

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Současný vývoj obráběcích nástrojů

Bakalářská práce

Jan TRUNČKA

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Mádl, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne:.....

Podpis:.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce za celkové odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce a za trpělivost, vstřícnost a čas, který byl ochoten věnovat konzultacím.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vývojem řezného nástroje od počátku 20. století. První část je zaměřena na vývoj materiálů řezných nástrojů, včetně datace, jejich základních vlastností a případných vývojových změn, jako jsou tepelné zpracování a povlakování. Druhá část se zabývá vývojem a historickými změnami geometrie řezného nástroje, včetně moderních trendů.

Klíčová slova

řezné materiály, nástroj, výměnná břitová destička, nástrojová ocel, řezná keramika, slinutý karbid, cermety, nitrid boru, diamant.

Abstract

The bachelor thesis is about the development of a cutting tool from the beginning of the 20th century. The first part is focused on the development of cutting tool materials, including datation, basic attributes and possible developmental changes such thermal elaboration and coating. The second part follows up the development and historical changes of the geometry of the cutting tool, including modern trends.

Key words

cutting materials, cutting tool, replaceable insert, tool steel, cutting ceramics, sintered carbide, cermet, boron nitrid, diamond.

Bibliografická citace

TRUNČKA, Jan. *Současný vývoj obráběcích nástrojů*. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Mádl, CSc.

Obsah

Seznam zkratk a symbolů.....	- 8 -
1 Úvod	- 8 -
2 Vlastnosti nástroje	- 8 -
2.1 Požadavky na řezný materiál	- 8 -
2.2 Geometrie břitu a popis nástroje	- 9 -
2.3 Řezné síly	- 10 -
2.4 Teplo a nástroj.....	- 10 -
2.5 Mechanismy opotřebení	- 12 -
2.5.1 Otěr nástroje.....	- 12 -
2.5.2 Plastická deformace	- 12 -
2.5.3 Křehký lom	- 12 -
3 Základní rozdělení řezných materiálů	- 13 -
3.1 Nástrojová a Rychlořezné ocele.....	- 14 -
3.1.1 Rozdělení nástrojových ocelí.....	- 14 -
3.1.2 Nástrojové oceli uhlíkové (19 0xx - 19 299).....	- 14 -
3.1.3 Nástrojové oceli slitinové legované (19 300 - 19 790).....	- 15 -
3.1.4 High speed steel- Rychlořezné oceli (19 800 - 19 890).....	- 15 -
3.1.5 Nástrojové oceli slitinové rychlořezné	- 17 -
3.1.6 Zpracování nástrojové oceli.....	- 17 -
3.2 Slinuté karbidy	- 20 -
3.2.1 Výroba slinutých karbidů.....	- 22 -
3.2.2 Skupiny slinutých karbidů a jejich vlastnosti	- 23 -
3.2.3 Povlaky slinutých karbidů	- 25 -
3.2.4 Metody povlakování	- 26 -
3.3 Cermety	- 27 -
3.3.1 Historie cermetů.....	- 28 -

3.3.2	Generace cermetů	- 28 -
3.3.3	Kompletní účinky aditiv v cermetické struktuře.....	- 29 -
3.3.4	Povlakování cermetů.....	- 30 -
3.3.5	Cermety ve výrobě.....	- 32 -
3.4	Řezná keramika.....	- 34 -
3.4.1	Historie řezné keramik.....	- 35 -
3.4.2	Značení a trh s řeznou keramikou.....	- 37 -
3.5	Supertvrdé řezné materiály.	- 38 -
3.5.1	Diamant.....	- 39 -
3.5.2	Kubický nitrid bóru.....	- 40 -
4	Vývoj geometrie řezného nástroje.....	- 40 -
5	Závěr.....	- 47 -
	Literatura a zdroje	- 48 -
	Seznam obrázků a grafů	- 50 -

Seznam zkratek a symbolů

T	teplota [$^{\circ}\text{C}$; K]
p	tlak [Pa]
l	délka [m]
F	síla [N]
n	otáčky [s^{-1}]
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
DIN	Deutsche Industrie-Norm
HSS	High speed steel
SK	Slinutý karbid
CN	Nitrid boru
VBD	Výměnná břitová destička
HRC	Tvrdost podle Rokwella
HV	Tvrdost podle Vickerse
HB	Tvrdost podle Brinella
CNC	Computer Numeric Control
NB	Nitrid boru
KNB	Kubický nitrid boru
HPC	High performance cutting
HFC	High feed cutting
HSC	High speed cutting
ARA	Anizotermický rozpad austenitu

1. Úvod

Podstatou obrábění je přetváření obrobku do požadovaného tvaru. Tedy upravení věci do chtěné podoby. Člověk již od nepaměti chce přetvářet okolní svět podle své představy. Ať už se bavíme o pračlověku, který pomocí kamenů vytvářel pěstní klín, nebo o moderních systémech pro raketoplány a urychlovače částic. Vždy a všude je zapotřebí obrábění materiálů. Tato práce se zabývá vývojem modernějších nástrojů od počátku 20. století, které se pro obrábění používají. Práce je rozdělena do dvou bloků: v prvním bloku je tématem materiál nástroje a jeho případná povrchová či jiná úprava a v druhém bloku je pak tématem geometrie nástroje.

2. Vlastnosti nástroje

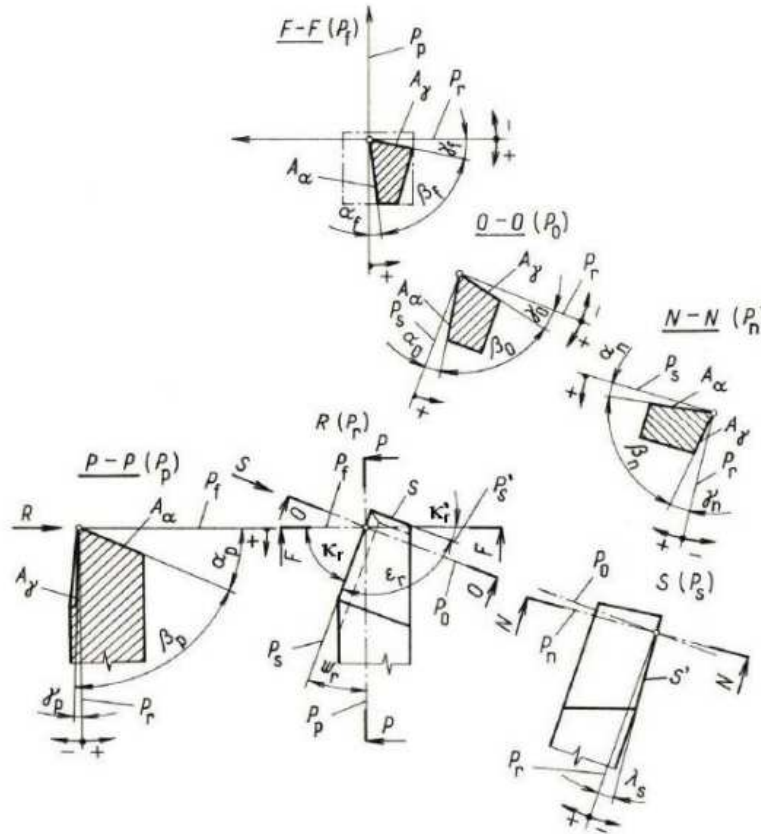
Vlastnosti nástroje určují jeho charakter a celkový předpoklad pro obrábění. Respektive na základě poznatků se nástroje vyrábějí dle požadovaných vlastností, ať už pro obrábění na hrubo, na čisto, na dokončování, či pro jiné specifické požadavky na vlastnosti. Mezi základní vlastnosti nástroje patří: tvrdost, tepelná odolnost, kdy některé materiály podléhají teplotní degradaci (např. diamant), otěruvzdornost, houževnatost, pevnost v ohybu. Tyto vlastnosti vyplývají z vlastností materiálu, oproti tomu vlastnosti jako úhel ostří a drsnost povrchu jsou geometrické vlastnosti. Vlastnosti spolu s řeznými podmínkami určují trvanlivost nástroje, která je stěžejní při projektování výrobního procesu. (1)

2.1. Požadavky na řezný materiál

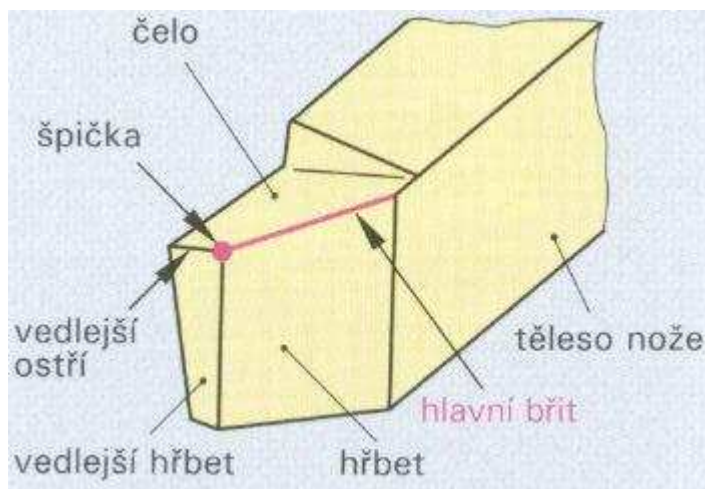
U řezného materiálu se snažíme dosáhnout vlastností, které mají za následek ideální řezivost nástroje. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou tvrdost, houževnatost, chemická stálost a odolnost proti teplotním rázům. Bohužel ideální řezný materiál neexistuje, je tedy vždy potřeba zvolit kompromis mezi požadovanými vlastnostmi. Vyšší houževnatost dovoluje použít vyšší posuvy. Kombinace těchto dvou faktorů se používá k hrubování, protože neumožňuje tak vysoké přesnosti. Dále například odolnost materiálu proti otěru poskytuje možnost vyšší řezné rychlosti. Dalšími požadavky na materiál jsou samozřejmě náklady, náročnost výroby a neméně důležitý je dopad výroby na životní prostředí. Z materiálu musí také jít vyrobít břit. Například u slinutých karbidů nastává problém, při příliš malém úhlu břitu se špičky při slisování odlamují a zůstávají ve formě, proto nelze udělat jakýkoli břit. Nicméně jejich nespornou výhodou je schopnost poměrně jednoduché recyklace, kdy se použité destičky rozdrťí a znovu slinují. (1)

2.2. Geometrie břitu a popis nástroje

Nejdůležitějším geometrickým faktorem jsou úhly břitu, ty ovlivňují velikost řezných sil, teplotu při řezání, povrch obrobku i opotřebení nástroje. Obecně lze pro velké zjednodušení říci, že čím tupější úhel břitu, tím jsou síly na nástroj menší a nástroj je vhodný pro větší rychlosti obrábění a tím pádem pro hrubování. Oproti tomu ostřejší nástroje jsou lepší pro menší rychlosti a obrábění na čisto.



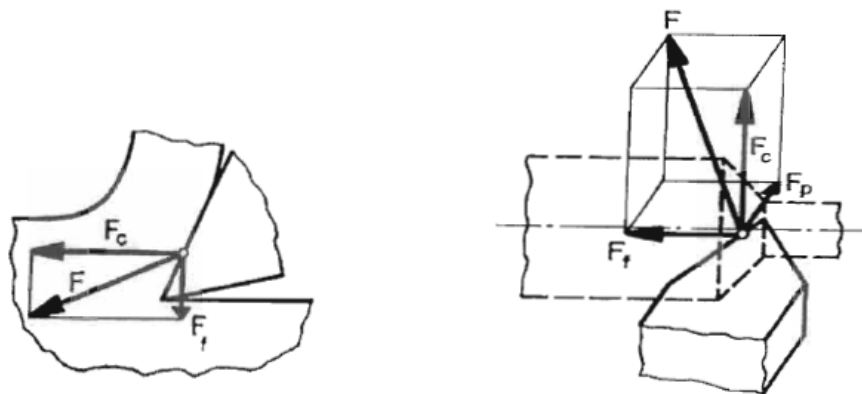
Obr. 1. Nástrojové úhly v rovinách P_r , P_f , P_p , P_s , P_o , P_n - Zakreslené na pravém ubíracím soustružnickém noži (1)



Obr. 2. Popis nástroje- popis na levém soustružnickém noži (2)

2.3. Řezné síly

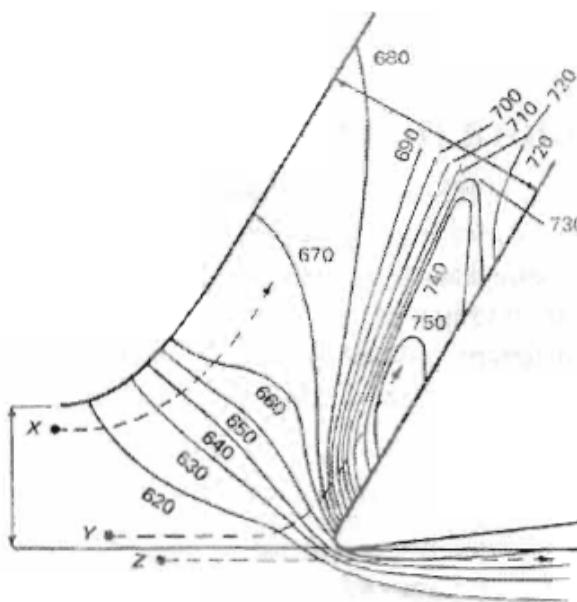
Jedná se o síly vyvolané kontaktem nástroje a obrobku. Výsledná síla má tři navzájem kolmé složky: řeznou sílu F_c , sílu posuvu F_f a pasivní sílu F_p . Tyto síly se dají složit pomocí vektorového součtu do výsledné síly působící na nástroj. Tato síla v kombinaci s neideální tuhostí nástroje způsobuje, že se nástroj vychýlí (ohne) a neobrábí v ideální rovině. Tato výchylka způsobuje nepřesnost v obrábění. (1)



Obr. 3. Řezné síly-vlevo ortogonální řezání, vpravo vázané řezání (1)

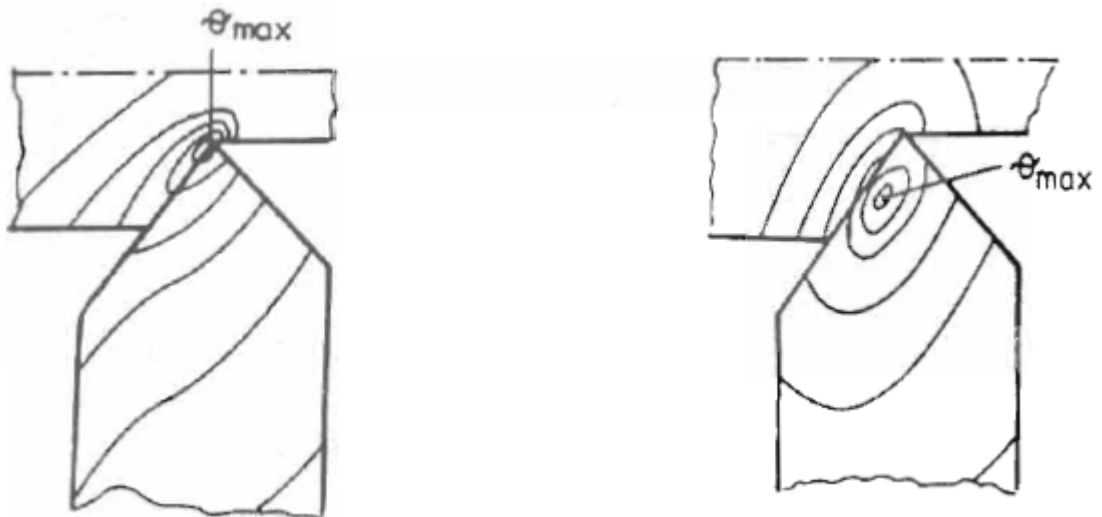
2.4. Teplo a nástroj

Při obrábění dochází k zahřívání obrobku i nástroje. Toto teplo zvyšuje teplotu nástroje, která může přesáhnout kritickou hodnotu pro daný materiál a tím způsobit strukturální změny. Tyto strukturální změny můžou skokově změnit vlastnosti nástroje, jako je například tvrdost, ta se prudce sníží a tím dojde ke zničení nástroje.



Obr. 4. Rozložení tepla v nástroji a tříšce (1)

Rozložení tepla je samozřejmě závislé i na řezné rychlosti, čím nižší rychlost, tím se nejvyšší teplota přibližuje špičce nástroje. (1)



Obr. 5. Rozložení tepla v závislosti na řezné rychlosti- vlevo nižší, vpravo vyšší (1)

Toto teplo je tedy nutné odvádět, nejčastěji chladicí kapalinou. Ta musí mít inertní charakter, aby při takto vysokých teplotách nedifundovala do obrobku nebo nástroje. Další problém způsobený takto vysokou teplotou je tečení obrobku, ten obtéká nástroj i zespodu, a tím dochází k huštění materiálu na povrchu obrobku (viz. obr. 6). Všechny tyto skutečnosti, zejména maximální teplota, hrají důležitou roli v opotřebení nástroje a je tedy potřeba teplo maximálně odvádět, aby se zmaximalizovala efektivnost výroby. (1)



Obr. 6. Tečení materiálu u ostří nože (1)

2.5. Mechanismy opotřebení

Mechanismy opotřebení břítu vznikají pomocí otěru, plastické deformace, křehkého lomu. Tyto mechanismy působí na břit po dobu obrábění, jejich míra je ovlivněna faktory jako teplota, přenesené teplo, materiál obrobku i nástroje a samozřejmě řezné podmínky. Nástroj je schopný poskytovat požadované vlastnosti jen po určitou dobu obrábění, pak dosáhne opotřebení takové meze, že už nástroj neobrábí v požadované přesnosti. Tuto dobu nazýváme trvanlivostí břítu. Po uplynutí této doby je nutné nástroj, či břitovou destičku vyměnit případně nabrousit. (1)

2.5.1. Otěr nástroje

Otěr nástroje má čtyři mechanismy. První je brusný, ten je založený na nehomogenitě materiálů nástroje a obrobku, kdy měkčí části nástroje jsou vybrušovány tvrdšími částicemi obrobku. Tvrdé částice mohou být například zrna cementitu a měkké naopak ferit, atomy nikl apod. Tento mechanismus je významný hlavně při nízkých rychlostech, hlavně při obrábění nástrojovými a rychlořeznými oceli. Dalším otěr je adhezní. Tento otěr je založený na principu adhezního spojení, kdy tečné síly přesáhnou únosnou mez a částice se odlomí. Tento otěr vzniká také především při nižší rychlostech, a proto je také nejvýznamnější pro nástrojové a rychlořezné ocele. Naopak pro difúzní otěr je potřeba vyšší teplota, protože jeho podstatou je přenos hmoty pomocí difúze. Během difúze v zásadě legujeme obráběný materiál prvky jako je kobalt, uhlík, wolfram atd., které odcházejí z materiálu nástroje. Do materiálu nástroje naopak ve většině případů difunduje železo. Avšak difúze probíhá i se vzduchem a s chladícími kapalinami. Výsledkem je tedy degradace nástrojového materiálu, legování obráběného materiálu nástrojovým a degradace vzduchem a chladící kapalinou. Vzhledem k potřebné teplotě je difúzní otěr významný u vysokých rychlostí, proto je nejpatrnější u slinutých karbidů a řezné keramiky. Poslední z otěrů je chemický, zde se jedná o změnu chemického složení z jakéhokoli důvodu. Jeden z důvodů chemického otěru je reakce s chladící kapalinou či oxidace v atmosféře, která probíhá i za pokojové teploty, ovšem za zvýšených teplot probíhá ve větším měřítku. K oxidaci dochází převážně u ocelí, kde se nám tvoří nežádoucí oxidy, které degradují nástrojový materiál. Difúzní a chemický otěr jsou velmi blízce spjaté, ve většině případů probíhají současně. (1)

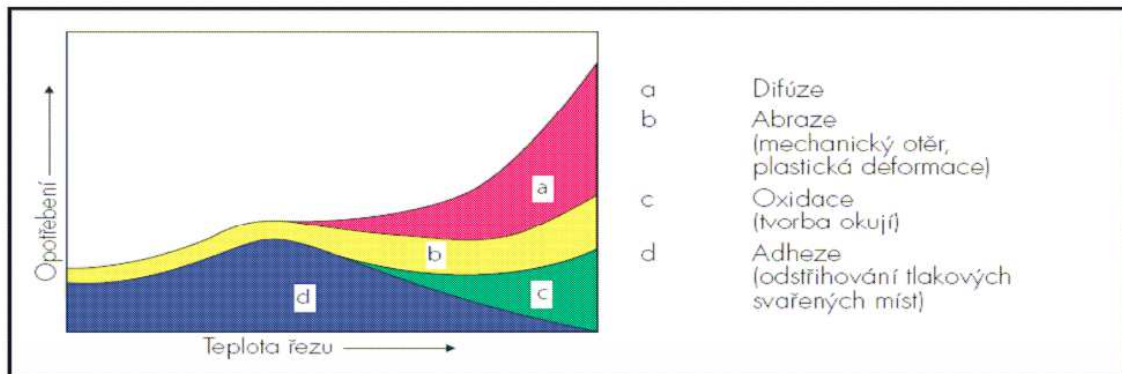
2.5.2. Plastická deformace

Při obrábění vyššími rychlosti můžeme dosáhnout tzv. limitní teploty, což je teplota, při které dochází ke skokovému poklesu tvrdosti nástrojového materiálu v důsledku strukturálních změn. U ocelí se jedná o intenzivní popouštění, pokles je tedy velmi prudký. Což způsobuje velmi rychlé zničení nástroje při dosažení teploty a to v řádu několika sekund. Tenká vrstva materiálu, která dosáhne limitní teploty, se zplastizuje a začne se přesouvat z břítu v důsledku tření o obrobek, tento jev probíhá kontinuálně a nazývá se lavinovité opotřebení. (1)

2.5.3. Křehký lom

Jedná se o kompletní zničení nástroje či břítu, při kterém se jeho část odlomí. Většinou k němu dochází při špatné volbě řezného materiálu, či řezných podmínek. Málo houževnatý materiál nezvládá nápor na břit a ten se odlomí. Případně mohou také být špatně zvolené řezné podmínky (vysoká řezná rychlost nebo hluboká tříška)

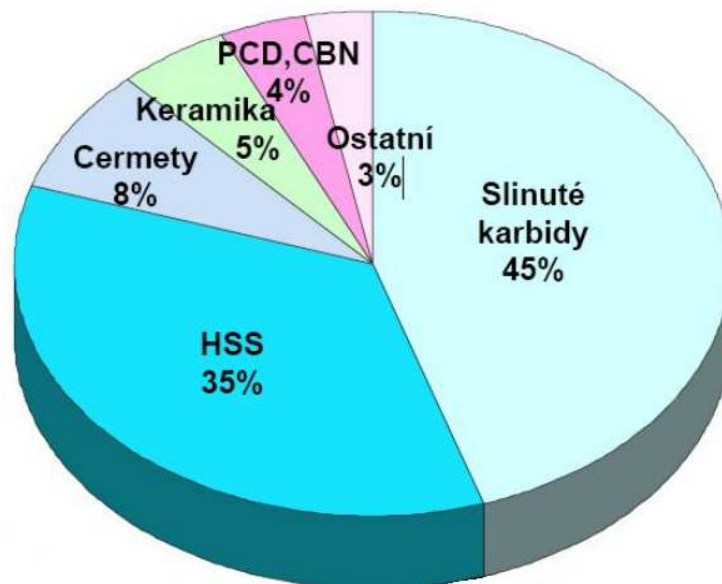
a nastává stejný problém. V praxi dochází ke křehkému lomu i z důvodu špatně napsaného programu pro CNC centra nebo z důvodu nezkušenosti obráběče, kdy nástroj najede příliš vysokou rychlostí do materiálu obrobku, tím se obrovsky a skokově zvýší síla na břit, který se odlomí. (1)



Obr. 7. Závislost opotřebení nástroje na teplotě v místě řezu. (3)

3. Základní rozdělení řezných materiálů

První modernější obráběcí materiály se objevily již na začátku 20. století, byly to ocele, které legováním převyšovaly standardní konstrukční ocele té doby. Byly legovány převážně wolframem a molybdenem. Jednalo se o rychlořezné oceli



Obr. 8. Poměr nástrojových materiálů ve výrobě (22)

a s nimi související nástrojové. Tyto ocele jsou dnes značeny jako ocele třídy 19. podle ČSN. U rychlořezných ocelí se spíše setkáme s označením HSS (High speed steel). V roce 1926 se začínají průmyslově vyrábět slinuté karbidy, nejčastěji karbidy wolframu a kobaltu či titanu, které postupně zaujímají dominantní postoj na trhu, jak je možné vidět na obr. 8. Nicméně i přesto se na trhu začínají objevovat další materiály, které sice neslaví takový úspěch jako slinuté karbidy, ale jejich význam není rozhodně zanedbatelný. Z těchto materiálů je to například řezná keramika, která se uvádí na řezný trh kolem roku 1913 a až do roku 1980 je intenzivně vyvíjena. Největšími milníky je vysokoteplotní lisování v letech 1945 a 1980. (viz. tab. 7). Dalším z materiálů jsou cermety, mělo se jednat se o kombinaci řezné keramiky a kovu. Vývoj tohoto materiálu v letech 1968 až 1970 měl přinést revoluci do obrábění, protože cermety měly spojovat houževnatost kovu s tepelnými vlastnostmi a tvrdostí keramiky, bohužel skutečnost nedopadla dle očekávání. Nicméně i tento materiál je dnes využíván. Dále jsou na trhu supertvrdé řezné materiály jako jsou Kubické nitridy bóru a diamant. (4)

3.1. Nástrojová a rychlořezné ocele

Jedná se o řezný materiál, jehož historie sahá až do roku 900 př. n. l. Kolem tohoto roku začínají Japonci experimentovat s vrstvenými oceli, které mají podobné vlastnosti jako nástrojové oceli. Tyto ocele se dodnes používají na ruční nářadí. Modernější rychlořezné ocele se datují od roku 1870, kdy anglický metalurg Robert Forester vytvořil tzv. Mushetovu ocel. První slitina která byla patentována, jako rychlořezná ocel, byla představena v roce 1910 a následně patentována společností Crucible Steel. Nástrojové a rychlořezné ocele jsou oceli třídy 19., zpravidla legované wolframem a molybdenem. Během první světové války zažívají obří nárůst používání při obrábění válečného materiálu. (4), (5)

3.1.1. Rozdělení nástrojových ocelí

- Nástrojové oceli uhlíkové (19 0xx - 19 299)
- Nástrojové oceli slitinové legované (19 300 - 19 799)
- Nástrojové oceli slitinové rychlořezné - HSS High speed steel) (19 800-19 899)
- Nástrojové oceli slitinové na lité nástroje

Samozřejmě, že novodobé označení ani složení neodpovídá původním ocelím z počátku 20. století. Princip je ale stejný. Pomocí legujících prvků je třeba po zakalení dosáhnout martenzitické struktury, která je tvrdá ale bohužel křehká. Z toho důvodu se přistupuje k popouštění, které je u nástrojových ocelí jednou z nejdůležitějších částí. (6)

3.1.2. Nástrojové oceli uhlíkové (19 0xx - 19 299)

Bývají použité tam, kde je zapotřebí k tvrdosti i dostatečná houževnatost. To znamená, že ocel je méně prokalitelná. Používá se například pro řezné nástroje, zde je obsah uhlíku 0,7-1,4 %, pro nástroje na stříh 0,5-1,2 %. Dále se používá na ruční nástroje jako kladiva, pilníky (pilníky na dřevo, tzv. rašple, mají menší obsah uhlíku než pilníky na kov). Kladiva spolu s pneumatickým nářadím vyžadují větší míru houževnatosti, při vysoké tvrdosti by se nárazem mohly roztrhnout. Takto tvrdé nářadí se při destrukci rozlétne velmi vysokou rychlostí a střepy jsou velmi nebezpečné. Z tohoto důvodu se nikdy nedoporučuje používat kladivo (jako klín, vyrážec, atd.) na kladivo. Velkou nevýhodou těchto ocelí je pokles tvrdosti v důsledku popouštění. Z tohoto důvodu se používají spíše na nástroje, které nejsou vystavené vyšším teplotám (cca nad 250°C).

3.1.3. Nástrojové oceli slitinové legované (19 300 - 19 790)

Legovány kombinací V, Cr, W, Si, Mn a Ni, prvky jako Cr, W a V zajišťují karbidotvornost ocele a tím větší tvrdost, tzn. trvanlivost ostří. Ostatní legury upravují kalicí teploty a zabraňují vzniku trhlin při celém procesu. Volí se pro více namáhané nástroje. U nástrojů k tažení se volí ocele méně prokalitelné s vyšším obsahem uhlíku a Cr a V legurami. Z důvodu menšího namáhání na ohyb a opotřebení se požaduje větší tvrdost. U tepelně namáhaných nástrojů nastává problém, protože ocel za nepříznivých teplotních podmínek mění svoje vlastnosti. Proto se tyto ocele používají jen velmi zřídka a to většinou u zápusťového kování pro malý počet výkovek. Používají se ocele houževnatější, s obsahem uhlíku 0,3-0,5 %, legované Cr, V, W, Mo případně Si nebo Ni. V případě potřeby větší odolnosti proti popouštění se používají zušlechťené oceli o obsahu wolframu až 10 %. Stejný podíl wolframu se používá u nožů k nůžkám na stříhání za tepla, ty jsou totiž namáhány tepelně daleko více. Tyto nože jsou z ocelí o nižším procentuálním obsahu uhlíku a to asi 0,3-0,5 %, včetně 10 % W se do ocele přidává Cr a V. (6), (4)

3.1.4. High speed steel- Rychlořezné oceli (19 800 - 19 890)

Jedná se o velký skok v ocelích. Rychlořezné oceli ztrácí tvrdost zhruba při 600°C oproti nástrojovým, které podléhají těmto strukturálním změnám už při 200°C. Hlavními legurami jsou W (zlepšuje řezivost), Cr (zlepšuje kalitelnost) a V (zlepšuje odolnost proti popouštění a opotřebení). Do některých ocelí se přidává ještě kobalt, který podporuje rozpustnost karbidů a zároveň zabraňuje přehřátí při ohřevu na kalicí teplotu. Nejpoužívanější a jednou z nejstarších rychlořezných ocelí je 19 824 podle ČSN (1.3355 podle EN 10027-2:1992; HS18-0-1 podle EN ISO 4957), která obsahuje 3,8-4,5 % Cr, 17,2-18,7 % W, 1,0-1,2 % V, Mn ≤0,45 %, Si ≤0,45 % a 0,73-0,83 % uhlíku (7). Její tvrdost se pohybuje od 60 do 65 HRC a modul pružnosti $217 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$. Z historického hlediska je třeba zmínit firmu POLDI, která byla svými ocelmi proslulá. A to konkrétně jejich soustružnickými polotovary RADECO, RADECO C a RADECO M10. Jednalo se broušené polotovary tvaru hranolu či válce. Sloužily k dílenskému dobroušení na potřebný nástroj. Soustružník si tak mohl vybrousit nůž, který potřeboval. Tenčí z těchto polotovarů se využívaly i jako upichovací nože. Samozřejmě i v dnešní době existují špičkové firmy pro výrobu nástrojů jako je třeba

NAREX, ten se zabývá nejen výrobou strojních nástrojů, ale i ručního náradí jako jsou kleště, vrtačky atd. (6)



Obr. 9. Originální balení vrtáků Zbrojovky vyrobených z ocele POLDI



Obr. 10. Detailní foto ražení HSS na vrtáku



Obr. 11. Ukázka značení RADECO POLDI



Obr. 12. Ukázka RADECO od firmy POLDI- dva spodní nože jsou dílensky vybroušeny do požadovaného tvaru

3.1.5. Nástrojové oceli slitinové rychlořezné

Používají se pro nástroje, které se vyrábí litím, ať už sklopným, nebo odstředivým. Takové to nástroje mají lepší řezivost než klasické kované, ale za cenu větší křehkosti. Nejpoužívanější jsou ocele 42 29 22- používaná na protahovací trny s příměsí Chromu a Niklu a 42 29 92- používaná na lité frézy, výhrubníky a břitové destičky soustružnických nožů (zde se jedná o destičky letované). (6)

3.1.6. Zpracování nástrojové oceli

Ztuhlá ocel z hutí má nejednorodou strukturu, ta se rozruší pomocí tváření za tepla a ocel tím získá lepší homogenní charakter. Je důležité, aby tváření neprobíhalo pouze jedním směrem, tím by docházelo k vnášení určitého uspořádání do ocele a následné zhoršení homogenity. Následuje ohřev ocele do tvářecí teploty, ta je pro každou ocel odlišná a mívá velmi úzký interval, který je třeba hlídat, aby nevznikaly vady. Následuje chladnutí, zde je nutné, zmínit, že velké množství nástrojových ocelí je kalitelných pouze na vzduchu, což při chladnutí může způsobovat strukturální změny a ty pak trhlinky. Je tedy nutné ocel chladit velmi pomalu nebo v dnešní době existují izolační zásypy, které kalení oceli zabrání. Následuje nutný úběr, po tváření je povrch nekvalitní a často obsahuje vady, proto je nutný minimální přídavek na opracování, který zaručí, že po jeho odstranění budeme mít kvalitní povrch. Po získání požadovaného rozměru se ocel žihá pro snížení tvrdosti, aby bylo možné jí dále zpracovávat. Teploty a čas samozřejmě zase záleží podle druhu oceli. Pro nejlepší vlastnosti je důležité ocel nechat ustálit na žihací teplotě, tato prodleva obvykle trvá okolo 4 hodin a následuje chladnutí, které probíhá rychlostí 10 - 20°C za hodiny do teploty přibližně 600°C. Při správném provedení se z austenitu stane ferit a globulární cementit. Ocel se následně obrábí nebo tváří za studena. Tyto úpravy vnáší do ocele poměrně silné pnutí, které je třeba odstranit. Za tímto účelem se ocel žihá, tato operace se provádí po hrubování a následují dokončovací operace. Teploty při tomto žihání se pohybují v rozmezí 600-650°C a doba trvání je asi hodina. Následuje pomalé ochlazení

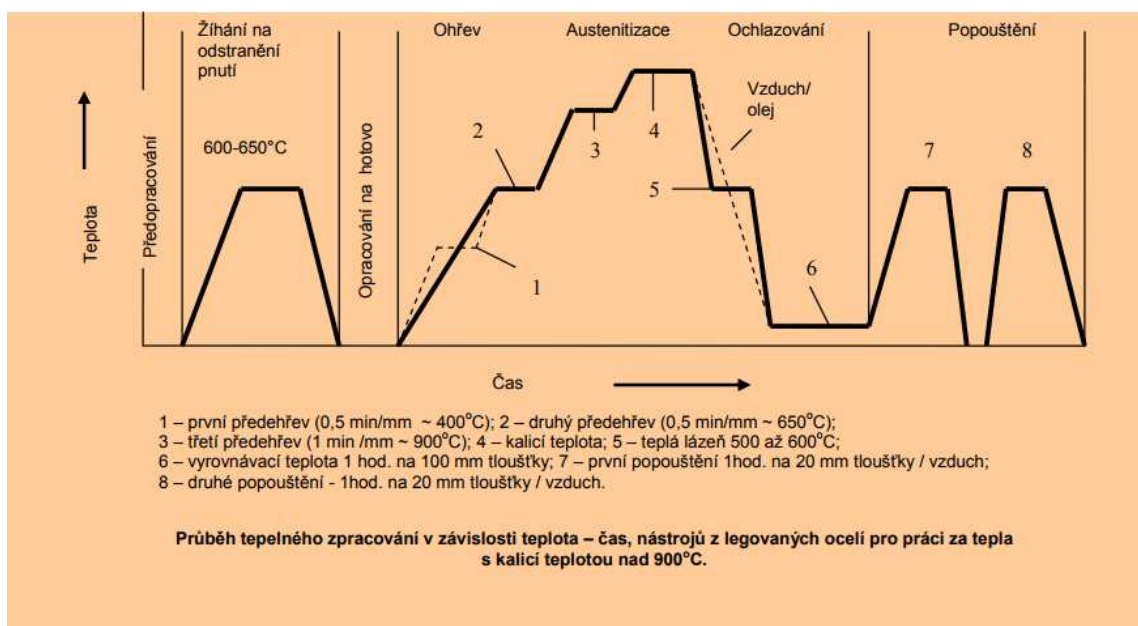
za přítomnosti vzduchu. Pro získání konečných vlastností se používá kalení a následné popouštění, kdy se ocel ohřeje nad austenitizační teplotu a následně prudce zchladí za vzniku, co možná největšího množství, martenzitu. Vzhledem k tomu, že roztoku austenitu se musí uvolnit dostatečné množství karbidů a tím obohacení austenitu uhlíkem, je nutná prodleva na kalicí teplotě. Při ochlazení nedojde k úplné přeměně



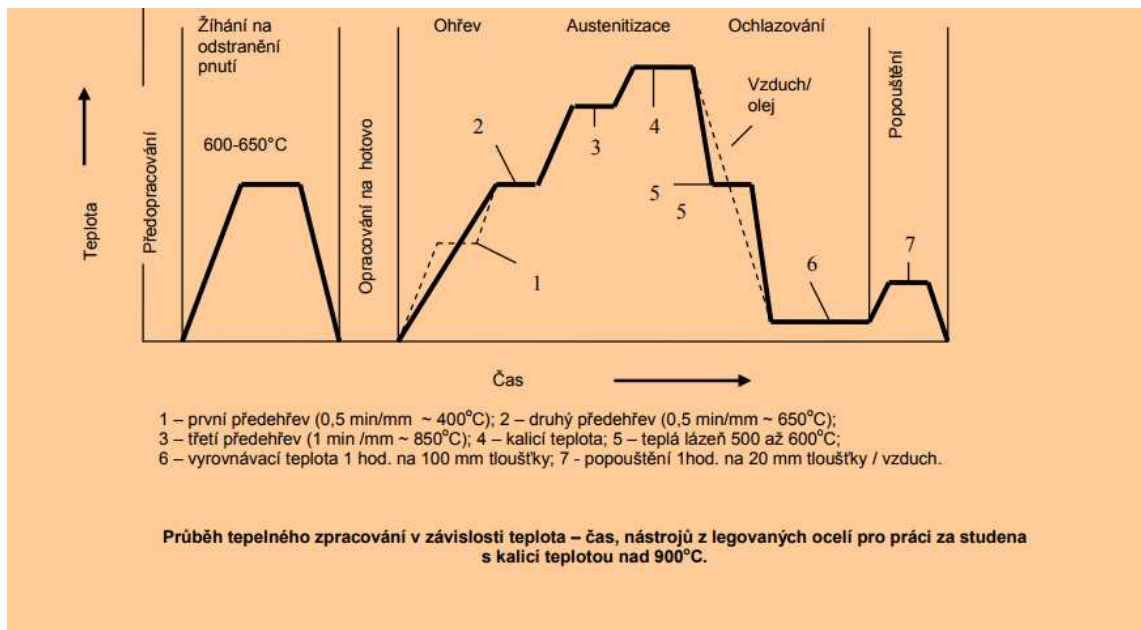
Obr. 13. Karbidy v oceli ČSN 19 830 (8)

austenitu na martenzit, proto v struktuře zůstává nežádoucí zbytkový austenit. Zvyšování teploty musí probíhat rovnoměrně, jinak hrozí trhliny a deformace. Ohřev se provádí stupňovitě 350-400°C další stupeň 550-600°C, rychlost by neměla přesáhnout 200°C za hodinu. Cílové teploty bývají okolo 950°C. U rychlořezných ocelí jsou tyto stupně 500-550°C a 650-850°C, pokud je nástroj složitější, doporučuje se třetí stupeň o teplotě 1050°C. Vyrovnávací čas se u HSS ocelí volí 0,5minut na 1mm tloušťky nástroje pro předehřev do 650°C a 1 minuta na 1mm tloušťky při předehřevu 850-900°C. Prodleva na kalicí teplotě je 10 -15 minut, v případě výše legovaných ocelí je to 20-25 minut. U HSS ocelí jsou prodlevy výrazně kratší. Zchlazení ocele probíhá v prostředí podle zvolené ocele, nejčastější prostředí jsou: voda, olej, vzduch a solná lázeň. Při výběru chladicího prostředí je důležité brát ohled na tzv. kritická ochlazovací rychlost. Jedná se o limitní rychlost, při které ještě probíhá přeměna austenitu na martenzit. Při rozhodování se vychází z ARA diagramu pro danou ocel. Při rychlejším ochlazování může dojít k nadměrnému pnutí a prasknutí nástroje. Zjednodušeně lze

napsat, že uhlíkové nelegované ocele se kalí do vody, při malých rozměrech do oleje a legované oceli do oleje nebo vzduchu. Kalením se dosahuje velmi vysoké tvrdosti, ale i křehkosti, pouze zakalený nástroj je velmi náchylný na prasknutí a destrukci, obrábět s ním nelze. Z tohoto důvodu následuje popouštění. Popouštěcí teplota je odlišná pro každý materiál. Při popouštěcí teplotě nad 300°C je důležité použít předehřev a nad uvedenou teplotu zahřívat (po ustálení) rychlostí 20- 50°C za hodinu. Legované ocele pro práci za studena a nelegované pro práci za tepla se popouštějí minimálně 2x. Rychlořezné ocele minimálně 3x a při legování kobaltem více jak 3x. Při vícenásobném popouštění se teploty snižují zhruba o 10°C s každým dalším popouštěním a prodlevy na teplotách dosahují až 2 hodin. Popouštění má za následek rozpad zbytkového austenitu. U vysoce legovaných ocelí a u ocelí s vyšším obsahem uhlík je kalicí teplota nižší než teplota okolí resp. místnosti. To má za následek větší množství zbytkového austenitu a tím rozměrové změny, pnutí a deformace, proto se přistupuje k zmrazování. K tomuto technologickému postupu přistupujeme, pokud jsou vyšší požadavky na rozměrovou stálost a zároveň na maximální tvrdost, jako jsou například kalibry, ložisky, měřidla, a nebo tam, kde chceme docílit maximální tvrdost a tím nejlepší řezivosti jako například u chirurgických nástrojů. Z velké většiny se zmrazování provádí kombinací lihu a pevného kysličníku uhličitého, tato kombinace zajišťuje teplotu -80°C. V případech, kdy tento postup nestačí, se přistupuje k tekutému dusíku, ten se získává frakční destilací vzduchu. (4), (9)



Obr. 14. Příklad tepelného zpracování nástrojové oceli (převzato z DIN 17 350)- Příklad 1. (9)



Obr. 15. Příklad tepelného zpracování nástrojové oceli (převzato z DIN 17 350)- Příklad 2. (9)

3.2. Slinuté karbidy

Karbidy wolframu se povedlo poprvé vytvořit mezi lety 1895-1900 při pokusech o vytvoření syntetického diamantu. Při neúspěchu byly vytvořené karbidy, silicidy a boridy. V té době se těmto karbidům nevěnovala větší pozornost, i když se vědělo o jejich velmi vysoké tvrdosti a tepelné odolnosti (teplota tavení WC-2800°C, W₂C-2750°C a slitina 2525°C). Hlavním milníkem bylo zjištění, že dobře řezné vlastnosti rychlořezných ocelí jsou způsobeny právě karbidy v jejich struktuře. Přišel tedy pokus o vytvoření nástroje z karbidu wolframu, tento pokud uspěl, nicméně samotný nástroj byl pro obrábění příliš křehký. Až později v roce 1910 se pomocí práškové metalurgie podařilo W.D Coolidge ve firmě General Electric CO. experiment pro výrobu wolframového vlákna, úspěšně. Výroba práškového wolframu probíhá redukcí H₂WO₄ (kyselina wolframová) pomocí vodíku za teplot 800-950°C. Takovýmto postupem vyrobíme wolfram o zrnitosti 1-2µm. Třicátého října roku 1930 získává Schröter spolu s Skapy, Fehse a Mathieu patent na slinutý karbid, kdy pojídlem je jeden ze tří kovů: železo, kobalt nebo nikl. Později se ukáže, že pro nástrojové oceli je nejlepší kobalt. Tento patent a práce těchto vědců neměly žádnou spojitost s řeznými materiály, zabývaly se drátovými průvlaky. V roce 1926 firma Krupp začala průmyslově vyrábět slinutý karbid pod názvem WIDIA (W_le DIAMant= jako diamant). V roce 1927 byl na strojním veletrhu v Lipsku představen slinutý karbid WIDIA N, ve složení 94 % WC a 6 % Co, který na ukázce obráběl šedou litinu až 3x rychleji než dosavadní obráběcí materiály. Tento slinutý karbid lze najít i dnes pod označením německé normy G1. V roce 1929 Firma Krupp, resp. Benno Strausse, zjistila, že velikost zrna wolframu má znatelný vliv na vlastnosti výsledného materiálu. V roce 1939, po řadě nových typů slinutých karbidů, u kterých bylo zjemňováno zrno, se poprvé objevily na trhu slinuté karbidy s menší příměsí i jiného karbidu než wolframu a to konkrétně vanadu (0,6 %) a tantalu (1,0 %), při obsahu kobaltu 7 %. Tantal a vanad fungovaly jako inhibitory růstu zrna wolframových karbidů při slinování. Tento slinutý karbid se na trhu objevil pod označením H167, později byl přejmenován na H2. Zajímavé bylo porovnání

opotřebení při obrábění etalonu šedé litiny o tvrdosti 440 HB, zatímco první typy vydržely kolem (typ N) 300s, typ H1 (jednalo se o pozdější model s jemnějším zrnem) 1800s, tak nejnovější model H2 vydržel 3600s, tedy dvojnásobek. U všech slinutých karbidů z 20. let minulého století však nastával problém při obrábění ocelí, u rychlostí, které jen lehce přesahovaly rychlořezné oceli, se začaly velmi rychle tvořit výmoly, docházelo tedy k difúznímu opotřebení. Firmy se tedy uchýlily k pokusům s novými karbidy a to především s titanem, tantalem a niobem. Od roku 1931 začínají už firmy vyrábět slinuté karbidy na bázi dvou karbidů a to především wolframu a titanu (kolem 8%). V roce 1932 už se objevují dokonce tři karbidové spolu s molybdenem. Příklad složení takového karbidu: 76-77 % WC + 16 % TiC + 2 % Mo₂C + 5-6 % Co, kobalt je zde stále přítomný jako pojivo. Od roku 1930 je nárůst produkce slinutých karbidů naprosto enormní, z tehdejších statistik: 1930- 10tun; 1936- 48tun; 1944-500tun. Tyto údaje jsou platné pouze pro Německo a Rakousko, v té době se slinuté karbidy vyráběly ještě ve Francii, Japonsku, Švédsku, Švýcarsku, Velké Británii a USA. Ze statistik je vidět více jak deseti násobný nárůst produkce slinutých karbidů způsobený válkou. Státy využívaly slinuté karbidy ve zbrojařském průmyslu v enormní míře, dokonce v tak velké, že poptávka po wolframu způsobila nedostatek i pro vědecké účely. V den ukončení války státy skončily s enormní výrobou a poptávka po wolframu, resp. po slinutých karbidech, klesla. Prakticky ze dne na den klesla poptávka na minimum, továrny a její výrobní linky se musely, po skončení zbrojení adaptovat na "civilní" potřeby. Přestavby továrních linek způsobily jakousi "dobu temna" v prodeji a výrobě slinutých karbidů. Naštěstí po skončení adaptace bylo potřeba dodávat nové nástroje na nově přestavěné linky. Vzhledem k německým patentům probíhaly vývoje v ostatních zemích "svou cestou". V roce 1946 byl ve Francii zapsán patent firmy Societe Le Carbone-Lorraine (tento patent stavěl na bázi jiného britského patentu), jednalo se o výrobní postup, ve kterém bylo použito malé množství chromu a vanadu k potlačení růstu zrna, udával se poměr od 0,5/1,0 do 1,5/10 Cr/V. Lepší výsledky byly pozorovány při separovaném přimíchávání prvků do směsi. V této době se také rozděluje vývoj slinutých karbidů na dvě větve, jedna z větví se věnuje karbidům na bázi wolframu a druhá větev si uvědomuje vzácnost a tím pádem i cenu wolframu a snaží se wolfram ve slinutých karbidech nepoužívat, z této větve později vznikají cermety (viz kapitola 3.3). Další milník přichází s jemnozrnnými materiály, jedná se o slinutý karbid s jemnými zrny, která jsou rovnoměrně rozprostřena ve struktuře. Zrna jemnozrnných karbidů mají velikost pod 1 μ m (novodobé SK mají zrna s velikostí i pod 0,5 μ m). Výhodou jemnějšího zrna je vyšší pevnost bez potřeby snižování tvrdosti. Následující desítky let se jednotlivé firmy snažily o výrobu slinutého karbidu s co nejmenším zrnem. Na trh bylo uvedeno několik produktů o zrnitosti 0,5-0,9 %, ovšem kvalita výroby spolu s její cenou zapříčinily, že se tyto produkty na trhu neudržely. V dnešní době se potýkáme s problematikou nenormování slinutých karbidů. Bohužel v počátečních ani dnešních fázích nedochází k žádnému normování složení slinutých karbidů, normy pouze specifikují orientační složení a hlavně použití materiálů pro druhy obrábění, ale bohužel přesně normované materiálové složení pod určitým označením, které by prodejci museli dodržovat, dnes neexistuje. Všechny dnešní normy vycházejí z původních německých norem. Je tedy potřeba při koupi nástrojů z SK, v dnešní době hlavně britových destiček, dávat pozor na výrobce a kupovat nejlépe u ověřených dodavatelů a výrobců. Jak je vidět i na obr. 15. novější typy slinutých karbidů nemají ani definováno orientační materiálové složení. Firmy si tedy musí samy

hlídat kvalitu břitových destiček, buď vyžádáním materiálových listů, které často podléhají utajení (což byl jeden z důvodů, proč celé toto odvětví obrábění není normováno), nebo metodou pokus omyl. Nicméně v historii se nachází jedno období a země, kde byly slinuté karbidy normovány poměrně úspěšně, jedná se o Německo během druhé světové války (1939-1945) viz. Tab. 2. (4)

Skupina	Podskupina	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	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, plynouou třísku: nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automatová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35,	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, žáropevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% + Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 Mpa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzené kokilové litiny HSh 55÷58

Tab. 1. Příklad řazení slinutých karbidů podle dnešní normy, konkrétně ČSN ISO 513 (10)

Druh	Složení [hm. %]					Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	Tvrdost [HRA]	Pevnost v ohybu [MPa]	Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Měrný odpor [μΩ cm]
	WC	TiC	TaC	VC	Co						
F2	34,5	60			5,5	6,8	92,5	800			
F1	69	25			6	9,9	91,5	1100	7	21	0,65
S1	78	16			6	11,15	91,0	1250	6	38	0,43
S2	78	14			8	11,25	90,5	1400	6,2	33	0,44
S3	88	5			7	13,3	90,0	1500	5,5	63	0,25
H2	91,5		1	0,5	7	14,4	91,5	1150	5		0,25
H1	94				6	14,75	91,0	1600	5	80	0,21
G1	94				6	14,7	90,0	1600	5	80	0,20
G2	89				11	14,2	88,5	1800	5,5	67	0,18
G3	85				15	13,7	87,0	2050			

Tab. 2. Německá válečná norma pro výrobu slinutých karbidů a jejich značení (4)

3.2.1. Výroba slinutých karbidů

Jedná se o ukázkový výrobní postup z metodiky práškové metalurgie. Nejdříve se získají práškové kovy. V tom případě wolfram, který se získává redukcí jeho oxidů

a to převážně WO_3 , Tyto oxidy projdou redukční pecí a získáme práškový wolfram. Poté se wolfram musí obohatit o uhlík, abychom získali karbidy. To se provádí pomocí sazí. Wolfram se smíchá se sazemi a rozemele. Následně se tato směs dopraví do pece, kde podle teploty se vyrábí karbidy s rozdílnou zrnitostí, jemnozrnný se vyrábí v nízkoteplotní peci s teplotou okolo $1600^\circ C$. Hrubý prášek se vyrábí při teplotě okolo $2000^\circ C$ v kontinuální peci. Poté je práškový karbid v nízkorychlostním míchači homogenizován. Nyní se karbidy smíchají s pojivem, v našem případě s kobaltem, a zaformují se. Následuje předlisování při teplotě kolem $700-850^\circ C$, kontrola a úprava lisovaného tělesa. Finální lisování probíhá při teplotách $1350-1650^\circ C$. Bohužel právě tady narážíme na jednu nevýhodu a to, že nelze zaformovat velmi ostré úhly. SK mají totiž tendenci se lámat ve formě a špička nástroje, resp. destička, zůstane odlomená ve formě. Problém tedy nastává u geometrie dokončovacích nástrojů, které mají ostré špičky. Je tedy potřeba vyrobit co možná nejmenší úhel a patřičně k němu upravit řezné podmínky. (4), (11)

Skupiny slinutých karbidů a jejich vlastnosti:

- skupina **P**

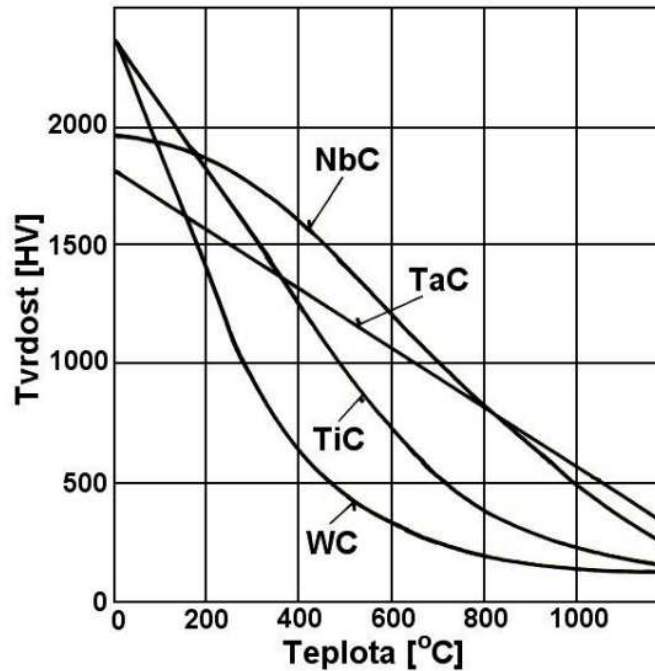
Jedná se o skupinu určenou pro materiály, které tvoří dlouhou třísku (uhlíkové, slitinové a feritické korozivzdorné oceli). Dlouhá tříška extrémně namáhá břit na teplo (třením třísku o břit a utvařec), je tedy nutné, aby skupina P byla odolná proti ztrátě tvrdosti v důsledku působení tepla. Obrábění materiálu s dlouhou třískou je doprovázeno poměrně velkými řeznými silami a nebezpečím vylamování břitu na čele. Z tohoto důvodu se do skupiny P přidává poměrně velké množství TiC a TaC, tyto legury zabraňují vylamování a TiC zabraňuje difúzi při velkých teplotách, kterým jsou skupiny P vystavovány. Na druhou stranu TiC způsobuje poměrně jednoduchou abrazi a křehkost nástroje. Proto při zvolení špatných řezných podmínek můžou velké síly při obrábění způsobit lom a destrukci nástroje.

- Skupina **M**

Jedná se o nejuniverzálnější skupinu. Díky její velké houževnatosti se v praxi používá pro hrubování prakticky jakéhokoli materiálu. Menší soudržnost způsobuje vydrolování břitu.

- Skupina **K**

Tato skupina je určena pro obrábění materiálů s krátkou třískou (litin, neželezné slitiny a nekovové materiály). Hlavní strukturální složkou této skupiny je karbid wolframu, ten způsobuje ztrátu tvrdosti při vyšších teplotách (resp. s rostoucí teplotou tvrdost klesá). Při obrábění dochází zejména v adheznímu a abrazivnímu opotřebení.



Obr. 16. Závislost tvrdosti jednotlivých karbidů na teplotě (11)

Skupiny N,S,H jsou pak podskupinami P,M,N, konkrétně N pod K, S pod M a H pod P. Pro všechny dnešní karbidy se používá jako pojivo kobalt, ten přímo ovlivňuje vlastnosti výsledného materiálu. Jeho množství se v řezných materiálech pohybuje od 2 do 13 %. (11)

Výčet vlastností, které se změní, pokud obsah kobaltu v materiálové struktuře vzroste:

- klesá měrná hmotnost
- klesá tvrdost
- klesá relativní odolnost proti abrazi
- klesá modul pružnosti v tahu
- klesá modul pružnosti ve smyku
- roste Poissonovo číslo
- roste pevnost v ohybu
- klesá pevnost v tlaku
- roste pevnost v tahu
- roste vrubová houževnatost
- mírně roste únavová pevnost
- roste koeficient délkové roztažnosti
- klesá tepelná vodivost
- klesá intenzita elektromagnetického pole
- roste magnetická permeabilita.

Vždy je potřeba při výběru slinutého karbidu (resp. břitové destičky) respektovat pokyny výrobce, který uvádí doporučené řezné podmínky a doporučené destičky pro daný materiál. (4)

Typ operace Typ operácie	Priorita volby / Priorita volby	Posuvy a hloubky řezu Posuvy a hloubky řezu		P									
		Posuv f [mm/ot]	Hloubka řezu a _p [mm] Hloubka řezu a _p [mm]	6630	6640	T5305	T5315	T7335	T9310	T9315	T9325	T9335	
				s..	s..	s..	s..	s..	s..	s..	s..	s..	s..
				C..	C..	C..	C..	C..	C..	C..	C..	C..	C..
W..	W..	W..	W..	W..	W..	W..	W..	W..	W..	W..			
Jemné soustružení Jemné sústruženie	I	0,05	0,5	-	-	630	-	-	-	-	-	-	
	II	0,08	0,5	-	-	540	-	-	-	-	-	-	
	III	0,10	0,5	-	-	500	-	-	-	-	-	-	
Dokončovací soustružení Dokončovacie sustruženie	I	0,10	1,5	335	285	450	365	325	370	340	330	280	
	II	0,15	1,5	280	240	390	335	275	330	315	300	255	
	III	0,20	1,5	250	210	355	315	245	305	295	280	235	
Polohrubovací soustružení Polohrubovacie sustruženie	I	0,20	2,5	235	200	340	300	235	290	280	270	225	
	II	0,30	2,5	195	170	295	275	200	260	260	245	205	
	III	0,40	2,5	175	150	270	255	175	240	245	230	190	
Hrubovací soustružení Hrubovacie sustruženie	I	0,40	5,0	160	140	250	240	165	225	230	210	175	
	II	0,60	5,0	135	115	220	220	140	200	210	195	160	
	III	0,80	5,0	120	100	200	205	125	185	200	180	150	
Těžké hrubovací soustružení Ťažké hrubovacie sustruženie	I	0,80	12,0	85	75	110	140	95	-	145	130	105	
	II	1,00	12,0	75	65	105	135	85	-	135	125	100	
	III	1,30	12,0	70	60	95	130	80	-	130	120	90	

Obr. 17. Příklad katalogové strany společnosti PRAMET- vyznačen sloupec destičky T5305 pro snazší čtení (12)

3.2.2. Povlaky slinutých karbidů

V roce 1969 se zavádí do výroby výměnné břitové destičky ze slinutých karbidů s tenkou povrchovou vrstvou karbidu titanu. V 40. a 50. letech minulého století se provádí široké spektrum experimentů v oblasti povlakování. V roce 1950 se povede německému podniku Metallgesellschaft nanést žáruvzdorný povlak na ocel, o dva roky později je jejich postup patentován. Následuje řada dalších patentů v tomto odvětví včetně patentu z roku 1959, který uvádí postup nanesení povlaku TiC na slinutý karbid. Povlakování přináší obrovské množství inovací nejen ve strojním průmyslu a je nedílnou součástí výrobních procesů. V dnešní době se slinuté karbidy běžně povlakuji vrstvami diamantu. (4)

Podklad	Povlak				
	Kovy	Nitridy	Karbidy	Oxidy	Boridy
Keramika, sklo	○	●	○	●	
Slinuté karbidy	○	●	●	●	●
Ocelové slitiny	●	●	●		○
Neželezné slitiny	○	○			●
Uhlík, diamant	○	●	○		○
Těžkotavitelné kovy	○	○	○		○
Pozn.: ● - již užíváno, ○ - ve vývoji					

Tab. 3. Tabulka dnešních možností povlakování. (4)

První sériově vyráběné povlaky vyráběla firma Sandvik Coromant a jednalo se o povrch TiC v tloušťce 4-5 μ m. Krátce na to přišly povlaky typu TiN, TiCN a Al₂O₃. Povlaky se řadí do čtyř generací. (4)

- **1. generace:** Jedná se jednovrství povlak, převážně TiC o tloušťkách kolem 5 μ m. Bohužel v místě přechodu povlaku a nástroje se vytvořil tzv. eta-karbid, který zapříčinil nepřilnavost a takový povrch se velmi rychle odlupoval.
- **2. generace:** Zde se odstranil problém eta-karbidu a tím se mohli nanášet vrstvy kolem 8 μ m (až 10 μ m). Začali se nanášet i povrchy typu TiCN a TiN.
- **3. generace:** Vícevrství povlak (2,3 a více; převážně 2-3). Nanáší se podle přilnavosti, jako první se nanáší nejvíce přilnavější povlak. Nejčastější kombinace (od podkladu): TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN.
- **4. generace:** Jedná se o více vrství povlak (mívá více než 10 vrstev), stejný materiál jako 3.generace. Mají schopnost zpomalovat šíření trhli. Za povlaky 4. generace se považuje i diamantový a nanokompozitní povlak. Tvrdosti takovýchto povlaků jsou i 3000HV.
-

3.2.3. Metody povlakování

- **Metoda PVD (Physical Vapour Deposition- fyzikální napařování)**

Původně byla vyvinuta pro rychlořezné oceli, z tohoto důvodu se provádí za nízkých teplot (okolo 500°C), aby vysoká teplota neovlivnila vlastnosti oceli. Principem metody je částečně ionizovaná pára kovu, která reaguje s plynem a vytváří na základním materiálu tenkou vrstvu. Napařování lze provádět reaktivní, přímé, s asistencí iontového paprsku nebo aktivované reaktivní. Pod tuto metodu spadá také napařování (sputtering) a iontová implementace (ion-plating). Nejpoužívanějšími metodami jsou napařování a obloukové napařování. Při napařování se kovový terč ostřeluje ionty pracovního plynu a ten "odštípuje" povlakový plyn v podobě plynu (částečně ionizovaná pára). Při obloukovém napařování se pára vytváří pomocí opakujícího se obloukového výboje. (13)

- **Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition- chemické napařování)**

Tato metoda probíhá za vyšších teplot (700-1500°C), principem je reakce par povlakového kovu s podkladovým kovem, tento děj je potřeba iniciovat a to buď tepelně (nejčastěji), plazmaticky, elektronově a fotonově. Tento proces je možno provádět kontinuálně za odvodu zplodin a přívodu nových pracovních plynů. Výsledkem je povlak s velmi nízkým vnitřním pnutím. (13)

Obě dvě tyto metody je potřeba provádět ve vakuu. (4)

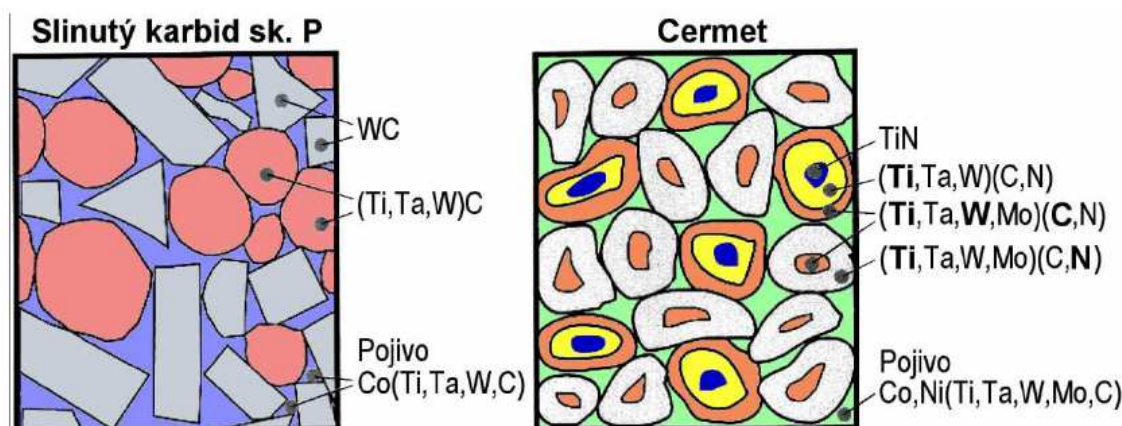
3.3. Cermety

Název je kombinací slov CERamics a METal, tedy keramika a kov. Jak název napovídá, tento materiál měl spojovat tvrdost keramiky a houževnatost kovů. Bohužel skutečnost nebyla tak jednoduchá a takový materiál se vytvořit nepovedlo. Cermety jsou nazývány slinuté materiály, kde tvrzená fáze je sloučenina titanu a to konkrétně TiC, TiN nebo TiCN, případně jejich kombinace. Jedná se tedy primárně o stejný materiál jako slinutý karbid, ale tvrzená fáze je zde zastoupena sloučeninou titanu nikoli karbidem wolframu. Norma tyto materiály označuje jako HT (ČSN ISO 513).

Materiál	Symbol
Cermety	HT
Povlakované cermety a SK	HC
Slinuté karbidy zrnitost > 1µm	HV
zrnitost < 1µm	HF
Povlakovaná řezná keramika	CC
Oxidická keramika Al ₂ O ₃	CA
Směsná keramika	CM
Neoxidická keramika Si ₃ N ₄	CN
Polykrystalický diamant	DP
Polykrystalický kubický nitrid bóru	BN

Tab. 4. Značení nových řezných materiálů podle ČSN ISO 513 (14)

Jako pojivo se u cermetů používá kobalt nebo nikl, případně jejich kombinace. I do cermetů se přidávají aditiva pro zlepšení jejich vlastností. (4)



Obr. 18. Rozdíl struktury cermetu a slinutého karbidu (14)

3.3.1. Historie cermetů

První patent získala rakouská firma Plansee v roce 1930. Jejich cermet nesl název Titanit S, při složení 42,5 % Mo₂C + 42,5 % TiC + 14 % Ni + 1 % Cr, důvodem výroby a patentování cermetu byla potřeba obejít tehdy patentované slinuté karbidy firmy Krupp. Tento materiál si ale ve světě nenašel přílišnou oblibu, až na jednu zemi. Přestože ve světě byly cermety, odpovídající řezným požadavkům, k dispozici od konce 40. let, ani jedna země jejich nákupů od různých výrobců nevyužívala ve znatelné míře až na Japonsko. V Japonsku se cermety díky absenci wolframu a kobaltu (jako pojivo lze použít nikl) staly velmi populární. V 80. letech činily cermety jednu čtvrtinu nástrojového materiálu ve výrobě, což v ostatních zemích zaujímaly slinuté karbidy. V Japonsku probíhá prakticky celý světový výzkum a inovace ohledně cermetů. Na základě japonských zkušeností s cermety, a to zejména s dokončovacími operacemi, kde jsou cermety skutečně ve výhodě oproti povlakovaným slinutým karbidům, se svět (USA a Evropa) začal o cermety znovu zajímat zhruba v polovině 80. let. Cermety se v Evropě i USA začínají rozšiřovat díky japonským firmám, které přináší tento trend do svých evropských a amerických poboček. (4)

Rok	Nový materiál, technologie
1929÷31	TiC-Mo ₂ C-Ni.Cr.Mo
1930÷31	TaC-Ni, Ti(C,N)-Ni(Co,Fe)
1931	TiC-TaC-Co, TiC-Cr.Mo,W.Ni.Co
1938	TiC-VC-Ni,Fe
1944	TiC-NbC-Ni,Co
1949	TiC-VC-NbC-Mo ₂ C-Ni
1950	TiC(Mo ₂ C,TaC)-Ni,Co-Cr
1952÷66	TiC - tepelně zpracovatelné materiály
1957	TiC-TiB ₂
1965÷70	Ti(C,N)-Ni,Mo, TiC-Mo ₂ C-Ni,Mo
1968÷70	(Ti,Mo)C-Ni,Mo
1968÷73	TiC-Al ₂ O ₃
1969÷70	TiC-TiN-Ni
1972÷75	TiC-TaN-Ni
1973÷74	(Ti,Mo)(C,N)-Ni,Mo, (Ti,W)(C,N)
1977	TiC-TaC-WC-ZrC-(Ni-Mo-Co), patentováno firmou Toshiba Tungaloy
1979	TiC-TaC-Mo ₂ C-Ni
1980	Ti(C,N) precipitačně vytvrzené materiály
1980÷83	(Ti,Mo,W)(C,N)-Ni,Mo,Al
1981÷86	Karbidové/karbonitridové cermety na bázi W/Ti/Mo s komplexními pojivy na bázi Co/Ni
1988	(Ti,Ta,Nb,V,W)(C,N)-(Ni,Co), (Ti,Ta,Nb,V,Mo,W)(C,N)-(Ni,Co)-Ti ₂ AlN, vysoká houževnatost, cermety TTI a TTI15 firmy Widia
1988÷89	Cermety s 5÷6 % dusíku, firma Sumitomo
1990÷94	submikrometrová zrnitost (firma Mitsubishi), CVD a PVD povlaky
1991	(Ti,Ta,Nb,V,Mo,W,atd.)(C,N)-Ni-Cr

Tab. 5. Historický vývoj cermetů (4)

3.3.2. Generace cermetů

- 1. generace:

Materiálově se jedná o TiC+Mo+Ni, molybden zlepšuje pevnost litiny TiC-Ni. Byly náchylné na vydrolování a jejich houževnatost byla poměrně nízká. Byly vytlačeny v té době lepšími slinutými karbidy.

- 2. generace

Do struktury byl přidán nitrid titanu, který postupem času zaujal více než 25 % obsahu ve struktuře TiC+TiN cermetů. TiN je ale méně smáčivý oproti TiC, to vedlo ke tvorbě pórů a snížení ohybové pevnosti (to vede k lámání nástroje při velkých řezných silách). Během následujících let se podařilo vyrobit TiC-TiN cermet bez těchto vad a tím jeho pevnost výrazně vzrostla. Takto vyrobený cermet už byl rovnocenným soupeřem slinutým karbidům.

Hlavní výhodou cermetů oproti slinutým karbidům je nízká drsnost povrchu díky tvrdé fázi. Vzhledem k nízké drsnosti mají cermety menší tendenci k vylamování a celkovému opotřebení nástroje v důsledku kontaktu s obrobkem.

Výroba cermetů je v zásadě stejná jako u slinutých karbidů, provádí se pomocí práškové metalurgie. Teploty slinování se pohybují okolo 1000°C.

3.3.3. Kompletní účinky aditiv v cermetické struktuře

1. Narůstající obsah uhlíku (C):

- snižuje objem Ti a Mo rozpuštěného v pojivu,
- zjemňuje zrnitost struktury,
- zmenšuje objem pláště zrn,
- zvyšuje tvrdost a snižuje houževnatost.

2. Narůstající obsah molybdenu (Mo):

- zvětšuje objem pláště zrn,
- zmenšuje objem pojiva,
- zvyšuje smáčivost karbidů a karbonitridů,
- zvyšuje podíl Ti v plášti zrn,
- zvyšuje houževnatost.

3. Narůstající obsah karbonitridu titanu (TiCN):

- řídí homogenitu struktury,
- zjemňuje zrnitost,
- zvyšuje objem Ti a Mo v pojivu,
- zvyšuje odolnost proti adheznímu a difúznímu opotřebení.

4. Narůstající obsah dusíku (N):

- řídí složení pláště zrn,
- udržuje shodnou strukturu v jádře i plášti zrn,
- zlepšuje chemickou stabilitu,
- zvyšuje odolnost proti teplotním šokům.

5. Vliv uhlíku (C) + dusíku (N):

- určují složení pojiva (pojivo je tuhý roztok Ni+Co+Mo+Ti+W),

- řídí velikost zrna,
- řídí objem pláště zrna ve vztahu k jádru.

6. Vliv poměru N/(C+N): řídí strukturu cermetu;

Tento poměr nesmí přesáhnout 0,5, pak se struktura deformuje a negativně ovlivňuje trvanlivost nástroje. Jedná se tedy o nežádoucí účinek a je potřeba tento poměr hlídat. Problém nastává na plášti, kdy v důsledku snižování teplot a časů slinování dochází k redukci povrchového dusíku a tím se zvětšuje daný poměr.

7. Vliv karbidu wolframu (WC):

- je obvykle obsažen v plášti zrn a napomáhá zvyšování smáčivosti mezi pojivem a jádrem,
- tvoří pojivo mezi TaC.NbC a TiC.

8. Vliv karbidu tantalu a niobu (TaC.NbC):

- zvyšuje odolnost proti plastické deformaci,
- zvyšuje odolnost proti tvoření teplotních trhlin.

9. Vliv niklu a kobaltu (Ni+Co):

- tvoří pojivo ve tvaru tuhého roztoku, který má větší odolnost proti plastické deformaci, než samostatný nikl nebo samostatný kobalt,
- ovlivňuje pevnost výrobku.

10. Vliv karbidu titanu (TiC):

- ovlivňuje tvrdost kompozice,
- spojuje TaC.NbC v kompozici,
- řídí poměr N/(N+C) v kompozici.

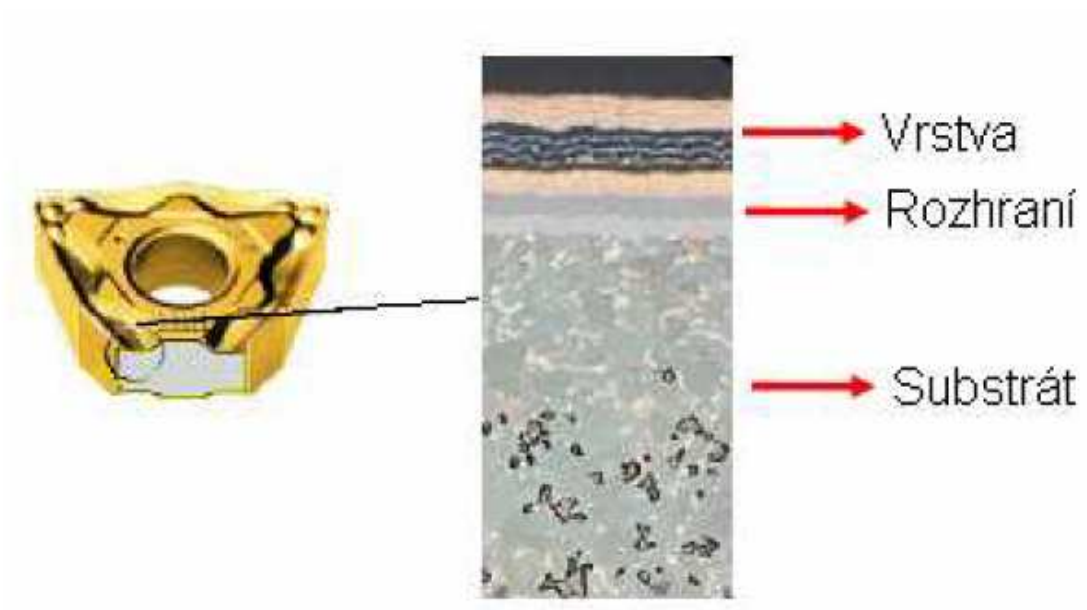
11. Vliv karbidu vanadu (VC):

- zvyšuje smykovou pevnost TiC vytvářením smíšených krystalů TiC-VC,
- zvyšuje únavovou pevnost.

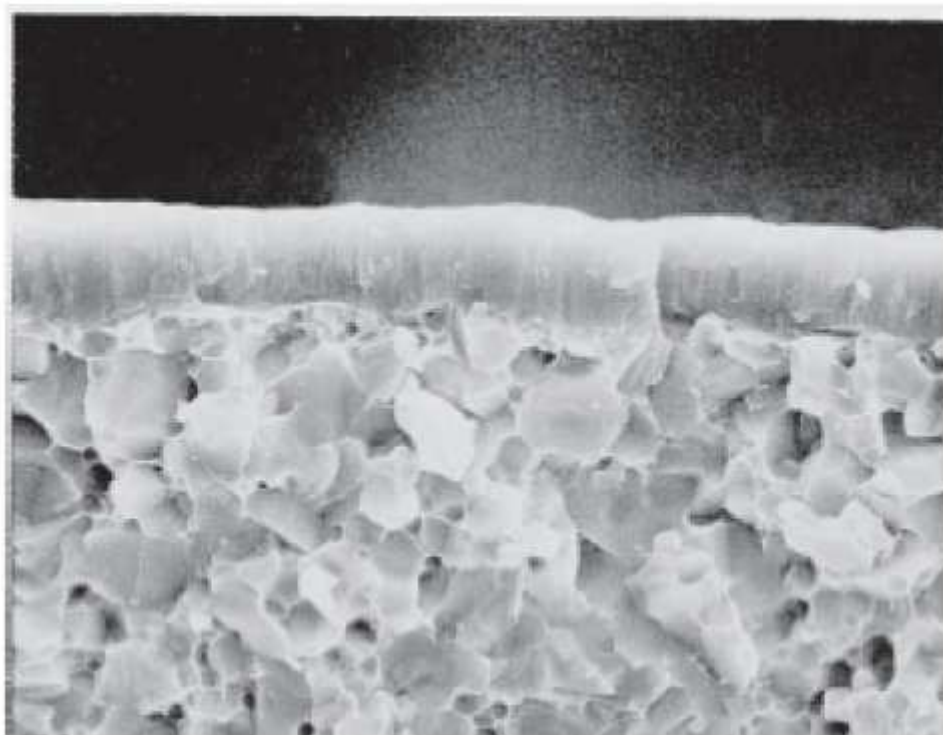
I přesto, že původní koncept cermetů byl jednoduchý a měl být převratný, jeho cesta byla velmi trnitá a odklonila se od původního plánu. Díky oblibě tohoto materiálu v Japonsku se tento zprvu celosvětově zavržený materiál vrátil na trh v podobě vynikajícího nástrojového materiálu na dokončovací práce. (4)

3.3.4. Povlakování cermetů

Povlakování se provádí prakticky stejně jako u slinutých karbidů a samozřejmě i ze stejného důvodu, zvýšení řezné rychlosti a snížení míry opotřebení. Pomocí povlaků lze zvýšit řeznou rychlost o 20 až 50% a tloušťky povrchů se zpravidla pohybují od 2 do 15 μ m. Metody povlakování jsou stejné, nejčastěji se používají metody PVD a CVD.



Obr. 19. Řez vrstvami povlakovaného nástroje resp. VBD (14)



Obr. 20. Povlak ATiN vytvořený metodou PVD (14)

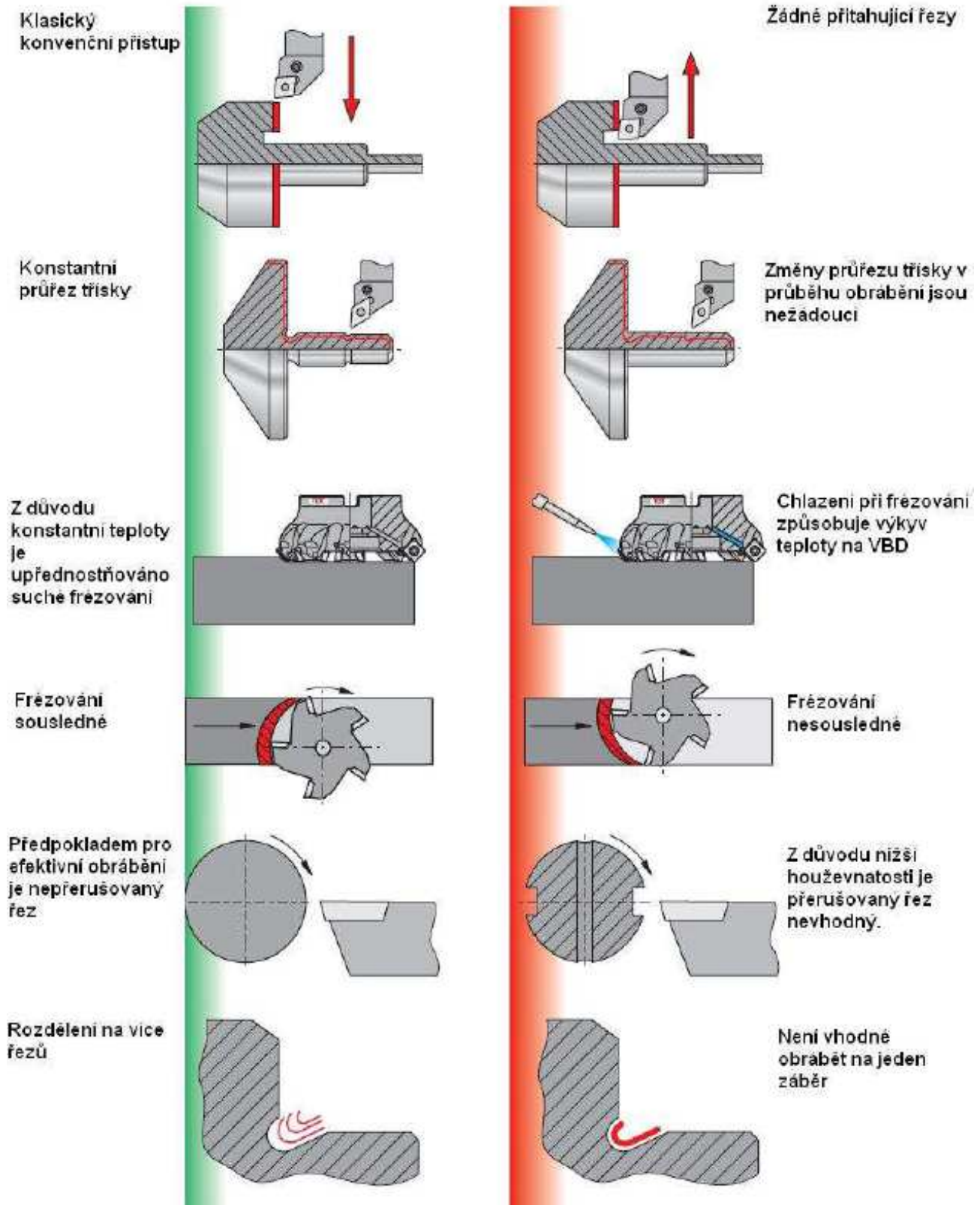
Z obr.20. je vidět rozdíl nanesené vrstvy a substrátu. Povlak je evidentně soudržnější, s menšími zrnky a má lepší povrch. Pokud víme, že je i extrémně tvrdý (viz Tab.6.), dostáváme výborný předpoklad pro obrábění a zároveň pro výdrž proti opotřebení. (4), (14)

Název firmy	Povlak	Materiál	Tvrdość [HV]	Tloušťka [μm]	Barva
Ionbond	AlTiN	AlTiN	3300	1,5 až 2,5	černá
	TuffGear	na bázi AlCrSi	3000	3 až 5	stříbrná
	CrN	CrN	2200	3 až 5	kovová
	FastCut	AlTiN	4500	1 až 2	purpurová
	TiAlCN	TiAlCN	3500	2 až 4	měděná
	TopGear	na bázi TiSi	3600	4 až 6	bronzová
	CreamCoat	na bázi AlTiN	3400	0,7 až 1,5	purpurová
	HardCut II	na bázi TiSi	3600	2,5 až 3,5	bronzová
	GearCut Ultra	na bázi AlTiCrN	3000	3 až 5	Tmavě fialová
	Maximizer Top	AlTiN	3300	3	purpurová
Dominizer	na bázi AlTiCrN	3000	2 až 3	Tmavě fialová	

Tab. 6. Tabulka PVD povlaků nabízených firmami (14)

3.3.5. Cermety ve výrobě

Cermety jsou svými vlastnostmi předurčeny pro dokončovací obrábění a obrábění na čisto. Tedy tam, kde jsou velké rychlosti a malé posuvy a hloubky řezu. Cermetům vyhovuje stabilita a hlavně nepřerušovaný řez. Při dodržení těchto podmínek jsou schopny vyrobit povrch a rozměr, který už nepotřebuje broušení. Což představuje obrovskou výhodu, nejen v tom, že odpadne jedna operace, která je časově poměrně náročná a tím se zrychlí výroba, ale broušení je zároveň nejdražší operací při výrobě, odpadne tedy jedna z nejdražších položek. Doporučené řezné podmínky se pohybují od 0,5 až do 2,5mm hloubky řezu a posuvu od 0,1 až 0,25mm/ot. Zároveň se pro cermety nedoporučuje obrábění žárupevných materiálů a neželezných kovů. Vzhledem k tomu, že cermety vyžadují stálost, tak se nedoporučuje ani chlazení v průběhu obrábění, tepelná odolnost cermetů je natolik vysoká, že absence chlazení jim nevadí, je ovšem potřeba vzít v potaz účinky vyšších teplot na obráběný materiál, aby nedocházelo k degradaci výrobku v důsledku rychlého obrábění a snahy o zkrácení strojního času. (4), (14)



Obr. 21. Příklad správného obrábění pomocí cermetů (14)

3.4. Řezná keramika

Jedná se o materiál založený na bázi oxidů a to konkrétně Al_2O_3 ; Cr_2O_3 ; MgO ; BeO ; ZrO_2 , feritů, nitridů, boridů, ale i karbidů. V posledních letech se jejímu výzkumu věnuje spousta výzkumných a vědeckých center. Keramika disponuje obrovskou výhodou skládání vlastností. Na požadavek jde její struktura upravit do požadovaných vlastností. Proto si keramika v posledních desetiletí našla cestu do spousty odvětví. Použití keramiky v jednotlivých odvětvích, v závorce jsou uvedeny vlastnosti, které toto odvětví vyžaduje.

- **tepelné aplikace** (odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tlakovém a tahovém namáhání, i za vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, vysoká nebo nízká tepelná vodivost, vysoká schopnost akumulace tepla),
- **mechanické aplikace** (vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení, velmi dobré a stabilní kluzné vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, úzké rozměrové tolerance, možnost užití různých spojovacích technik),
- **elektrotechnika, elektronika** (výborné izolační vlastnosti, i za vysokých teplot, vysoká dielektrická pevnost, vysoká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti),
- **fyzikální a chemické aplikace** (chemická odolnost vůči kyselinám a louchům, chemická inertnost, odolnost vůči korozi a erozi, akumulární a pohlcovací schopnost, velký geometrický a měrný povrch, definovaná filtrační schopnost),
- **medicína** (biologická slučitelnost, chemická inertnost a stabilita, velký geometrický a měrný povrch, filtrační schopnost),
- **stavebnictví** (odolnost vůči horku a mrazu, příjemnost na dotyk, hygienické vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, chemická inertnost a stabilita, mechanická stabilita, i za vyšších teplot, plynutěsnost).

Odvětví	Milióny dolarů v roce			
	1977	1986	1991	1995
Elektronika	813	4 808	10 820	21 375
Řezné nástroje	58	433	885	1 625
Tepelné motory	0		80	675
Ostatní	34	167	329	825
Celkem	905	5 408	12 114	24 500

Obr. 22. Celkové množství peněz utracených na trhu s keramikou podle odvětví (v milionech dolarů; rok neznámí) (4)

Ve strojírenství se používá především z důvodů vysoké tvrdosti, tepelné odolnosti a odolnosti proti chemickým a korozním vlivům. Je také velice odolná proti namáhání tlakem i přes svou nízkou měrnou hmotnost. Její poměrně velký nárůst v používání je zaviněn i nižší cenou, která je způsobena dostupností surovin pro výrobu prakticky v každé zemi. (4)

3.4.1. Historie řezné keramik

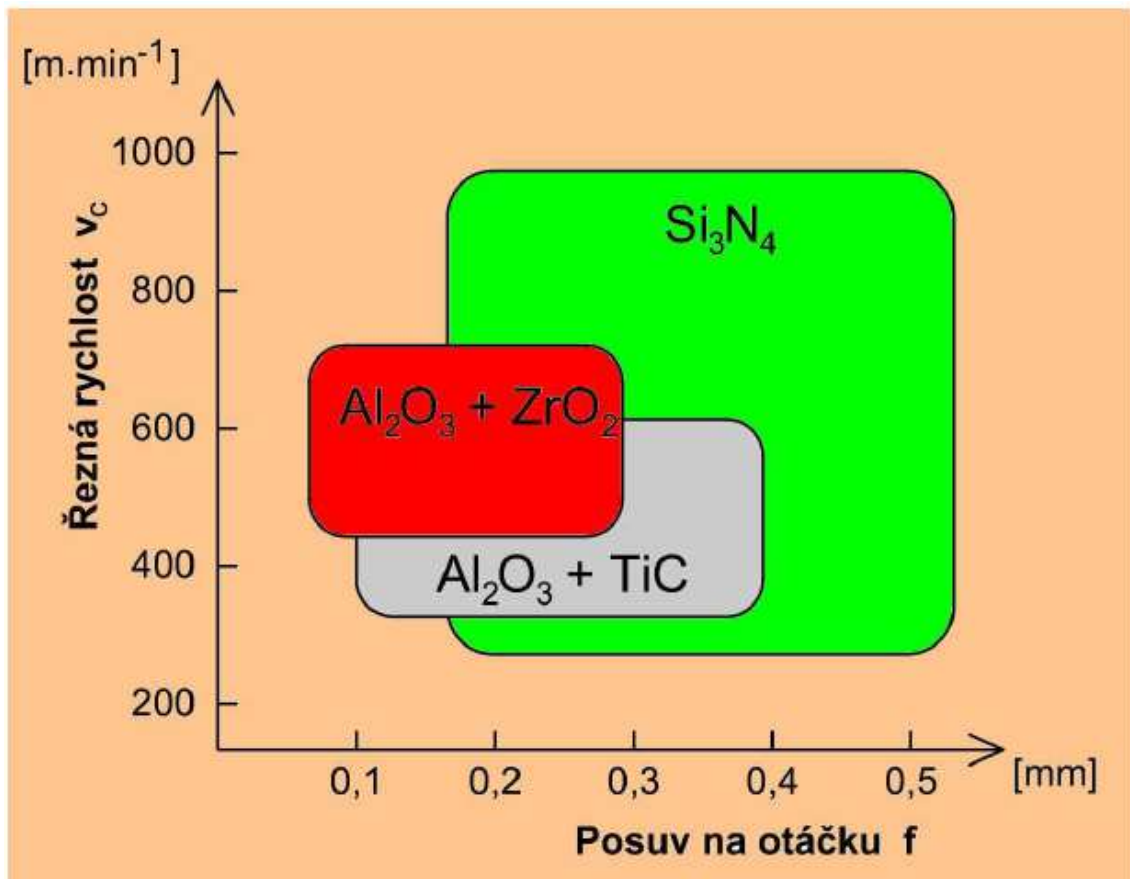
V roce 1905 začínají první úvahy o využití keramiky na bázi Al_2O_3 , jako materiál řezného nástroje. Dovedení této úvahy do reálného světa trvalo 7 let. První patenty byly vydány v letech 1912 (Velká Británie) a 1913 (Německo). Následně přišla stagnační doba, kdy se keramika nepoužívala, a když, tak jen ve velmi malém měřítku. Stejně jako cermety se řezná keramika dostala ke slovu až během druhé světové války, při nedostatku wolframu, jako snaha nahrazení slinutých karbidů. Jednalo se o keramiku na bázi Al_2O_3 s zrnitostí $3\mu\text{m}$ pod názvem Degussit, kterou vyvinula německá firma Degussa. Na bázi tohoto nástroje byl v roce 1942 vydán v USA patent na nástroj z řezné keramiky. Tři roky poté (1945) byl, nezávisle na dění v USA, v tehdejší Sovětském svazu vyroben tamní první nástroj z řezné keramiky pod názvem Microlite, který byl vyroben na moskevském Ústavu chemické technologie. Největší zájem vzbudila řezná keramika v USA, první komerčně dostupné materiály se začaly prodávat v roce 1954. Vyvolaly obrovský zájem a mezi největší odběratele patřila automobilka Ford, která řeznou keramiku používala na obrábění ozubených kol převodovek. Skutečný nárůst

Charakteristika	Rok	Pevnost v ohybu [MPa]
Al_2O_3 pro formy a nástroje	1912+1913	150+250
Slinutý Al_2O_3	1930+1931	200+350
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$	1937+1938	300+400
Vysokoteplotně lisovaný Al_2O_3	1944+1945	500+700
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (0,5+1,0%)	1948+1951	300+500
$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MO}_2\text{C} - (\text{Mo})$	1951+1959	350+450
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$, TIC, TIC/WC	1955+1958	300+550
Submikrometrový Al_2O_3	1968+1970	700+900
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC/Ni}$		800+1000
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	1970+1980	
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$ (20+30 obj. %)	1980	

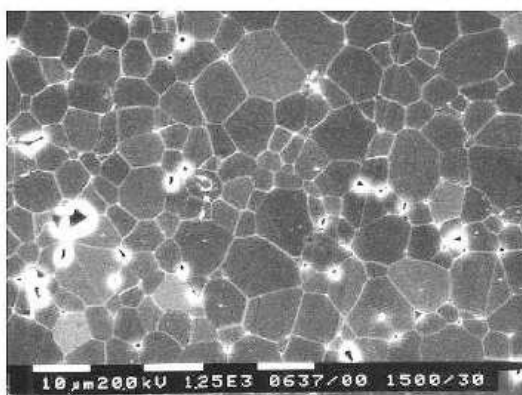
Tab. 7. Vývoj řezné keramiky v USA (4)

používání řezné keramiky nastal v 50. letech. Předcházel mu intenzivní vývoj s cílem odstranit nedostatky tehdejších modelů. První modely měly malou houževnatost a tedy tendenci se lámat. To způsobovalo použití pouze pro delší konstantní řezy. Na vědeckou komunitu byl vyvíjen poměrně velký tlak ohledně keramiky, její potenciál byl obrovský, nejen z důvodu tvrdosti, ale hlavně díky levným a dostupným výrobním surovinám, na rozdíl od slinutých karbidů, které jsou založeny na strategických surovinách (wolfram a kobalt). Stejně jako u slinutých karbidů a cermetů se i u řezné keramiky uplatnilo slinování. Jednalo se o slinutou keramiku na bázi Al_2O_3 s příměsí (okolo 1% např. MgO). Pevnost v ohybu takto vyrobeného materiálu se pohybovala okolo 400-500MPa a vykazoval dobré řezné vlastnosti, ovšem opotřebením zaostávalo, tato řezná keramika měla velké tendence k vydrolování ostří. Koncem 50. let byl k oxidu hliníku přidán karbid titanu, tím vzrostla ohybová pevnost na hodnoty kolem 1500MPa a lomová houževnatost měla hodnoty 4-5 MPam^{1/2}. I problém s vydrolováním ostří se výrazně zlepšil. Tento materiál je dnes nejrozšířenější řezná keramika, která se dnes ve výrobě používá. Pouze se postupem času přešlo z nízkoteplotního slinování (začátek 70. let) na vysokoteplotní, aby se zvýšila výroba a snížila cena. Samozřejmě se

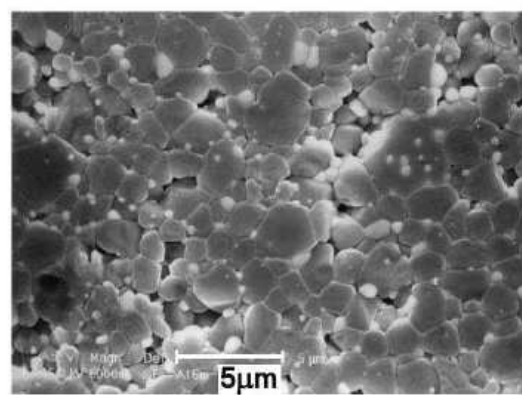
experimentovalo s keramikou nejen na bázi Al_2O_3 , z těch úspěšnějších jde například o $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$, který se používá pro obrábění šedé litiny a $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ využívaný pro obrábění kalených ocelí. V polovině 80. let se objevil materiál s názvem Whisker. Jedná se o kompozitní materiál složený z keramiky Al_2O_3 a výztuh v podobě vláken SiC , které zastupují 20-30% objemu materiálu. Největší výhodou tohoto materiálu je až dvojnásobné zvýšení lomové houževnatosti. Dále se na trhu objevily řezné keramiky na bázi Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$. Tyto keramiky mohou pracovat až na dvojnásobném posuvu oproti klasické keramice na bázi Al_2O_3 . (4), (15)



Obr. 23. Porovnání jednotlivých typů řezné keramiky (při soustružení) (15)



Čistá - Al_2O_3



Polosměsná - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 15\%m\text{-ZrO}_2$

Obr. 24. Ukázka dvou rozdílných struktur keramiky (15)

3.4.2. Značení a trh s řeznou keramikou

Názvy v dnešní době vznikají zejména podle výrobců. Nicméně norma ČSN ISO 513 definuje značení základní typů keramiky viz. tab. č. 4.

Výrobce	Země	Řezná keramika		Doporučené užití, pokrytý rozsah tříd dle ISO, řezná rychlost v_c [m min^{-1}]
		Označení	Typ	
Carboly	USA	Cermax 440	Al_2O_3	Hrubovací a dokončovací soustružení litin a tvrzených litin, měkkých, kalených i žáruvzdorných ocelí, $v_c = 450\div 900$ (tvrdost obráběného mat. 10÷22 HRC), $v_c = 90\div 150$ (tvrdost obráběného materiálu 50÷55 HRC, dokončování), P01-P05, K01-K05
		Cermax 460	Al_2O_3 , vyztužená vlákny SiC	Vhodná pro přerušovaný řez a obrábění žáruvzdorných slitinových ocelí (až $v_c = 600$), P05-P10, K01-K10
Saint Gobain Advanced Ceramics	ČR	DISAL 100 ⁹⁷	Al_2O_3	Obrábění šedých litin a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem, až $v_c = 1000$
		DISAL 210 ⁹⁷	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	Obrábění, šedých, tvárných a temperovaných litin, konstrukčních, zušlechtěných a rychlořezných ocelí, vhodná pro lehký přerušovaný řez,
		DISAL 220 ⁹⁷	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$	Obrábění tvrzených litin a kalených ocelí (do 64 HRC) částečně přerušovaným řezem, i s procesní kapalinou, vhodná pro střední a jemné frézování
		DISAL 310 ⁹⁷	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Obrábění kalených ocelí přerušovaným řezem, vhodná pro střední a jemné frézování. lze použít procesní kapalinu
Fansteel VR/Wesson	USA	VR97	Al_2O_3	Obrábění šedých litin (250 HB) a měkkých ocelí (35 HRC)
		VR100	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Obrábění šedých litin (přes 250 HB) a tepelně zpracovaných ocelí (65÷67 HRC), rychlostmi frézování šedých litin
		VR200	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$	
CeramTec (Feldmühle)	Německo	SN56	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	Hrubovací a dokončovací soustružení litin (šedých, temperovaných, tvárných)
		SN60		Hrubovací a dokončovací soustružení šedých litin, dokončovací soustružení ocelí, P05-P20, K05-K20
		SN76		Hrubovací a dokončovací soustružení
		SN80 ⁹⁷		Hrubovací soustružení ocelí, frézování šedých litin, P10-P30, M15-M25, K10-K35
		SH1	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Soustružení a frézování tvrdých materiálů, frézování šedých litin malými posuvy, přesné frézování šedých litin a ocelí, M05-M15
		SH20		Přesné soustružení šedých litin, cementačních, zušlechtěných a rychlořezných ocelí
		SH20F		P01-P15, M05-M15, K01-K15
		FH3	Jemné frézování šedých a tvrzených litin (až 700 HB), zušlechtěných a kalených ocelí	
SL100	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$	M25-M45, K20-K50		
GTE Valeron	USA	Quantum 5000	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}(30\%)$	Obrábění litin, $v_c = 600\div 1500$
Hertel	Německo	AC5	Al_2O_3	Obrábění litin i ocelí
		MC2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	
Iscar	Izrael	NC1	Si_3N_4	Hrubování šedých litin, soustružení, frézování
		Iscanite	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$	Soustružení: K01-K15

Výrobce	Země	Řezná keramika		Doporučené užití, pokrytý rozsah tříd dle ISO, řezná rychlost v_c [m min ⁻¹]
		Označení	Typ	
Kennametal	USA	K060	Al ₂ O ₃	Soustružení: P01-P10, K01-K05
		K090	Al ₂ O ₃ +TiC	Soustružení: P01-P10, K01-K10, frézování: P01-P15, K01-K10
		KY2000	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Frézování litin a ocelových slitin, $v_c > 1000$, soustružení: K05-K20, frézování: K01-K20
Mitsubishi	Japonsko	XD3	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Soustružení: P01-P05, K01-K05
NGK Spark Plug		CX3	Al ₂ O ₃	Dokončovací soustružení litin: P05-P25, K01-K15
		HC2	Al ₂ O ₃ +TiC	Polodokončovací a dokončovací soustružení litin, tvrdých materiálů, oceli legovaných niklem, P01-P20, K01-K15
		SP4	Si ₃ N ₄ +TiN, povlak Al ₂ O ₃	Hrubovací a polodokončovací soustružení a frézování šedých litin
Sandvik Coromant	Švédsko	S4N	Si ₃ N ₄ +TiN	
		CC620	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Obrábění šedých litin (hrubování $v_c=500$, dokončování $v_c=1000$), běžných i legovaných ocelí (hrubování $v_c=200$, dokončování $v_c=900$)
		CC650	Al ₂ O ₃ +TiN+TiC+ZrO ₂	Obrábění šedých litin, kalených ocelí, doporučována i pro frézování (např. bloky motorů, $v_c=80-90$), lze použít procesní kapalinu
		CC670	Al ₂ O ₃ +whiskery SiC	Obrábění kalených materiálů i v přerušovaném řezu, obrábění žáruvzdorných materiálů
		CC680	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Obrábění žárovevých niklových slitinových ocelí, vhodná i pro přerušovaný řez
Seco		CC690	Si ₃ N ₄	Hrubovací a polodokončovací obrábění šedých, temperovaných i tvárných litin
		Secoramic 30	Al ₂ O ₃	Soustružení litin vysokými řeznými rychlostmi
Sumitomo	Japonsko	Revolox	Al ₂ O ₃ +TiC	Soustružení litin vysokými řeznými rychlostmi, když je kladen důraz na houževnatost nástroje
		W80	Al ₂ O ₃	Soustružení: P01-P10, K01
Toshiba Tungstool	Japonsko	NB90S	Al ₂ O ₃ +TiC	Frézování: K01
		NB90M		
		LXA	Al ₂ O ₃	Litiny, dokončovací soustružení
		LX10	Al ₂ O ₃ +TiCN	Soustružení kalených ocelí
		LX21	Al ₂ O ₃ +TiC	Litiny, běžné soustružení
Widia	Německo	FX920	Si ₃ N ₄	Šedé litiny, střední až hrubý řez, soustružení a frézování za sucha i s chlazením
		Widalox G	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Obrábění litin, jemné dokončovací práce, lehčí hrubování ocelí, frézování
		Widalox H	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ +TiC+TiN	Obrábění legovaných a tvrzených litin, kalených a zušlechťených ocelí, frézování
		Widalox R ⁹⁷	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ +TiC	Soustružení všech druhů litin, soustružení ocelí do R _m =500 MPa
		Widalox ZR		
Zettl	Německo	Widianit 1000	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ , povlak Al ₂ O ₃	Soustružení šedých litin
		Zekalit 3000	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃	Hrubovací a dokončovací obrábění litin, hrubovací soustružení a frézování bez chlazení i s procesní kapalinou, obrábění slitin s vysokým obsahem Ni

Tab. 8 Řezná keramika světových výrobců a její doporučené použití.. (4)

3.5. Supertvrde řezné materiály.

Za supertvrde materiály se považují dva, diamant (u řezných materiálů pod označením PD) a kubický nitrid bóru (české zkratky KNB, PKNB-polykrystalický...; anglické zkratky CBN,c-NB). Tyto řezné materiály nemají standardní použití, zejména diamant doprovází řada podmínek pro použití, nicméně za dodržení těchto podmínek jsou tyto materiály extrémně účinné.

Vlastnost	Diamant		Kubický nitrid boru	
	M	P	M	P
Měrná hmotnost [g cm^{-3}]	3,515÷3,520	3,42 ÷ 4,50	3,43 ÷ 3,50	3,42 ÷ 4,40
Délka strany kubické mřížky [nm]	0,3567		0,3615	
Pevnost v tlaku [GPa]	6,90 ÷ 16,53	4,2 ÷ 8,0	6,9	2,7 ÷ 3,5
Pevnost v ohybu [MPa]	1350	1200 ÷ 1700	700	500 ÷ 800
Tvrdość [HK]	5700 ÷ 13000	5000 ÷ 8000	4000 ÷ 7500	2700 ÷ 3500
Modul pružnosti v tahu [GPa]	820 ÷ 1250	776 ÷ 925	650 ÷ 850	587 ÷ 800
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	507	430		280
Lomová houževnatost K_{IC} [$\text{MPa m}^{1/2}$]	3,4 ÷ 4,2	6,0 ÷ 11,0		3,5 ÷ 6,7
Poissonovo číslo [-]	0,10 ÷ 0,29	0,20		0,20 ÷ 0,22
Součinitel délkové roztažnosti [10^{-6}K^{-1}]	0,8 ÷ 4,8	3,2 ÷ 4,6	4,8 ÷ 5,8	4,6 ÷ 4,9
Měrná tepelná vodivost [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	500 ÷ 2200	120 ÷ 550	13 ÷ 200	44 ÷ 200
Teplotní stálost [$^{\circ}\text{C}$]	700		1300 ÷ 1400	
Pozn.: M - monokrystalický, P - polykrystalický				

Tab. 9. Základní vlastnosti Diamantu a kubického nitridu bóru (4)

3.5.1. Diamant

Diamant je tvořen grafitem v krychlové mřížce. Je extrémně tvrdý, jedná se o nejtvrďší přírodní materiál. Bohužel do teplot pod 700°C , pak se začíná zpátky rozpadat na grafit. Z tohoto důvodu se při obrábění diamantem chladí, chladicí kapalina může být standardní, ale musí být do místa řezu dopravována pod vysokým tlakem a to z důvodů vysokých úběrů, které tvoří velké množství třísky, ta musí být z místa řezu odstraněna. Při obrábění tento efekt způsobí velmi silnou difúzi uhlíku z nástroje do obrobku, čímž dochází nejen k extrémnímu opotřebení nástroje, ale i k změně materiálové struktury obrobku. Proto se diamanty nehodí na obrábění oceli a slitin. Diamantové řezné nástroje můžeme najít při obrábění hliníkových slitin, a to s obráběcími rychlostmi přesahujícími $5000\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Dále se diamantem obrábí materiály s obsahem křemíku (který má velmi silný abrazivní účinek), slitiny mědi, titanu, keramiky a přírodních tvrdých materiálů, jako je například žula či mramor. Diamantem lze obrábět i kompozitní materiály vyztužené nejtvrďšími vlákny (sklo, uhlík, aramid). V dnešní době se samozřejmě používá syntetický diamant. Nejčastější použití obou supertvrdých materiálů je pájená (případně jinak nanesená) povrchová vrstva na vyměnitelné břitové destičce ze slinutého karbidu. Mezi syntetickým a přírodním diamantem je rozdíl, a to především v příměsích. V dnešní době se nedaří člověku vyrobit tak čistý diamant jako přírodě. Jde především o příměs dusíku, která přímo ovlivňuje vlastnosti diamantu. Principem výroby syntetického diamantu je přeměna šesterečné krystalové mřížky grafitu na kubickou. K takové přeměně je potřeba vysoká teplota, tlak a katalyzátor (nejčastěji přechodové kovy jako Cr, Mn, Fe, Co nebo Ni). První úspěšný pokud o výrobu syntetického diamantu provedl F.P. Bundy, H.M. Hall a H.M. Strong v roce 1955. Česká republika je jednou ze tří zemí světa, která vyrábí syntetické diamanty. (4), (16)



Obr. 25. Technický diamant (17)

3.5.2. Kubický nitrid bóru

Slouží k obrábění jakéhokoli materiálu, avšak minimální tvrdost obrobku by měla přesahovat 45 HRC, za tohoto předpokladu může bez problémů nahrazovat broušení. Nástroje z tohoto materiálu jsou drahé, je třeba tedy uvážit jejich použití. Nitrid boru má podobné vlastnosti jako grafit, dokonce i mřížku má stejnou. Jednotlivé vrstvy mají menší vzdálenost oproti grafitu. Oproti diamantu ale nenastává problém s teplotou, ke změně struktury NB je zapotřebí teploty přes 1400°C. Pro výrobu KNB je zapotřebí nitrid bóru, který se za působení tlaku, teploty (1600°C a 5,5-8,0 GPa) a katalyzátorů zkrystalizuje v kubické mřížce. Jako katalyzátory se používají alkalické kovy nebo nitridy či boridy. Kupříkladu směs 40 % Al+60 % Mg upravuje podmínky krystalizace na 1460°C a 4,5GPa bez vad v krystalech. (4), (16)

4. Vývoj geometrie řezného nástroje

Oproti řezným materiálům probíhal vývoj geometrie nástroje plynuleji. Rozdíl mezi novodobým nástrojem a nástrojem z počátku 20. století je samozřejmě patrný, ale podstata zůstává stejná. Avšak i zde je několik milníků, které poměrně podstatným způsobem ovlivnily obrábění a způsobily jakousi revoluci.

4.1. Kovaný nástroj

První nástroje byly kované, přičemž monolitní nástroj byl nabroušen pouze na konci. Díky kování, měly nástroje homogenní strukturu a byly vytvrzeny i plastickou deformací. Kované nástroje se používaly dlouho před začátkem 20. století. Jedná se o úplně první nástroje, jejichž historie sahá až do doby bronzové, kdy se pomocí kování vyráběli různé nože, které sloužily k tehdejšímu primitivnímu obrábění. Vyrábět ale celý nástroj z řezného materiálu je drahé. I tělo nástroje musí být sice tvrdé a tuhé, aby

nepodléhalo průhybům v důsledku řezných sil, ale nekladou se na něj tak vysoké nároky jako na samotný břit.



Obr. 26. Ukázka Kovaného vnitřního soustružnického nože z HSS

4.2. Pájené (letované) břitové destičky

Začalo se tedy uvažovat o formě dvou materiálového nástroje. Výsledkem byly pájené (letované) břitové destičky, bylo tedy možné vyrábět těla nožů a samotné břity z různých materiálů, také toto řešení umožňovalo vyměnit destičku v případě, že došlo k destrukci nástroje. Destičky se bylo samozřejmě možné nabrousit.



Obr. 27. Ukázka nože s pájenou destičkou z SK (18)

Když v roce 1926 spatřily světlo světa slinuté karbidy a o pár let později byly uvedeny na trh, tak se jednoduše už známou metodou pájely na ocelové držáky.

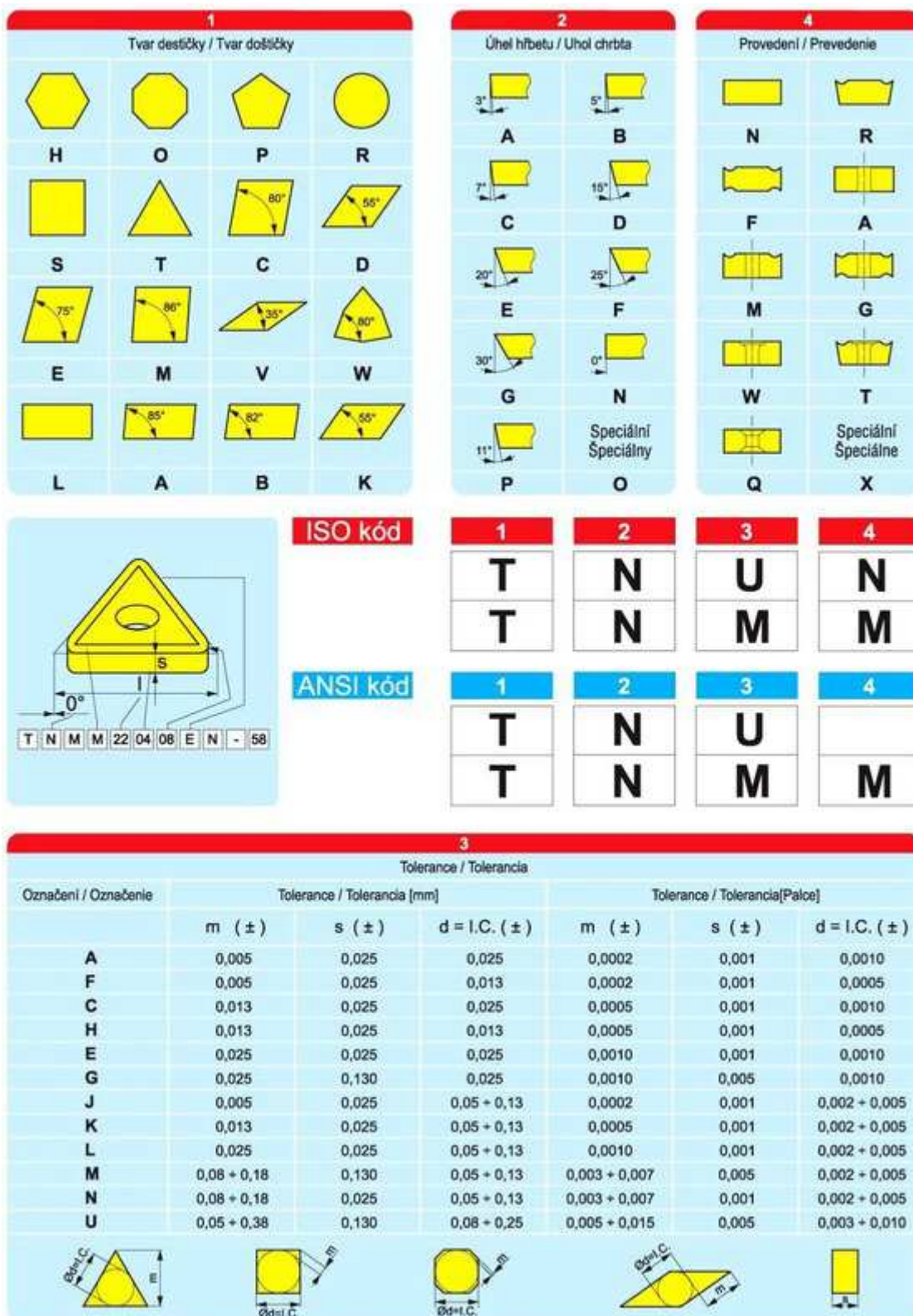
4.3. Vyměnitelné břitové destičky a vícebřité uspořádání

Problém nastal s příchodem řezné keramiky a cermetů. Ty se letují velice špatně, a proto se musel způsob uchycení vyřešit jinak. V roce 1948 získává McKenna (zakladatel firmy Kennametal) v USA patent na mechanické upnutí břitové destičky. Nejednalo se o dnešní způsob, kdy destička má v sobě díru, za kterou se pomocí šroubu upíná. Tehdejší systém spočíval na výklopném křídélku, které se dotahovalo šroubem, a to drželo břitovou destičku na místě (viz. obr 27.). Následně se destičkám dávaly tvary polygonů, a tím se daly brousit břity na více hranách, a tím vznikaly vícebřité destičky (viz obr. 28.).

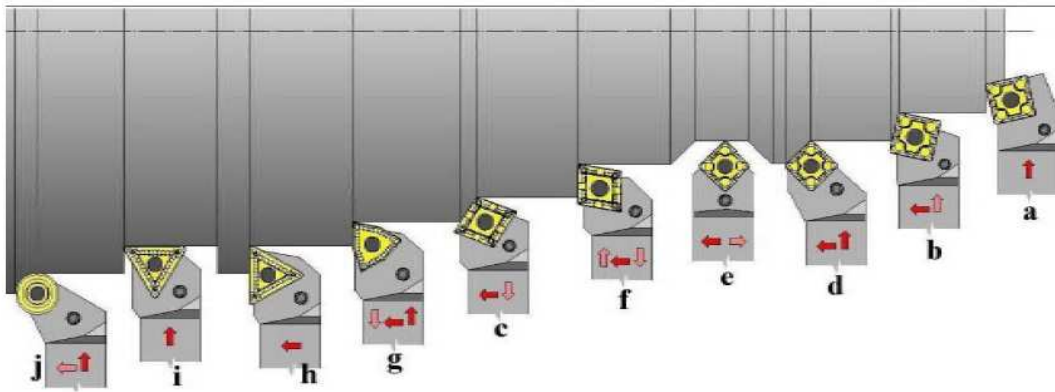


Obr. 28. Ukázka staršího soustružnického nože s vyměnitelnými vícebřítými destičkami firmy NAREX v původním balení

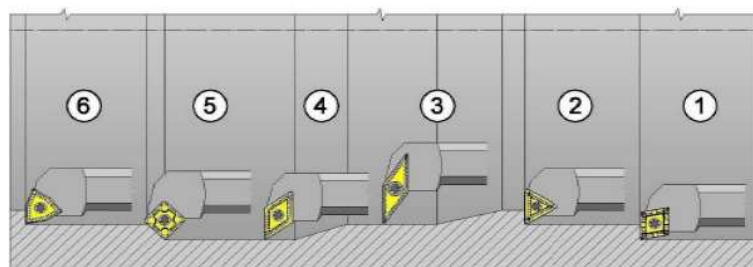
Pokud se tedy břit otupí, stačí destičku pootočit. Také se v dnešní době upouští od broušení nástrojů, resp. destiček. Destičky se po vypočítaném čase otočí, po opotřebení všech břitů se vyhazují nebo posílají na recyklaci v případě materiálu, který to umožňuje (např. slinutý karbid). (4)



Obr. 29 Ukázka tvarů a značení dnešních vyměnitelných vícebřitých destiček.. (17)



Vnější soustružnické nože,
 a – ubírací nůž čelní, b – ubírací nůž přímý, c – ubírací nůž přímý, d – ubírací nůž ohnutý,
 e – ubírací nůž oboustranný, f – rohový nůž, g – rohový nůž, h – ubírací nůž stranový,
 i – hladicí nůž, j – radiusový nůž



Vnitřní soustružnické nože,
 1 – vnitřní ubírací, 2 – vnitřní rohový, 3 – vnitřní kopírovací, 4 – vnitřní ubírací,
 5 – vnitřní ubírací, 6 – vnitřní rohový

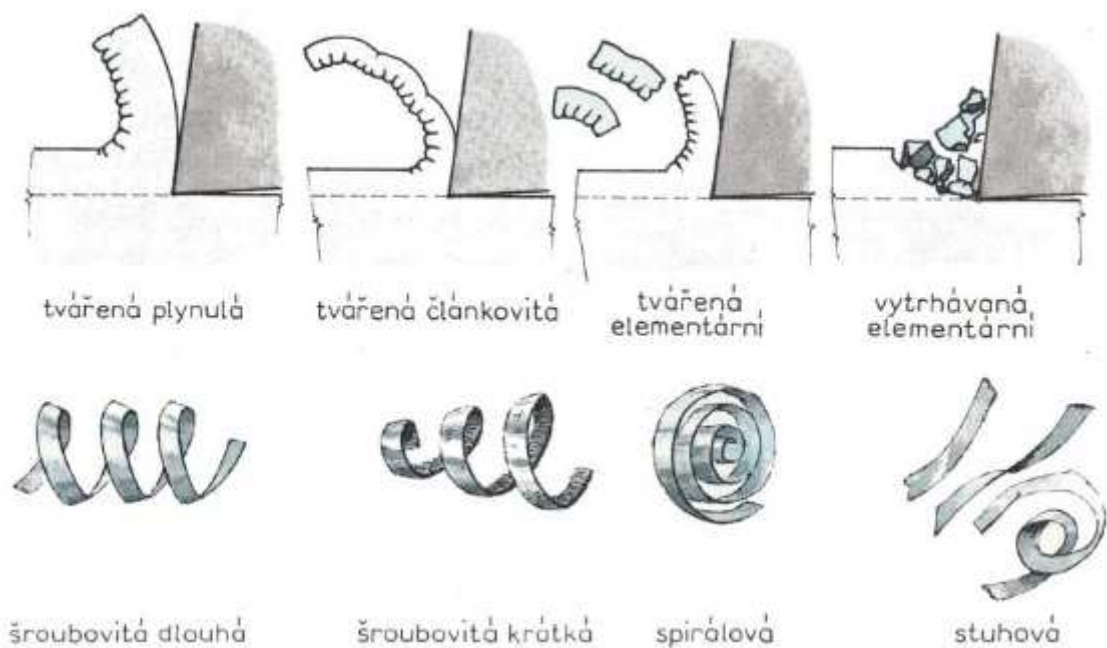
Obr. 30. Ukázka tvarů soustružnických nožů pro VBD (17)



Obr. 31. Ukázka frézovací hlavy na které jsou namontovány VBD kruhového průřezu resp. tvaru R. (Cena okolo 8500kč bez břitových destiček) (12)

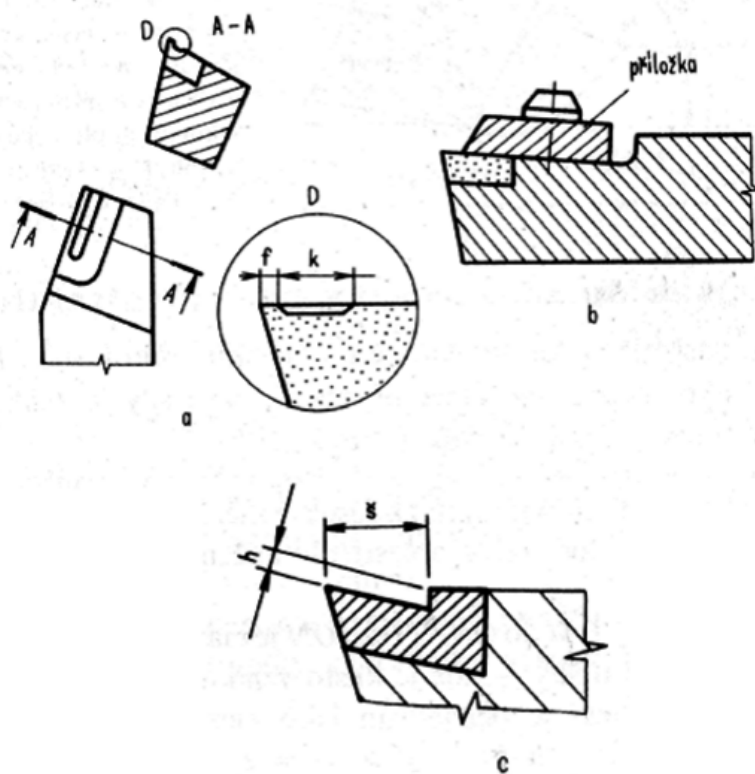
4.4. Utvařeč a lamač třísky

Další inovací v geometrii nástroje je utvařeč třísek. Jedná se o žlábek umístěný na čele nástroje hned za břitem.



Obr. 32. Druhy třísek (19)

Odříznutá tříška tedy putuje do utvařeče, který má za úkol třísku formovat, aby netvořila dlouhé špony, které zahřívají nástroj a můžou způsobovat komplikace při obrábění obrobku. Prvním náznakem utvařeče třísky byly lamače. Jednalo se



Obr. 33. Utvařeče a lamače třísek- a-žlábkový utvařeč (dnes nejrozšířenější); b- lamač třísek; c- stupínkový utvařeč (19)

o upravenou příložku (starší typ uchycení VBD viz. obr.26.), která měla za úkol lámat třísku na menší kusy. Vzdálenost lamače od břitů byla 1,5-6mm a úhel 40-50° vůči čelu nástroje, nejčastěji se kombinovaly s VBD jako část upínacího mechanismu, případně se stejným způsobem upínaly na předchozí typy nástrojů. Oproti tomu utvařec je vybroušen, či už lisován na nástroji, resp. VBD. Jeho funkce je podobně jako u lamače krácení třísky, ale i její huštění, aby odpadávající tříska nezabírala v lapači tolik místa. V případě materiálové recyklace se pak materiál i lépe lisuje. (19)

4.5. Chladicí kanálky.

Jednou z nejnovějších inovací na trhu jsou vnitřní chladicí kanálky, které umožňují dopravit chladicí kapalinu přímo do místa řezu. Tato nová technologie se nejvíce využívá u vrtání, resp. vrtáků, kdy chladicí kapalina nejen chladí místo řezu, ale zároveň vyplavuje třísku, a tím se ve velkém míře prodlužuje životnost vrtáku. Odvod tepla z místa řezu zároveň umožňuje obří nárůst řezné rychlosti. Je nutné ale věnovat pozornost chladicí kapalině, aby v důsledků větších teplot nedifundovala do obrobku či nástroje. (20)



Obr. 34. Vrták s VBD a vnitřními chladicími kanálky (20)

4.6. Dnešní podoba nástroje.

V dnešní době se nejvíce používají povlakované slinuté karbidy. Jedná se tedy o materiál na bázi karbidu wolframu s pojivem v podobě kobaltu, vyrobený pomocí práškové metalurgie. Povlakován je většinou metodou PVD, povlakem 4. generace, tedy vícevrstevným povlakem na bázi nitridů titanu, případně povlakován supertvrdým materiálem. Takto vyrobený nástroj má podobu vícebřité vyměnitelné destičky umístěné na ocelovém držáku a obrábí v CNC obráběcím centru. Ukázky takových nástrojů jsou na obr. 35., obr. 34. a obr. 31.



Obr. 35. Ukázka moderních soustružnických noží (21)

5. Závěr

Určit nejlepší nebo nejhorší obráběcí nástroj nelze. Každý materiál i provedení nástroje mělo své opodstatnění. I v dnešní době se používají rychlořezné oceli, přestože slinuté karbidy vynikají ve všech řezných vlastnostech. Ale ze slinutého karbidu nelze vytvořit geometricky složitější nástroj, při slinování dochází u takovýchto nástrojů k praskání a destrukci nástroje. V dnešní době jsou firmy schopné díky inovacím v práškové metalurgii vytvořit monolitní nástroj ze slinutých karbidů podle požadavků zákazníka. Převážně se takto na zakázku vyrábí frézy a vrtáky speciálních požadavků (např. firma Rotana a.s). Tyto nástroje jsou určeny pro HPC (velký úběr), HFC (velký posuv), HSC (vysoké rychlosti). Jejich cena je vysoká, a i přes inovace nelze vyrobit cokoli. Takovéto nástroje lze samozřejmě koupit i hotové (např. firma WNT). Jedná se skutečně o nejmodernější nástroje, které byly uvedeny na trh okolo roku 2010. Přestože jejich úběr, řezná rychlost a celkové možnosti několika násobně převyšují nástroje z rychlořezné oceli, nepodařilo se těmto moderním nástrojům vytlačit nástroje z materiálu, který byl uveden na trh v roce 1910. Důvodů je více, nejen absence geometricky složitějších nástrojů. I v určitých odvětvích není zapotřebí vysoká přesnost

či vysoká rychlost obrábění (např. se jedná o kusovou výrobu). Příkladem míst, kde není zapotřebí vysoká přesnost, jsou dílenské či servisní podmínky (například pro těžkou techniku). Vybavení těchto dílen pochází často z druhé poloviny 20. století a výrobky zde mají dosahovat přesnosti v řádů milimetrů a počty řádů kusů. Není tedy potřeba pořizovat nejmodernější obráběcí nástroje. Dokonce v mnoha případech je v těchto podmínkách lepší pájená destička ze slinutého karbidu, u které je možnost ji vybrousit do požadovaného tvaru. U moderních povlakovaných břitů brousit nelze, protože by došlo ke zničení povlaku. V případě cermetů a řezné keramiky se dnes jedná spíše o lokálně používané materiály (cermety- USA; keramika- Japonsko). Jejich neúspěch je způsoben převážně tím, že se snažily uplatnit na trhu, kde byly už ve velké míře používány slinuté karbidy a tyto materiály oproti nim nepřinášely velké inovace. Při volbě nástroje je důležité si uvědomit materiál obrobku, přesnost, obráběcí stroj, počet výrobků a finanční rozpočet. Osobně si myslím, že časem se bude více prosazovat řezná keramika a cermety nad slinutými karbidy a to především z důvodu zásob wolframu, což v blízké době nepocítíme, ale do budoucna může být tato strategická surovina problém, který způsobí změnu dominantního řezného materiálu na trhu.

Literatura a zdroje

1. **Mádl, Jan, a další.** *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ 1. díl.* Praha : ČVUT, 08/2007.
2. **ELUC** [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1823>.
3. **České vysoké učení technické v Praze** Fakulta strojní: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie [online]. Praha: ČVUT [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf.
4. **HUMÁR, Antonín.** MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE: Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI. 2006. Vysoké učení technické v Brně.
5. **Svět dílny:** Recenze a srovnání náradí pro kutily i profíky. [online]. 2015 [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <http://www.svetdilny.cz/co-je-to-hss/>.
6. **Tumlikovo:** Metal Cutting Technologies [online]. 2010 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rozdeleni-nastrojovych-oceli>.
7. **Bohdan Bolzano** [online]. [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_HS18-0-1.pdf.
8. **MARTINEC, Lukáš.** TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ. 2010. SVOČ-2010. Západočeská univerzita v Plzni.
9. **Bohdan Bolzano** [online]. [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_Zpracovani%20nastrojovych_%20oceli.pdf.

10. **ELUC** [online]. [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_Zpracovani%20nastrojovych_%20oceli.pdf.
11. **DEMBEK, Jiří**. Slinuté karbidy a jejich efektivní využití: Diplomová práce. Brno.
12. **M&V**: Výroba řezných strojů a měřidel [online]. 2004 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: http://www.mav.cz/data/katalog/k_soustr_pramet.pdf.
13. **Ionbond**: the Surface engineers [online]. 2004 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: <http://www.ionbond.cz/cz/technologie/pvd/>.
14. **VANĚČEK, Stanislav**. Cermety a jejich efektivní využití. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 55s. Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.
15. **KAVALÍR, V.** Řezná keramika a její efektivní využití. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 56 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Anton humár, CSc.
16. **VINTR, Josef**. Supertvrdé Řezné materiály a jejich efektivní využití. 2006. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně- Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Lukáš Sedl.
17. **ELUC** [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1219>.
18. **NÁŘADÍ A NÁSTROJE s.r.o.** [online]. 2005 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: http://naradinastrojeuh.cz/img/photos/nastroje_soustruzeni/skautb.jpg.
19. **ELUC** [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1190>.
20. **ELUC** [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1209>.
21. **BOUKAL**: stroje s lidskou péčí [online]. 2010 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: <https://shop.boukal.cz/obrazky/20389/soustruznicke-noze-bernardo-hm-16-mm-7-dilna-sada-d-original.jpg>.
22. **Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni**: Oddělení povrchového inženýrství [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/keramika.pdf>.
23. **NÁŘADÍ TOMEK VYŠKOV**: ruční nářadí, obráběcí stroje, vybavení dílny. [online]. Vyškov, 2017 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: <http://www.tomek-naradi.cz/frezovaci-hlavy/>.

Seznam obrázků a grafů

Obr. 1. Nástrojové úhly v rovinách Pr, Pf, Pp, Ps, Po, Pn- Zakreslené na pravém ubíracím soustružnickém noži (1).....	- 9 -
Obr. 2. Popis nástroje- popis na levém soustružnickém noži (2)	- 9 -
Obr. 3. Řezné síly-vlevo ortogonální řezání, vpravo vázané řezání (1)	- 10 -
Obr. 4. Rozložení tepla v nástroji a tříse (1)	- 10 -
Obr. 5. Rozložení tepla v závislosti na řezné rychlosti- vlevo nižší, vpravo vyšší (1)-	11
-	
Obr. 6. Tečení materiálu u ostří nože (1).....	- 11 -
Obr. 7. Závislost opotřebení nástroje na teplotě v místě řezu. (3).....	- 13 -
Obr. 8. Poměr nástrojových materiálů ve výrobě (22)	- 13 -
Obr. 9. Originální balení vrtáků Zbrojovky vyrobených z ocele POLDI.....	- 16 -
Obr. 10. Detailní foto ražení HSS na vrtáku.....	- 16 -
Obr. 11. Ukázka značení RADECO POLDI.....	- 16 -
Obr. 12. Ukázka RADECO od firmy POLDI- dva spodní nože jsou dílensky vybroušeny do požadovaného tvaru	- 17 -
Obr. 13. Karbidy v oceli ČSN 19 830 (8).....	- 18 -
Obr. 14. Příklad tepelného zpracování nástrojové oceli (převzato z DIN 17 350)- Příklad 1. (9).....	- 19 -
Obr. 15. Příklad tepelného zpracování nástrojové oceli (převzato z DIN 17 350)- Příklad 2. (9).....	- 20 -
Obr. 16. Závislost tvrdosti jednotlivých karbidů na teplotě (11).....	- 24 -
Obr. 17. Příklad katalogové strany společnosti PRAMET- vyznačen sloupec destičky T5305 pro snazší čtení (12)	- 25 -
Obr. 18. Rozdíl struktury cermetu a slinutého karbidu (14).....	- 27 -
Obr. 19. Řez vrstvami povlakovaného nástroje resp. VBD (14)	- 31 -
Obr. 20. Povlak ATiN vytvořený metodou PVD (14).....	- 31 -
Obr. 21. Příklady správného obrábění pomocí cermetů (14).....	- 33 -
Obr. 22. Celkové množství peněz utracených na trhu s keramikou podle odvětví (v milionech dolarů; rok neznámí) (4)	- 34 -
Obr. 23. Porovnání jednotlivých typů řezné keramiky (při soustružení) (15).....	- 36 -
Obr. 24. Ukázka dvou rozdílných struktur keramiky (15).....	- 36 -

Obr. 25. Technický diamant (17).....	- 40 -
Obr. 26. Ukázka Kovaného vnitřního soustružnického nože z HSS	- 41 -
Obr. 27. Ukázka nože s pájenou destičkou z SK (18)	- 41 -
Obr. 28. Ukázka staršího soustružnického nože s vyměnitelnými vícebřitými destičkami firmy NAREX v původním balení.....	- 42 -
Obr. 29 Ukázka tvarů a značení dnešních vyměnitelných vícebřitých destiček.. (17)-	43
-	
Obr. 30. Ukázka tvarů soustružnických nožů pro VBD (17).....	- 44 -
Obr. 31. Ukázka frézovací hlavy na které jsou namontovány VBD kruhového průřezu resp. tvaru R. (Cena okolo 8500kč bez břitových destiček) (12)	- 44 -
Obr. 32. Druhy třísek (19)	- 45 -
Obr. 33. Utvařeče a lamače třísek- a-žlábkový utvařeč (dnes nejrozšířenější); b- lamač třísek; c- stupínkový utvařeč (19)	- 45 -
Obr. 34. Vrták s VBD a vnitřními chladicími kanálky (20)	- 46 -
Obr. 35. Ukázka moderních soustružnických nožů (21)	- 47 -