří.

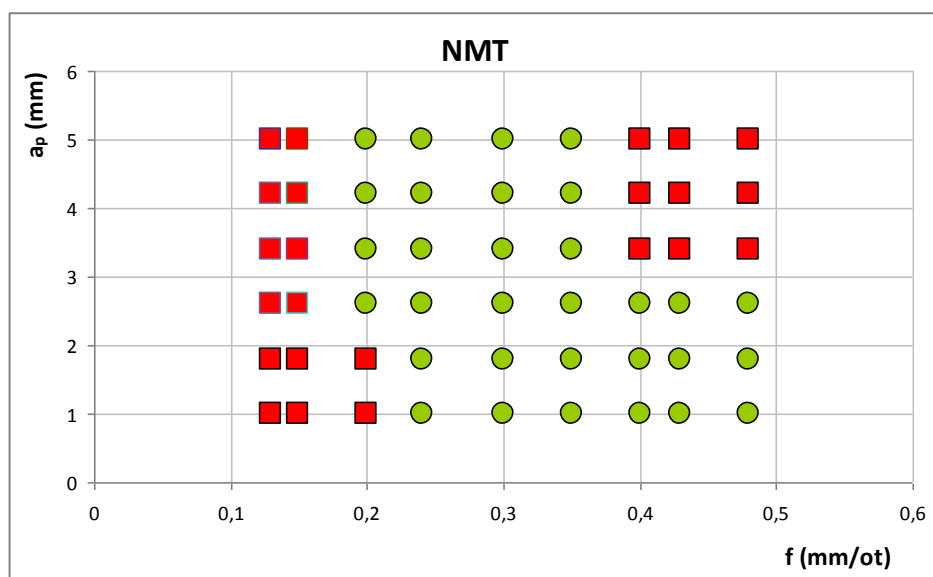
8.2.2 Porovnání destičky CNMG 120408E - SM a Walter NMT

Tab. 21 Výsledky utváření třísky Walter NMT dle SECO TOOLS

Depth of cut $a_p$ (mm)	5,0	0	5	5	6/7	6/7	7	7	2/3	2/3	2/3
		0	N	N					N	N	N
	4,2	0	5	5	6/7	6/7	7	6	2/3	2/3	3/4
		0	N	N					N	N	N
	3,4	0	5/2	5/2	6/7	7	6/7	6	3/4	3/4	3/4
		0	N	N					N	N	N
	2,6	0	5/2	5/2	6/7	7	7	6/7	6/7	6/7	6/7
		0	N	N							
	1,8	0	2/3	2/3	2/6	6	7	7	7/8	7/8	8
		0	N	N	N						
	1,0	0	2/3	2/3	5	6	6/7	6/7	7/8	7/8	6
	0	N	N	N							
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0,00	0,13	0,14	0,19	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47	
	Feed $f$ [mm/rev]										

Tab. 22 Výsledky utváření třísky Walter NMT dle ISO

Depth of cut $a_p$ (mm)	5,0	0	5.1.1.6	5.1.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1/3.2.1.6	5.2.1.6	4.3.1.6	4.3.1.6	4.3.1.6
	4,2	0	5.1.1.6	5.1.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1.1.6	6.1.1.6	4.2/4.3.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6
	3,4	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1.1.6	6.1.1.6	6.1/4.2.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6	4.1.1.6
	2,6	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	6.1/3.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	4.2.1.6	4.2.1.6	4.2.1.6	4.2.1.6
	1,8	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	6.1/5.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.1/6.2.1.6	6.2.1.6	6.2.1.6	6.2.1.6
	1,0	0	2.3/5.3.1.6	2.3/5.3.1.6	5.1.1.6	5.2.1.6	5.2.1.6	5.2./6.1.1.6	6.2./6.1.1.6	6.2./6.1.1.6	5.2.1.6
	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0,00	0,13	0,14	0,19	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,47
		Feed $f$ [mm/rev]									



Obr. 33 Graf utváření třísky Walter NMT

**Závěr z měření utváření třísek:**

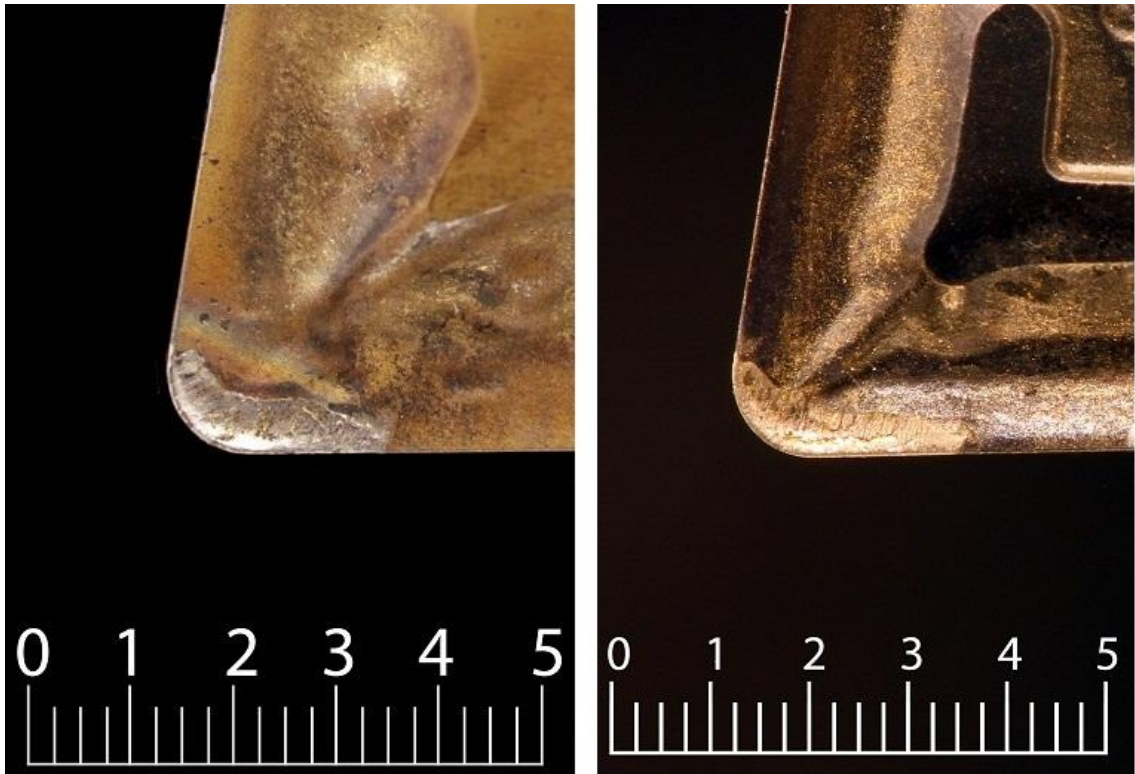
Na materiálu Ti6Al4V byly zjištěny následující vlastnosti vzorků SM, NMS a NMT z hlediska utváření třísky. Prakticky téměř při všech podmínkách a na všech vzorcích se utvářela tříska o hřbet nože ve směru jeho posuvu.

- Destička SM utvářela třísku v širokém rozsahu kombinací  $a_p$  a  $f_{ot}$ . Bezpečně utvářela od  $f_{ot}=0,22$  mm a  $a_p=2,2$  mm až do kombinace největších hloubek (5 mm) a posuvů (0,47 mm/ot). Je zde potenciál utvářet i při větších posuvech a hloubkách. Při vyšších posuvech (nad 0,4mm), a tedy při větších tloušťkách třísky bylo zaznamenáno vhodné utváření třísek již od hloubky 1,4 mm.
- Vzorek NMT je z hlediska utváření velmi univerzální. Utváří prakticky od požadovaného posuvu  $f_{ot}=0,15$  mm až po 0,38 mm při všech hloubkách. Při hloubkách  $a_p$ =do 3 mm pak pracuje utvařeč i pro největší testované posuvy (do 0,47 mm/ot). Vedle samotného tvaru utvařeče napomáhá utváření i velká koncentrace výstupků na čele bříty, které tvoří stykové body čela nástroje s třískou a napomáhají větší deformaci a následnému lámání třísky. Oproti destičce SM sice utváří již při nižších posuvech a hloubkách, neutváří ovšem při kombinaci nejvyšších posuvů a hloubek řezu.
- Destička NMS na daném materiálu utváří píše při nižších hloubkách řezu (do  $a_p=3,8$  mm). S klesající hloubkou řezu výrazně klesá nejnižší posuv od kterého je destička schopná utvářet. Vzorek má potenciál utvářet i při vyšších posuvech než byl nejvyšší testovaný, a to od nejnižších až po střední hloubky řezu.

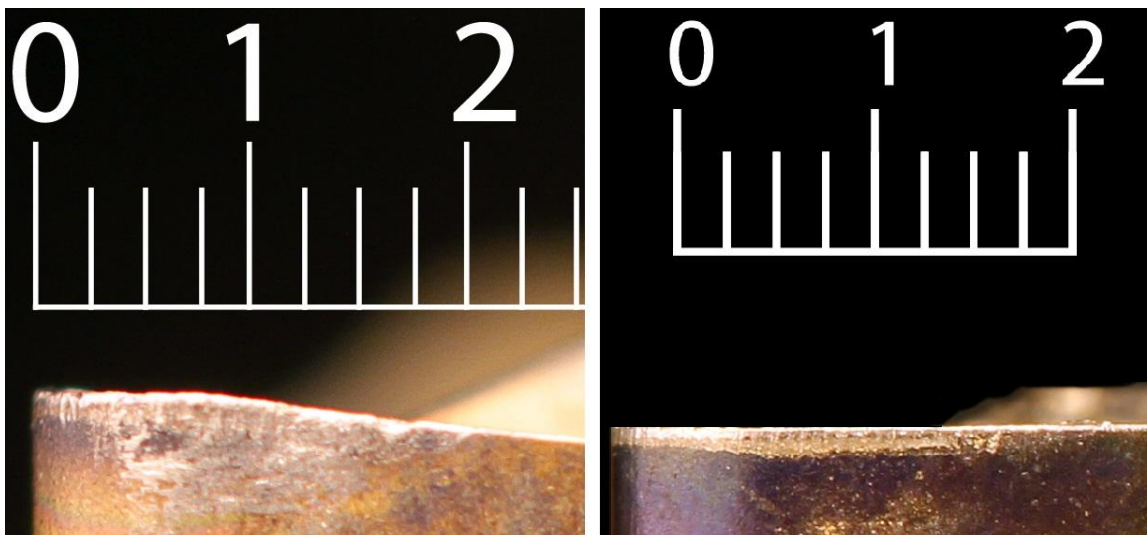


## 9 MĚŘENÍ TRVANLIVOSTI BŘITU

### 9.1 Porovnání destičky CNMG 120408E – SM a Walter NMS



*Obr. 34 Porovnání opotřebení čela po 11,5 minutách obrábění*



*Obr. 35 Porovnání opotřebení hřbetu po 11,5 minutách obrábění*

Tab. 23 Řezné podmínky CNMG 120408E - SM

řezné podmínky	
ap [mm]	1,95
fot [mm]	0,3
vc [m/min]	35,3
n [1/min]	96
Dmin [mm]	117
Dmax [mm]	120,9
vf [mm/min]	28,8
Ls [mm]	367,5663
V [mm <sup>3</sup> ]	215,0263

Tab. 24 Řezné podmínky CNMG 120408 E - SM

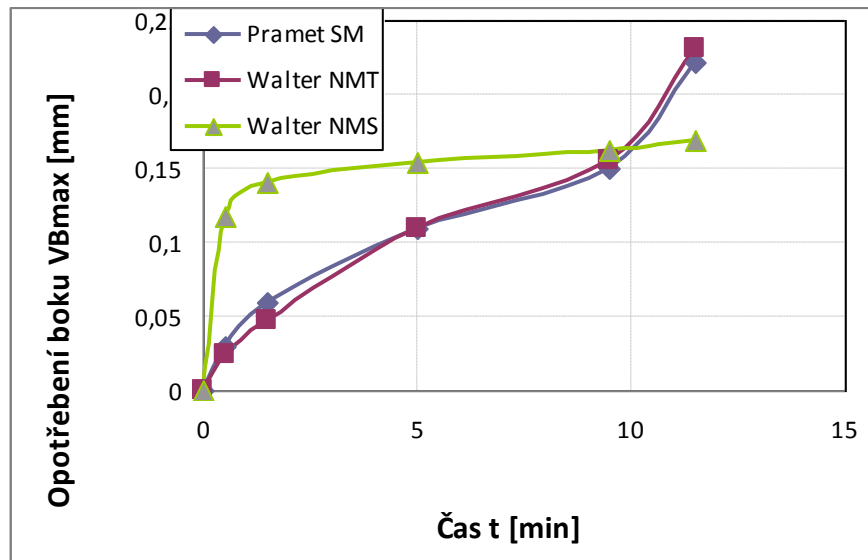
řezné podmínky	
ap [mm]	1,95
fot [mm]	0,3
vc [m/min]	35,3
n [1/min]	96
Dmin [mm]	117
Dmax [mm]	120,9
vf [mm/min]	28,8
Ls [mm]	367,5663
V [mm <sup>3</sup> ]	215,0263

Tab. 25 Obrábění kůry po tváření CNMG 120408E - SM

Měření č.	Čas	Délka l mm	Opotřebení hřbetu			Výmol na čele		Čip. Formulář
	t min		VB <sub>B</sub> mm	VB <sub>MAX</sub> zone mm	VB <sub>N</sub> mm	KB mm	KF mm	
0	0	0	0	0	0	0	0	x
1	0,500	48,0	0,03		0,03	0,03		x
2	1,500	144,0	0,06		0,06	0,06		x
3	5,000	480,0	0,11	B/C	0,11	0,09		x
4	9,500	912,0	0,135	B/C	0,15	0,1		x
5	11,500	1104,0	0,183	B/C	0,222	0,163		x

Tab. 26 Obrábění kůry po tváření Walter NMS

Měření No.	Čas	Délka l mm	Opotřebení hřbetu			Výmol na čele		Čip. Formulář
	t min		VB <sub>B</sub> mm	VB <sub>MAX</sub> zone mm	VB <sub>N</sub> mm	KB mm	KF mm	
0	0	0	0	0	0	0	0	x
1	0,500	48,0	0,078	B	0,118	0,07		x
2	1,500	144,0	0,1	B	0,14	0,089		x
3	5,000	480,0	0,112	B	0,154	0,096		x
4	9,500	912,0	0,119	B	0,162	0,104		x
5	11,500	1104,0	0,123	B	0,169	0,123		x

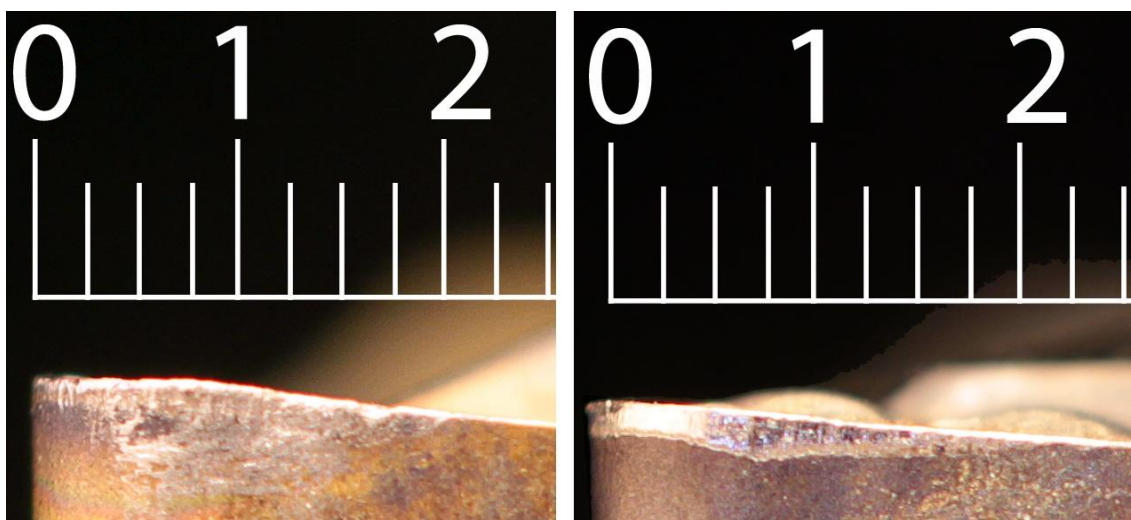


Obr. 36 Graf opotřebení boku za určitý čas

## 9.2 Porovnání destičky CNMG 120408E – SM a Walter NMT



*Obr. 37 Porovnání opotřebení čela po 11,5 minutách obrábění*



*Obr. 38 Porovnání opotřebení hřbetu po 11,5 minutách obrábění*

Tab. 27 Řezné podmínky CNMG 120408E - SM

řezné podmínky	
ap [mm]	1,95
fot [mm]	0,3
vc [m/min]	35,3
n [1/min]	96
Dmin [mm]	117
Dmax [mm]	120,9
vf [mm/min]	28,8
Ls [mm]	367,5663
V [mm <sup>3</sup> ]	215,0263

Tab. 28 Řezné podmínky Walter NMT

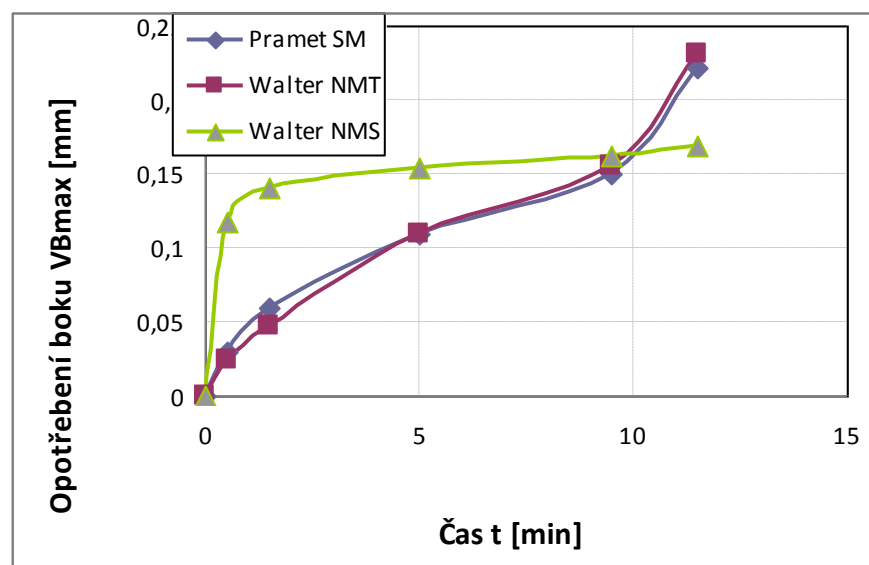
řezné podmínky	
ap [mm]	1,95
fot [mm]	0,3
vc [m/min]	35,3
n [1/min]	96
Dmin [mm]	117
Dmax [mm]	120,9
vf [mm/min]	28,8
Ls [mm]	367,5663
V [mm <sup>3</sup> ]	215,0263

Tab. 29 Obrábění kůry po tváření CNMG120408E - SM

Měření č.	Čas t min	Délka l mm	Opatření hřbetu			Výmol na čele		Čip. Formulář
			VB <sub>B</sub> mm	VB <sub>MAX</sub> zone mm	VB <sub>N</sub> mm	KB mm	KF mm	
0	0	0	0	0	0	0	0	x
1	0,500	48,0	0,03		0,03	0,03		x
2	1,500	144,0	0,06		0,06	0,06		x
3	5,000	480,0	0,11	B/C	0,11	0,09		x
4	9,500	912,0	0,135	B/C	0,15	0,1		x
5	11,500	1104,0	0,183	B/C	0,222	0,163		x

Tab. 30 Obrábění kůry po tváření Walter NMT

Měření No.	Čas	Délka l mm	Opotřebení hřbetu			Výmol na čele		Čip. Formulář
	t min		$VB_B$ mm	$VB_{MAX}$ zone mm	$VB_N$ mm	KB mm	KF mm	
0	0	0	0	0	0	0	0	x
1	0,500	48,0	0,024		0,024	0,021		x
2	1,500	144,0	0,047		0,047	0,059		x
3	5,000	480,0	0,085	B/C	0,11	0,078		x
4	9,500	912,0	0,109	B/C	0,156	0,082		x
5	11,500	1104,0	0,151	B/C	0,231	0,116		x



Obr. 39 Graf opotřebení boku za určitý čas

### Závěr z měření trvanlivosti břitů:

Byly proměřeny 3 různé destičky (SM, Walter NMT, Walter NMS) při obrobení kůry po válcování. Řezné podmínky byly vždy shodné:

$v_c=35\text{m/min}$ ,  $a_p=\text{cca } 2\text{mm}$  (házení při prvním upnutí polotovaru),  $f_{ot}=0,29\text{mm/ot}$ ; suché obrábění; stroj SU50.

Výsledky opotřebení na všech vzorcích byly velmi podobné. Kritickým opotřebením bylo u všech vzorků opotřebení na hlavním hřbetě břitu. Prokazatelně nejnižší intenzita opotřebení břitu byla zjištěna u nástroje NMS ( $VB_{max}=0,169\text{ mm}$  po 11,5 minutá obrábění). U zbylých vzorků (SM a NMT) byl výsledek podobný ( $VB_{max}=0,220$  a  $0,231\text{ mm}$ )

jen s tím rozdílem, že u břitu SM se po několika minutách objevilo malé vyštípnutí v místě obrábění kúry, další propagace vyštípnutí však byla velmi malá. Sklon k vyštípnutí může být v tomto případě ovlivněn především materiálem břitu a geometrií břitu/utvařeče. Při obrábění obrobků s větší tvrdostí kúry těmito nástroji by mohl nastávat problém.

#### Výsledný závěr utvařeče SM:

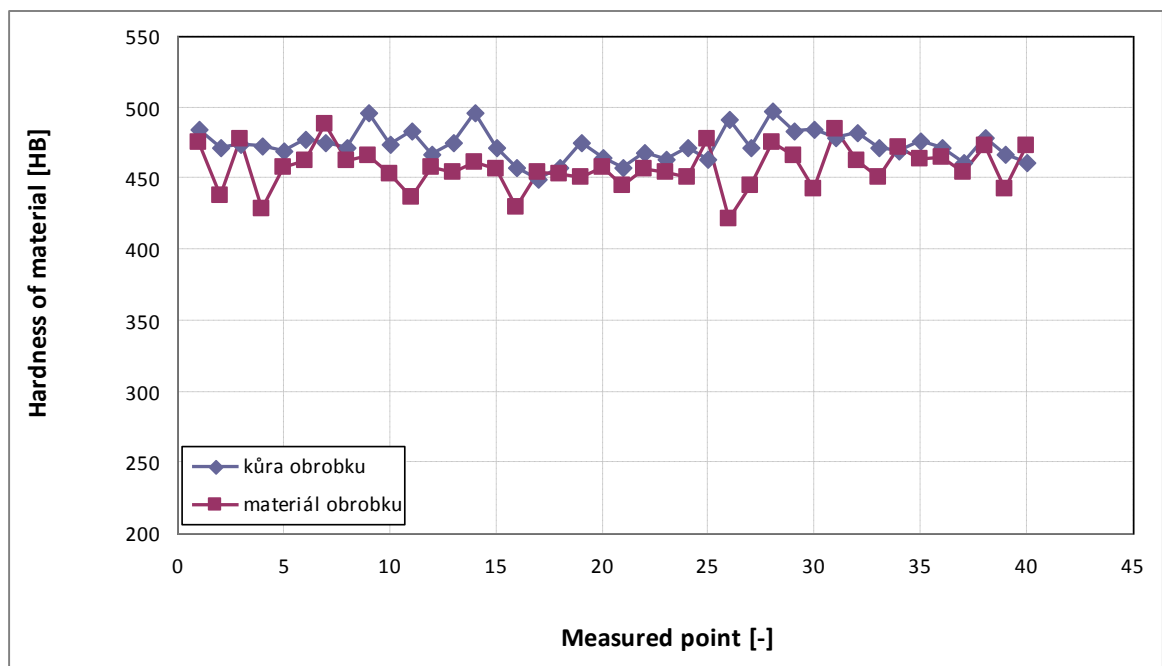
Utvařeč SM není určen pro přerušovaný řez, ale na řez čistější (bez kúry). Ze zkoušek u zákazníků vyplývá, že utvařeč SM je vhodnější na obrábění titanu. Pro superslitiny by bylo vhodnější navrhnout nový utvařeč s jinou geometrií. Pokud bychom chtěli, aby utvařeč SM lépe fungoval při obrábění kúry, tak bychom navrhli fazetku velikosti cca 0,2 mm sklopnou pozitivně o 5-6 stupňů a snížili hloubku utvařeče. Další možností je přidání výstupků do utvařeče, které mohou pomoci při snížení tření mezi třískou a čelem nástroje a tím ke snížení řezných sil (musí být dobře zvoleno jejich umístění, jak výška tak vzdálenost od řezné hrany). Další doporučení ke zvýšení trvanlivosti je zvolení otěru vzdornějšího materiálu.

### 9.3 Měření tvrdosti obrobku

Tab. 31 Výsledky měření tvrdosti

číslo měření	tvrdost kúry [HB]	tvrdost v materiálu [HB]
1	484	475
2	472	438
3	474	478
4	473	428
5	469	457
6	478	462
7	475	488
8	471	462
9	496	466
10	474	453
11	483	436
12	467	458
13	475	454
14	496	461
15	471	456
16	457	429
17	449	454
18	457	453
19	475	450
20	465	457

21	458	445
22	468	456
23	463	454
24	471	450
25	463	478
26	492	421
27	472	445
28	497	475
29	483	466
30	484	442
31	479	484
32	482	462
33	471	451
34	469	471
35	476	463
36	471	465
37	461	454
38	479	473
39	467	442
40	461	473
arit. průměr	473,2	457,13
směrodatná odchylka	10,9221018	15,1457661



Obr. 40 Graf tvrdosti



**Závěr z měření tvrdosti obrobku:**

Tvrdot neobrobeného povrchu obrobku (válcovaného) je větší jen o necelá 4%. Rozdíl je na materiál typu titanová slitina poměrně malý. V praxi se často setkáváme s výkovky z těchto slitin, kde je poměr tvrdostí na povrchu a v materiálu mnohem větší. Rozdíl tvrdostí v našem případě by tak při obrábění kůry neměl způsobit větší komplikace s opotřebením břitů.

## 10 NÁVRH GEOMETRIE DESTIČKY PRO 1.PROTOTYP

### 10.1 Destička CNMG 120408 E-SM

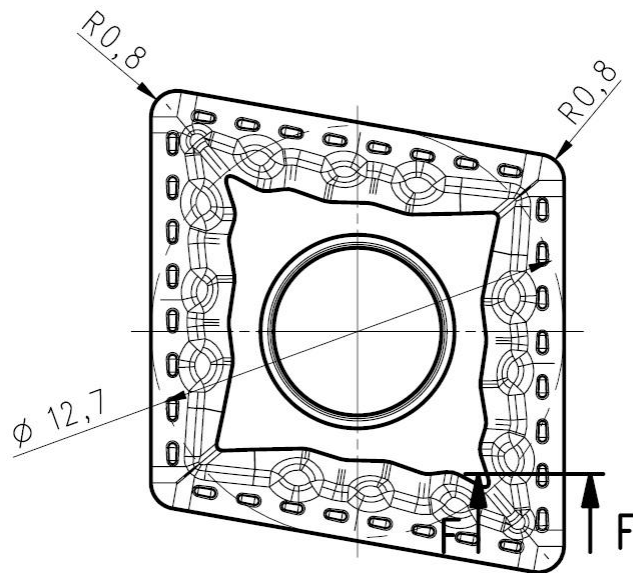


*Obr. 41 Destička CNMG 120408 E - SM*

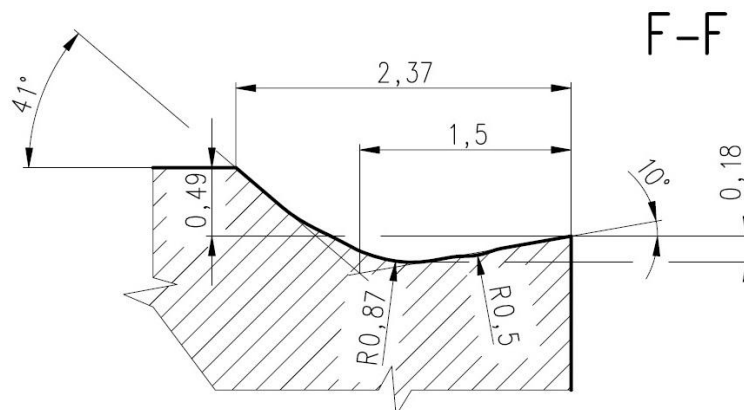
Výroba destičky ze slinutého karbidu práškovou metalurgií:

- Vytvoří se 3D model zvětšený o přídávky na broušení a potom se zvětší o % smrštění (většinou o 21%). Z lisovacího nástroje musí vypadnout nalisovaná destička větší o % smrštění, což je hodnota o kterou se slinutý karbid smrští při slinovacím procesu. Na takto zvětšený 3D model se udělá program v CAD systému a tento program se posílá dále do nástrojárny.
- Tímto programem je na frézce obrobena měděná elektroda, čímž v ní vznikne tvar utvařeče (tvrdokov nejde obrábět běžnými nástroji). Touto elektrodou se pak technologií elektroerozivního obrábění vypálí utvařeč do razníku ze slinutého karbidu.

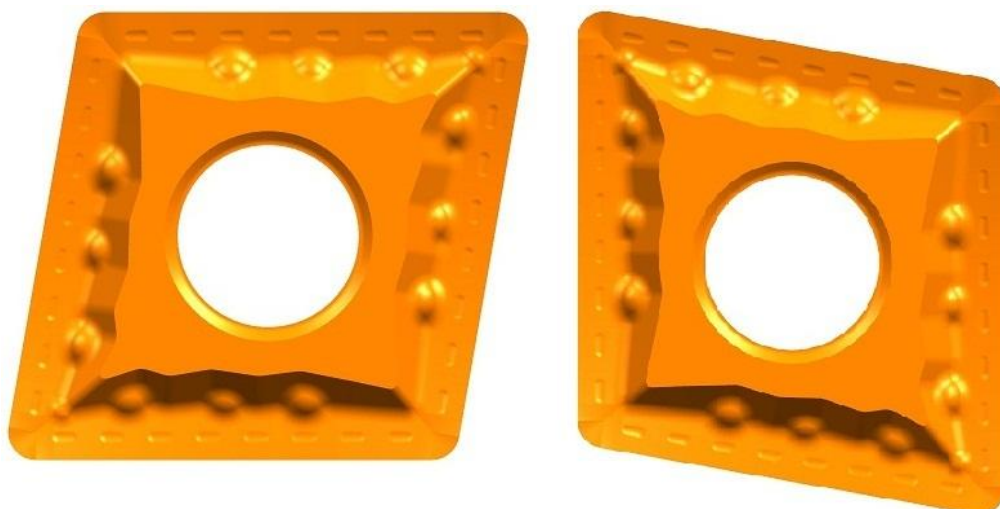
- Tímto nástrojem se pak z tvrdokovového prášku nalisuje destička v tzv. měkém stavu. Nástroj je složen z matrice, horního a spodního razníku a trnu-ten slouží k vytvoření otvoru v destičce.
- Destička jde do slinovací pece, kde se sline. Tímto procesem se zmenší o % smrštění na rozměry polotovaru.
- Brousí se dosedací plocha, eventuálně obvod.
- Zaoblení řezné hrany.
- Povlakování CVD, PVD. Před povlakováním se různými způsoby čistí.
- Někdy se provádí pískování po povlaku (lepší povrch).
- Kontrola, značení a balení.



Obr. 42 Náskres destičky CNMG 120408E –SM



Obr. 43 Řez F – F destičky CNMG 120408E -SM



*Obr. 44 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM*



*Obr. 45 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM*



*Obr. 46 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM*

## ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navržení destičky ze slinutého karbidu, která by měla být použita na obrábění titanu a těžkoobrobitelných materiálů. Bakalářská práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické.

Záměrem teoretické části je celkový náhled na problematiku, která je realizována v části praktické. Teoretická část se skládá z pěti kapitol, které obsahují základy obrábění, výrobu slinutých karbidů a obráběné materiály. Dále se zabývám obráběním těžkoobrobitelnými materiály a obrábění titanu.

V praktické části bylo úkolem navrhnout vhodnou destičku na obrábění titanu a těžkoobrobitelných slitin. Destička se dle zvolených parametrů navrhla, vytvořil se 3D model zvětšení o smrštění %. V CAD systému se vytvořil zvolený program na výrobu destičky, který dále pokračuje do nástrojárny. Dále se vytvořeným programem na frézce obrobila měděná elektroda, kterou se technologií elektroerozivního obrábění vypálil utvářec do razníku ze slinutého karbidu. Tímto nástrojem se z tvrdokovového prášku nalisovala destička. Destička prošla slinovací pecí, kde se slinula. Tímto procesem se zmenšila o % smrštění na rozměry polotvaru. Dále se obrousila dosedací plocha a obvod, zaoblily řezné hrany. Destička se očistila a prošla povlakováním.

V začátku praktické části jsem zkoumal okolní firmy zabývající se výrobou destiček ze slinutých karbidů. Vybral jsem větší firmy jako například firmu Walter, která má z hlediska obrábění titanu a těžkoobrobitelných materiálů širší škálu utvařečů a také proto, že jsem s těmito destičkami dále pracoval. Také jsem zmínil firmy jako Kennametal, Sandvik Coromant, Seco Tools a Iscar.

Dále se prováděly metody utváření třísky jednotlivých destiček na materiálu Ti6Al4V. Porovnávaly se výsledky jednotlivých utvařečů Walter NMS, Walter NMT a SM utvářec firmy Pramet Tools. Odebíral se materiál a dle třídníku třísek ISO a SECO TOOLS se posuzovalo v jakých úsecích se tvoří správná tříška. Výsledky se vynesly do grafu, aby se mohlo posoudit, který z utvařečů nejlépe tvoří a odvádí třísku.

Dále se provádělo měření trvanlivosti, kde se měřilo opotřebení čela a boku bříty. Porovnávaly se výsledky jednotlivých destiček Walter NMS, Walter NMT a SM od firmy Pramet Tools. Při zadaných řezných podmínkách se odebíral materiál pod dobu 11,5 minuty. Pro

jednotlivou destičku se provádělo několik měření, kde výsledné hodnoty se zanesly do grafu, z kterého se dá posoudit destička, která z testu vyšla nejlépe.

Celkový návrh a zkoušky přinesly pozitivní přínos, protože destička ve všech ohledech a zkouškách vychází lépe jak destičky konkurenční.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] HUMÁR, Anton. Prášková metalurgie a její využití. *MM Průmyslové spektrum*. 11/2008, s. 52. ISSN 1212-2572.
- [3] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 80-858-2510-4.
- [4] KOČMAN, Karel. *Speciální technologie. Obrábění*. 2. přeprac. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1993, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [5] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [6] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 1. vyd. Brno: CERM, c1999, 350 s. ISBN 80-720-4130-4.
- [7] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2000, 256 s. ISBN 8071832073.
- [8] SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979, 398 s.
- [9] SEDLÁČEK, Vladimír. *Titan a jeho slitiny: výroba, zpracování a použití*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 205 s.
- [10] SEDLÁČEK, Vladimír. *Únava hliníkových a titanových slitin*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 352 s. L14-B3-IV-31/41941.
- [11] *Ti a jeho zliatiny: celoštátní konferencia*. 1. vyd. Bratislava: Dom techniky ČSVTS, 1988, 67 s.
- [12] Interní zdroje a dokumenty společnosti Pramet Tools

- [13] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály : Austenitické oceli. MM průmyslové spektrum [online]. 18. 6. 2003, 6, [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2>>
- [14] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. MM průmyslové spektrum [online]. 23.4.2003, 4, [cit. 2012-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy>>.
- [15] SANDVIK AB, Sandviken, Sweden, *All about Cemented Carbide* [online]. 2008 [cit. 10. května 2012]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.allaboutcementedcarbide.com>>.
- [16] SANDVIK AB, Sandviken, Sweden. *Technical guide 2010*. [online]. [cit. 10. května 2012]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03570.NSF>>.



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vektory pohybů při soustružení a) podélné soustružení válcové plochy b) příčné soustružení čelní plochy [5] .....</i>	14
<i>Obr. 2 Kinematika válcového frézování a) nesousledné frézování b) sousledné frézování [5] .....</i>	15
<i>Obr. 3 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem [5] .....</i>	16
<i>Obr. 4 Kinematika vyvrtávání a) podélný posuv nástroje, b) příčný posuv nástroje, .....</i>	17
<i>Obr. 5 Princip protahování [5] .....</i>	18
<i>Obr. 6 Výroba slinutých karbidů [1] .....</i>	20
<i>Obr. 7 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě [3] .....</i>	22
<i>Obr. 8 Modely utváření třísky a tepelné bilance v průběhu tváření pro slinuté karbidy jednotlivých skupin [16] .....</i>	23
<i>Obr. 9 Třívrstvý povlak břitu – příklad [5] .....</i>	25
<i>Obr. 10 Proces přípravy prášku a výroby nepovlakovaných slinutých karbidů [15] .....</i>	26
<i>Obr. 11 Utvařeč SM 1105 [12] .....</i>	54
<i>Obr. 12 Utvařeč SMR 1115 [12] .....</i>	55
<i>Obr. 13 Destička TS2000 &amp; TS2500 [12] .....</i>	56
<i>Obr. 14 Utvařeč NFT, NMT a NRT [12] .....</i>	56
<i>Obr. 15 Utvařeč PP pro střední obrábění [12] .....</i>	57
<i>Obr. 16 Destička CNMG 120408 – MS, KC 5515 od firmy Kennametal [12] .....</i>	60
<i>Obr. 17 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – MS, KC 5515 .....</i>	60
<i>Obr. 18 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – MS, KC 5515 .....</i>	61
<i>Obr. 19 TNMG 160404 – MS, KC 5525 od firmy Kennametal [12] .....</i>	61
<i>Obr. 20 Měření řezu A-A destičky TNMG 160404 – MS, KC 5525 .....</i>	62
<i>Obr. 21 Měření řezu A-A destičky TNMG 160404 – MS, KC 5525 .....</i>	62
<i>Obr. 22 TNMG 160408 – PP, IC 3P28 od firmy Iscar [12] .....</i>	63
<i>Obr. 23 Měření řezu A-A destičky TNMG 160408 – PP, IC 3P28 .....</i>	63
<i>Obr. 24 Měření řezu A-A destičky TNMG 160408 – PP, IC 3P28 .....</i>	64
<i>Obr. 25 CNMG 120408 – NMT, WSM 20 od firmy Walter [12] .....</i>	64
<i>Obr. 26 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – NMT, WSM 20 .....</i>	65
<i>Obr. 27 Měření řezu A-A destičky CNMG 120408 – NMT, WSM 20 .....</i>	65
<i>Obr. 28 Utváření třísek při soustružení dle ISO [12] .....</i>	66

---

<i>Obr. 29 Utváření třísek při soustružení dle SECO TOOLS [12]</i> .....	66
<i>Obr. 30 Utváření třísky při soustružení</i> .....	68
<i>Obr. 31 Graf utváření třísky CNMG 120408E – SM</i> .....	69
<i>Obr. 32 Graf utváření třísky Walter NMS</i> .....	70
<i>Obr. 33 Graf utváření třísky Walter NMT</i> .....	71
<i>Obr. 34 Porovnání opotřebení čela po 11,5 minutách obrábění</i> .....	73
<i>Obr. 35 Porovnání opotřebení hřbetu po 11,5 minutách obrábění</i> .....	73
<i>Obr. 36 Graf opotřebení boku za určitý čas</i> .....	75
<i>Obr. 37 Porovnání opotřebení čela po 11,5 minutách obrábění</i> .....	76
<i>Obr. 38 Porovnání opotřebení hřbetu po 11,5 minutách obrábění</i> .....	76
<i>Obr. 39 Graf opotřebení boku za určitý čas</i> .....	78
<i>Obr. 40 Graf tvrdosti</i> .....	80
<i>Obr. 41 Destička CNMG 120408 E - SM</i> .....	82
<i>Obr. 42 Nákres destičky CNMG 120408E –SM</i> .....	83
<i>Obr. 43 Řez F – F destičky CNMG 120408E -SM</i> .....	83
<i>Obr. 44 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM</i> .....	84
<i>Obr. 45 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM</i> .....	84
<i>Obr. 46 Geometrie destičky CNMG 120408E –SM</i> .....	84

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Tažnost [%]
$a_p$	Hloubka řezu [mm]
C°	Stupeň Celsia
$D_{max}$	Průměr maximální [mm]
$D_{min}$	Průměr minimální [mm]
E	Modul pružnosti v tahu [GPa]
f	Posuv [mm/ot]
f	Posuv [mm/rev]
$F_c$	Řezná síla
HB	Tvrdost [MPa]
$k_{c1}$	Specifický řezný odpor [Mpa]
KB	Šířka výmolu [mm]
KF	Vzdálenost okraje výmolu [mm]
l	Délka [mm]
$L_s$	Celková délka [mm]
min.	Minuty
n	Otáčky [1/min]
ot.	Otáčky
R	Radius [mm]
Rm	Pevnost v tahu [MPa]
Rp	Smluvní mez kluzu [MPa]
V	Objem [mm <sup>3</sup> ]
$VB_B$	Opotřeбенí boku
$VB_{MAX}$	Opotřeбенí boku maximální

$VB_N$	Opotřebení boku
$v_c$	Řezná rychlost [m/min]
$V_f$	Řezná rychlost [m/min]
$t$	Čas [min]
$\mu m$	Mikrometr

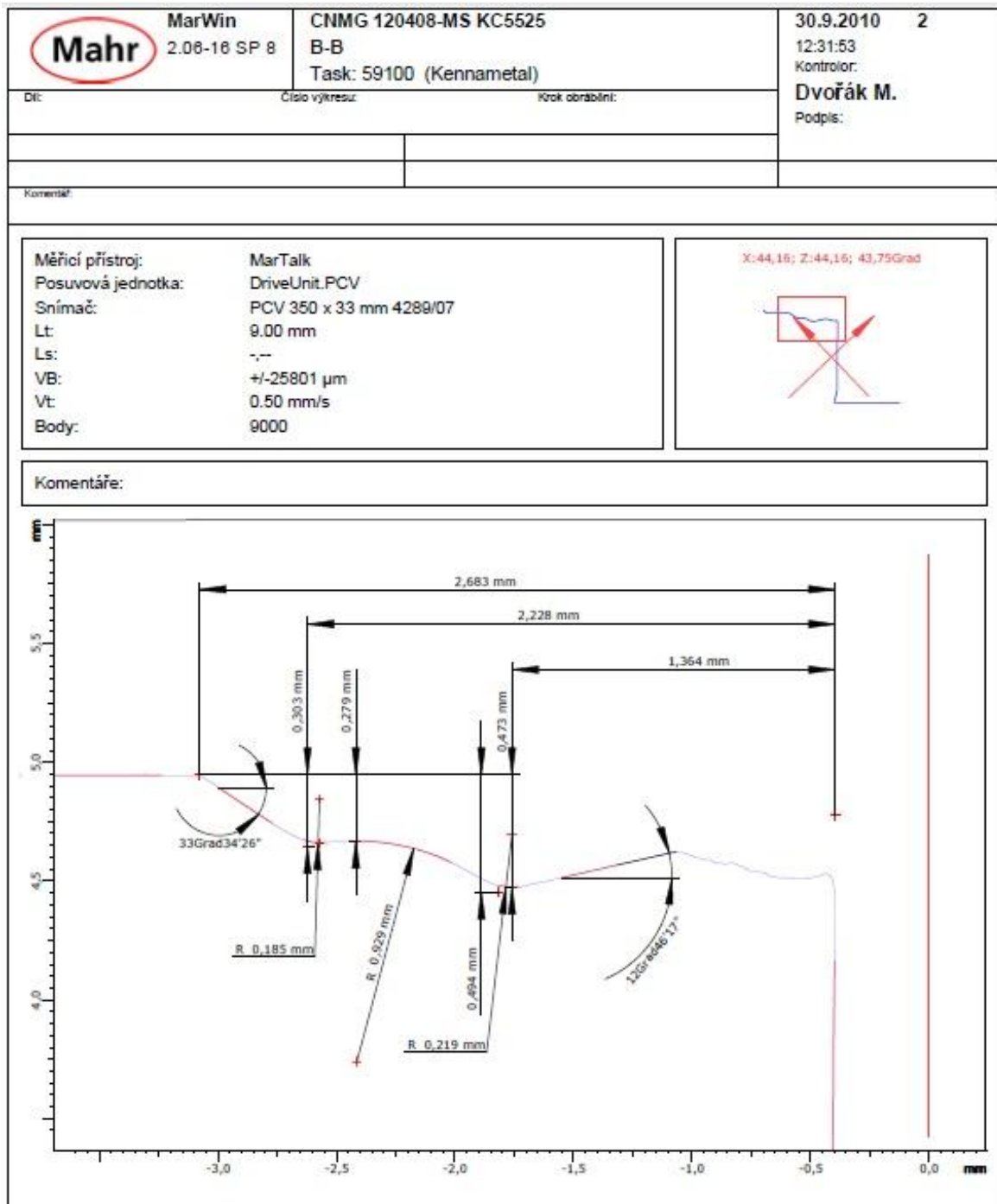
**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1</i> Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro základní metody.....	13
<i>Tab. 2</i> Vývoj slinutých karbidů, jejich povlaků a povlakování [1] .....	19
<i>Tab. 3</i> Základní rozdělení slinutých karbidů [1,4] .....	21
<i>Tab. 4</i> Složení a vlastnosti vybraných druhů slinutých karbidů [5].....	24
<i>Tab. 5</i> Skupiny obráběných materiálů podle normy ISO 513 [1,4] .....	27
<i>Tab. 6</i> Rozdělení a označování nástrojových ocelí [5] .....	27
<i>Tab. 7</i> Údaje o chemickém složení a mechanických hodnotách titanu [12] .....	34
<i>Tab. 8</i> Druhy slitin titanu [12].....	34
<i>Tab. 9</i> Mechanické vlastnosti vybraných Ti slitin se strukturou alfa nebo.....	35
<i>Tab. 10</i> Mechanické vlastnosti slitiny TiAl6V4 [10].....	36
<i>Tab. 11</i> Mechanické vlastnosti vybraných dvoufázových slitin titanu [10] .....	36
<i>Tab. 12</i> Mechanické vlastnosti slitin beta.....	37
<i>Tab. 13</i> Obráběné materiály – Obrobitelnost 1 [12] .....	40
<i>Tab. 14</i> Obráběné materiály – Obrobitelnost 2 [12] .....	41
<i>Tab. 15</i> Doporučené množství řezné kapaliny při obrábění [12] .....	44
<i>Tab. 16</i> Materiály destiček od firem používané pro obrábění .....	58
<i>Tab. 17</i> Výsledky utváření třísky CNMG 120408E –SM dle SECO TOOLS .....	68
<i>Tab. 18</i> Výsledky utváření třísky CNMG 120408E –SM dle ISO .....	69
<i>Tab. 19</i> Výsledky utváření třísky Walter NMS dle SECO TOOLS.....	69
<i>Tab. 20</i> Výsledky utváření třísky Walter NMS dle ISO .....	70
<i>Tab. 21</i> Výsledky utváření třísky Walter NMT dle SECO TOOLS.....	71
<i>Tab. 22</i> Výsledky utváření třísky Walter NMT dle ISO.....	71
<i>Tab. 23</i> Řezné podmínky CNMG 120408E - SM.....	74
<i>Tab. 24</i> Řezné podmínky CNMG 120408 E - SM.....	74
<i>Tab. 25</i> Obrábění kůry po tváření CNMG 120408E - SM.....	74
<i>Tab. 26</i> Obrábění kůry po tváření Walter NMS.....	75
<i>Tab. 27</i> Řezné podmínky CNMG 120408E - SM.....	77
<i>Tab. 28</i> Řezné podmínky Walter NMT .....	77
<i>Tab. 29</i> Obrábění kůry po tváření CNMG120408E - SM.....	77
<i>Tab. 30</i> Obrábění kůry po tváření Walter NMT .....	78
<i>Tab. 31</i> Výsledky měření tvrdosti.....	79

**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Destička CNMG 120408 – MS, KC 5515 od firmy Kennametal
- PII Destička TNMG 160404 – MS, KC 5525 od firmy Kennametal
- PIII Destička TNMG 160408 – PP, IC 3P28 od firmy Iscar
- PIV Destička CNMG 120408 – NMT, WSM 20 od firmy Walter
- PV CD – obsahuje bakalářskou práci ve formátu \*.pdf a \*.doc

# PŘÍLOHA P I: DESTIČKA CNMG 120408 – MS, KC 5515 OD





MarWin  
2.06-16 SP 8

CNMG 120408-MS KC5525  
C-C  
Task: 59100 (Kennametal)

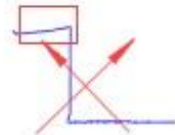
30.9.2010 2  
12:52:41  
Kontrolor:  
**Dvořák M.**  
Podpis:

Díl:	Číslo výkresu:	Krok obrábění:

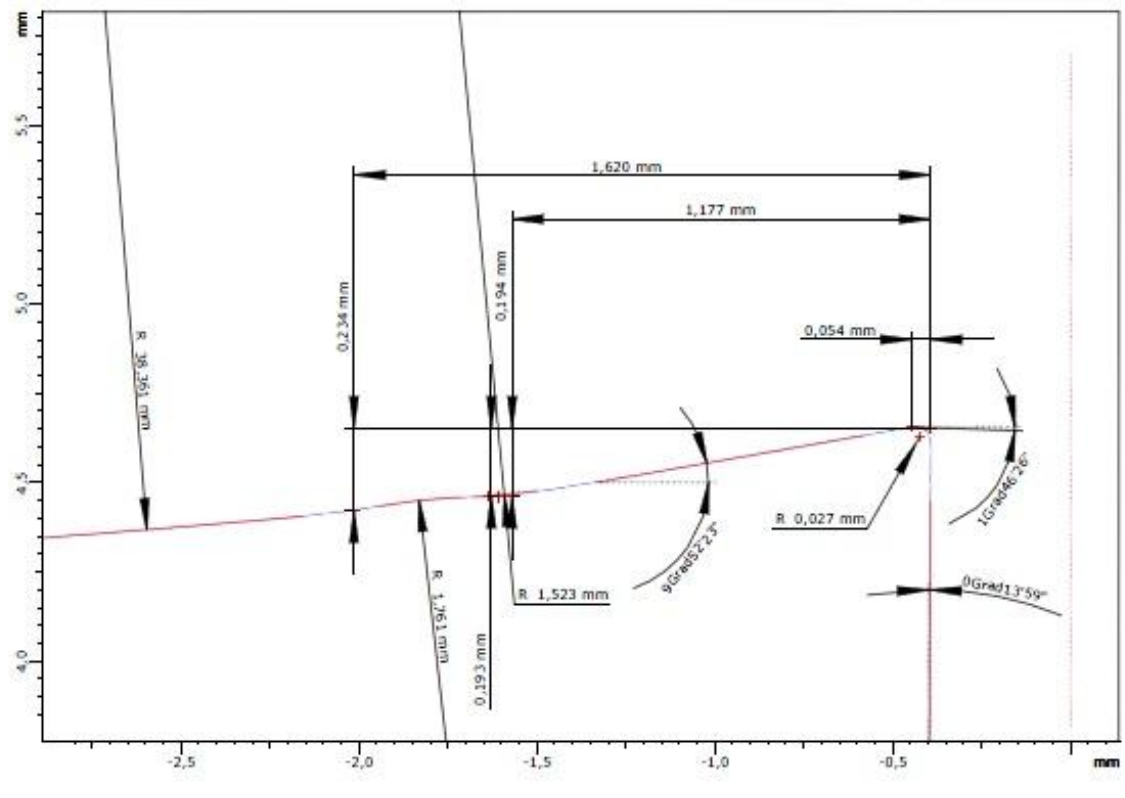
Komentář:

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 4288/07  
Lt: 9.00 mm  
Ls: -  
VB: +/-25801 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 9000

X:57,39; Z:57,39; 43,74Grad



Komentáře:







MarWin  
2.06-16 SP 8

CNMG 120408-MS KC5525  
D-D  
Task: 59100 (Kennametal)

30.9.2010 2

13:06:07

Kontrolor:

Dvořák M.

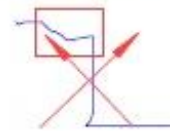
Podpis:

Díl: Číslo výkresu: Krok obrábění:

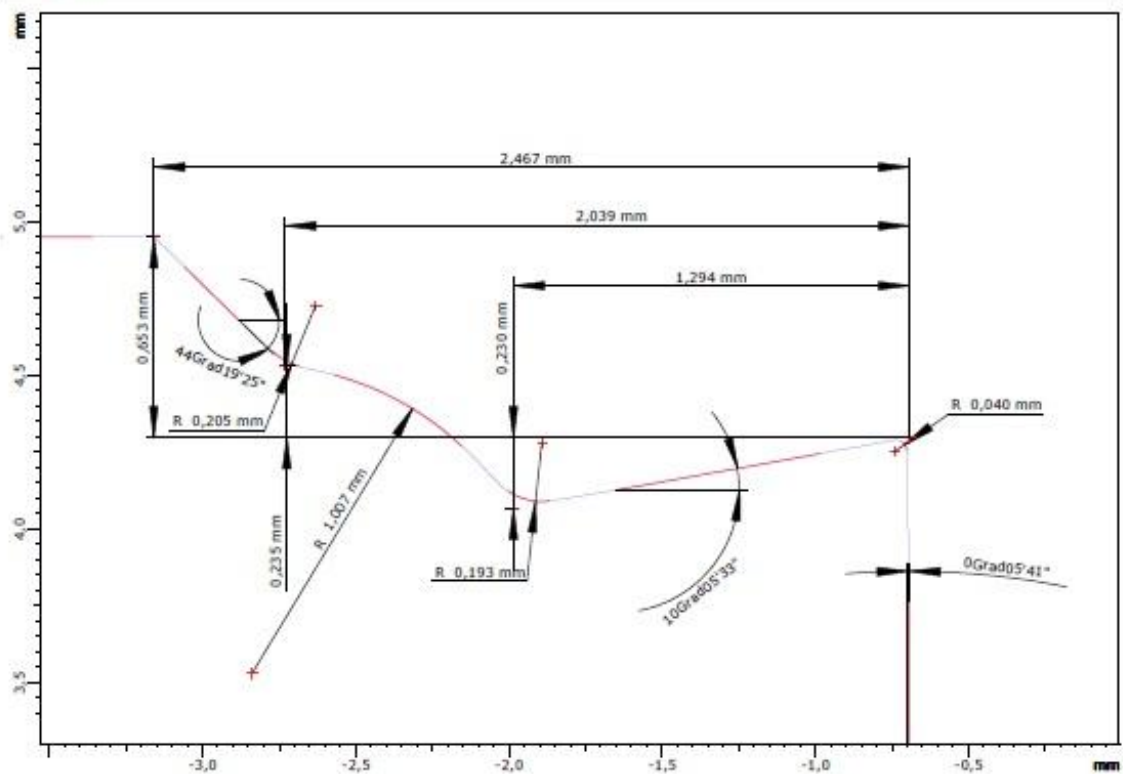
Komentář

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07  
Lt: 9.00 mm  
Ls: -,-  
VB: +/-25801 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 9000


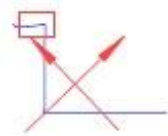
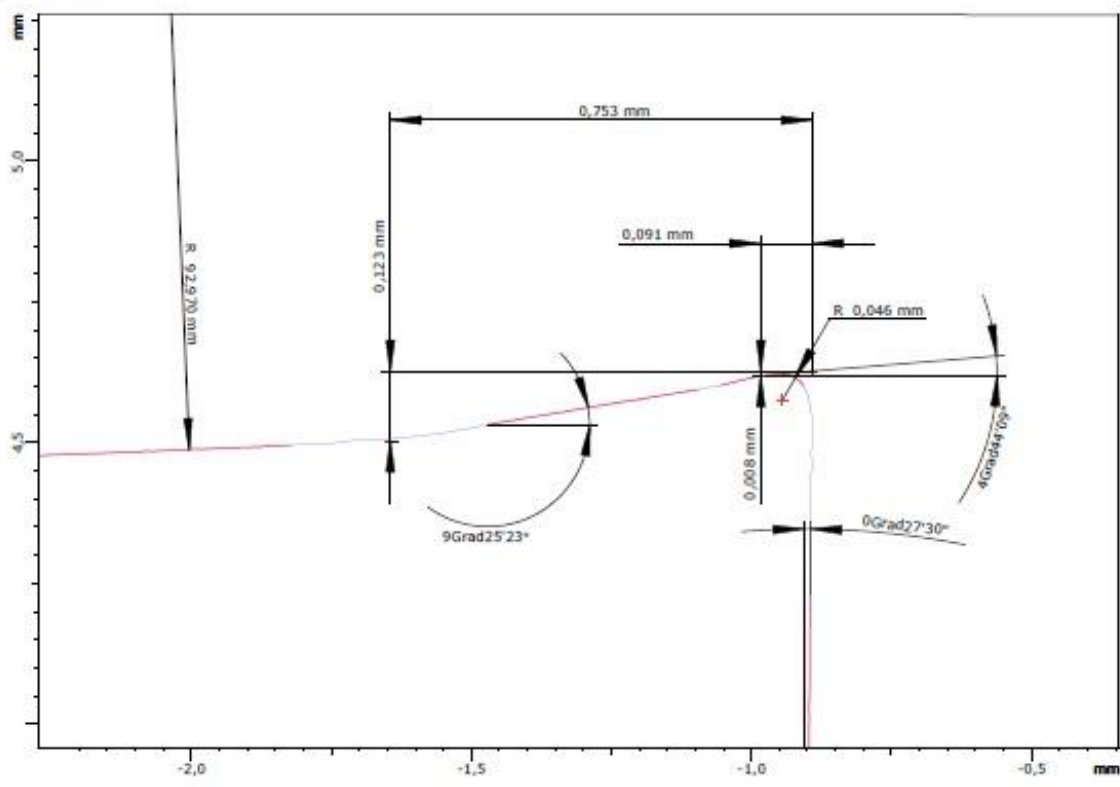
X:49,32; Z:149,32; 43,73Grad



Komentáře:



## PŘÍLOHA P II: DESTIČKA TNMG 160404 – MS, KC 5525

	MarWin 2.06-16 SP 8	TNMG 160404-MS KC5525 C-C (0,9mm) Task: 59100 (Kennametal)	30.9.2010 2 13:59:32 Kontrolor: <b>Dvořák M.</b> Podpis:
	Dř:	Číslo výtvaru:	Krok obrábění:
Komentář:			
Měřicí přístroj: MarTalk Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07 Lt: 9.01 mm Ls: -,- VB: +/-25801 μm Vt: 0.50 mm/s Body: 9000		X:90,00; Z:90,00; 43,8Grad 	
Komentáře:			
 <p>                 mm                  5,0                  4,5                  -2,0 -1,5 -1,0 -0,5 mm             </p>			



MarWin  
2.06-16 SP 8

TNMG 160404-MS KC5525  
D-D  
Task: 59100 (Kennametal)

30.9.2010 2

14:23:45  
Kontrolor:

Dvořák M.

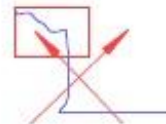
Podpis:

Díl: Číslo výkresu: Krok obrábění:

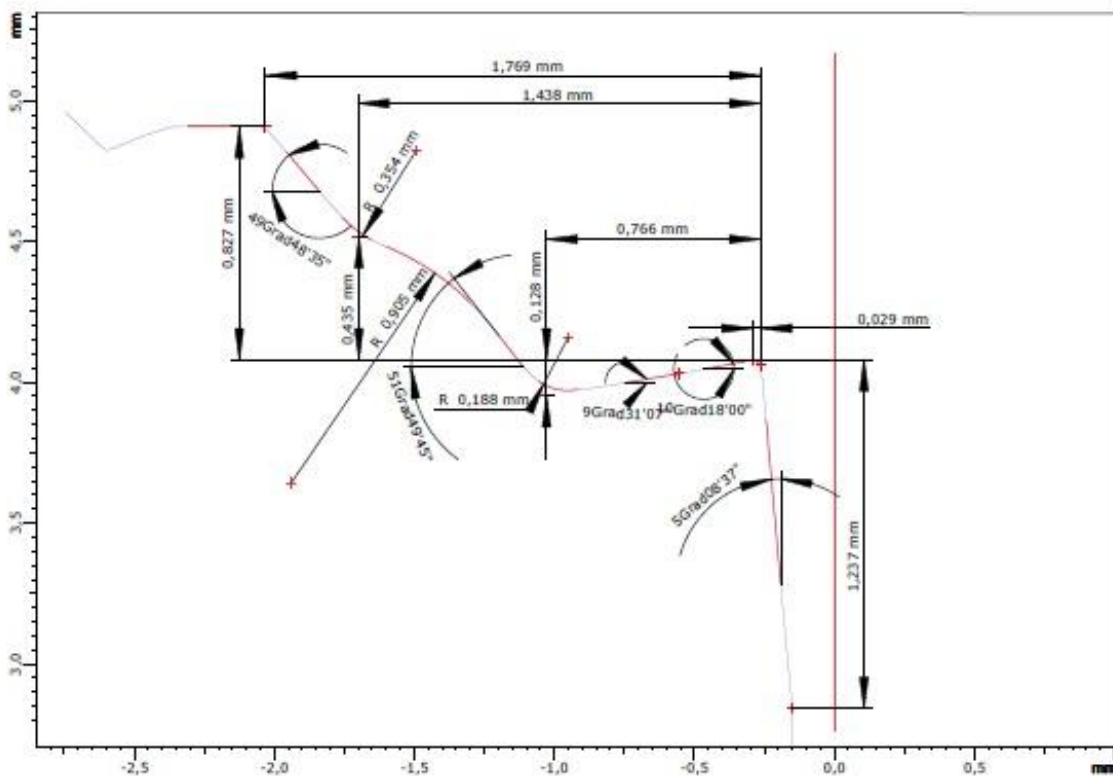
Komentář:

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07  
Lt: 9.00 mm  
Ls: --  
VB: +/-25801 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 9000

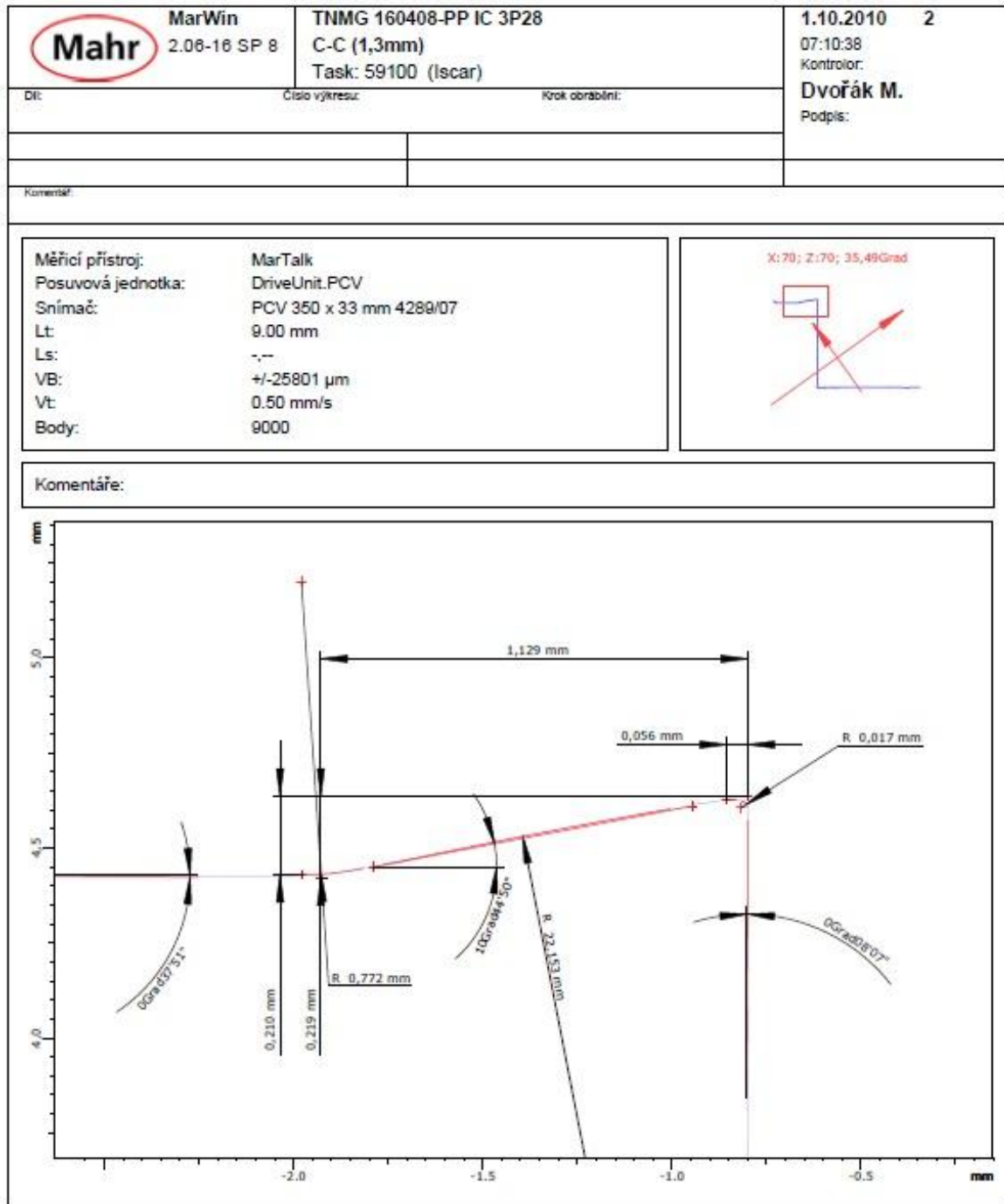
X:45; Z:45; 43,78Grad



Komentáře:



# PŘÍLOHA P III: DESTIČKA TNMG 160408 – PP IC 3P28





MarWin  
2.06-16 SP 8

TNMG 160408-PP IC 3P28  
D-D  
Task: 59100 (Iscar)

1.10.2010 2

07:26:23

Kontrolor:

Dvořák M.

Podpis:

Díl:

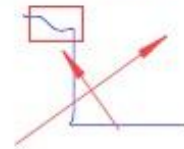
Číslo výkresu:

Krok obrábění:

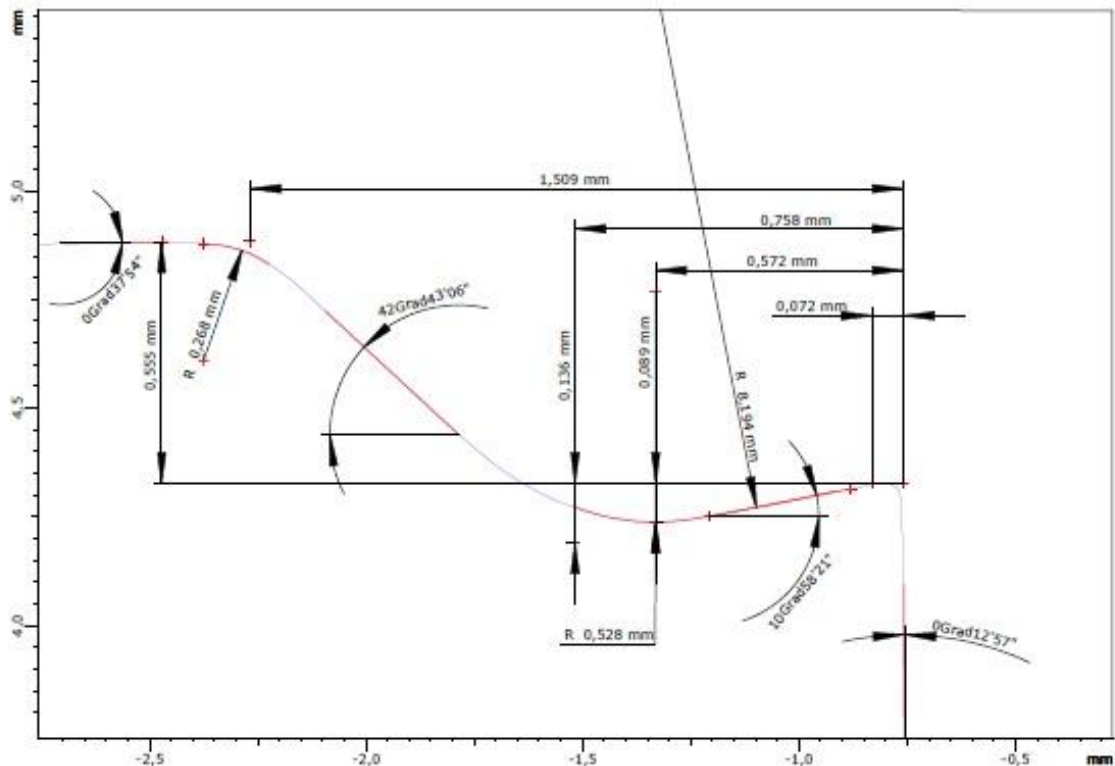
Komentář:

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 4289/07  
Lt: 9.00 mm  
Ls: --  
VB: +/-25801 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 9000

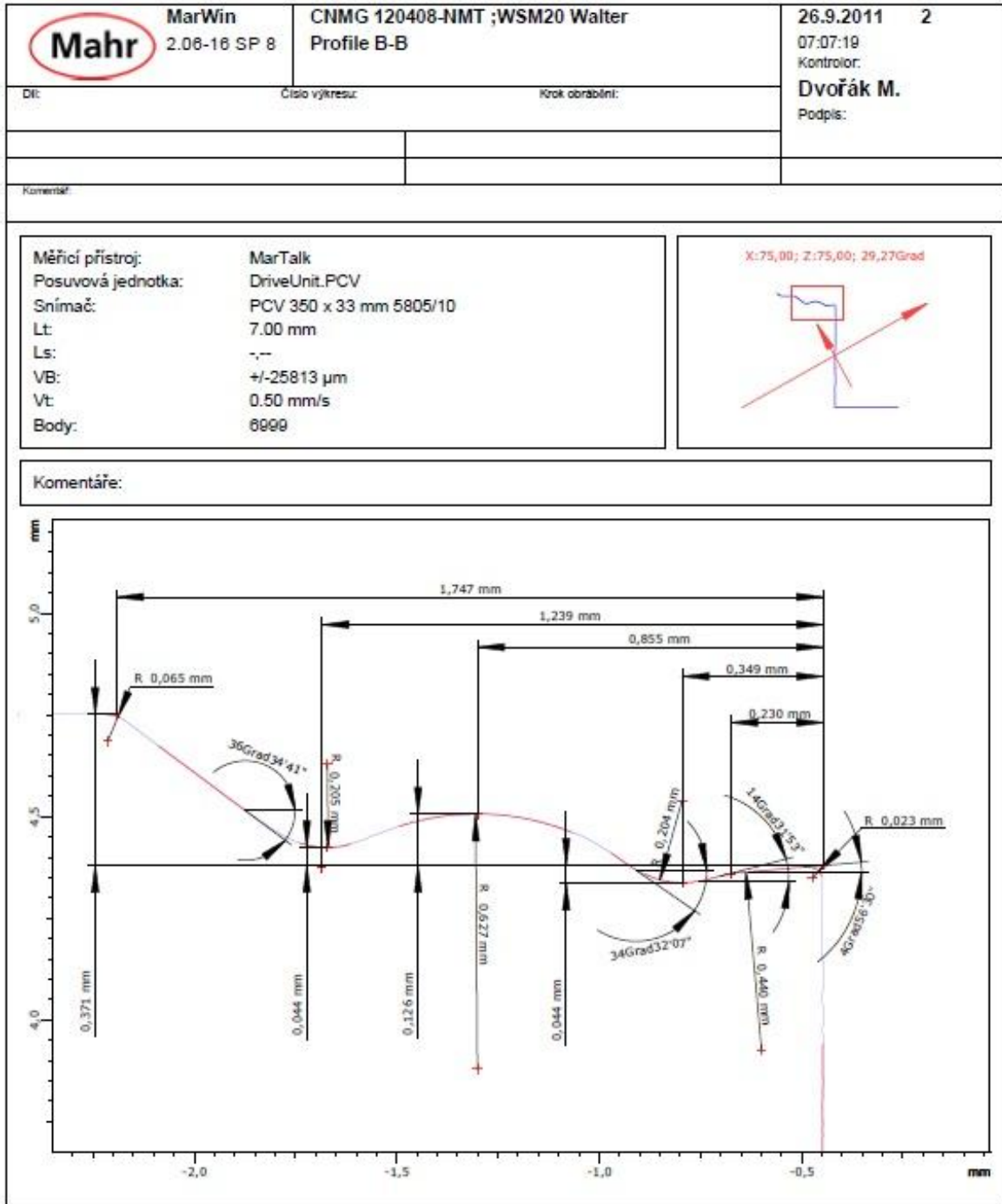
X:70; Z:70; 35,49Grad

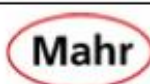


Komentáře:



# PŘÍLOHA P IV: DESTIČKA CNMG 120408 – NMT WSM 20





MarWin  
2.06-16 SP 8

CNMG 120408-NMT ;WSM20 Walter  
Profile C-C

23.9.2011 2

14:25:36

Kontrolor:

Dvořák M.

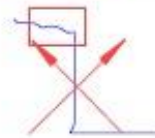
Podpis:

Díl: Číslo výkresu: Krok obrábění:

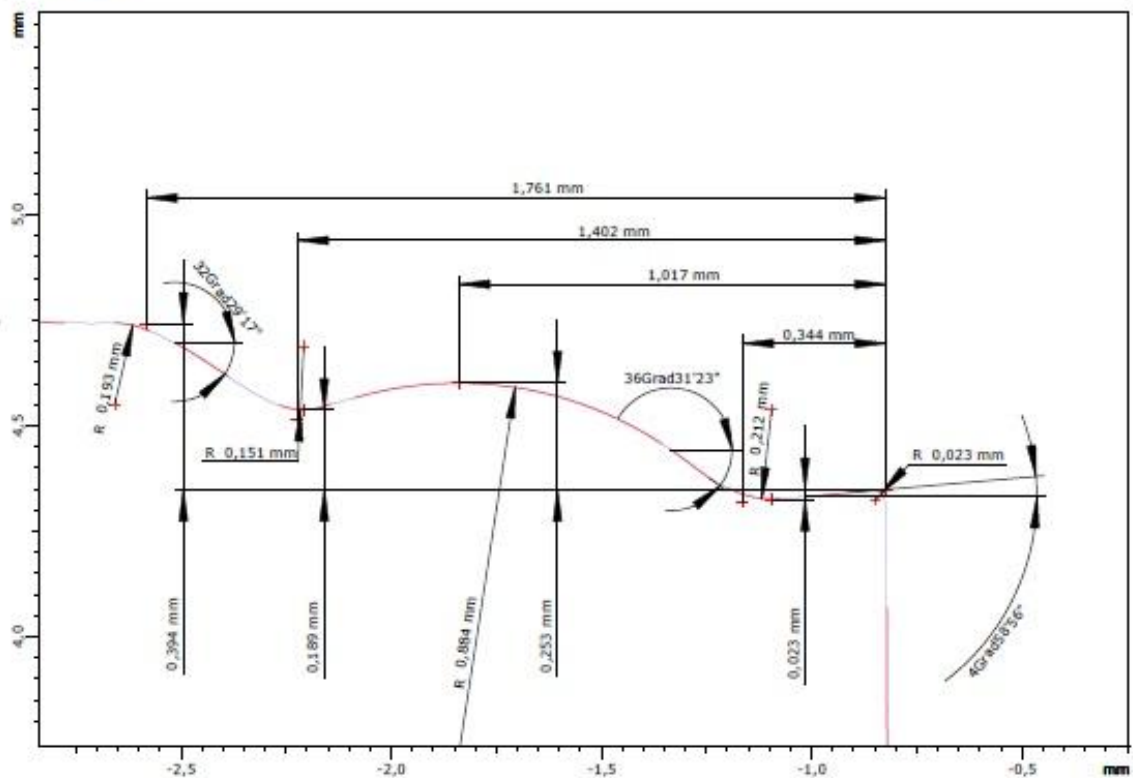
Komentář:

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 5805/10  
Lt: 8.00 mm  
Ls: --  
VB: +/-25813 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 8000

X:67,00; Z:67,00; 44,33Grad



Komentáře:





MarWin  
2.06-16 SP 8

CNMG 120408-NMT ;WSM20 Walter  
Profile D-D

26.9.2011 2

08:39:44

Kontrolor:

Dvořák M.

Podpis:

Díl:

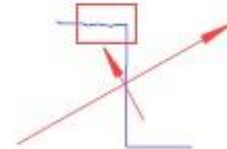
Číslo výkresu:

Krok obrábění:

Komentář:

Měřicí přístroj: MarTalk  
Posuvová jednotka: DriveUnit.PCV  
Snímač: PCV 350 x 33 mm 5805/10  
Lt: 7.01 mm  
Ls: -,-  
VB: +/-25813 µm  
Vt: 0.50 mm/s  
Body: 8999

X:70,00; Z:70,00; 29,26Grad



Komentáře:

