

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CERMETY A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

CERMETS AND THEIRS EFFECTIVE USE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. STANISLAV VANĚČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2009

Zadání

ABSTRAKT

Diplomová práce vypracovaná v rámci magisterského studia se zaměřuje na cermety, které se řadí mezi řezné materiály. Úvodní část práce předkládá charakteristiku cermetů z hlediska výroby, fyzikálně mechanických vlastností, značení a použití v obrábění. Hlavní část práce je zaměřena na cermety v sortimentu předních světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů, hodnocení řezivosti a doporučené pracovní podmínky cermetů pro operaci soustružení. Pracovní podmínky jsou zpracované pro oceli a litiny. Závěrem práce je uveden technicko-ekonomický rozbor.

Klíčová slova

Cermety, řezný materiál, obrábění, karbid titanu, nitrid titanu

ABSTRACT

The Thesis described within the scope of the Master Program is focused on cermets, which belong among cutting materials. The introductory portion of the Thesis presents the characteristics of cermets from the perspective of production, physical-mechanical characteristics, marking and usage in cutting. The core portion of the Thesis focuses on the role of cermets in the category of leading world producers of tools and instrumental materials, cutting evaluation, and the suggested working conditions of cermets in lathing operations. The working conditions are prepared for steel and cast iron. The conclusion of the Thesis focuses on a technical-economical analysis of cermets.

Key words

Cermets, cutting material, machining, titanium carbide, titanium nitride

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VANĚČEK, Stanislav. *Název: Cermety a jejich efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 55s. Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Cermety a jejich efektivní využití* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Stanislav Vaněček

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Antonovi Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
Úvod	7
1 CHARAKTERISTIKA CERMETŮ.....	8
1.1 Výroba.....	8
1.1.1 Výchozí materiály pro výrobu cermetů	9
1.1.2 Technologie výroby	10
1.1.3 Značení cermetů	17
1.1.4 Povlakování cermetů	17
1.2 Vlastnosti cermetů	20
1.2.1 Fyzikální vlastnosti cermetů	21
1.2.2 Mechanické vlastnosti cermetů	22
1.2.3 Porovnání vlastností pozorovaných cermetů.....	23
1.3 Aplikace cermetů.....	24
2 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE.....	28
3 ZASTOUPENÍ CERMETŮ V SORTIMENTU NEJVÝZNAMĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ.....	32
3.1 Kyocera.....	32
3.2 CeramTec.....	35
3.3 Ceratizit.....	36
3.4 NGK Spark Plugs.....	39
4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ CERMETŮ	42
4.1 Obrábění nelegovaných ocelí	42
4.2 Obrábění nízko a středně legovaných ocelí	43
4.3 Obrábění legovaných ocelí.....	43
4.4 Obrábění korozivzdorných ocelí	44
4.5 Obrábění nástrojových ocelí	46
4.6 Obrábění šedé litiny.....	46
5 TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	48
Závěr	51
Seznam použitých zdrojů	52
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	54

ÚVOD

Při procesu obrábění dochází k odebírání materiálu ve formě třísek. K vytvoření třísky je zapotřebí řezný nástroj (vrtáky, frézy, soustružnické nože) s definovaným ostřím k tomu určeným, který je součástí obráběcího stroje.

Řezný nástroj má mnoho tvarů a podob. Nejen v soustružnických aplikacích jsou to převážně vyměnitelné břitové destičky, ovšem mohou to být i celistvé nástroje.

Hlavní charakterizující vlastností řezného nástroje je materiál, ze kterého byl vyroben. V současné době se na trhu nachází velké množství řezných nástrojů vyrobených z různých materiálů. Mezi řezné materiály patří rychlořezná ocel, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, polykrystalický kubický nitrid boru, diamant.

Supertvrdé materiály, jako je polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Jejich nedostatkem je ovšem značná křehkost a vysoká cena. Používají se především k obrábění tvrdých materiálů (keramika, litina, kalená ocel atd.).

Řezná keramika disponuje také značnou tvrdostí, chemickou odolností. Nevýhodou je malá houževnatost. Používá se především k obrábění litin a nástrojových ocelí.

Slinuté karbidy jsou velice rozšířeným řezným materiálem a téměř každý výrobce je má ve svém sortimentu hojně zastoupeny. Mají v podstatě univerzální použití díky mechanickým vlastnostem. Ovšem ne vždy se jejich nasazení vyplatí. Jsou nevhodné pro vysoké řezné rychlosti díky své nízké termochemické stabilitě. Pro vylepšení jejich řezných vlastností jsou často opatřeny různými povlaky.

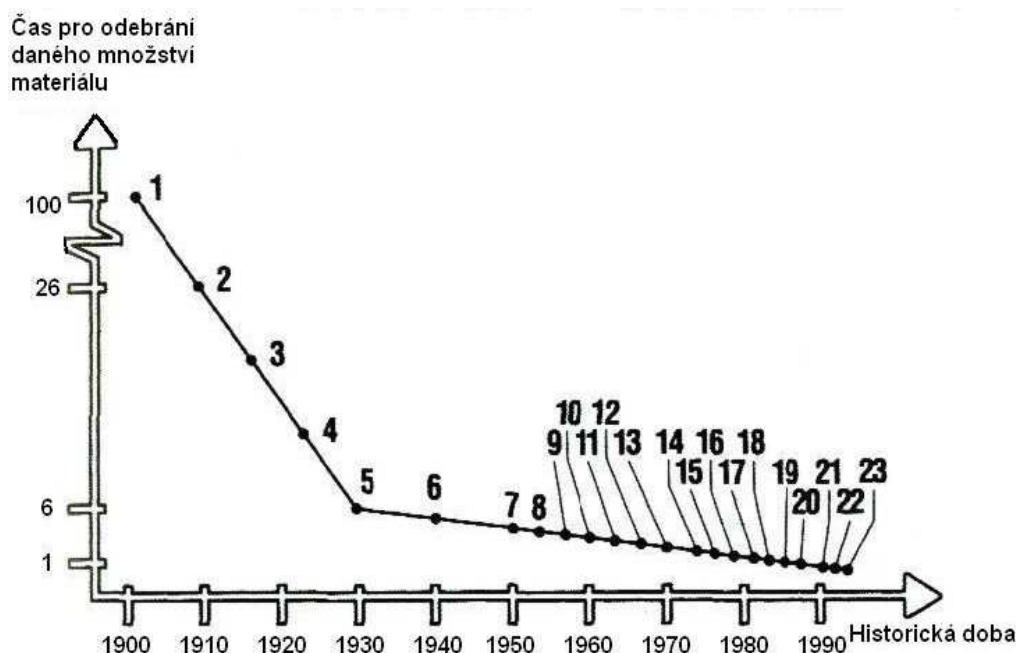
Cermety jsou řezné materiály na podobné bázi jako SK ovšem základní primární karbidy tvoří WC jak je tomu u SK, ale karbid titanu TiC a nitrid titanu TiN. Vyznačují se velmi dobrou odolností proti opotřebení a tvrdostí, která je vyšší než u SK. Nevýhodou je jejich menší houževnatost. Využívají se převážně na dokončovací operace s plynulým řezem při vysokých řezných rychlostech. Se změnou jejich chemického složení se mění i jejich mechanické vlastnosti tak, že je možné použití také pro operace s přerušovaným řezem a lehké hrubovací operace. Používají se k obrábění téměř všech železných kovů. Výjimku tvoří pouze velmi tvrdé materiály (kalená a cementovaná ocel).

Základním požadavkem na tyto materiály je jejich schopnost k obrábění. K těmto schopnostem patří především jejich mechanické vlastnosti jako je tvrdost, houževnatost, pevnost v ohybu, odolnost proti otěru. Materiál musí být schopen si tyto vlastnosti ponechat i při vysokých teplotách, ke kterým dojde při obrábění. Tyto vlastnosti souvisí s řezivostí nástroje. Řezivost lze charakterizovat jako vhodnost řezného materiálu k jeho obrábění.

1 CHARAKTERISTIKA CERMETŮ

1.1 Výroba

První generace použitelných cermetů byla vyrobena v USA již v polovině minulého století, ale nebyla jim věnována velká pozornost z důvodů nedostatečné houževnatosti. Jejich vývoj byl nastartován v Japonsku, kde byly považovány za levný a lehce dostupný materiál pro řezné nástroje, protože neobsahovaly wolfram a kobalt. Boom ve vývoji a produkci nastal až po systematickém výzkumu v letech 1968 až 1970. [11]



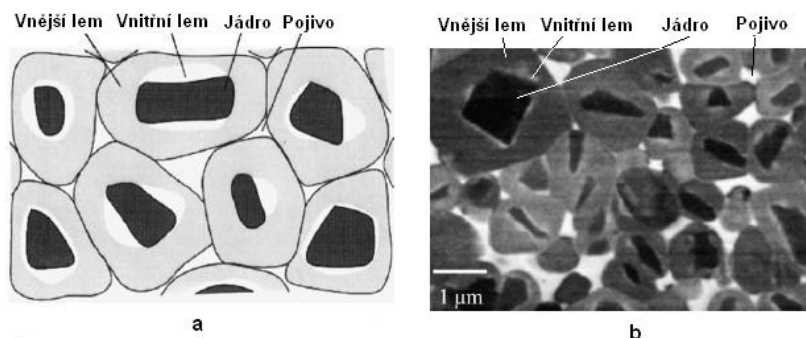
Obr. 1.1 Průběh vývoje v oblasti výkonu řezných materiálů(2)

1 – konstrukční ocel; 2 – rychlořezná ocel; 3 – slévárenské slitiny; 4 – zlepšená rychlořezná ocel; 5 – slinutý karbid pro obrábění litiny; 6 – slinutý karbid pro obrábění oceli; 7 – vyměnitelné břitové destičky SK; 8 – keramika; 9 – syntetické diamanty; 10 – zlepšené slinuté karbidy; **11 – cermety**; 12 – slinuté karbidy Prémium; 13 – povlakované slinuté karbidy; 14 – polykrystalický diamant; 15 – kubický nitrid bóru; 16 – slinuté karbidy s vícevrstevným povlakem; 17 – povlakované slinuté karbidy pro vrtání; 18 – povlakované slinuté karbidy pro frézování; 19 – povlakované slinuté karbidy pro obrábění koroziivzdorných ocelí; 20 – Coronite; **21 – zlepšený cermet**; 22 – povlakované slinuté karbidy pro řezání závitů; 23 – nová generace povlakovaných slinutých karbidů

Hlavní pozornost při výrobě cermetů byla věnována zvýšení pevnosti a odolnosti proti vydrolování.

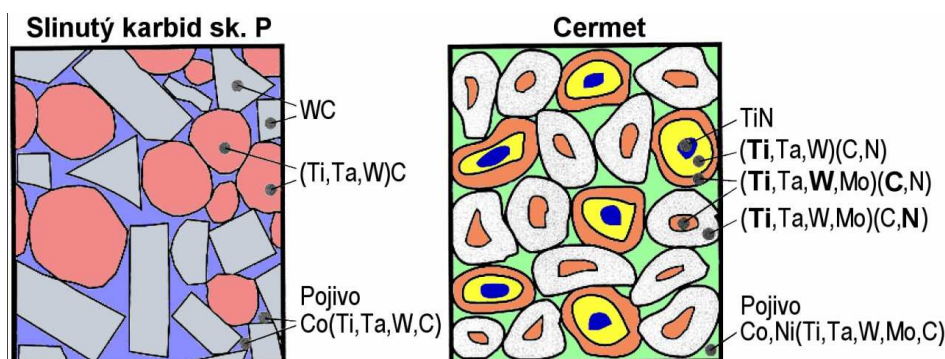
Již z názvu je patrné, že slovo cermet se skládá ze dvou anglických slov CERamics a METal a obecně popisuje nástrojový materiál, který má mechanické vlastnosti, jejichž výhodou je tvrdost keramiky a houževnatost kovu. Je

to společný název pro všechny tvrdé kovokeramické materiály, jejichž základní složky jsou tvořeny karbidem titanu TiC, karbonitridem titanu TiCN nebo nitridem titanu TiN. Jako pojivo se používají prášky niklu, kobaltu a jejich směsné kombinace. Stejně vhodné jsou tuhé roztoky tvrdých složek jako Ti(C,N), (Ti,Mo)C, (W,Ti)C, (Ti,Ta,Nb,W)C.



Obr. 1.2 Typická mikrostruktura cermetu a) schematicky b) pod mikroskopem (21)

Mikrostruktura cermetů, které byly slinovány v tekuté fázi Ni nebo Co, obsahuje uspořádaná zrna jediné tvrdé fáze, rozmístěné v matici pojivové fáze. Zrna tvrdé fáze mají typický vzhled s mikrostrukturou jádro – plášť [11]



Obr. 1.3 Rozdíly v mikrostruktuře slinutého karbidu a cermetu (19)

1.1.1 Výchozí materiály pro výrobu cermetů

Wolfram (W) – Je šedý až stříbrně bílý. Výchozími surovinami pro výrobu práškového wolframu jsou nejčastěji kyselina wolframová, tetrahydrát hydrogenwolframanu dekaamonného a oxid wolframový. Největší množství wolframu je v současné době používáno pro výrobu slinutých karbidů jako karbid wolframu WC, který se používá i pro výrobu cermetů. Teplota tání je 3422°C a hustota je $17,6 \text{ g.cm}^{-3}$.

Titan (Ti) - Je to stříbrolesklý kov, který se vyrábí z oxidu titaničitého. Vyznačuje se mimořádnou chemickou stálostí. Teplota tání je 1668°C a hustota je $4,506 \text{ g.cm}^{-3}$. Pro výrobu cermetů se používá jako karbid titanu, nitrid titanu a karbonitrid titanu.

Tantal (Ta) a niob (Nb) - Patří k poměrně vzácným prvkům. Tantal je modrošedý lesklý kov s teplotou tání 3017°C a hustotou $16,69 \text{ g.cm}^{-3}$. Niob je

kovový prvek, jehož teplota tání je 2477°C a hustota $8,57 \text{ g.cm}^{-3}$. Oba prvky se získávají oddělováním z kolumbitu. Ve výrobě se využívají jako karbid tantalu a karbid niobu. Protože tantalová ruda obsahuje vždy i niob, je výsledný karbid označován jako $(\text{Ta},\text{Nb})\text{C}$.

Chrom (Cr) – Světle bílý lesklý kov s vysokou chemickou odolností. Čistý chrom se získává z chromové rudy, ovšem jeho výroba je složitá. Teplota tání je 1907°C a hustota $7,15 \text{ g.cm}^{-3}$. Při výrobě se používá karbid chromu jako přísada.

Vanad (V) – Je to šedobílý kujný kov. Vyrábí se pražením rozdrcené rudy nebo zbytku kovového vanadu s chloridem sodným nebo uhličitánem sodným při teplotě 850°C . Teplota tání je 1915°C a hustota je $6,11 \text{ g.cm}^{-3}$. Karbid vanadu se při výrobě používá jako přísada.

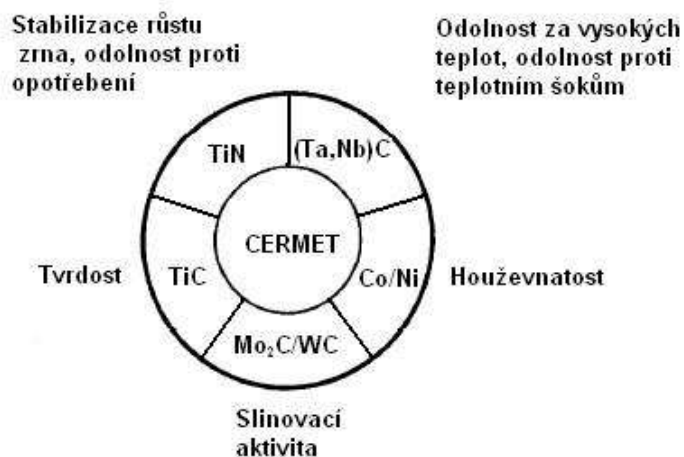
Kobalt (Co) - Je to namodralý feromagnetický kov. Pro výrobu cermetů je důležitá jeho teplota tání, která je 1495°C . Hustota je $8,9 \text{ g.cm}^{-3}$. V cermetech plní funkci pojiva.

Nikl (Ni) - Kovový feromagnetický prvek bílé barvy. Stejně jako kobalt plní funkci pojiva. Teplota tání je 1455°C a hustota je $8,908 \text{ g.cm}^{-3}$.

Molybden (Mo) - Je poměrně vzácný kovový prvek. Nejvýznamnější rudou pro jeho výrobu je molybdenit (sulfid molybdeničitý). Teplota tání je 2623°C , hustota $10,28 \text{ g.cm}^{-3}$.

1.1.2 Technologie výroby

Pro dosažení požadovaných vlastností cermetů se využívá změny v obsahu jednotlivých základních složek. Tvrdost roste s větším obsahem TiC a TiN , zatímco $(\text{Ta},\text{Nb})\text{C}$ zlepšuje řezný výkon při přerušovaném řezu a při frézovacích aplikacích [11]

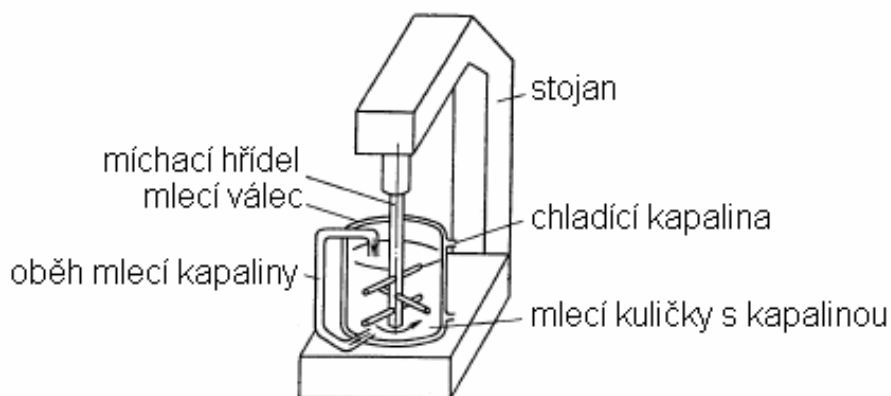


Obr. 1.4 Vliv jednotlivých složek na vlastnosti cermetu(9)

Technologie výroby cermetů je velmi podobná technologii výroby běžných slinutých karbidů (výroba směsného karbidu, příprava směsi karbidů a pojiva, formování směsi a slinování).

Příprava směsi karbidů a pojiva

Jedná se o důležitou část výrobního procesu, při kterém dochází k smíchání karbidů s pojícím kovem (nikl, kobalt) a podílí se velkou měrou na výsledných vlastnostech cermetů. Mletím směsi za sucha nebo v kapalném prostředí (inertní organické kapaliny např. methylalkohol, etylalkohol, aceton, někdy i voda) vzniká jemnozrnná homogenní směs v podobě prášku. V případě použití kapalného prostředí je nezbytné následné sušení směsi. Požadovaným výsledkem jsou karbidická zrna dokonale obalená jemnějším práškem pojícího kovu. Příprava směsi probíhá mletím v kulových mlýnech, ve kterých jsou uvnitř bubnu mlecí kuličky, působící na směs rázovým a třecím účinkem. Aby nedošlo k znečištění směsi, měly by být kuličky a stěny mlýnu ze stejného druhu slinutého karbidu. Důležitým parametrem je rychlost otáčení mlýnu, která má vliv na životnost zařízení a účinnost procesu. Cílem je dosažení tzv. kaskádovitého efektu. Optimální otáčky mají hodnotu 60% kritických otáček $n_k = 42,4/D^{1/2}$, kde D je průměr mlecích kuliček v metrech. Množství náplně bubnu se pohybuje od 0,4 do 0,5 celkového objemu mlecí komory. Pro mletí práškových směsí se používají také atritory, ve kterých je mletí uskutečňováno hlavně třením mezi mokrou vsázkou a kuličkami. Touto metodou je možné získat částice o velikosti pod 0,002mm. [11], [25], [17]



Obr. 1.5 Schéma atritoru(30)

Formování směsi

Provádí se většinou lisováním ve formovacích lisech za použití lisovacích forem. Protože jsou směsi určené k formování vysoce disperzní a mají nízkou plasticitu, přidává se do nich tzv. plastifikátor, který zlepšuje formovací vlastnosti směsi (zvyšuje zhutnění, má tmelící vlastnosti) a zachovává tvar polotovaru po vyjmutí z lisovací formy. Z plastifikátoru se nesmí dostat do polotovaru nečistoty a musí se nechat lehce odstranit sušením nebo předslinováním. Nejčastěji užívanými plastifikátory jsou syntetický kaučuk rozpuštěný v benzínu a parafín rozpuštěný v benzenu nebo tetrachlormetanu. Porezita

výlisku tvoří 50 (často i více) objemových procent, ale při procesu slinování dojde k jejímu odstranění. Největší porezita je dosaženo, jsou-li částice stejné velikosti. Při různé velikosti částic se porezita snižuje, protože menší částice vyplní prostor mezi většími. Rozměry výlisku se musí volit s ohledem na smrštění při slinování a proto se musí brát v potaz při konstrukci lisovacích forem. Rozměry výlisku musí být větší než rozměry hotového tělesa. Smrštění závisí např. na druhu cermetu, lisovacím tlaku. Z původního objemu se těleso zmenší o 20 a více procent. [11], [25], [17]

Vzorec pro výpočet sypné výšky (17):

$$H = h \cdot q \quad (1.1)$$

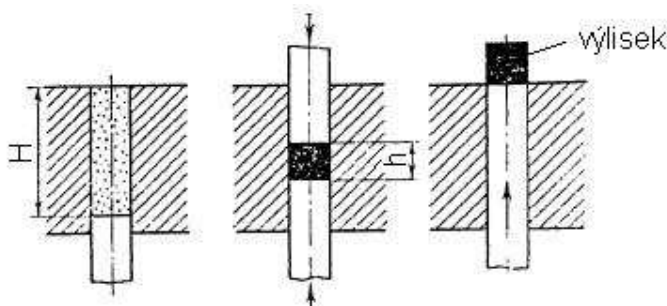
$$q = \frac{k}{s}$$

kde: h ...výška výlisku [mm]

q ...souč plnění [-]

k ...hustota kompaktního tělesa [kg/m^3]

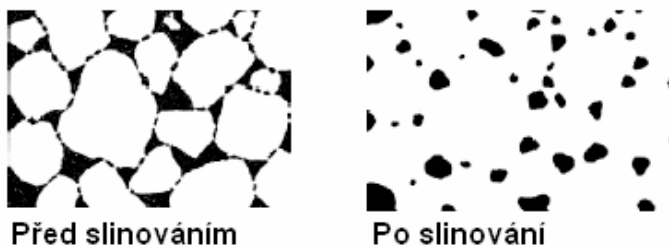
s ...sypná hustota práškového materiálu [kg/m^3]



Obr. 1.6 Schéma dvoustranného lisování s pohyblivými razníky(17)

Slinování

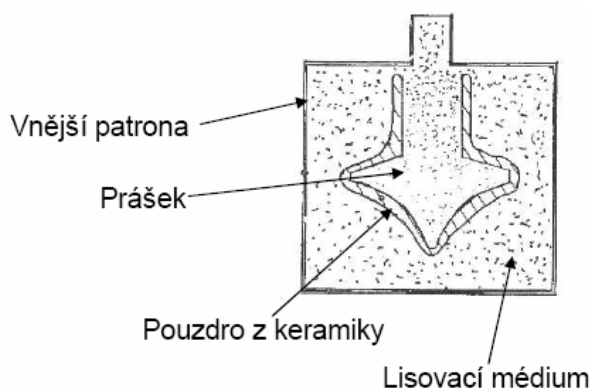
Proces probíhá ve slinovací peci, ve které je vložené těleso ohříváno a ochlazováno za předepsaných podmínek, kterými se musí řídit naprosto přesně. Proces se může rozdělit na dvě operace: předslinování, při kterém dochází k odstranění plastifikátoru (700 až 850°C) a slinování, při kterém je těleso zcela hotové a vykazuje požadované fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti a mikrostrukturu. Při slinování se póry uzavřou a směs se spojí hlavně vlivem difuze. Teplota ohřevu je závislá na teplotě tavení pojiva, ve kterém se následně rozpustí značné množství karbidů. Slinování může probíhat ve vakuu, ochranné atmosféře N_2 , $\text{N}_2 + \text{Co}$ nebo Ar. Dochází ke zhutňování materiálu, mezi zrny tvrdé fáze se tvoří hranice a vlivem difuzních procesů se přeskupí jednotlivé složky. Slinování je realizováno difuzní cestou, rozhodujícími faktory jsou teplota a čas. Celkový proces slinování má důležité body, které mají vliv na konečný výrobek. Tyto body jsou: rychlost ohřevu, teplota předslinování, teplota slinování a výdrž na teplotě, rychlost ochlazování. Čím jsou prášky jemnější, tím rychleji slinování probíhá. Jedná se o nejproblematictější část výrobního procesu. [11], [1], [31], [25]



Obr. 1.7 Změna struktury při slinování (26)

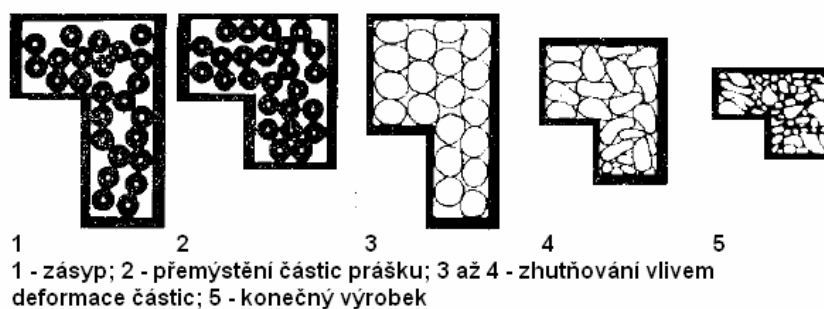
Vysokoteplotní izostatické lisování

Vysokoteplotní izostatické lisování je často označováno zkratkou HIP z anglického názvu Hot Isostatic Pressing. Při procesu HIP dochází ke stlačování a zhutňování za vysokých teplot působením vysokotlakého plynu o vysoké teplotě. Na těleso působí ze všech stran rovnoměrně tlak plynu (argon, helium). Nádoba je naplněna plynem pod určitým tlakem, který stoupá současně se zvyšováním teploty až na požadovanou hodnotu.



Obr. 1.8 Schéma kapsle pro HIP (25)

Výchozí materiály mají značnou pórovitost. Z tohoto důvodu musí být slinovaná tělesa před HIP obalena nepropustným materiálem, který zabrání pronikání plynu do pórů. Většinou se jedná o kontejner (patronu), který má stejný tvar jako konečný výrobek. Vytváří se tak homogenní struktura bez pórů. Výsledkem je nárůst houževnatosti, odolnosti proti únavě a jemnozrnná struktura. [11], [25]



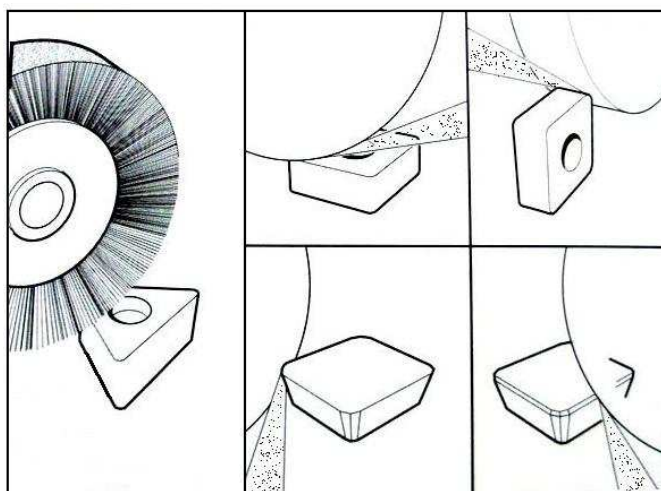
Obr. 1.9 Schéma stádií lisování prášku (25)

Nejčastěji užívané metody pro výrobu cermetů na bázi karbonitridu titanu, které probíhají ve vakuu, ochranné atmosféře N_2 nebo atmosféře Ar, jsou:[29]

- vysokoteplotní lisování
- vysokoteplotní izostatické lisování (HIP)
- slinování
- slinování v kombinaci s HIP

Konečná úprava

Pro určité oblasti použití dostává nástroj z cermetů konečnou podobu broušením. Vyměnitelné břitové destičky pro frézování kladou vysoké nároky na rovinnost dosedacích ploch nebo vyžadují speciálně nabroušenou fasetku na břitu. U soustružení jsou vytvořeny přesné rozměry a tvary utvařečů a fasetky již v lisovacím nástroji. Většinou mají VBD břity se zaobleným ostřím. Další úpravou je kartáčování, které má za následek zaoblení a stabilizaci ostří (dle způsobu použití od 20 do 100nm)[1]



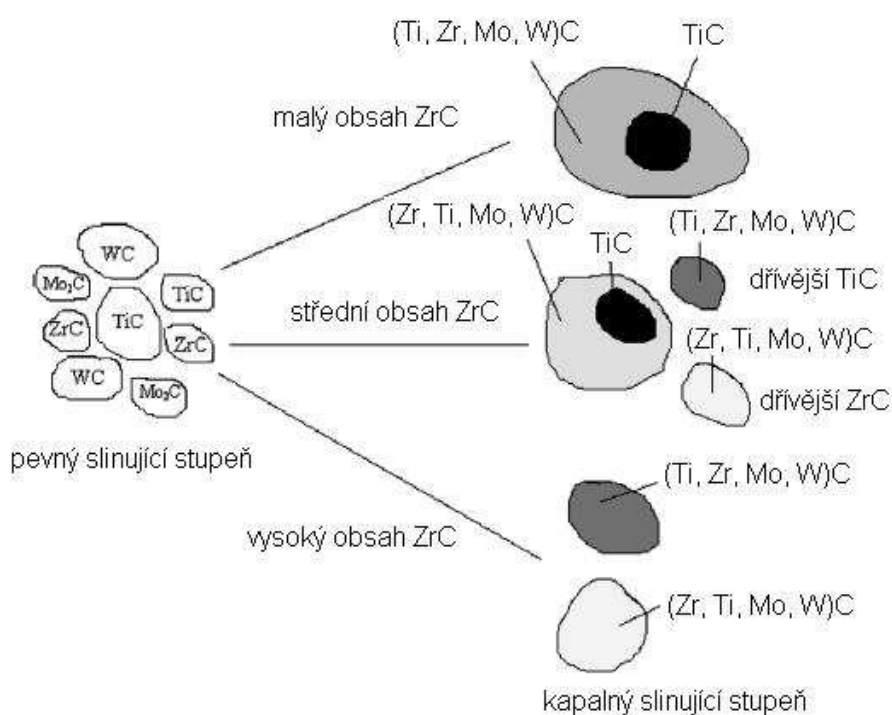
Obr. 1.10 Poslední úprava cermetových destiček (1)

Prvky ovlivňující výrobu

Pro výrobu cermetů se většinou používají binární tvrdé sloučeniny TiC, TiN, Mo_2C , WC a (Ta,Nb)C, které jsou promíchány s pojivem. Pojivo je tvořeno prášky Ni nebo Co, případně jejich směsí. Nikl je u cermetů používán jako základní pojivo. Kvůli snížení rozpustnosti Ti v Ni se často přidává kobalt. Poslední dobou je kobalt nahrazován značným množstvím chromu, který zlepšuje smáčivost, vysokoteplotní pevnost, houževnatost a odolnost proti oxidaci. Záleží ovšem na množství použitém chromu. Příliš velké množství vede ke ztrátě houževnatosti a v opačném případě nedosáhneme požadované výsledky.[29]

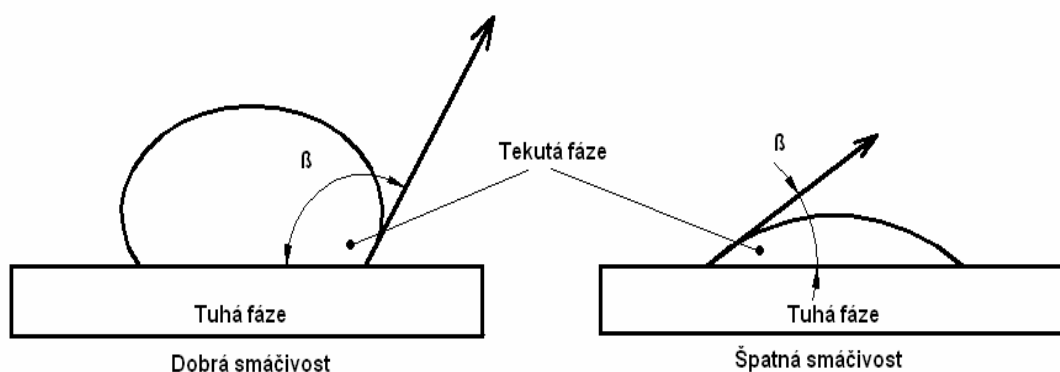
Základem pro výrobu kvalitního cermetu je vytvoření pevné vazby mezi tvrdými částicemi a pojivem. Na této skutečnosti závisí slinovatelnost a výsledné vlastnosti slinovaného tělesa. Dalším faktorem ovlivňující spojení je

smáčivost. Kvalitní spojení vyžaduje dobrou smáčivost, která je definována jako kontaktní úhel mezi zrny tvrdé fáze a tekutým kovem (obr. 1.12). Špatná smáčivost nastává v případě, že kontaktní úhel je větší než 90° . Dokonalá smáčivost vznikne, je-li kontaktní úhel roven 0° . Požaduje se, aby byla smáčivost co největší ($\beta \rightarrow 0$). Při splnění tohoto kritéria budou jednotlivé částice dokonale pokryté tekutou fází. Výzkumy prokázaly, že přidáním molybdenu nebo karbidu molybdenu se zlepšuje smáčivost mezi keramickou a kovovou fází, čímž jsou získány lepší mechanické vlastnosti a jemnější mikrostruktura. Smáčivost ovlivňuje skupenské teplo karbidů. Čím je menší, tím klesá i velikost smáčecího úhlu. Nejmenší hodnotu skupenského tepla má karbid molybdenu a proto má nejlepší smáčivost v roztaveném kovovém pojivu. V podstatě nezáleží, jestli je přidán samotný molybden nebo karbid molybdenu, protože během slinování začne reagovat s uhlíkem a vytvoří karbid molybdenu Mo_2C . Vedle smáčivosti zlepšuje i slinovatelnost, zvyšuje houževnatost, potlačuje tvorbu grafitu, snižuje velikost zrna, zamezuje rozpouštění $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ v tekuté fázi, zlepšuje pevnost za vysokých teplot. V podstatě se bez jeho přítomnosti neobejde výroba dnešních cermetů. Pro zlepšení smáčecích a slinovacích vlastností se přidává také WC jako sekundární karbid. Tím se zlepší lomová houževnatost a sníží se rychlost růstu zrna. [11], [25], [30], [6]



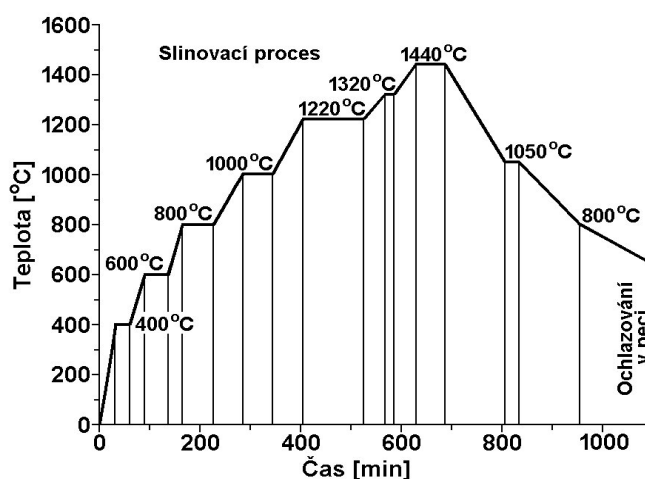
Obr. 1.11 Vliv obsahu ZrC na výslednou mikrostrukturu (30)

Přidáním ZrC se dosáhne čistší mikrostruktury, čímž se zlepší tažnost a houževnatost. Cermety obsahující ZrC mají delší životnost nástroje. Dalšími karbidy, které se přidávají k tomu, aby se dosáhlo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností jsou NbC , TaC , Cr_3C_2 . Ovšem velkým omezením při přidávání těchto karbidů je jejich křehkost, která negativně ovlivňuje obrábění s přerušovaným řezem a vysokorychlostní obrábění. [30]



Obr. 1.12 Schematicky znázorněná smáčivost (25)

Dalším faktorem ovlivňující výsledné vlastnosti cermetů je velikost zrna tvrdé fáze, která s narůstajícím časem roste exponenciálně. Hrubnutí zrna má za následek zhoršení mechanických vlastností, proto je doba slinování krátká. Slinovací teplota je závislá na teplotě tavení kobaltu (1495°C) a niklu (1455°C), aby proběhlo slinování za přítomnosti tekuté fáze. U cermetů na bázi karbonitridu titanu se slinovací teplota pohybuje v rozpětí 1400 až 1600°C .



Obr. 1.13 Slinovací proces cermetu (20)

Jiný problém nastává u cermetů na bázi $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$. Dochází zde k tzv. denitrifikaci (ochuzení o dusík). Vzniká při výrobě, kdy $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ mají tendenci se rozkládat a dusík se uvolňuje jako bubliny z důvodu reakce mezi pojivým kovem a karbonitridem. Při tomto procesu vznikají mikropóry a materiál ztrácí svoji homogenitu. Denitrifikace dále způsobuje zhoršení schopnosti slinování a pokles pevnosti. Lze tomu zabránit přidáním molybdenu, protože zlepšuje smáčivost a slinovatelnost. Ovšem přidáním většího množství molybdenu se zhoršuje obrobiteľnosť slinutého tělesa. Tento problém řeší metoda PSSS (pre – sintering solid – solution), která zachovává vysoký obsah dusíku a přitom snižuje potřebné množství molybdenu. Výsledkem je vysoká pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebení a současně dobrá obrobiteľnosť výsledného cermetového tělesa. [11], [12]

Novými technologiemi je možné z cermetů vyrobit poměrně velké celistvé nástroje, např. odvalovací frézu pro výrobu ozubení. Výroba ovšem přináší mnoho technických problémů, především rozměry frézy (průměr 70mm, délka 140mm) a složitý tvar s tolerancemi. Výrobní postup je takový, že se ze směsi prášků studeným izostatickým lisováním zhotoví polotovár - dutý válec. Požadovaného tvaru vnějšího průměru se dosáhne obráběním pomocí nástroje z polykrystalického diamantu na CNC soustruhu. Obrábí se s přídavkem na smrštění při konečném slinování. Slinování probíhá při teplotě 1580°C v argonové atmosféře (10MPa) po dobu 1 hodiny. Vytvoření čelní plochy zubů a dokončení povrchu boků zubů je realizováno elektrojiskrovým obráběním a broušením diamantovým kotoučem.[11]

1.1.3 Značení cermetů

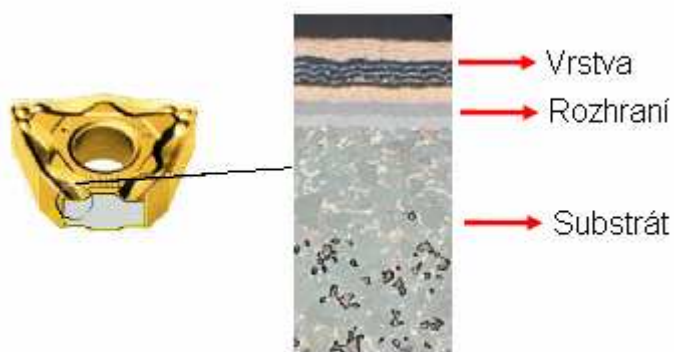
Obecně dle ČSN ISO 513 jsou cermety označovány symbolem HT, povlakované cermety společně s povlakovanými slinutými karbidy pak symbolem HC. Přehled značení jednotlivých řezných materiálů je uveden v tab.1.1. Značení jednotlivých druhů cermetů se pak liší u každého výrobce

Tab.1.1.Značení řezných materiálů dle ČSN ISO 513 (7)

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

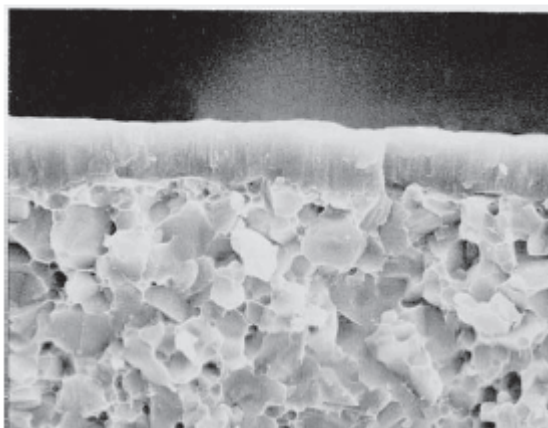
1.1.4 Povlakování cermetů

Cermety se stejně jako slinuté karbidy povlakuji z důvodu zvýšení řezné rychlosti, prodloužení trvanlivosti bříty a odolnosti proti tvoření plastických deformací. Mezi nejdůležitější mechanické vlastnosti vrstev patří mikrotvrdost a adhezivně – kohezivní chování systému tenká vrstva – substrát. Vedle těchto hodnot se uvádí také tribologické vlastnosti prezentované hodnotou koeficientu tření. Pro povlakování se používají dvě základní metody - CVD (chemical vapour deposition) a PVD (physical vapour deposition). Povlakováním cermetů je možné zvýšit řeznou rychlost o 20 až 50%. Tloušťka povlaku se pohybuje od 2 do 15μm. Povlakový materiál má jemnější zrnitost a neobsahuje žádné pojivo. Vrstva povlaku je vysoce tvrdá, odolná proti opotřebení a zamezuje tvorbě nárůstku na bříty nástroje.[11], [12]



Obr. 1.14 Schematický řez povlakovaným nástrojem (4)

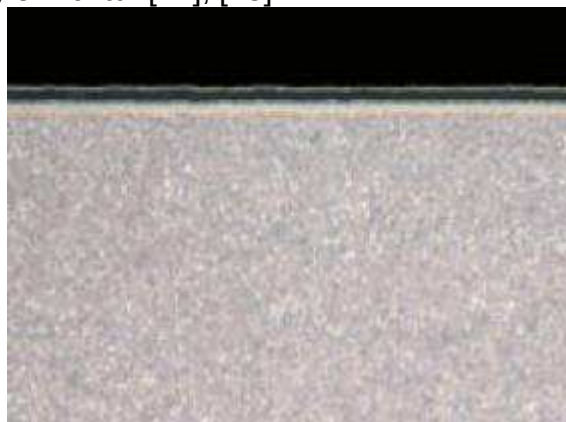
PVD – Povlak je nejčastěji vytvářen napařováním (materiál použitý k povlakování je odpařován) nebo naprašováním (bombardující ionty) v aktivním plynu (dusík nebo plyn obsahující uhlík). Dochází k reakci plynu s kovovými výpary a vzniká chemická sloučenina, která vytvoří na nástroji povlak. Děj probíhá v komoře za vysokých vakuových podmínek při nízkých teplotách (150 až 500°C). Povlak je obvykle tvořen těmito prvky: TiN, AlTiN, TiAlN, CRN, CrCN, TiCN a ZrN. Povlaky mohou být uloženy v mono nebo multi vrstvách. Tato metoda umožňuje povlakovat velikou škálu nástrojů (oceli, karbidy, plasty). Proces má vysokou produktivitu (krátká doba vytvoření povlaku). K nevýhodám patří složitý vakuový systém a nutnost pohybu povlakovanými předměty z důvodu rovnoměrného povlaku po celé jejich ploše. PVD vrstva u cermetů zaručí při vyšší houževnatosti lepší odolnost proti opotřebení a zpomalí opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu.[11], [15]



Obr. 1.15 Povlak TiAlN vytvořen metodou PVD (18)

CVD – Probíhá za teploty 1000 až 1200°C. Tloušťka povlaku se obvykle pohybuje od 5 do 12 μm, v některých případech 20 i více mikrometrů. Tvorba povlaku je realizována ve čtyřech variantách a to tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná, elektronově indukovaná, fotonově indukovaná. Povlaky jsou obvykle tvořeny vrstvami TiC, TiCN, TiN, Al₂O₃, které jsou téměř vždy uloženy jako multi-vrstvy TiC / TiN a TiCN / Al₂O₃ nebo TiCN / Al₂O₃ / TiN. Součásti, které mají být povlakovány, nevyžadují rotační pohyb. Dále je možné povlakovat součásti, které mají složitou geometrii včetně některých

vnitřních průměrů. Povlak vytvořený metodou CVD, který se používá u karbidů typu WC, je pro cermety nevhodný. Má za následek vznik vlasových trhlinek a následný výlom břitů. [11], [15]



Obr. 1.16 Multivrstvý povlak TiN+Ti(C,N)+Ti(C,N)+Al₂O₃+Ti(C,N,B) vytvořen CVD metodou (4)

Tab.1.2. CVD povlaky (15)

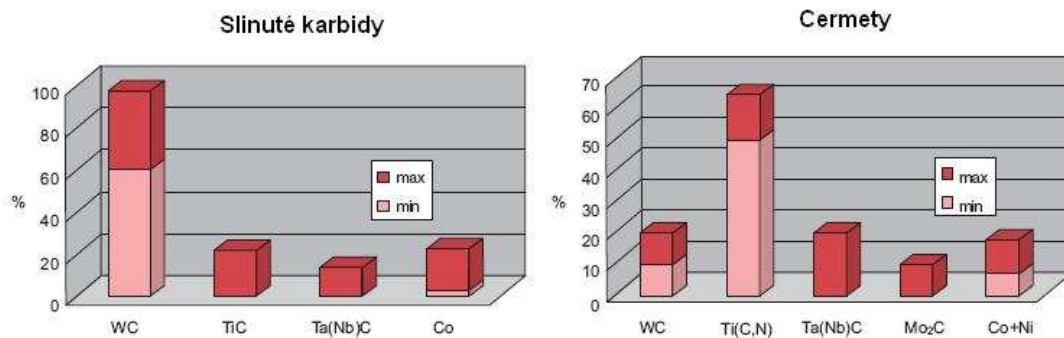
Název firmy	Povlak	Materiál	Tvrdost [HV]	Tloušťka [μm]	Barva
Ionbond	U1	TiN+Ti(C,N)+TiN	2600	5 až 9	zlatá
	U3	TiN+TiC+TiN	2600	3	zlatá
	HSA/Bernex SpeedCut	α-Al ₂ O ₃	3000	13	černá

Tab.1.3. PVD povlaky (15)

Název firmy	Povlak	Materiál	Tvrdost [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

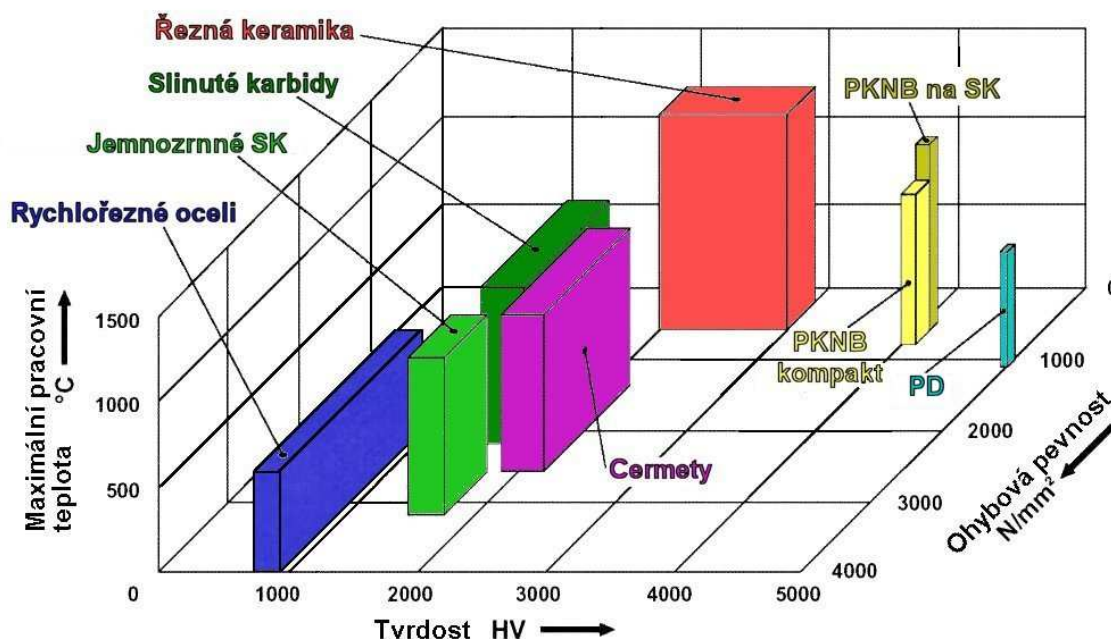
1.2 Vlastnosti cermetů

Obecně lze vlastnosti cermetů charakterizovat tak, že mechanické vlastnosti (tvrdost, houževnatost odolnost proti opotřebení, chemická stálost, atd.) a fyzikální vlastnosti (hustota, tepelná vodivost, atd.) se mění v závislosti na obsahu jednotlivých prvků. Tyto vlastnosti se mohou měnit jak obsahem primárních karbidů TiC, TiN a Ti(C,N), tak obsahem sekundárních karbidů WC, TaC, NbC, Cr₃C₂, ZrC, atd, ale i množstvím použitého pojiva.



Obr. 1.17 Porovnání obsahu jednotlivých prvků (3)

Karbonitrid titanu je charakteristickým prvkem cermetů, který má vysokou termodynamickou stabilitu a velice malé schopnosti k tomu, aby se vázal s železnými materiály. Většina výhod cermetů vyplývá z této skutečnosti.

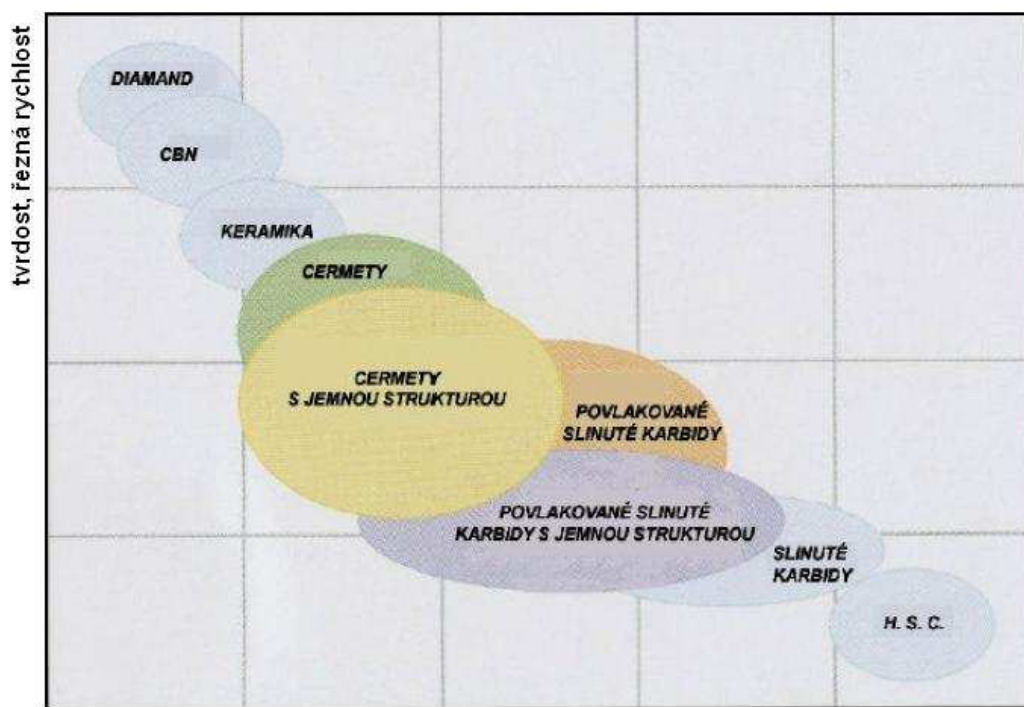


Obr. 1.18 Vlastnosti jednotlivých řezných materiálů (28)

Tab. 1.4.Druh materiálu a jeho vlastnosti

Materiál	Tvrдост HV	Tepelná vodivost [W/m.K]	Délková roztažnost [$10^6 K^{-1}$]
Diamant	> 9000	2100	3,1
CBN	>4500	1300	4,7
Si ₃ N ₄	1600	100	3,4
Al ₂ O ₃	2100	29	7,8
TiC	3200	21	7,4
TiN	2500	29	9,4
TaC	1800	21	6,3
WC	2100	121	5,2

Tvrдост cermetů zvyšuje TiC, zatímco TiN zvyšuje odolnost proti opotřebení. Přidání TaC a NbC se zvyšuje pevnost a odolnost proti opotřebení za vysokých teplot.



Obr. 1.19 Porovnání řezných vlastností jednotlivých materiálů (16)

1.2.1 Fyzikální vlastnosti cermetů

Měrná hmotnost

Hlavní podíl na výsledné měrné hmotnosti má obsah karbidů TiC, TiN a obsah pojivé fáze Ni, Co. Měrná hmotnost karbidů je celkem nízká (cca 5 g.cm^{-3}), ovšem celkovou měrnou hmotnost zvyšuje pojivá fáze Ni a Co (cca

8,9 g.cm⁻³). Nemalý vliv mají i sekundární karbidy, které jsou do cermetů přidávány. Obecně se rozsah měrné hmotnosti pohybuje od 5,5 do 7,5 g.cm⁻³.

Tepelná vodivost

Cermety mají obecně malou tepelnou vodivost, která je ovlivněná množstvím TiC a TiN. S rostoucím obsahem karbidů klesá i tepelná vodivost. Ovšem se zvyšujícím se obsahem dusíku stoupá i tepelná vodivost. Malá tepelná vodivost může při výkyvu teploty vyvolat vznik trhlin způsobené tepelným napětím. Je-li použita chladicí kapalina, musí být přiváděna v dostatečném množství přesně do místa řezu, aby nedošlo k výkyvu teploty. Hodnoty tepelné vodivosti se pohybují v rozmezí od 10 do 45 [W.m⁻¹.K⁻¹] v závislosti na druhu cermetu.

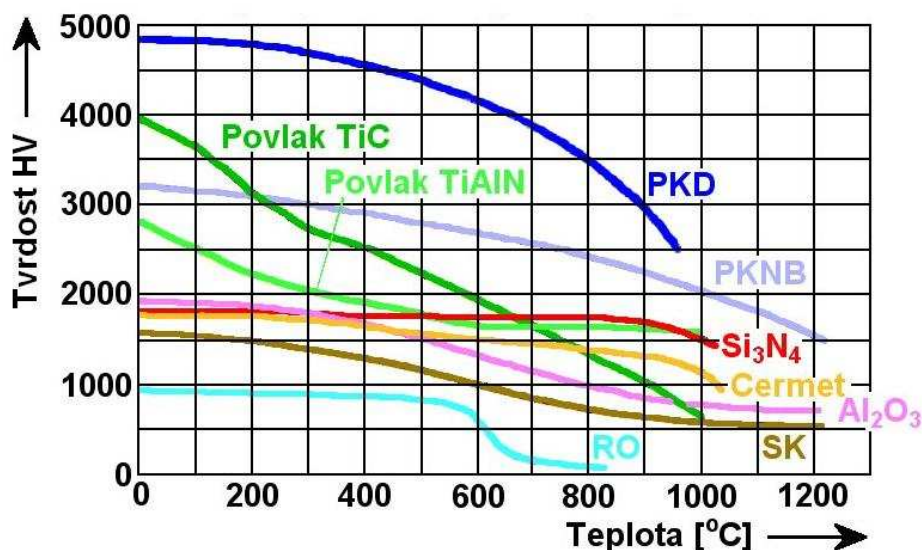
Délková roztažnost

Součinitel délkové roztažnosti mírně roste s obsahem TiC. Cermety mají délkovou roztažnost mírně vyšší než slinuté karbidy. Pohybuje se v rozmezí od 7,8 do 9,5 [10⁶K⁻¹]

1.2.2 Mechanické vlastnosti cermetů

Tvrdost

Na tvrdost má vliv obsah TiC, TiN, jemná struktura a karbidy tvořící přísady. S rostoucím obsahem dusíku, tedy i TiN, se snižuje tvrdost. Se vzrůstajícím procentem uhlíku a TiC tvrdost roste. S rostoucí teplotou tvrdost cermetů klesá.

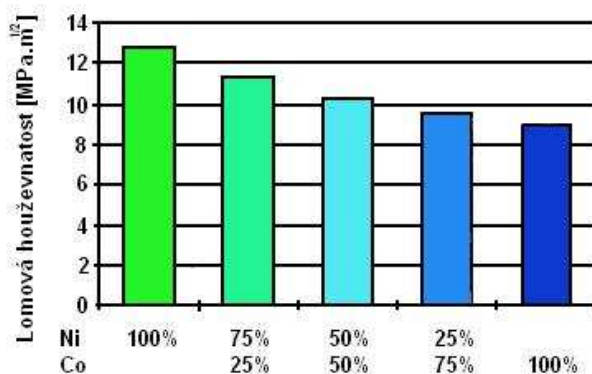


Obr. 1.20 Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě (16)

Lomová houževnatost

Cermety mají obecně nižší houževnatost než slinuté karbidy, což se projevuje jejich rozsahem použití. Nehodí se zejména na obrábění s přerušovaným řezem a proměnlivou šířkou záběru. Ve vývoji jsou však už

cermety s vyšší houževnatostí. Na houževnatost má vliv TiN a poměr složení pojiva Ni/Co. S rostoucím obsahem TiN roste houževnatost. Maximální lomová houževnatost a pevnost v ohybu se dosahuje u cermetu b (obr. 1.22). Pro stanovení lomové houževnatosti cermetů slouží experimentální vzorec.



Obr. 1.21 Vliv složení pojiva na lomové houževnatosti (9)

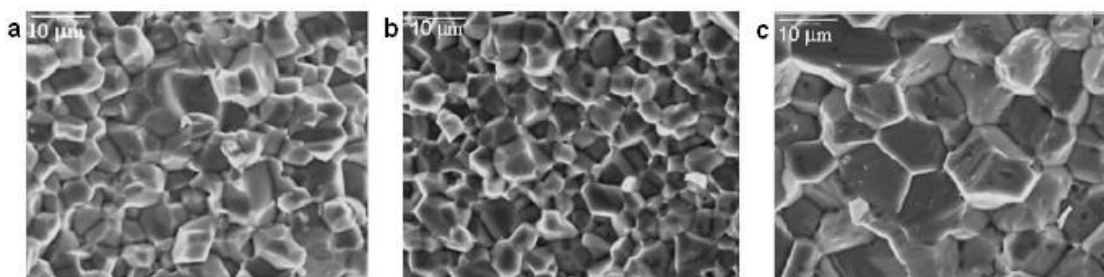
Lomová houževnatost (6):

$$K_{IC} = 0,0889 \left(\frac{HV_{03} \cdot F}{4d} \right)^{\frac{1}{2}} [MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}] \quad (1.2)$$

kde: HV_{03} ... tvrdost dle Vickerse [MPa]

F síla vtisku [N]

d střední velikost úhlopříčky vtisku špičky jehlanu [mm]



Obr. 1.22 Povrch lomu cermetu s různým chem. složením. (a) $TiC_{0,3} N_{0,7}$ (b) $TiC_{0,5} N_{0,5}$ and (c) $TiC_{0,7} N_{0,3}$. (6)

1.2.3 Porovnání vlastností pozorovaných cermetů

Byly porovnávány čtyři druhy cermetů na bázi TiC a TiN s různým chemickým složením, které jsou uvedeny v tab. 1.5. Cermety založené na této bázi jsou nejčastěji používaným materiálem pro výrobu rezných nástrojů.

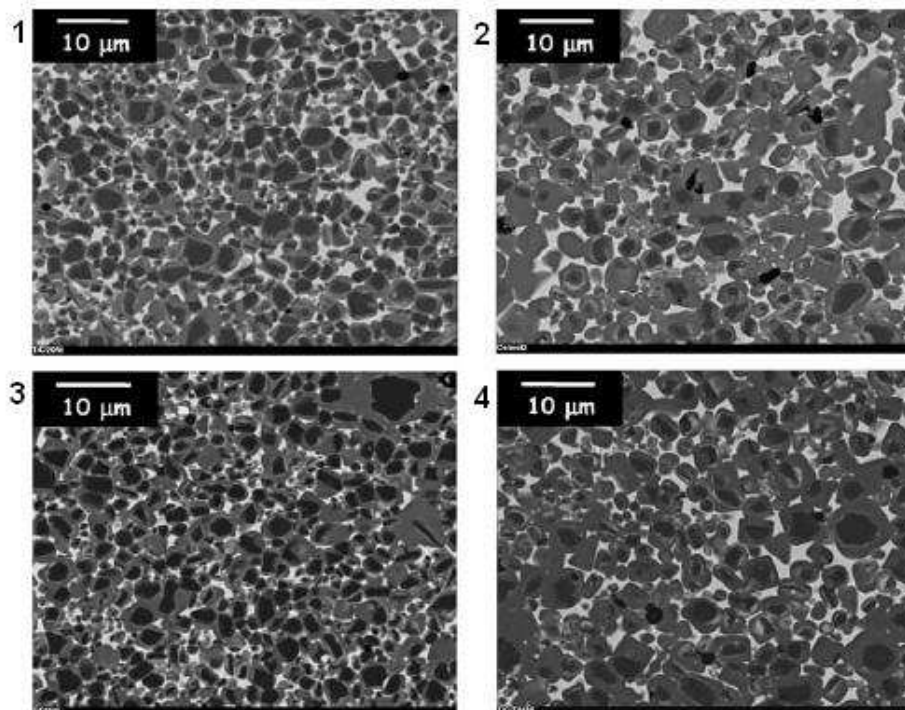
Obsah pojiva ovlivňuje modul pružnosti, který s jeho rostoucím obsahem klesá. To dokazuje i porovnání modulů pružností jednotlivých složek. Ovšem zlepšuje se pevnost v ohybu a houževnatost.

$$E_{\text{TiN}} = 450 \text{ [GPa]}$$

$$E_{\text{TiC}} = 470 \text{ [GPa]}$$

$$E_{\text{Ni}} = 215 \text{ [GPa]}$$

Nejlepší výsledky z porovnávaných cermetů dosahuje cermet 4, kde je nejlepší poměr mezi tvrdostí a houževnatostí.



Obr. 1.23 Struktura jednotlivých vzorků(6)

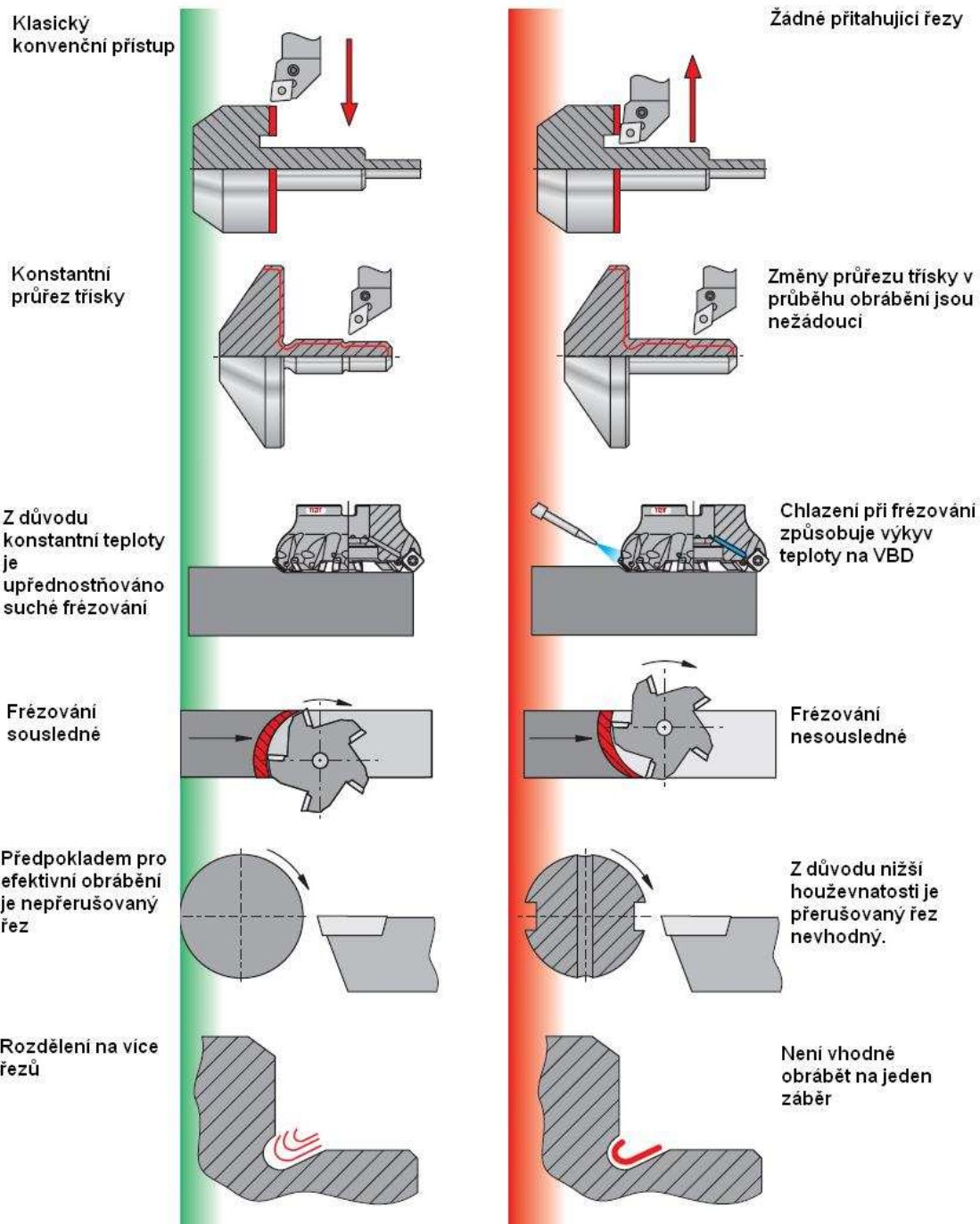
Tab.1.5 Vliv chemického složení na vlastnosti cermetů (6)

Cermet	TiC [%]	TiN [%]	Mo ₂ C [%]	Ni [%]	E [GPa]	HV ₀₃ [kg/mm ²]	Kc [MPa.m]	Hustota [g/cm ³]
1	70	0	10	20	400	1360	13,8	5,58
2	60	10	10	20	390	1235	14,2	5,56
3	75	0	10	15	410	1520	10,3	5,42
4	65	10	10	15	396	1420	13,6	5,41

1.3 Aplikace cermetů

Obecně lze říci, že stabilita procesu a nepřerušovaný řez jsou pro cermety ideální podmínky při obrábění. Většinou se nasazují při velkých řezných rychlostech, malých hloubkách řezu a posuvech, obvykle tam, kde se požaduje vysoká přesnost rozměrů a jakost obrobeného povrchu. Výsledná jakost obrobeného povrchu je tak dobrá, že odpadá operace broušení. Převážně jsou nasazovány hlavně pro dokončovací a lehké hrubovací operace s hloubkou řezu 0,5 až 2,5 mm a velikostí posuvu 0,1 až 0,25 mm/ot. Nedo-
poručuje se obrábět neželezné kovy (hliník, mosaz, atd) a žárovevné materi-
ály. S výhodou se využívají při sériové a hromadné výrobě z důvodu dlouhé
trvanlivosti a ostrosti břitu, takže není nutná častá výměna nástroje, čímž se

zkrátí neproduktivní časy. Vysoká tepelná odolnost umožňuje cermetům nasazení při vysokorychlostním obrábění, čímž se redukuje strojní časy. Lze dosáhnout vysokého výkonu bez použití povlaku, což usnadňuje znovu naostření nástroje. Použitím povlakovaného cermetu se výkon zvětšuje. Vyznačují se dlouhou životností nástroje, která snižuje náklady na obrábění. Odolnost proti opotřebení zaručí rozměrovou přesnost při sériové výrobě.[1],[12], [3]

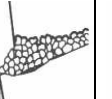
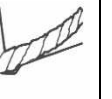
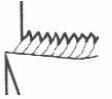


Obr. 1.24 Příklady správného a nesprávného použití cermetů(3)

Oblast použití dle klasifikace ISO

Klasifikace ISO je vhodná při volbě rezného materiálu pro určitý případ použití. Materiály rozděluje do několika skupin, kde každá skupina představuje materiály s určitými vlastnostmi. Ovšem nijak nespecifikuje rezný materiál. Podrobnější informace je nutné zjistit z popisu výrobce. Tabulka 1.6 obsahuje sedm nejdůležitějších materiálových skupin. Klasifikace ISO je neustále aktualizována.

Tab.1.6. Rozdělení materiálů (1)

ISO	P	M	K	M	K	K	M
	1	2	3	4	5	6	7
Druh třísky							
Rezný materiál	GC,C, CT, CK	GC,C CT	GC,C, CT,CK	GC,C, CK, CB	C, CD	CB,CT, C,GC	CB, GC

- 1 – materiály tvořící dlouhou třísku, např. většina ocelí
- 2 – korozivzdorné oceli
- 3 – materiály tvořící krátkou třísku, např. šedá litina
- 4 – žárupevné materiály
- 5 – měkké materiály
- 6 – tvrdé materiály, např. tvrzená litina
- 7 – titan

GC – povlakované slinuté karbidy; C – nepovlakované slinuté karbidy;
CT – cermety; CK – rezná keramika; CB – polykrystalický kubický nitrid bóru;
CD – polykrystalický diamant.

Modrá P – označuje obráběný materiál, který tvoří dlouhou třísku, např. ocel, ocelolitinu, korozivzdornou ocel.

Žlutá M – označuje obrábění austenitických korozivzdorných ocelí, žáruvzdorných materiálů, manganových ocelí, legované druhy litin.

Červená K – označuje obrábění materiálů, které tvoří krátkou třísku jako je šedá litina, kalená ocel, neželezné materiály jako je hliník, bronz.

Ke každé skupině jsou uvedena čísla, které poskytují informace o požadavcích na obrábění. Počátek je značen číslem 01, které zastupuje dokončovací operace velkými reznými rychlostmi, malým posuvem a malou hloubkou řezu. Pokračuje přes oblast použití s číslem 25 určenou pro střední obrábění a dokončování ve středním rozsahu rezných podmínek. Konečnou skupinou je číslo 50, které je určeno pro hrubování při nízkých rezných rychlostech, velkém průřezu třísky a střídavém mechanickém zatížení. Požadavky na odolnost proti opotřebení s rostoucím číslem klesají a požadavky na houževnatost rostou, resp. možnost zvýšení posuvu a hloubky řezu. [1],[8]

Oblast použití cermetů pro soustružení je od P01 (soustružení na čisto, jemné vyvrtávací operace, vysoké řezné rychlosti, malé průřezy třísek, vysoká jakost obrobeného povrchu, úzké tolerance rozměrů) po P30 (střední řezné rychlosti a průřezy třísek, čelní soustružení při malém průřezu třísky), od M05 (dokončovací operace, vysoké řezné rychlosti) po M15 (střední řezné rychlosti, malé až střední průřezy třísek) a od K01 (soustružení na čisto) po K20 (střední rychlosti). Při soustružení malých, přesně definovaných přídavek na obrábění s použitím středních až vysokých řezných rychlostech a středních posuvech se dává přednost cermetům z důvodu trvanlivosti břitu a jakosti obrobeného povrchu.[1],[9]

Pro frézování se oblast pohybuje od P01 až po P30 (střední až velký průřez třísky) a od M01 po M25.

Základní podmínky pro použití cermetů jsou: vysoká řezná rychlost, malé posuvy a relativně velké a stejnoměrné hloubky řezu. Se zvýšením houževnatosti cermetů je možné frézování austenitických a korozivzdorných ocelí. Cermet jako řezný materiál pro frézování je v mnoha případech výhodný, protože vytváří zrcadlově lesklý povrch, takže může odpadnout operace broušení.[1]

Vyměnitelné břitové destičky z cermetu a jejich použití:

Destičky z cermetů jsou schopny pracovat při velkých řezných rychlostech při udržení vysoké přesnosti rozměrů po celou dobu trvanlivosti břitu a vytvářejí plochy s vynikající jakostí povrchu. VBD z cermetů slouží k obrábění na čisto a operace středního obrábění, pro soustružení, vrtání, frézování, pro výrobu zápchů a řezání závitů. Při správném použití dosahují výborných výsledků obrábění a současně vysokou produktivitu. Při nízkých řezných rychlostech a teplotách břitu se mohou používat druhy s vyšší houževnatostí a to i v oblasti, kde dochází k nalepování materiálu na břit, např. při obrábění děr malých průměrů. Dále se doporučuje používat cermetu u operací a materiálů, které usnadňují vznik nárůstu. Důležitým aspektem pro volbu VBD z cermetů je záruka kontrolovaných podmínek obrábění. Řezné podmínky, stabilita a malé kolísání řezných sil jsou důležité pro dosažení dobrých výsledků obrábění. Tyto vlastnosti jsou předpokladem pro bezobslužný provoz při obrábění kovů.[1], [3]

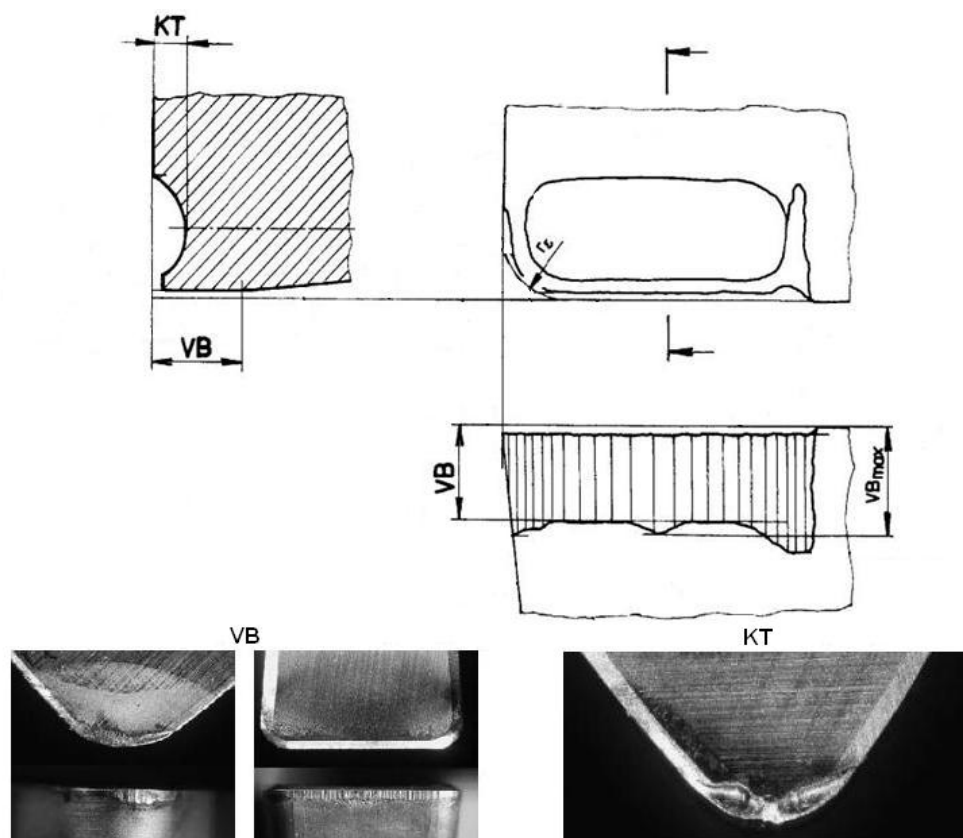
V případech kdy dochází k drastickému nárůstu namáhání břitu, je doporučováno snížení velikosti posuvu a hloubky řezu o 50%. Nedoporučuje se obrábění do bezprostřední blízkosti osazení z důvodu vysokého nároku na břit. Dalším negativně působícím vlivem jsou výkyvy řezných sil, které jsou způsobeny při obrábění materiálů s tlustou kovací kůrou, materiálovými vměstky a při nestabilitě stroje.

Při volbě využití cermetů je nutné zohlednit také geometrii a tvar břitu, poloměr špičky, které v mnoha případech vyrovnají jejich menší houževnatost.[1]

2 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Řezivost je vlastnost nástroje, kterou je možno charakterizovat jako schopnost nástroje obrábět za daných pracovních podmínek efektivním způsobem, nebo-li vhodnost řezného materiálu k danému obrábění. Úzce souvisí s obrobiteľností, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nástroje. Nemaľý vliv mají i řezné podmínky, geometrie nástroje, druh obrábění. Důležitým faktorem řezivosti je materiál nástroje. Řezivost se mění podle druhu obráběného materiálu. Při zkoušce řezivosti se porovnávají řezné materiály stejné skupiny od různých výrobců s jedním obráběným materiálem. Jsou sledovány změny břitu nástroje při vlastním řezání. Řezivost úzce souvisí s trvanlivostí.

Kritéria pro hodnocení řezivosti vychází z $T-v_c$ závislosti, která se stanoví z intenzity opotřebení břitu. Postup při stanovování $T-v_c$ závislosti pro konkrétní řezný nástroj - obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. [13], [8]



Obr. 2.1 Nejčastější kritéria opotřebení břitu (14)

Trvanlivost je definována jako součet čistých časů řezání od naostření až po předepsanou hodnotu opotřebení břitu nástroje. Opotřebení břitu nástroje je předem stanoveno hodnotou vybraného kritéria. Ne vždy se musí jednat o kritéria uvedená na obr.2.1, ale např. drsnost povrchu obrobku.

Trvanlivost nástroje závisí na několika faktorech:

- metodě obrábění (frézování, soustružení, atd.)
- druhu obráběného materiálu
- druhu nástrojového materiálu
- řezných podmínkách (řezná rychlost, hloubka řezu, rychlost posuvu)

Největší vliv na trvanlivost z řezných podmínek má řezná rychlost. Z toho vychází $T-v_c$ závislost (Taylorův vztah), která má tvar:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} [\text{min}] \quad (2.1)$$

kde: C_T ...konstanta [-]
 v_c ...řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
 m ...exponent [-]

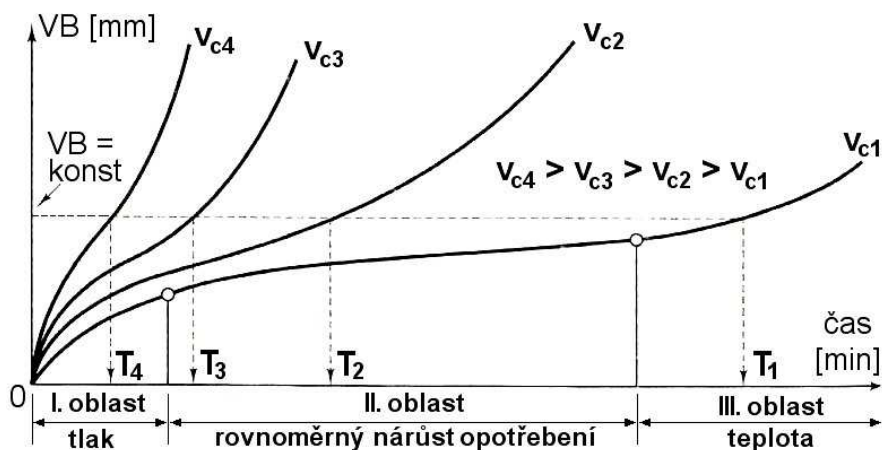
Vzhledem k vysoké hodnotě konstanty C_T se častěji používá tvar:

$$v_c = \frac{C_V}{T^{1/m}} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.2)$$

$$C_V = C_T^{1/m} [-] \quad (2.3)$$

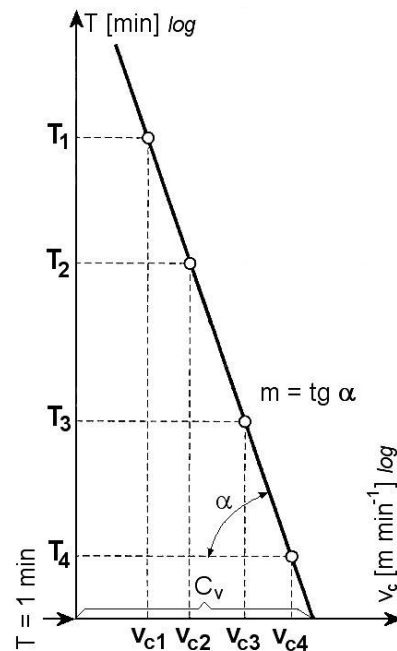
Postup stanovení T-v závislosti

Daný materiál se obrábí konkrétním nástrojem za konstantních řezných podmínek minimálně třemi různými řeznými rychlostmi. Přitom se sleduje narůstající opotřebení nástroje (např. VB) v čase. Z těchto hodnot se vytvoří závislost $VB=f(t)$. Řezné rychlosti se volí v souladu s ČSN 01 0201. Pro zvolenou hodnotu VB se odečtou hodnoty trvanlivosti T_1 až T_4 , které odpovídají zvoleným řezným rychlostem.



Obr. 2.2. Nárůst opotřebení v čase (14)

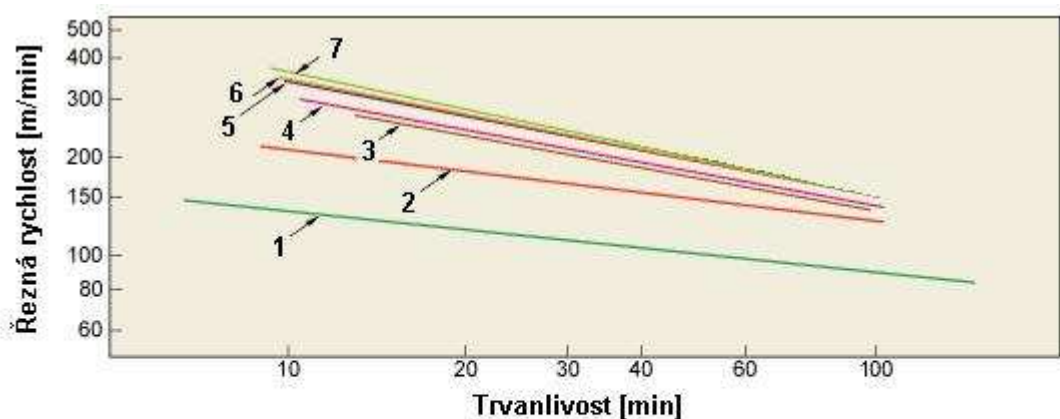
Do diagramu, který má logaritmické souřadnice se vynesou hodnoty řezných rychlostí v_{c1} až v_{c4} a trvanlivostí T_1 až T_4 , kde vytvoří přímku, která odpovídá hodnotě VB.



Obr. 2.3 $T-v_c$ závislost (14)

Z výsledného grafu lze odečíst hodnotu konstanty C_v na ose v_c při $T=1\text{min}$, hodnotu konstanty C_T na ose T při $v_c=1\text{ mm}^{-1}$. Exponent m vyjadřuje směrnici přímky $m=\text{tg}\alpha$, charakterizuje vlastnosti řezného nástroje.

Rychlořezné oceli	$m = 8 - 5$
Cermety a slinuté karbidy	$m = 5 - 2,5$
Řezná keramika	$m = 2,5 - 1,5$



Obráběný materiál: DIN Ck45 180HB

Kriterium: $VB = 0,3\text{mm}$

Hloubka řezu: $1,5\text{mm}$

Posuv na otáčku: $0,3\text{mm}$

Obrábění za sucha

Obr. 2.4 $T - v_c$ závislosti slinutých karbidů a cermetů (22)

1 – SK bez povlaku (90,5 HRA); 2 – SK povlakovaný (89 HRA); 3 – SK povlakovaný (89,2 HRA); 4 – Cermet (92,2 HRA); 5 – SK povlakovaný (90 HRA); 6 – Cermet povlakovaný (-); 7 – SK povlakovaný (90,5 HRA)

V některých případech nelze ovšem jen s kritériem VB vystačit. Proto se používají i jiná kritéria jako je VC, KT. Výsledná T- v_c závislost se potom skládá z několika úseků a není již spojitá.

Pro rychlé orientační posouzení řezivosti nástroje slouží hodnota intenzity opotřebení. S narůstající řeznou rychlostí roste intenzita opotřebení bříty. Výhodou je krátký čas pro provedení zkoušky. Jednoduše se stanoví např. podle vztahu:[13],[27]

$$J = \frac{VB}{v_c \cdot T} \quad [\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2.3)$$

kde: VB...šířka fasetky opotřebení na hřbetě nástroje [mm]

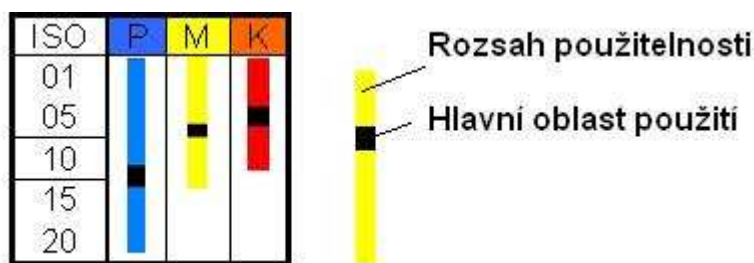
v_c ... řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

T... trvanlivost nástroje [min]

3 ZASTOUPENÍ CERMETŮ V SORTIMENTU NEJVÝZNAMĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

Cermety mají své místo téměř u všech producentů nástrojů a nástrojových materiálů a to díky svým charakteristickým vlastnostem v určitých obráběcích operacích, kde je vyzdvihován poměr výkon/cena.

Byly vybrány cermety od čtyř výrobců: Kyocera, Ceramtec, Ceratizit a NGK Spark plugs. Byly popsány jejich vlastnosti a oblast použití. Jejich vzájemné porovnání bylo provedeno pomocí ISO klasifikace.



Obr. 3.1 Příklad rozdělení cermetů dle ISO klasifikace

3.1 Kyocera

Firma pochází z Japonska a vedle výroby řezných materiálů se zabývá také např. výrobou průmyslových keramických výrobků a polovodičových zařízení. Z řezných materiálů vyrábí slinuté karbidy, cermety, keramiku, diamant, polykrystalický nitrid bóru, povlakované slinuté karbidy (metoda PVD a CVD) a povlakované cermety (metoda PVD).

V roce 2007 Kyocera ohlásila, že podepsala licenční smlouvu s americkou firmou Kannametal Inc. Cílem smlouvy je posílení pozic v určitých zeměpisných oblastech a také vzájemné doplnění produktového sortimentu obou společností.

Kyocera je známá jako přední výrobce cermetů, které má zastoupeny v několika druzích. Cermety se používají především při soustružení, ale ve všech řadách cermetů – TN, TC i PV - jsou zastoupeny materiály s vysokou odolností proti rázům a tepelným šokům, které byly vyvinuty pro některé hrubovací soustružnické operace a zejména pro frézování.



Obr. 3.2 Cermety firmy Kyocera, zlatý PV7020, stříbrný TN6020
(18)

Cermety:

TN6020 – cermet na bázi TiCN s jemnou mikrostrukturou s vysokým obsahem dusíku. Má vynikající odolnost proti opotřebení a houževnatost

TN30 – cermet určený pro obrábění všech druhů ocelí a litin vysokými řeznými rychlostmi, kdy je požadován kvalitní obrobený povrch.

TN60 – univerzální, tzv. integrovaný cermet pro dokončovací a polohrubovací soustružení se zvýšenou houževnatostí a odolností při vyšších teplotách. Používá se k obrábění ocelí, nerez ocelí, litin a barevných kovů. Vyznačuje se vynikající kvalitou obrobeného povrchu a přesností

TN90 – houževnatý cermet určený pro upichování a zapichování. Vynikající kvalita obrobeného povrchu a přesnost.

TN100M – houževnatý cermet na bázi TiCN+NbC s vysokou odolností proti tepelným rázům. Pro frézování ocelí a nerezových ocelí.

TC40 – cermet určený především pro upichování a tvorbu zápichů, ale vhodný je také pro tvorbu závitů.

TC60 – pro frézování, tvorbu zápichů a závitů je navržen tento cermet.

Povlakované cermety:

PV7020 – tento cermet je opatřen multi PVD vrstvou, která je velice jemnozrná. Tato vrstva zlepšuje odolnost proti opotřebení při vysokých rychlostech obrábění.

PV30 – cermet dosahující dobré pevnosti a trvanlivost ostří. Vhodný pro oceli a litiny při vysokých rychlostech obrábění

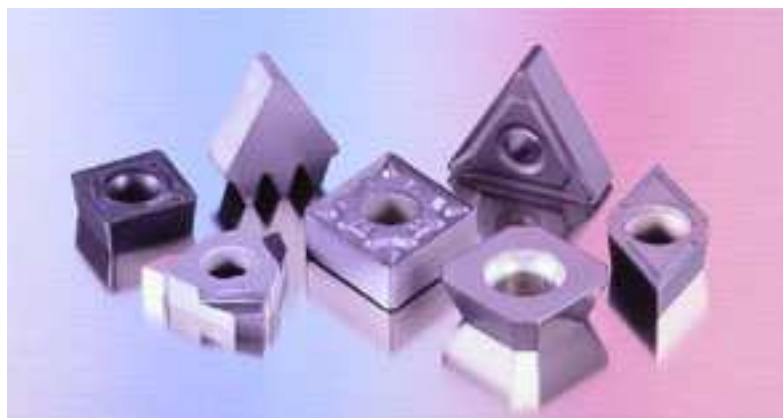
PV60 – cermet vykazující efektivnost při dodržení vysoké kvality obrábění

Tab.3.2. Oblast použití dle klasifikace ISO (18)

Označení cermetu	TN6020			TN30			TN60			TN90		
ISO	P	M	K	P	M	K	P	M	K	P	M	K
01	■	■		■		■	■	■		■		
05	■	■		■		■	■	■		■		
10	■	■		■		■	■	■		■	■	
15	■	■					■	■		■	■	
20	■	■					■	■		■	■	

3.2 CeramTec

Společnost Ceramtec má mnoho poboček po celém světě ve výrobních provozech v USA, Asii a Evropě. Jedna z poboček se nachází v České republice v Šumperku. Tato pobočka se specializuje na výrobu produktů z karbidů křemíku. Výrobny zahrnují velký sortiment produktů. Výkonné keramické materiály jsou používány jako součásti strojů, systémů a v lékařství. Je jedním z vedoucích světových výrobců vysoce výkonných výrobků z keramických materiálů z dlouholetou tradicí. Veliké zastoupení mají součásti z keramiky. Vedle toho se specializuje také na výrobu řezných materiálů, z nichž převažují nástroje z keramiky. Zabývá se ale i výrobou řezných materiálů z cermetů.



Obr. 3.4 Vyměnitelné břitové destičky z cermetů (2)

Cermety:

SC 60 – tento cermet je určený pro frézování na dokončovací práce, vhodný pro oceli a tvárné litiny.

SC 40 – cermet navržen pro upichovací operace. Je určen pro obrábění polotovarů z oceli a litiny.

SC 35 – cermet pro všeobecné použití při dokončování výrobků z oceli a nerezové oceli. Dostupný v široké škále různých geometrií.

SC 15 – vhodný cermet pro jemné soustružení polotovárů z oceli a nerezové oceli.

Povlakované cermety:

SC 7015 – tento cermet je opatřen povlakem Al_2O_3 . Vhodný pro dokončování a lehké hrubovací operace. Obráběné materiály jsou ocel a litina.

SC 7035 – Povlak TiAlN . Obráběné materiály jsou nerezová ocel, litina, tepelně zpracovaná ocel (cementovaná). Používá se pro dokončování a lehké hrubovací operace.

SC 8015 – Tento cermet je opatřen multi vrstvou $\text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3$. Vyznačuje se vysokou odolností proti opotřebení a vysokou řeznou rychlostí. Vysoká jakost obrobeného povrchu při dodržení vysoké přesnosti. Dokončování polotovárů z ocelí a litin.

Tab.3.3. Oblast použití dle klasifikace ISO (2)

Označení cermetu	SC 8015			SC 7035			SC 7015			SC 60		
ISO	P	M	K	P	M	K	P	M	K	P	M	K
01												
05												
10												
15												
20												
25												
30												
Označení cermetu	SC 40			SC 35			SC 15			-		
ISO	P	M	K	P	M	K	P	M	K	P	M	K
01												
05												
10												
15												
20												
25												

3.3 Ceratizit

Společnost je špičkovým světovým producentem řezných materiálů a nástrojů s pobočkami po celém světě. Její jméno vzniklo spojením dvou firem v roce 2002. Jednalo se o společnosti CERAMETAL a PLANSEE TIZIT. Obě

firmy mají dlouholetou zkušenost při výrobě tvrdých řezných materiálů. Firma Cerametal byla založena roku 1931 v Luxemburku a firma Planse roku 1921 v Rakousku. Firmu Planse založil pan Schwarzkopf s původním názvem Metallwerk Plansee v tyrolském městě Reutte.

Společnost Ceratizit je zaměřená na určité obory na trhu, jako jsou automobilový průmysl, letecký průmysl, petrochemický průmysl, průmysl všeobecného strojírenství, energie a transport, polotovary pro výrobce precizních nástrojů. Společnost je špičkovým světovým producentem řezných materiálů a nástrojů s pobočkami po celém světě. V rakouské Plansee byly cermety původně vyvinuty a kolem roku 1931 zde byly také patentovány.

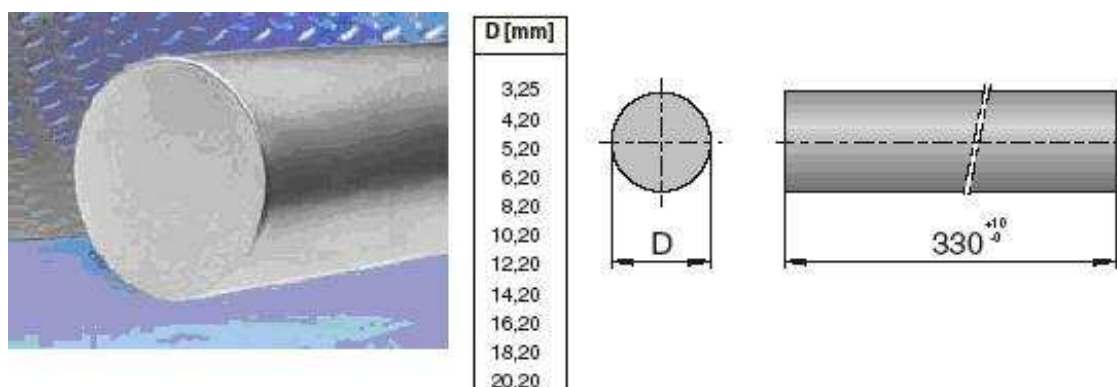
Sériové produkty značky Ceratizit v České republice nabízí od roku 2005 dceřinná obchodní společnost WNT se sídlem v německém Kemptenu, která má v České republice pobočku.

Cermety:

TCM407 – cermet vyznačující se maximální odolností proti opotřebení za vysoké teploty a výbornou odolností proti oxidaci. Nasazení při velmi vysokých řezných rychlostech, ideální při dokončování. Pro soustružení, hlavní použití pro oceli, možné použití pro nerezové oceli a litiny.

TCM10 – cermet má vysokou odolnost proti opotřebení, tepelnou odolnost a dobrou houževnatost. Pro vysoké řezné rychlosti. Tento cermet má univerzální použití. Nasazení při obrábění soustružením a frézováním, hlavní použití pro oceli a nerezové oceli, možné i pro litiny

H212 – cermet dosahující velmi dobré odolnosti proti opotřebení, tepelné odolnosti a velmi dobré houževnatosti. Použití při vysokých řezných rychlostech. Tento cermet se vyrábí v podobě polotovaru pro nástroje pro přesné obrábění. Oprace frézování a vrtání pro polotovary z oceli



Obr. 3.5 Polotovar cermetu H212 (3)

Povlakované cermety:

TCC410 – Tento cermet je opatřen multivrstvým CVD povlakem Al_2O_3 . Tloušťka vrstvy je 6 μm . Maximální odolnost proti opotřebení a tepelná odolnost, výborná odolnost proti oxidaci a proti vydrolování. Pro velmi vysoké řezné rychlosti. Hlavní použití při soustružení ocelí a litin.

Tab.3.4. Oblast použití dle klasifikace ISO (3)

Označení cermetu	TCM407			TCM10			TCC410			H212		
ISO	P	M	K	P	M	K	P	M	K	P	M	K
01	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
05	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
15	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
20	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
25	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
30	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

Tab.3.5. Vlastnosti cermetů firmy Ceratizit (3)

Označení cermetu	Složení	Tvrdost HV	Vlastnosti houževnatost/otěruvzdornost
TCM407	Co/Ni 8%; WC 16%; (Ta,Nb)C 10%; Ti(C,N) zbytek	1780	houževnatost otěruvzdornost
TCM10	Co/Ni 12,2%; WC 15%; (Ta,Nb)C 10%; Ti(C,N) zbytek	1780	houževnatost otěruvzdornost
H212	Co/Ni 15%; Mo ₂ C 10%; (Ta, Nb)C 12%; Ti(C,N) zbytek	-	-
TCC410	Co/Ni 12,2%; WC 15%; TaNbC 10%; TiCN zbytek	1620	houževnatost otěruvzdornost

3.4 NGK Spark Plugs

Japonská společnost vyrábějící součásti z mnoha průmyslových odvětví s pobočkami po celém světě. Zabývá se výrobou žhavicích a zapalovacích svíček, produktů pro lékařství, elektronických komponentů atd. Pod tuto společnost patří společnost NTK Technical Ceramics, která byla založena roku 1936 a zabývá se výrobou technické keramiky pro všestranné použití, mimo jiné i pro výrobu řezných nástrojů.

Produkce řezných materiálů má široký záběr – od konvenčních karbidových materiálů, přes cermety, CNB až po nitridovou a oxidovou keramiku. Základem sortimentu cermetů jsou dva druhy, první na bázi TiC – TiN a druhý na bázi TiN. TiC – TiN cermet byl vyvinut přidáváním TiN k dosažení jemnější struktury. Tyto cermety se vyznačují větší tvrdostí a výborným výkonem při vysokorychlostním obrábění. TiN cermet je houževnatý a ve struktuře převládá TiN nad TiC.



Obr. 3.6 Cermety NTK Technical Ceramics (23)

Cermety:

T3N – nejtvrdší cermet v produkci firmy NTK, obzvláště odolný proti plastické deformaci. Určený pro soustružení na čisto a vrtání běžných ocelí při vysokých řezných rychlostech

T15 – cermet použitelný pro široký rozsah řezných podmínek. Vhodný pro soustružení při dokončování ocelí.

N20 – výbornou odolnost proti tepelnému šoku má tento cermet. Je určen pro vrtání, upichování ocelí, kde převládají dokončovací operace.

N40 – cermet s největší houževnatostí v produkci firmy NTK. Určený pro soustružení, kopírování a upichování ocelí. Operace dokončování a lehké hrubování.

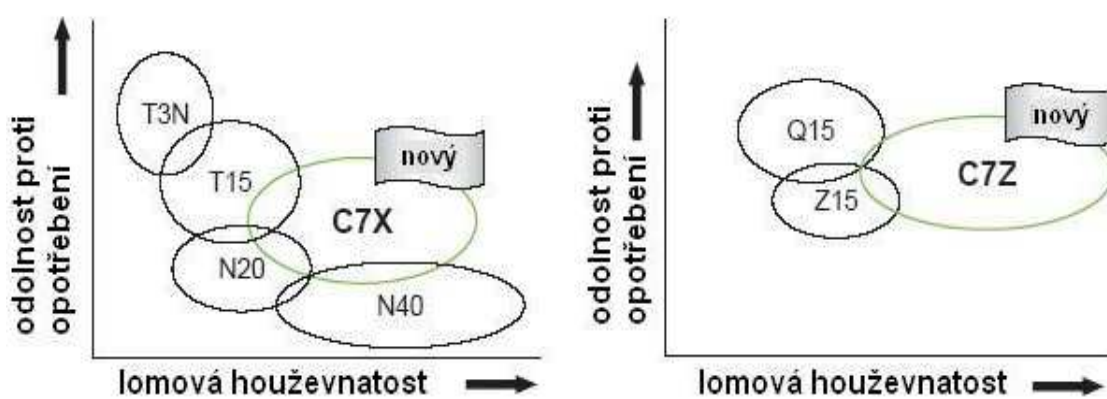
C7X – tento cermet má široký rozsah řezných rychlostí a materiálů obrobku. Určený pro soustružení, upichování, dokončování a polodokončování ocelí.

PVD povlakované cermety

Z15 – cermet povlakovaný vrstvou TiN + cermet T15. Dokončovací operace ocelí a tvárné litiny.

Q15 – povlaková vrstva je tvořena TiCN + Cermet T15. Pro soustružení na čisto tvárných litin vysokými řeznými rychlostmi.

C7Z – cermet určený pro vrtání a upichování ocelí.



Obr. 3.7 Rozsah použití (23)

Tab. 3.6. mechanické a fyzikální vlastnosti cermetů firmy NTK (23)

NTK značení	Složení	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost HRA	Pevnost v ohybu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Délková roztažnost [10 ⁶ K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W/m.K]
T3N	TiC + TiN	6	92,7	1400	450	8,3	13
T15	TiC + TiN	6,3	92,5	1700	450	8,4	21
N20	TiN – base	5,6	91,5	1600	460	9	42
N40	TiN – base	5,9	91,5	1900	450	8,9	42
C7X	Ti(C,N)	7	91,5	1800	440	8,2	31
Z15	TiN + povlak	6,3	92,5	1700	450	8,4	21
Q15	Ti(C,N) + povlak	6,3	92,5	1700	450	8,4	21
C7Z	TiN + povlak	7	91,5	1800	440	8,2	31

Tab.3.7. Oblast použití dle klasifikace ISO (23)

Označení cermetu	T3N			T15			N20			N40		
ISO	P	M	K	P	M	K	P	M	K	P	M	K
01												
05												
10												
15												
20												
25												
30												
40												

4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ CERMETŮ

Byly porovnávány cermety od vybraných výrobců (Ceratizit, Kyocera, NGK Spark Plugs, Cermatec). Porovnávaly se podmínky pro soustružení (řezná rychlost, posuv, šířka záběru) uváděné jednotlivými výrobci při obrábění různých materiálů. Byly vybrány materiály, které jsou dle ISO zařazeny do P, M, K klasifikace.

Výrobce Ceratizit má na svých stránkách zdarma ke stažení počítačový kalkulátor všech důležitých řezných dat jako jsou řezná rychlost, střední průřez třísek, potřebný příkon, atd. Neuvádí hodnoty posuvů a šířky záběrů.

4.1 Obrábění nelegovaných ocelí

Do této skupiny patří oceli s obsahem uhlíku od 0,15% C do 0,8% C. Tvrdost těchto ocelí se pohybuje od 125 do 300 HB. Vyšší obsah uhlíku v oceli zlepšuje obrobitelnost.

Tab.4.1. Nelegované oceli (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	300-520	-	-
	TCM407	240-430	-	-
	TCM10	190-350	-	-
NGK	T3M	150-300	-0,2	-0,5
	T15	150-300	-0,2	-0,5
	C7X	90-360	-0,2	-0,5
	N40	90-200	-0,2	-0,5
Kyocera	PV30	120-300	0,078-0,546	0,1-1
	PV-60	60-300	0,078-0,702	0,1-2
	PV7020	120-360	0,078-0,702	0,1-2
	PV-90	60-300	0,078-0,702	0,1-2
	TC-30	120-300	0,078-0,546	0,1-1
	TC-40	90-300	0,078-0,546	0,1-1
	TN-60	60-300	0,078-0,702	0,1-2
	TN6020	60-300	0,078-0,702	0,1-2
Ceramtec	SC15	100-650	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-550	0,05-0,32	0,1-0,5
	SC7015	100-650	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-600	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	100-550	0,1-0,5	0,5-2,5

4.2 Obrábění nízko a středně legovaných ocelí

Obsah legujících prvků je do 5%. Legujícími prvky jsou chrom, nikl, molybden, vanad, kobalt. Tyto prvky zvyšují pevnost a některé i houževnatost a mohou vytvářet v oceli karbidy. To má za následek zhoršení obrobiteľnosti. Ovšem s ohledem na množství legujících prvků, tepelné zpracování a strukturu je obrobiteľnost velmi rozdílná. U těchto ocelí se tvrdost pohybuje v rozmezí od 180 do 350 HB. Mez pevnosti je 500 až 1000 MPa.

Tab.4.2. Nízkolegované a střednělegované oceli (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Rezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratzit	TCC410	250-440	-	-
	TCM407	200-360	-	-
	TCM10	140-300	-	-
NGK	T3M	150-240	-0,2	-0,5
	T15	150-240	-0,2	-0,5
	C7X	100-165	-0,3	-1
	N40	100-175	-0,2	-0,5
Kyocera	PV30	120-300	0,078-0,546	0,1-1
	PV-60	120-300	0,078-0,702	0,1-2
	PV7020	120-360	0,078-0,702	0,1-2
	PV-90	60-300	0,078-0,702	0,1-2
	TC-30	120-300	0,078-0,546	0,1-1
	TC-40	90-300	0,078-0,546	0,1-1
	TN-60	60-300	0,078-0,702	0,1-2
	TN6020	60-300	0,078-0,702	0,1-2
Ceramtec	SC15	100-650	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-550	0,05-0,32	0,1-0,5
	SC7015	100-650	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-600	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	100-550	0,1-0,5	0,5-2,5

4.3 Obrábění legovaných ocelí

Legující prvky jsou stejné jako u nízko a středně legovaných ocelí, ovšem jejich podíl je vyšší než 5%. Tvrdost legovaných ocelí je od 200 do 350 HB. Tyto oceli kladou vyšší nároky na obrábění, protože vyšší procento legujících prvků zvyšuje pevnost materiálu, a tím se zhoršuje obrobiteľnost.

Tab.4.3. Vysokolegované oceli (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Rezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	290-390	-	-
	TCM407	230-330	-	-
	TCM10	160-200	-	-
NGK	T3N	100-180	-0,2	-3
	T15	100-180	-0,2	-3
	C7X	100-300	-0,3	-3
	N40	100-300	-0,3	-3
Kyocera	PV30	60-230	0,078-0,546	0,1-1
	PV-60	60-230	0,078-0,702	0,1-2
	PV7020	120-270	0,078-0,702	0,1-2
	PV-90	40-230	0,078-0,702	0,1-2
	TC-30	60-230	0,078-0,546	0,1-1
	TC-40	60-230	0,078-0,546	0,1-1
	TN-60	40-230	0,078-0,702	0,1-2
	TN6020	40-230	0,078-0,702	0,1-2
Ceramtec	SC15	100-400	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-400	0,05-0,32	0,1-1
	SC7015	100-400	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-400	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	250-400	0,1-0,4	0,5-1,5

4.4 Obrábění korozivzdorných ocelí

Hlavním legujícím prvkem je chrom, který je v těchto ocelích obsažen. Obsah tvoří 12% a více. Korozivzdornost se zvyšuje s rostoucím obsahem chromu. Ovšem většina korozivzdorných ocelí obsahuje značná množství dalších legujících prvků jako je Ni, Mo. Obrobitelnost korozivzdorných ocelí se velice liší od obrobitelnosti většiny konstrukčních uhlíkových a legovaných ocelí. Obrobitelnost těchto ocelí je velice rozdílná a závisí na podílu legujících prvků.

Korozivzdorné oceli jsou rozděleny do dvou skupin. První obsahuje oceli feritické a martenzitické. Tyto oceli mají tvrdost 200 až 330 HB.

Druhou skupinu tvoří oceli austenitické, feriticko-austenitické a martenziticko-austenitické. Jejich tvrdost se pohybuje v rozmezí jako u předešlé skupiny.

Tab.4.5. Korozivzdorné oceli feritické, martenzitické (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	260-400	-	-
	TCM407	210-340	-	-
	TCM10	170-270		
NGK	T3N	100-250	-0,2	-1,5
	T15	150-300	-0,2	-2
	C7X	150-300	-0,2	-2
Kyocera	PV-60	60-240	0,156-0,468	0,1-0,75
	PV7020	90-290	0,156-0,546	0,1-1
	PV-90	60-210	0,156-0,546	0,1-1
	TN-60	60-240	0,156-0,468	0,1-0,75
	TN6020	90-240	0,156-0,468	0,1-0,75
Ceramtec	SC15	100-500	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-500	0,05-0,32	0,1-1
	SC7015	100-500	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-500	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	250-450	0,1-0,5	0,5-2,5

Tab.4.6.Korozivzdorné oceli austenitické, martenziticko/austenitické, (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	210-350	-	-
	TCM407	160-280	-	-
	TCM10	130-240	-	-
NGK	T3N	100-250	-0,2	-1,5
	T15	150-300	-0,3	-2
	C7X	150-300	-0,3	-2
Kyocera	PV-60	60-210	0,156-0,468	0,1-0,75
	PV7020	90-260	0,156-0,546	0,1-1
	PV-90	200-700	0,156-0,546	0,1-1
	TN-60	60-210	0,156-0,468	0,1-0,75
	TN6020	60-210	0,156-0,468	0,1-0,75
Ceramtec	SC15	100-550	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-550	0,05-0,32	0,1-1
	SC7015	100-550	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-550	0,1-0,4	0,25-2

4.5 Obrábění nástrojových ocelí

Patří sem nástrojové oceli uhlíkové a legované nástrojové oceli. Podíl uhlíku se u těchto ocelí pohybuje od 0,7 – 1,3%. Tvrdost těchto ocelí se pohybuje v rozmezí 200 až 400 HB.

Tab.4.7. Nástrojové oceli, ložiskové ocelu, *vysokolegované oceli na odlitky (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	290-390	-	-
	TCM407	230-330	-	-
	TCM10	160-200	-	-
NGK	T3N	100-135	-0,2	-3
	T15	100-180	-0,2	-3
	C7X	100-300 50-200*	-0,3 -0,2*	-3 -3*
	N40	100-300	-0,3	-3
Kyocera	PV30	90-240	0,156-0,546	0,1-1
	PV-60	90-240	0,156-0,702	0,1-2
	PV7020	100-300	0,156-0,702	0,1-2
	PV-90	90-240	0,156-0,702	0,1-2
	TC-30	90-240	0,156-0,546	0,1-1
	TC-40	90-240	0,156-0,546	0,1-1
	TN-60	90-240	0,156-0,702	0,1-2
	TN6020	90-240	0,156-0,702	0,1-2
Ceramtec	SC15	100-400	0,05-0,25	0,1-0,5
	SC35	100-400	0,05-0,32	0,1-1
	SC7015	100-400	0,05-0,4	0,1-1,5
	SC7035	100-400	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	250-400	0,1-0,4	0,5-1,5

4.6 Obrábění šedé litiny

V litinách se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí 2 – 4%. Na obrobitelnosti litin všech druhů má největší vliv uhlík a formy, v jakých je obsažen. Dále je to chemické složení a struktura. Legující prvky zhoršují obrobitelnost.

Podmínky pro obrábění litin jsou rozděleny do dvou skupin. První skupinou jsou šedé litiny perliticko/feritické a perliticko/martenzitické s tvrdostí od

180 do 260 HB. Druhou skupinu tvoří šedé litiny s kuličkovým grafitem feritické a perlitické.

Tab.4.8. Šedé litiny (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	260-480	-	-
NGK	Q15	100-350	max. 0,25	max.1
Kyocera	PV-30	60-520	0,117-0,78	0,1-1,5
	TC-30	60-520	0,117-0,78	0,1-1
	TC-40	60-520	0,117-0,78	0,1-1,5
	TN-30	60-520	0,117-0,78	0,1-1,5
	TN-60	60-520	0,117-0,78	0,1-1,5
Ceramtec	SC7015	100-450	0,1-0,4	0,2-1,5

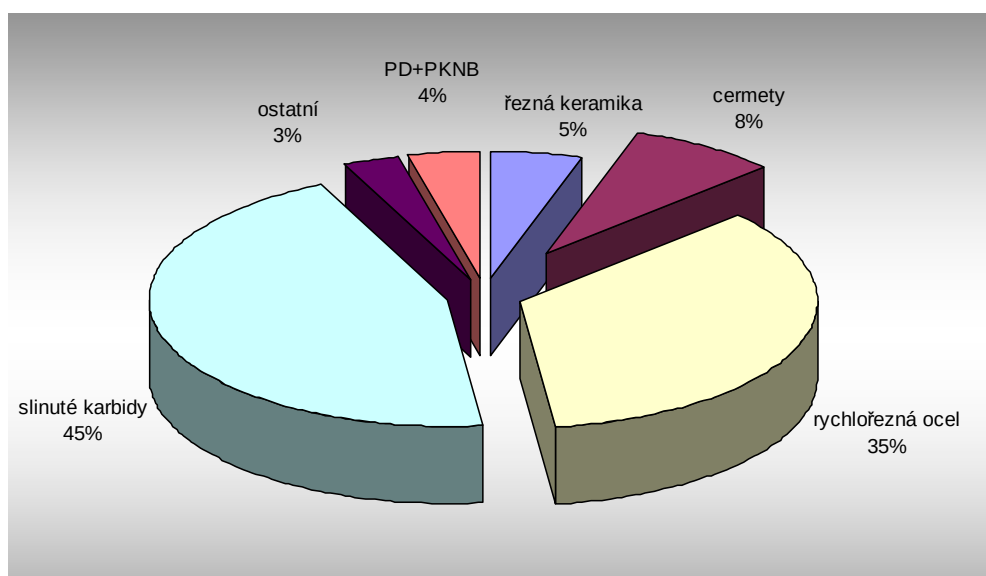
Tab.4.9. Šedé litiny s kuličkovým grafitem, *temperovaná litina (18, 2, 24,4)

Výrobce	Označení cermetu	Řezná rychlost [m/min]	Posuv na otáčku [mm]	Šířka záběru [mm]
Ceratizit	TCC410	300-520 180-500*	-	-
	TCM407	250-430 180-400*	-	-
	TCM10	180-300 160-350*	-	-
NGK	Q15	100-200	max. 0,1	max. 1
Kyocera	PV-30	60-360	0,117-0,585	0,1-1
	TC-30	60-270	0,117-0,585	0,1-1
	TC-40	60-260	0,117-0,585	0,1-1
	TN-30	60-360	0,117-0,585	0,1-1
	TN-60	60-260	0,117-0,585	0,1-1
Ceramtec	SC35	100-500	0,1-0,32	0,25-1
	SC7035	100-500	0,1-0,4	0,25-2
	SC8015	100-500	0,1-0,6	0,5-1,5

V podstatě u všech uvedených materiálů jsou rozsahy řezných rychlostí široké a sahají k vysokým hodnotám. Každé zvolené řezné rychlosti odpovídá šířka záběru, posuv a naopak. Přesné stanovení obráběcích podmínek je možné až s danou geometrií řezného nástroje, ať už se jedná o VBD či monolitní nástroje. Jelikož tyto hodnoty jsou určeny pro soustružení, bude se nejčastěji jednat o VBD. Pro malé šířky záběru je možné obrábět vysokorychlostním obráběním. Vysokorychlostní obrábění je označováno zkratkou HSC z anglického názvu High speed cutting.

5 TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

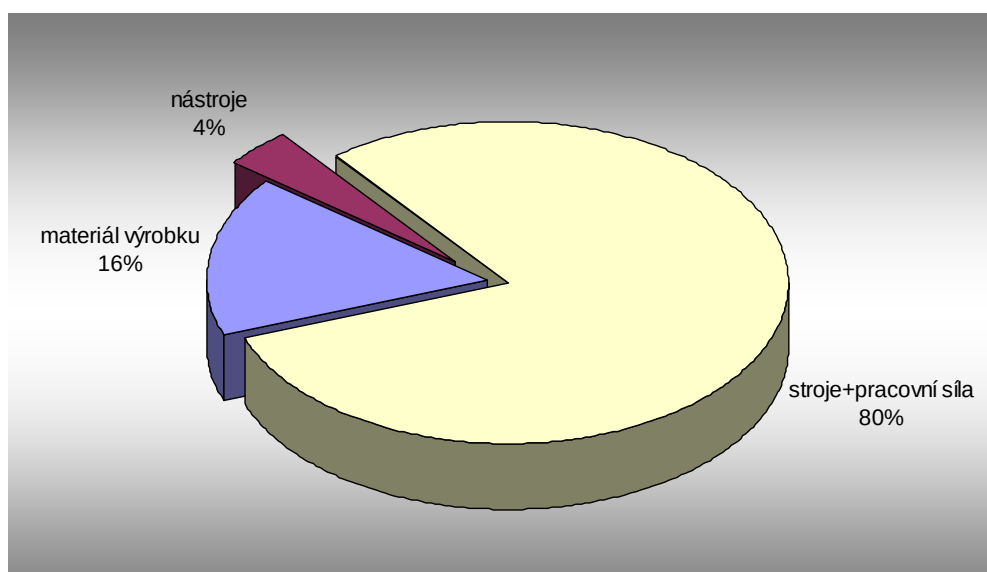
Obrábění součástí je nutné provádět s určitou efektivitou, při které se hlavní pozornost zaměřuje na výslednou cenu vyrobené součásti. Důležitým faktorem je volba řezného materiálu, který je schopen funkční plochu obrobit s požadovanou přesností, s minimálním opotřebením břitu při minimálních výrobních časech. Těmto požadavkům odpovídají výkonné tvrdé materiály (řezná keramika, cermety a ostatní), které ovšem nejsou univerzálně použitelné pro veškeré druhy obráběných materiálů a způsoby obrábění. Jejich podíl v produkci řezných materiálů tvoří necelou třetinu z celkového množství. Tudíž lze předpokládat, že cermety prozatím nenahradí nejpoužívanější řezné materiály, jakými jsou slinuté karbidy a rychlořezná ocel.



Obr. 5.1 Produkce řezných materiálů (16)

Cermety, které patří mezi tyto materiály, jsou svými charakteristickými vlastnostmi vhodné především pro obrábění s plynulým řezem, kde převažují dokončovací operace. Ovšem používají se i pro obrábění s přerušovaným řezem. Při dokončovacích operacích je možné obrábět vysokými řeznými rychlostmi, což vyžaduje odpovídající obráběcí stroje.

Tyto stroje musí splňovat určité požadavky jako např. dostatečný výkon, vysoká tuhost a přesnost chodu vřetene, atd. Pořízení takovýchto strojů je finančně velmi náročné a společně s dalším vybavením, režijními náklady, materiálem výrobku a nástroji tvoří celkové výrobní náklady. Největší vliv na celkové výrobní náklady má pořízení strojů a režijní náklady. Z obr. 5.2 je patrné, jaký vliv mají jednotlivé výrobní náklady na celkové náklady. Výlohy za řezné nástroje tvoří pouze kolem 4% z ceny konečného výrobku. Z toho je zřejmé, že zvýšením životnosti a tedy i trvanlivosti nástroje se snižují celkové výdaje minimálně. Konečná cena produktu je značně ovlivněna produktivitou.



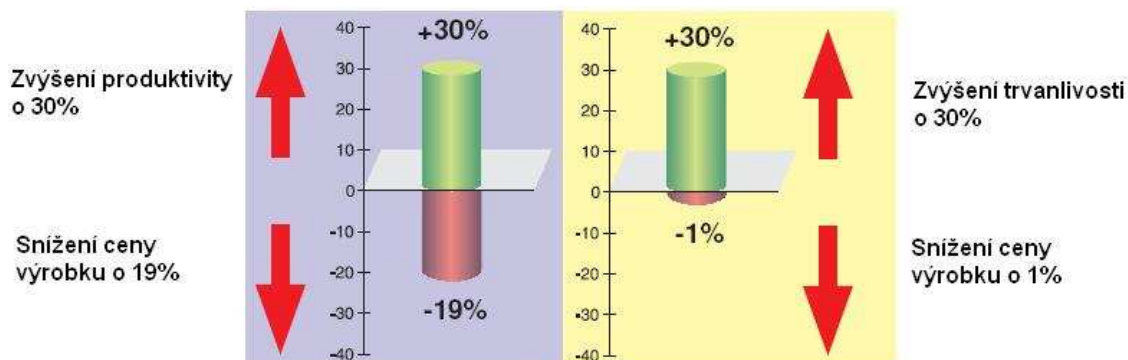
Obr. 5.2 Náklady na výrobu (5)

Produktivita je velmi různorodý termín a je velmi těžké ve výrobním procesu zachytit moment, který minimalizuje náklady na výrobu součástí. Obvykle se jedná o kombinaci několika faktorů, které na to mají určitý vliv, jako např.:

- zvýšení řezné rychlosti a posuvu = více obrobených součástí za hodinu
- známá životnost nástroje = bezpečnost při obrábění, nedochází k výrobě zmetků
- minimalizace odpadu = menší náklady na konečný výrobek
- minimalizace výměn nástroje = menší vedlejší časy
- technické školení zaměstnanců = menší procento zmetků a odpadu

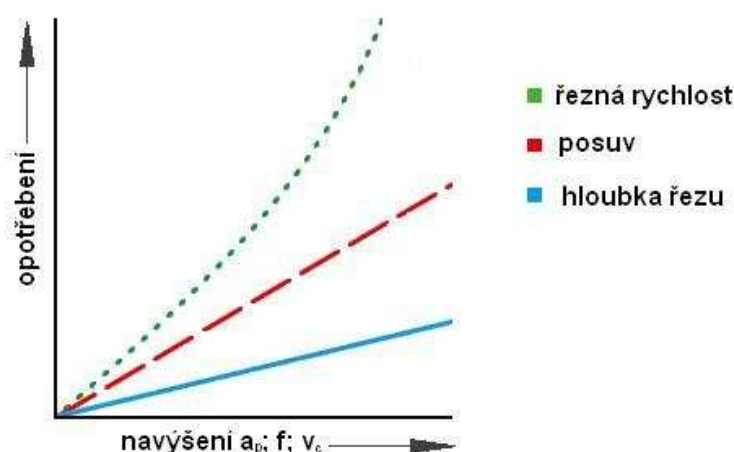
Při pohledu na produktivitu jako množství obrobků vyrobených za časovou jednotku jsou nejvhodnějšími parametry pro zvýšení produktivity řezná rychlost, posuv, hloubka řezu a minimalizování časů pro výměnu nástroje.

Správně aplikované řezné materiály a nástroje z nich mohou zvýšit produktivitu nejméně o 20%. [5]



Obr. 5.3 Vliv zvýšení produktivity a trvanlivosti na konečnou cenu výrobku (5)

Zvýšení řezné rychlosti, posuvu a hloubky řezu má ovšem značný vliv na trvanlivost nástroje. Opotřebení nejvíce roste se zvyšující se řeznou rychlostí a posuvem. Tyto dva parametry také nejvíce krátí čas potřebný pro obrobení a proto se nejvíce podílejí na zvýšení produktivity. Úspory při lepší produktivitě plně kompenzují náklady na nástroje, které mají zkrácenou životnost a tudíž roste jejich spotřeba.



Obr. 5.4 Vliv řezných parametrů na opotřebení nástroje (4)

Rostoucím trendem v oblasti obrábění kovů je suché obrábění. Většina moderních řezných nástrojů je vyvinuta tak, aby odolávaly vysokým teplotám bez ztráty tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Vyloučením chladících kapalin v obráběcím procesu odstraníme nejen cenu chladících kapalin, ale také snížíme čas potřebný k údržbě stroje. Tím se dosáhne zvýšení produktivity.

Nejvyšší efektivnosti a hospodárnosti obráběcího procesu lze dosáhnout několika možnými způsoby. Základním parametrem pro předpoklad produktivní výroby je výrobcem doporučený obráběný materiál, pro který je nástroj určen a také rozsah pracovních podmínek, ve kterých nástroj pracuje efektivně. Další možností jsou nástrojové programy, pomocí nichž je možné nalézt optimální řešení obráběcího procesu. Hlavním způsobem, jak dosáhnout nejvyšší efektivnosti, je spolupráce mezi výrobcem nástroje, stroje a uživatelem. Tím se zajistí plné využití stroje a nástroje pro daný obráběcí proces.

Cermety a jejich efektivní využití je možné aplikovat pouze pro omezenou oblast použití, ovšem i tam se vyplatí jejich nasazení. Většina výrobců se zabývá výrobou všech řezných materiálů, kde velkou část tvoří slinuté karbidy. Ne vždy se však jejich použití vyplatí a proto jsou k dispozici další řezné materiály jako jsou cermety, které zvýší produktivitu, efektivnost a hospodárnost obráběcího procesu.

ZÁVĚR

Při volbě řezného materiálu pro obrábění je na výběr z několika skupin, ať už se jedná o řeznou keramiku, slinuté karbidy, cermety atd. Každá skupina má svou specifickou oblast využití, pro kterou je určena. Tyto materiály jsou výsledkem rozsáhlého vývoje a výzkumu, který je spjatý s vývojem obráběných materiálů a obráběcích strojů. Cermety se řadí mezi netradiční řezné materiály. Jejich podíl tvoří kolem 8% z celkové produkce řezných materiálů.

Řezné nástroje z cermetů si zaslouhují právem pozornost. Vyznačují se vysokou odolností proti opotřebení, oxidačnímu opotřebení, mají vysokou chemickou stálost, tvrdost při vyšších teplotách a velmi malý sklon k tvorbě nárůstků.

Při porovnání s velmi širokým spektrem použití slinutých karbidů, s povlakem či bez něho, zabírají cermety několikanásobně menší prostor. Nástroje z cermetů jsou vhodné především pro hromadnou a velkosériovou výrobu a tam, kde je kladen důraz na maximální efektivitu při náročnějších podmínkách obrábění, které nelze dosáhnout jinými řeznými materiály.

Obráběné materiály mají široké spektrum mechanických a fyzikálních vlastností, které se podílejí na obrobitelnosti. Rozsah obráběných materiálů je od velmi tvrdých až po houževnaté. Cermety jsou určeny především pro obrábění železných materiálů, mezi které patří oceli a litiny. Tepelně zpracované oceli (kalené, cementované atd.), které dosahují vysoké tvrdosti nejsou vhodné pro cermety. Těžiště cermetů leží v oblasti lehkého obrábění. Jejich nasazení je velice výhodné při vysokých řezných rychlostech, malých posuvech a hloubkách řezu. Cermety si ponechají ostrý a trvanlivý břit při obrábění velkého počtu kusů. Výsledkem je dosažení výborné jakosti obrobeného povrchu a dodržení přesnosti rozměrů.

V současné době je vývoj zaměřen na zdokonalování nástrojových materiálů. Hlavní důraz ve vývoji je kladen na výrobní postupy a technologie, které vedou ke zlepšení vlastností pro efektivní využití. Vývoj zcela nových řezných materiálů by byl spíše náhodný a je velmi málo pravděpodobné, že k němu dojde.

Diplomová práce předkládá studii cermetů, ve které se zaměřuje na výrobu, vlastnosti a zastoupení v sortimentu u vybraných výrobců. Závěr je věnován technicko-ekonomickému rozboru. Výroba a vlastnosti cermetů jsou neustále zdokonalovány. Od počátku, kdy neměli téměř žádné praktické využití, ušly ve vývoji kus cesty. Dnes jsou uznávaným řezným materiálem a téměř všichni významní producenti řezných nástrojů a nástrojových materiálů mají ve svém sortimentu cermety zastoupeny. Pro správnou aplikaci cermetů je nezbytné znát pracovní podmínky, pro které jsou určeny. Cermety mají své pevné místo na trhu a vyplňují mezery mezi řeznými materiály. Pro dnes stále častěji preferované vysokorychlostní obrábění, kterým lze správně zvolenými nástroji maximalizovat efektivnost obrábění, jsou cermety významným nástrojovým materiálem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka pro obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vydání Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přeloženo z : Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. CERAMTEC AG, Germany. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://www.ceramtec.com/index/divisions/spk_cutting_tools/cutting_materials/spk-cermet/01003,0124,0393,0704.php
3. CERATIZIT. Cermets. Katalog. [online]. Dostupné na World Wide Web: www.ceratizit.com
4. CERATIZIT. Nástroje a břitové destičky pro soustružení. Katalog. [online]. Dostupné na World Wide Web: www.ceratizit.com
5. CERATIZIT. ProfileMaster-has totally redefined the machining process. [online]. Dostupné na World Wide Web: < www.ceratizit.com >
6. CARDINAL, S., MALCHÉRE, A., GARNIER, V., FANTOZZI, G. Microstructure and mechanical properties of TiC–TiN based cermets for tools application; Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials 27 (2009). ISSN 521–527
7. ČSN ISO 513. Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů – označování skupin a podskupin použití. Český normalizační institut. Praha. 02/2006
8. DRASTÍK, F. Strojnická příručka – svazek 4, Verlag Dashöfer nakladatelství s.r.o. ISSN 1801-7991
9. ETTMAYER, P., KOLASKA, H., LENGAUER, W., DREYERT, K. Ti(C,N) Cermets – Metalurgy and properties. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 13 (1995). ISSN 0263-4368
10. HOFMANN, P. Obrábění zasucha – ano, či ne? (2. část). MM – Průmyslové spektrum. 2/2001. s. 8-10. ISSN 1212-2572
11. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
12. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
13. HUMÁR, A. :Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění, vydalo ccb spol. s.r.o. ISBN: 80-85825-10-4
14. CHLADIL, J., HUMÁR, A.:teorie obrábění – příklady cvičení. Skriptum. VUT-FS brno, 1991, 64s.
15. IONBOND. PVD Technology, CVD technology. [online]. Dostupné na World Wide Web: www.ionbond.com
16. KERAMIKA. Presentace. 25s [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>
17. KRAUS, V. Tepelné zpracování a slinování. 226s [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/TZSprcelk.pdf>>
18. KYOCERA. Cuttingtools. [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://americas.kyocera.com/cuttingtools>

19. LEICHTFRIED, G., SOUTHOFF, G., SPRINGGS, G.E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 P. ISBN 3-540-42961-1.
20. LIU, N., CHAO, S., JUANY, X. Effects of TiC/TiN addition on the microstructure and mechanical properties of ultra-fine grade Ti(C,N)-Ni cermet. Journal of the European Ceramic Society. Article in press, (2006). ISSN 0955-2219
21. MARI, D., BOLOGNINI, S., FERUSIER, G., CUTARD, T., VIATTE, T., BENOIT, W. TiMoCN based cermetů Part II. Mikrostruktura and room temperature mechanika properties. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 21 (2003). ISSN 0263-4368
22. MITSUBISHI MATERIALS. Effects of cutting conditions for turning. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://www.mitsubishicarbide.net>
23. NGK SPARK PLUGS. NTK Cutting tools. Katalog. [online]. Dostupné na World Wide Web: www.ngk.de
24. NGK SPARK PLUGS. NTK ss tools. Katalog. [online]. Dostupné na World Wide Web: www.ngk.de
25. PRÁŠKOVÁ METALURGIE. Presentace. 27s [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf>
26. STEPHEN, L. Advances in Powder Metal Sintering Technology. Abbott Furnace Company, St. Marys, PA 15857
27. TRVANLIVOST. Presentace. 19s [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/trvanlivost.html>
28. ZAH, M., REINHART, G. Grundlagen der Entwicklung und Produktion. Vorlesungsskript, Wintersemester 04/05. TU Mūchen. [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.iwb.tum.de/img/iwb_/Mitarbeiter-ALT/clarke/GEP_Skript_iwb_Teil.pdf>.
29. ZHANG, S. Titanium carbonitride – based cermets: processes and properties. Materials Science and Engineering. A 163, 1993. pp. 141 – 148. ISSN 0921 – 5093.
30. ZHANG, X., LIU, N., RONG, C. Microstructure and fracture toughness of TiC – ZrC – WC – Mo – Ni cermets. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 26 (2008). ISSN 346-356
31. ZHENG, Y., LIU, W., WANG, S., XIONG, W. Effect of karbon content on the microstructure and mechanical. Ceramics International. 30 (2004). ISSN 2111-2115

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
d	[mm]	Střední velikost úhlopříčky vtisku jehlanu
f	[mm]	Posuv na otáčku
h	[mm]	Výška výlisku
k	[kg/m ³]	Hustota kompaktního tělesa
m	[-]	Exponent řezného nástroje
n_k	[m ⁻¹]	kritické otáčky
s	[kg/m ³]	sypná hustota práškového materiálu
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
BN	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
C	[-]	nepovlakovaný slinutý karbid
CA	[-]	oxidická řezná keramika
CB	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
CC	[-]	řezná keramika
CD	[-]	polykrystalický diamant
CM	[-]	směsná řezná keramika
CN	[-]	neoxidická řezná keramika
CT	[-]	cermety
C_T	[-]	konstanta obráběného materiálu
C_v	[-]	upravená konstanta obráběného materiálu
CVD	[-]	chemická metoda povlakování
D	[m]	průměr mlecích kuliček
DP	[-]	polykrystalický diamant
E_{Ni}	[GPa]	modul pružnosti v tahu pro Ni
E_{TiC}	[GPa]	modul pružnosti v tahu pro TiC
E_{TiN}	[GPa]	modul pružnosti v tahu pro TiN
F	[N]	síla vtisku
GC	[-]	povlakovaný slinutý karbid
H	[mm]	sypná výška
HB	[MPa]	tvrdost podle Brinella
HC	[-]	povlakované cermety a slinuté karbidy
HF	[-]	slinuté karbidy zrnitost <1[μm]
HT	[-]	cermety
HV	[-]	slinuté karbidy zrnitost >1[μm]
HV_{03}	[MPa]	tvrdost podle Vickerse
HIP	[-]	vysokoteplotní izostatické lisování
HRA	[MPa]	tvrdost podle Rockwella
HSC	[-]	vysokorychlostní obrábění
J	[mm.m ⁻¹]	intenzita opotřebení
K_{IC}	[MPa.m ^{1/2}]	lomová houževnatost
KT	[μm]	kriterium opotřebení břitů
PD	[-]	polykrystalický diamant
PVD	[-]	fyzikální metoda povlakování
PKNB	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
PSSS	[-]	slinovací metoda

SK	[-]	slinutý karbid
VB	[μm]	kriterium opotřebení břitu
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
β	[°]	kontaktní úhel