



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CERMETY
CERMETS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN MEDŮSEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Medúsek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Cermety

v anglickém jazyce:

Cermets

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na cermety z hlediska výroby, rozdělení, označování, fyzikálně-mechanických vlastností, aplikačních oblastí a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

1. Základní dělení materiálů pro řezné nástroje
2. Charakteristika cermetů (druhy, výroba, značení, fyzikálně-mechanické vlastnosti)
3. Cermety v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na cermety, které patří mezi nástrojové materiály. Na začátku práce je přehled, rozdělení a popis základních materiálů pro řezné nástroje. Následuje hlavní část, která se podrobněji zabývá samotnými cermety. Od popsání jejich historie, přes výrobu a značení až po vlivy jednotlivých prvků na strukturu a vlastnosti cermetů. V závěru této práce je ukázka cermetů v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Klíčová slova

Cermety, nástrojový materiál, struktura, vlastnosti, producenti.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on cermets, which are ranked among tool materials. At the beginning is an overview, distribution and description of the basic materials for cutting tools. The main part follow, which deals with cermets themselves in more detail, from the description of their history through to the production and marking up of the effects of individual elements of the structure and properties of the cermets. In the conclusion of this work is an example of cermets in the manufacturing range of the world's leading producer of tools and tool materials.

Key words

Cermets, tool material, structure, properties, producers.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MEDŮSEK, M. *Cermety*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 44 s., příloh 1. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

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

V Brně dne 27.5.2011

.....
Milan Medůsek

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, Csc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE.....	9
1.1 Slinuté karbidy.....	10
1.1.1 Označení slinutých karbidů.....	10
1.2 Nástrojové oceli.....	11
1.2.1 Označení nástrojových ocelí.....	11
1.3 Řezná keramika.....	12
1.3.1 Označení řezné keramiky.....	12
1.4 Supertvrdé materiály.....	13
1.4.1 Polykrystalický diamant (PKD).....	13
1.4.2 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKBN).....	14
2 CERMETY-CHARAKTERISTIKA.....	15
2.1 Historie.....	15
2.2 Značení.....	16
2.3 Výroba.....	17
2.3.1 Výchozí materiály pro výrobu cermetů.....	17
2.3.2 Příprava výchozích prášků karbidů a pojících kovů.....	19
2.3.3 Formování směsí.....	19
2.3.4 Slinování.....	19
2.4 Struktura a vlastnosti cermetů.....	20
2.4.1 Vliv WC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	22
2.4.2 Vliv TaC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	23
2.4.3 Vliv NbC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	24
2.4.4 Vliv Mo na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	24
2.4.5 Vliv Zr na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	26
2.4.6 Vliv ZrC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	27
2.4.7 Cermety vyztužené nanočásticemi Si ₃ N ₄	28
2.4.8 Vliv přísad SiC whiskerů na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů.....	29
2.4.9 Srovnání cermetů s různým obsahem výchozích přísad.....	31
3 CERMETY V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ.....	33
3.1 Japonští producenti cermetů.....	33
3.1.1 Kyocera.....	33
3.1.2 NGK Spark Plug.....	34
3.2 Ostatní světový producenti cermetů.....	35
3.2.1 Ceratizit.....	35
3.2.2 Kennametal.....	37
3.2.3 Sandvik Coromant.....	38
Závěr.....	39
Seznam použitých zdrojů.....	40
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43
Seznam příloh.....	44

ÚVOD

Na každém kroku nás obklopují předměty, které jsou pro nás více, či méně důležité. Každý z těchto předmětů se liší svým tvarem a také materiálem, ze kterého byl vyroben. Abychom si dokázali výchozí materiál, ať už se jedná o dřevo, ocel, či cokoliv jiného upravit k obrazu svému potřebujeme k tomu nejrůznější metody technologie výroby.

Mezi jednu z těchto technologií patří také obrábění, které i přes nárůst a rozvoj ostatních technologií, stále zaujímá své místo ve všech odvětvích průmyslu. Při obrábění se materiál opracovává na nejrůznějších obráběcích strojích (frézky, soustruhy atd.) způsobem odebrání přebytečného materiálu za pomoci obráběcího nástroje (fréza, soustružnický nůž atd.). Na všechny tyto oblasti vstupující do řezného procesu, to znamená stroj – nástroj – obrobek, jsou kladeny stále vyšší a vyšší nároky, nejen co se týče kvality opracovaného povrchu, ale i zkrácení strojního času. Také proto jsou stále vylepšovány nejen obráběcí stroje, ale také obráběcí nástroje a hlavně zdokonalovány materiály, ze kterých se tyto nástroje vyrábějí.

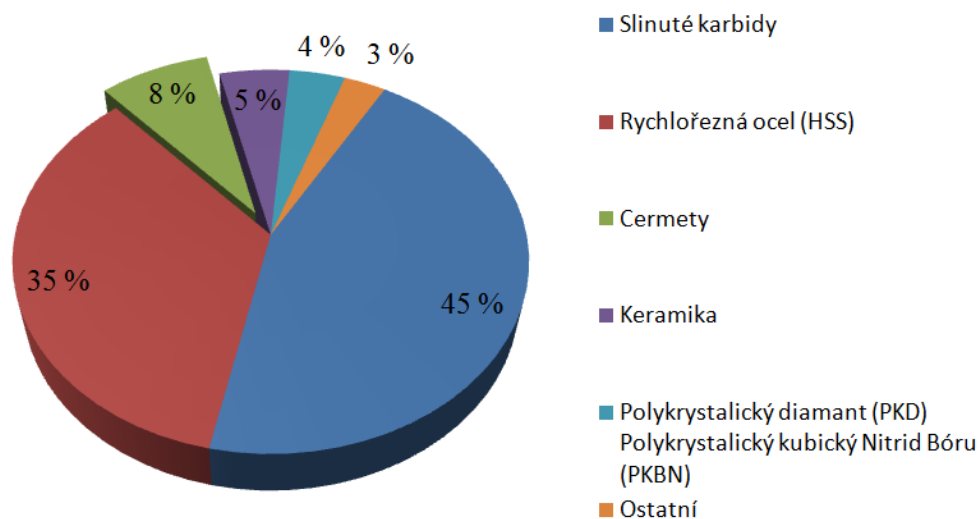
V současné době je na trhu široký výběr řezných materiálů, ať už jde o slinuté karbidy, rychlořeznou ocel, cermety, řeznou keramiku, supertvrdé materiály, nebo další. Většina z těchto materiálů se v současnosti vyrábí ve formě břitových destiček, které jsou různě upevněny na těla nástrojů. Aby tyto materiály, respektive nástroje vyrobené z těchto materiálů dosáhly požadovaných výsledků při různých operacích obrábění (hrubování, zapichování atd.), musí mít dobré mechanické a fyzikální vlastnosti, které si ve slušné míře musí nástroj udržet i při zhoršených podmínkách obrábění. Tyto vlastnosti se mohou dále zlepšovat díky různým metodám povlakování.

Jednotlivé druhy řezných materiálů mají různé vlastnosti a tím pádem i různé možnosti uplatnění v obrábění. Řezná keramika se díky své vysoké tvrdosti a chemické odolnosti používá k obrábění litin a nástrojových ocelí, ovšem její nevýhoda spočívá v nízké houževnatosti. Supertvrdé materiály jako polykrystalický diamant a kubický nitrid bóru mají sice vynikající mechanické vlastnosti (tvrdost, odolnost proti opotřebení), proto se také používají pro obrábění neželezných slitin a tvrdých materiálů jako jsou litiny, keramika, kalené oceli a další, ale jejich nevýhoda spočívá ve vysoké křehkosti, možnosti chemické reakce s obráběnými materiály a také jejich vysoké ceně. Slinuté karbidy, které jsou u výrobců hojně zastoupeny, mají díky svým mechanickým vlastnostem téměř univerzální použití, ovšem kvůli nízké chemické stabilitě se nedají použít pro vysoké řezné rychlosti. Cermety tuto nevýhodu nemají, proto se používají hlavně pro vysoké řezné rychlosti při dokončovacích operacích. Ovšem cermety se nehodí pro operace s přerušovaným řezem. Jak lze vidět z tohoto shrnutí, neexistuje žádný univerzální řezný materiál, který by se mohl bez problémů použít na jakoukoliv metodu obrábění a jakýkoliv druh obráběného materiálu. Je proto snahou výrobců stále zlepšovat vlastnosti materiálů, aby při obráběcích operacích odpadla nutnost výměny nástrojů, čímž by se ušetřil nejenom výrobní čas, ale i náklady spojené s touto výměnou.

1. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

V současné době existuje široká škála materiálů pro řezné nástroje. Tyto materiály jsou důsledkem dlouholetých celosvětových studií, výzkumů a laboratorních testů. Tedy hlavní problém dnešní doby nespočívá v intenzivním hledání nových řezných nástrojů, ale spíše ve zdokonalování vlastností již objevených materiálů. Optimální míru řezných vlastností jako je tvrdost, houževnatost, odolnost proti opotřebení, pevnost v ohybu a tepelná vodivost by si měl materiál udržet i při zhoršených podmínkách obrábění.

Řezné nástroje dělíme do několika skupin. Jsou to nástrojové oceli (zde patří hlavně rychlořezná ocel), slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé řezné materiály (polykrystalický diamant, polykrystalický kubický nitrid bóru). Další popis jednotlivých materiálů bude sestupný, podle světové produkce v % (obr. 1.1).



Obr. 1.1 Světová produkce řezných materiálů v %⁹

Tab. 1.1 Značení nástrojových materiálů dle normy ČSN ISO 513⁴

Materiál		Symbol
Nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC	Zrnitost $\geq 1\mu\text{m}$	HW
	Zrnitost $< 1\mu\text{m}$	HF
Nepovlakované cermety s obsahem TiC nebo TiN nebo obou		HT
Povlakované slinuté karbidy a cermety		HC
Řezná keramika	Oxidická ŘK s obsahem primárního Al_2O_3	CA
	Směsná ŘK na bázi Al_2O_3 s neoxidickými přísadami	CM
	Neoxidická ŘK s obsahem primárního Si_3N_4	CN
	Povlakovaná ŘK	CC
Supertvrdé materiály	Polykrystalický diamant	DP
	Polykrystalický kubický nitrid bóru	BN

1.1 Slinuté karbidy

Tyto materiály mají největší zastoupení ve světové produkci řezných materiálů. Jsou to materiály vyrobené práškovou metalurgií, kdy dnešní moderní technologie práškové metalurgie jsou schopny vyrobit slinuté karbidy se zrna nanometrických rozměrů. Neboť jednou z cest zlepšení mechanických vlastností nejen slinutých karbidů, ale i dalších nástrojových materiálů je snižování velikosti zrna tvrdých strukturních složek. Slinuté karbidy mají největší modul pružnosti, ohybovou pevnost a lomovou houževnatost ze všech nástrojových materiálů, proto se používají pro vysoké posuvové rychlosti a pro přerušované řezy, ovšem jejich termochemická aktivita jim neumožňuje použití při vysokých řezných rychlostech. Základní karbidem pro výrobu všech slinutých karbidů pro účel obrábění je karbid wolframu (WC), jako pojící prvek slouží kobalt (Co), další složky mohou být karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC), či niobu (NbC) a chromu (Cr_3C_2).

1.1.1 Označení slinutých karbidů

Hlavní rozdělení slinutých karbidů je na povlakované a nepovlakované slinuté karbidy. Dále se nepovlakované SK dělí dle zrnitosti.

Nepovlakované slinuté karbidy jsou dle normy ČSN ISO 513 značeny HW, nebo HF a jsou rozděleny do těchto tří skupin podle použití:

Skupina P – pro obrábění železných kovů s dlouhou třískou. Označené **modře**.

Skupina M – pro obrábění železných kovů s dlouhou, nebo krátkou třískou a obrábění neželezných kovů. Označené **žlutě**.

Skupina K – pro obrábění železných kovů s krátkou třískou, neželezných kovů a nekovových materiálů. Označené **červeně**.

Mimo těchto tří základních skupin lze slinuté karbidy (nepovlakované i povlakované) dle použití zařadit ještě do tří nových skupin.

Skupina N - pro obrábění neželezných slitin na bázi hliníku, hořčíku, nebo mědi, obrábění plastů, kompozitů a dřeva. Označení **zeleně**.

Skupina S – pro obrábění slitin titanu a žárovevých slitin na bázi niklu, kobaltu, nebo železa. Označení **hnědé**.

Skupina H – pro obrábění zušlechťených a kalených ocelí a obrábění tvrzených litin. Označení **tmavošedé**.

K těmto písmenům se přiřazuje ještě číslo (např. P10), kdy vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojícího kovu⁴.

Povlakované slinuté karbidy můžeme považovat za jednoduché kompozitní materiály. Na houževnatém jádru je nanesen povlak, který slouží ke zvýšení tvrdosti a otěruvzdornosti. Povlak může být jednovrstvý, nebo vícevrstvý, s jednou, nebo více složkami. Povlakované slinuté karbidy se značí HC společně s povlakovanými cermety.

1.2 Nástrojové oceli

Jsou to speciální druhy ocelí, na které jsou kladeny zvýšené nároky na komplex strukturních parametrů a vlastností, které podmiňují vyrobitelnost nástroje. Nejdůležitější vlastností nástrojových ocelí, stejně jako všech řezných materiálů je ovšem řezivost, tj. schopnost opracovávat daný materiál.

1.2.1 Označení nástrojových ocelí

Dle normy ČSN EN 100 20 (420002) jsou nástrojové oceli označovány třídou 19. Dále se oceli třídy 19 rozdělují na nelegované a legované. Za označením třídy oceli následuje třetí číslice charakterizující druh oceli a v případě legovaných ocelí hlavní legující prvky (tab. 1.2). Význam čtvrté číslice u nelegovaných ocelí (třetí číslo 0,1,2) tvoří se třetí číslicí dvojčíslí charakterizující střední obsah uhlíku v oceli.

Tab. 1.2 Význam třetí číslice v základní číselné značce ocelí třídy 19¹⁰

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

Další označení je dle normy ČSN EN 10027-1, zde jsou nástrojové oceli rozděleny podle chemického složení na nelegované, středně legované, legované a rychlořezné. Podle této normy se nelegované nástrojové oceli řadí do skupin 15-18 jako oceli ušlechtilé, oceli legované do skupin 20-28, podle legujícího prvku. Rychlořezné oceli se dělí na skupinu 32 – rychlořezné oceli s Co a skupinu 33 – rychlořezné oceli bez Co.

Rychlořezné oceli podle této normy začínají písmeny HS a další čísla udávají střední obsahy legujících prvků v tomto pořadí:

- wolfram (W),
- molybden (Mo),
- vanad (V),
- kobalt (Co).

Čísla jsou zaokrouhlena na nejbližší celá čísla a vzájemně oddělena spojovníky (např. HS-18-0-1).

1.3 Řezná keramika

Řezná keramika umožňuje vysokorychlostní obrábění a obrábění velmi tvrdých materiálů. Obecně se popisuje řezná keramika jako řezný nástroj vyrobený z kovových oxidů a nitridů. Řezné nástroje z keramiky jsou výhradně užívány jako břitové destičky, které se vyrábí z oxidu hlinitého (Al_2O_3), oxidu yttritového (Y_2O_3), oxidu zirkoničitého (ZrO_2), karbidu titanu (TiC), někdy nitridu titanu (TiN) či nitridu křemíku (Si_3N_4). Řezná keramika se vyznačuje vysokou tvrdostí, ale nízkou houževnatostí. Pro novou keramiku je charakteristické, že je vyráběna z velmi čistých surovin.

1.3.1 Označení řezné keramiky

Pro značení materiálů z řezné keramiky neexistuje žádná konkrétní norma. Značí se následovně:

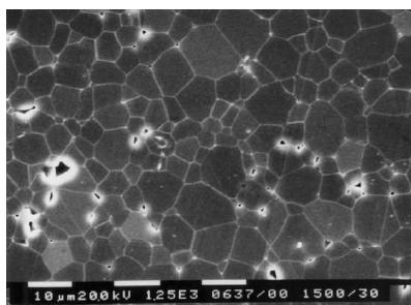
Oxidová keramika

- čistá (99,5 % Al_2O_3) podle ČSN ISO 513 značení CA (obr. 1.2)
- polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoC}$) značení CA (obr. 1.3)
- směsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$) značení CM

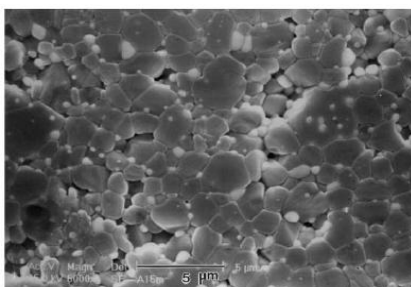
Nitridová keramika

- Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$, sialony - označení CN (obr. 1.4)

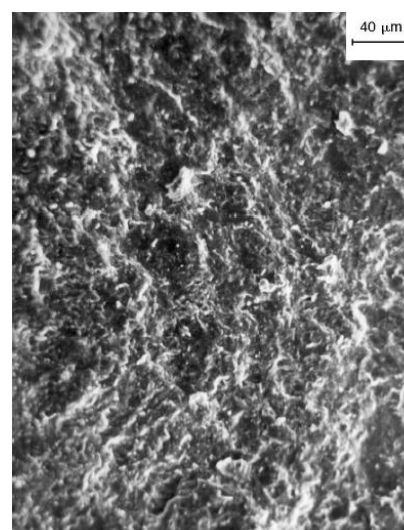
V dnešní době lze všechny druhy keramik vyrábět s vyztuženými vlákny (whiskery), nebo otěruvzdornými CVD, nebo PVD povlaky (Ceramtec). Pro označování povlakovaných keramik se dle normy ČSN ISO 513 používá značka CC.



Obr. 1.2 Čistá keramika (Al_2O_3)²⁵



Obr. 1.3 Polosměsná keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$)²⁵



Obr. 1.4 Nitridová keramika ($\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$)²⁵

1.4 Supertvrdé materiály

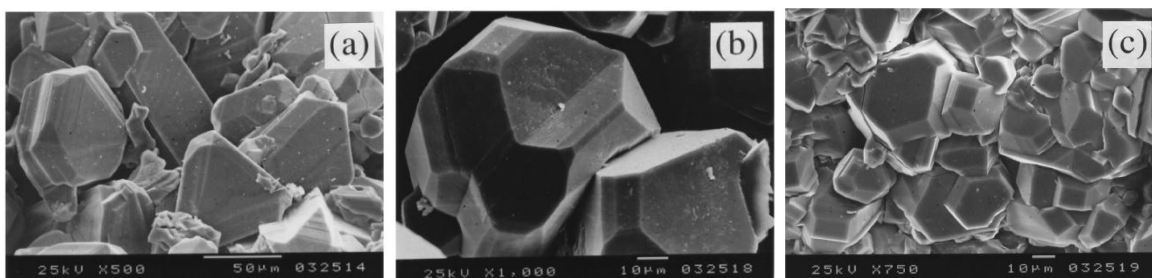
Podle Mohsovy stupnice tvrdosti je nejtvrděší látka na světě přírodní diamant. Tvrdosti přírodního diamantu se blíží tvrdost synteticky vyrobeného diamantu a synteticky vyrobeného kubického nitridu bóru, proto se za supertvrdé materiály považují veškeré materiály, které některou z těchto látek obsahují. Tyto materiály svými vlastnostmi převyšují dosud známé běžné řezné nástroje, a proto se převážně používají jako řezné materiály pro speciální aplikace. Do této skupiny patří polykrystalický diamant na bázi diamantu (PKD) a na bázi kubického nitridu bóru (PKBN)².

1.4.1 Polykrystalický diamant (PKD)

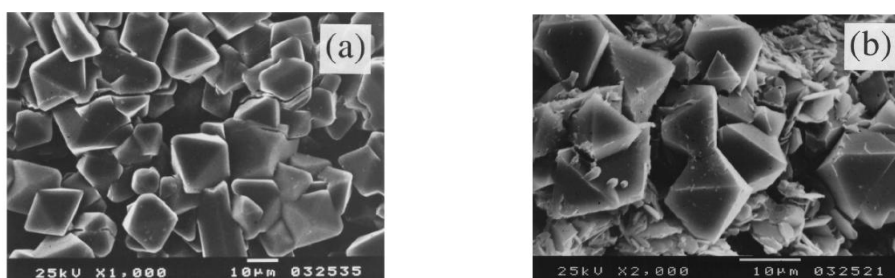
Přírodní diamant díky vysoké vazebné energii kubické mřížky je nejtvrděší ze známých materiálů. Diamanty se dělí na dvě zásadní skupiny: přírodní a syntetické.

Oba uvedené druhy se vyskytují ve tvaru monokrystalickém a polykrystalickém, ovšem přírodní diamanty nemají pro obrábění téměř žádný vliv, neboť jsou nejenom příliš drahé, ale i technologicky méně výhodné, než diamanty syntetické.

Použití nástrojů a břitových destiček osazených PKD je hlavně pro obrábění neželezných kovů a slitin, jako jsou např. hliník a jeho slitiny, měď, mosaz, titan atd. Jedná se většinou o materiály, jejichž teplota tavení je pod 700°C a které nemají afinitu k uhlíku. Dále se stále více používají při obrábění keramických a plastických hmot, gumy, grafitových hmot a jiných kompozitních materiálů s abrazivní složkou. Díky vynikající výkonnosti a trvanlivosti řezných nástrojů osazených polykrystalickým diamantem se zde nabízí využití hlavně ve velkosériové výrobě. Podle normy ČSN ISO 513 se polykrystalický diamant značí DP.



Obr. 1.5 Diamantové krystaly ze systému grafit – bezvodý MgSO_4 ²⁷

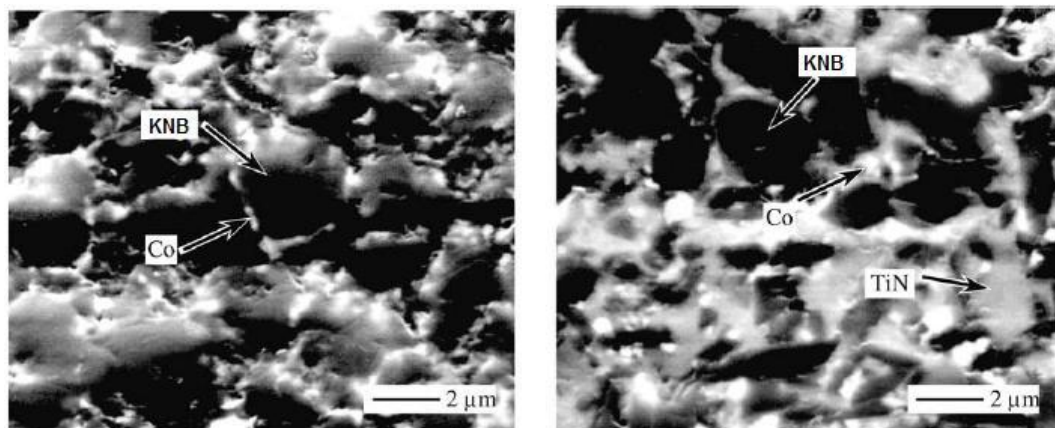


Obr. 1.6 Diamantové krystaly ze systému grafit – vodnatý MgSO_4 ²⁷

1.4.2 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKBN)

Přírodní nitrid bóru není stejně jako přírodní diamant vhodný pro výrobu řezných nástrojů, důvodem je přílišná měkkost. Teprve transformací mřížky, za vysokých tlaků a teplot, z hexagonální mřížky na kubickou mřížku se stává nitrid bóru druhým nejtvrdším materiálem vedle diamantu. Z čehož vyplývá, že nitrid bóru, stejně jako uhlík může existovat ve více modifikacích. Pro obrábění je nepříliš významná hexagonální struktura (měkká), ale druhá mnohem důležitější pro obrábění je kubická struktura (tvrdá)(obr. 1.7). Kubický nitrid bóru má oproti diamantu téměř dvojnásobnou tepelnou vodivost (běžně 1500-1600°C) a lepší chemickou stálost, což značně rozšiřuje oblasti použití tohoto materiálu.

Využívá se při obrábění litiny s tvrdostí nad 50HRC, legované litiny a tvrdých návarů. Používají se hlavně nástroje a vyměnitelné břitové destičky osazené PKNB. Životnost těchto nástrojů je mnohonásobně větší, než u podobných nástrojů ze slinutých karbidů, či řezné keramiky. V nově vyvíjených pracovních postupech a technologiích se výrobci stále snaží zdokonalovat vlastnosti supertvrdých materiálů. Například japonská firma Mitsubishi propaguje slinování aktivních částí kubického nitridu bóru (Particle-Activated-Sintering), při této metodě jsou zcela eliminovány všechny nečistoty a příměsi a na povrchu zrn PKNB se vytváří rovnoměrná reaktivní vrstva ve formě pláště, který obalí každé zrn. Kubický nitrid bóru se značí dle normy ČSN ISO 513 značkou BN.



Obr. 1.7 Mikrostruktura PKNB řezných materiálů⁵

2. CERMETY – CHARAKTERISTIKA

Název slova CerMet vznikl složením prvních tří hlásek slov „CERamics“ (keramika) a „METal“ (kov). Z čehož vyplývá, že by se mělo jednat o nástrojový materiál, jenž spojuje výhodu tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Ve skutečnosti tomu tak samozřejmě není, materiál s těmito mechanickými vlastnostmi se zatím vyrobit nepodařilo⁴.

2.1 Historie

První generace prakticky použitelných cermetů byla použitelná již v polovině 50. let minulého století. Ovšem tyto materiály nevyvolávali přílišnou pozornost ani v USA, ani v Evropě, hlavním důvodem byla nedostatečná houževnatost. Naproti tomu se ujaly v Japonsku, jako levný a dostupný materiál pro řezné nástroje, protože většinou neobsahují kobalt ani wolfram. V Japonsku se také staly velmi populární, našly zde největší uplatnění a samozřejmě je zde největší vývoj těchto materiálů i dnes. Na konci 80. let minulého století tvořily cermet v Japonsku více než jednu čtvrtinu všech užívaných břitových destiček. Tento vývoj lze nejvíce připsat nedostatku zdrojů wolframu na japonském trhu, ale také osvědčením cermetů jako řezného materiálu pro dokončovací obrábění vysokými rychlostmi.

Vývoj a rozsah použití cermetů vzbudil v polovině 80. let zájem o tyto řezné materiály v USA i Evropě. V polovině 60. let byly uvedeny na trh cermety na bázi TiC, houževnaté cermety na bázi Ti(C,N) byly vynalezeny již v roce 1931.

Opravdový rozvoj ve vývoji a produkci nastal v letech 1968–1970, po výzkumu vedeném Kiefferem a jeho spolupracovníky, kteří poopravili předsudky vůči tvrdým částicím na bázi dusíku. Od té doby bylo vyvinuto mnoho dalších druhů cermetů.

Nejdříve byla užita první generace cermetů TiC-Mo₂C-Ni. Tato generace byla omezena pouze na oblast lehkého řezání, protože jejich odolnost proti vydrolování a houževnatost byly ve srovnání s běžnými slinutými karbidy nižší, proto byly také z trhu postupně vytlačeny a současné době se téměř nepoužívají.

Dále byla hlavní pozornost věnována zvýšení pevnosti a odolnosti proti vydrolování, tyto vlastnosti byly zlepšeny přidáním TaC a WC. Výsledkem bylo rozšíření cermetů v oblasti soustružení středními hodnotami posuvové rychlosti a lehké frézování, což upevnilo pozici cermetů v oblasti soustružení a hlavní aplikace druhé generace cermetů byly zaměřeny na obrábění nižší rychlostí a vyšším posuvem, na rozdíl od obrábění vysokými rychlostmi, doporučované v počátečním období užití.

Třetí generace cermetů je založena na TiC-TiN. Podíl TiC byl postupně nahrazován TiN, nebo Ti(C,N). Zvýšila se zbytková pórovitost, což se projevilo na snížení ohybové pevnosti. Pokud jsou pečlivým řízeným výrobním postupem eliminovány póry, stávají se cermety typu TiC-TiN velmi výhodným řezným nástrojem. Ve srovnání s předchozími generacemi cermetů mají vyšší odolnost proti vydrolování a opotřebení, proto je také většina dnešních cermetů založena na TiC-TiN.

Jak již bylo zmíněno dříve, protože tvrdá fáze vytváří při obrábění plochy s velmi nízkou drsností povrchu, jsou cermety velmi rozšířenými řeznými nástroji hlavně pro dokončovací operace obrábění³.

Tab. 2.1 Historický vývoj cermetů³

Rok	Nový materiál, technologie
1929 až 31	TiC-Mo ₂ C-Ni, Cr, Mo
1930 až 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 až 66	TiC – tepelně zpracovatelné materiály
1957	TiC-TiB ₂
1965 až 70	Ti(C,N)-Ni, Mo, TiC-Mo ₂ C-C-Ni,Mo
1968 až 70	(Ti,Mo)C-Ni,Mo
1968 až 73	TiC-Al ₂ O ₃
1969 až 70	TiC-TiN-Ni
1972 až 75	TiC-TaN-Ni
1973 až 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 až 83	(Ti,Mo,W)(C,N)-Ni,Mo,Al
1981 až 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 firma Widia
1988 až 89	Cermety s 5 – 6 % dusíku, firma Sumitomo
1990 až 94	Submikrometrová zrnitost (firma Mitsubishi), CVD a PVD povlaky
1991	(Ti,Ta,Nb,V,Mo,W atd.)(C,N)-Ni-Cr

2.2 Značení

Cermety se mohou dělit na nepovlakované a povlakované. U nepovlakovaných cermetů není povrch opatřen žádnou vrstvou materiálu, která by jim pomáhala ke zlepšení řezných vlastností a životnosti.

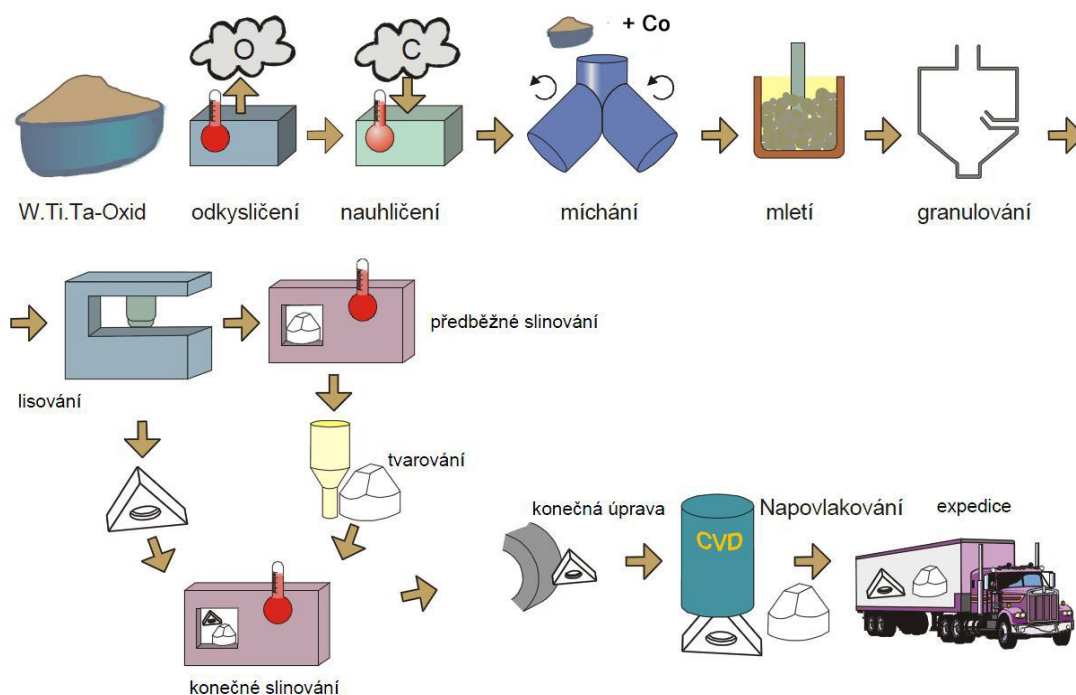
Oproti tomu povlakované cermety mají svůj povrch opatřen tenkou vrstvou jiného materiálu (např. WC-Co). Tyto povlaky slouží ke zlepšení řezných schopností např. zvýšení řezné rychlosti (až o 20-50%) a také ke zvýšení životnosti samotného nástroje. Pro povlakování se používají dvě základní metody PVD (Physical Vapour Deposition) a CVD (Chemical Vapour Deposition). Tloušťka povlaků se pohybuje od 2 do 15 μm. Povlakovaný materiál má lepší zrnitost a neobsahuje žádné pojivo.

Nepovlakované cermety s obsahem TiC, TiN, nebo obou se dle normy ČSN ISO 513 značí symbolem HT. Povlakované cermety se společně se slinutými karbidy značí podle stejné normy symbolem HC.

Dále se jednotlivé druhy cermetů značí různě podle typu výrobce (viz. kapitola 3).

2.3 Výroba

Cermety se vyrábí tradiční metodou práškové metalurgie (obr. 2.1), kterou se vyrábí i slinuté karbidy. Jako výchozí materiály jsou používány binární tvrdé sloučeniny TiC, TiN, Mo₂C, WC a (Ta,Nb)C. Tyto materiály jsou důkladně promíchány s prášky Co, Ni, nebo obou, které tvoří pojivovou fázi. Vhodné jsou i tuhé roztoky tvrdých složek jako Ti(C,N), (W,Ti)₂C, (Ti,Mo)C, nebo dokonce komplexní karbonitridové tuhé roztoky. Mikrostruktura cermetů, které byly slinovány v tekuté fázi Ni, a/nebo Co obsahuje uspořádaná zrna jediné tvrdé fáze, rozmístěné v matici pojivové fáze. Zrna tvrdé fáze mají typický vzhled s mikrostrukturou jádro-plášť.



Obr. 2.1 Průběh výroby cermetů²¹

2.3.1 Výchozí materiály pro výrobu cermetů

Uhlík (C) – tvoří základní stavební kámen všech organických sloučenin na Zemi. Typický nekovový prvek.

Kobalt (Co) – feromagnetický kov modrobílé barvy. V cermetech plní funkci pojiva.

Nikl (Ni) – typický kovový feromagnetický prvek bílé barvy, dá se výborně leštit, je velmi tažný a dá se kovat, svařovat, nebo válcovat. Patří mezi pře-

chodné prvky, které mají valenční elektrony v d-sféře. Stejně jako kobalt plní funkci pojiva.

Molybden (Mo) – stříbřitý až šedobílý, tvrdý a křehký kov, se značně vysokým bodem tání. Na Zemi poměrně vzácný. Nejznámější rudou je molybdenit (sulfid molybdeničitý, MoS_2).

Wolfram (W) – je šedý až stříbřitě bílý, velmi těžký a mimořádně obtížně tavitelný kov. Hlavní uplatnění nalézá jako složka nejrůznějších slitin.

Titan (Ti) – stříbrolesklý kov, poměrně hojně zastoupen v zemské kůře. Je poměrně tvrdý a mimořádně odolný proti korozi i slané vodě.

Vanad (V) – tvrdý, šedobílý, kujný kov s vysokými teplotami tání a varu. Značně chemicky odolný vůči kyselinám. Vyrábí se pražením rozdrčené rudy nebo zbytků kovového vanadu s chloridem sodným (NaCl) nebo uhličitánem sodným (Na_2CO_3).

Chrom (Cr) – světle bílý, lesklý, velmi tvrdý (nejtvrdší elementární kov) a zároveň křehký kov. Vyznačuje se mimořádně nízkou reaktivitou a vysokou chemickou odolností.

Tantal (Ta) – vzácný, tvrdý, modro-šedý, přechodný kov. Je vysoce korozivzdorný, také je dobrý vodič tepla a elektřiny.

Niob (Nb) – pro velmi podobné vlastnosti s tantalem panoval dlouho názor, že jde o jeden prvek. Je to šedý, kujný, kovový prvek, poměrně značně chemicky stálý. Jeho zbarvení se při dlouhodobém působení na vzduchu mění na namodralé. Na Zemi poměrně vzácný.

Tab. 2.2 Vlastnosti výchozích materiálů pro výrobu cermetů²⁶

Název prvku Značka	Uhlík C	Kobalt Co	Nikl Ni	Molybden Mo	Wolfram W	Titan Ti	Vanad V	Chrom Cr	Tantal Ta	Niob Nb
Atomová hmotnost [g/mol]	12,01	58,93	58,69	95,94	183,84	47,87	50,94	51,99	180,95	92,9
Teplota tání [°C]	3527	1495	1455	2623	3422	1668	1915	1907	3017	2477
Teplota varu [°C]	4027	2927	2913	4639	5555	3287	3407	2671	5458	4744
Hustota [g/cm ³]	2,27 grafit 3,5 diamant	8,9	8,908	10,28	19,25	4,5	6,11	7,15	16,69	8,57
Tepelná vodivost [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	119-165 grafit 900-2300 diamant	100	90,9	138	173	21,9	30,7	93,9	57,5	53,7
Mohrova tvrdost	1-2 grafit 10 diamant	5	4	5,5	7,5	6	6,7	8,5	6,5	6
Měrný el. odpor [μΩ·m]	40-60	0,097	0,07	0,05	0,056 až 0,083	0,032	0,06	0,026	0,124 až 0,16	0,233
Youngův modul [GPa]	1050 diamant	209	200	329	411	116	128	279	186	105
Poissonovo číslo	0,1 diamant	0,31	0,31	0,31	0,28	0,32	0,37	0,21	0,34	0,4
Tvrdost podle Vickerse [Mpa]		1043	638	1530	3430	970		1060	873	1320
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	478 diamant	75	76	126	161	44	47	115	69	38

2.3.2 Příprava výchozích prášků karbidů a pojících kovů

Tato část výroby je velmi důležitá z hlediska ovlivnění vlastností výsledného produktu. Hlavní cíl je vytvoření jemnozrné, homogenní práškové směsi karbidů a pojícího kovu. Tento proces se děje mletím směsi prášku, které může být jak za sucha, tak i v kapalném prostředí. Po ukončení mletí je důležité, aby karbidická zrna byla jemná, rovnoměrně rozptýlená a dokonale obalena ještě jemnějším práškem pojícího kovu.

Při kapalném mletí napomáhá pracovní kapalina disperzi jednotlivých částic, proto je výhodnější. Ale má i jiné výhody jako minimalizování pracovní teploty, nebo ochranný účinek proti oxidaci. Nevýhoda spočívá v nutnosti dokonalého vysušení směsi po skončení mlecího procesu.

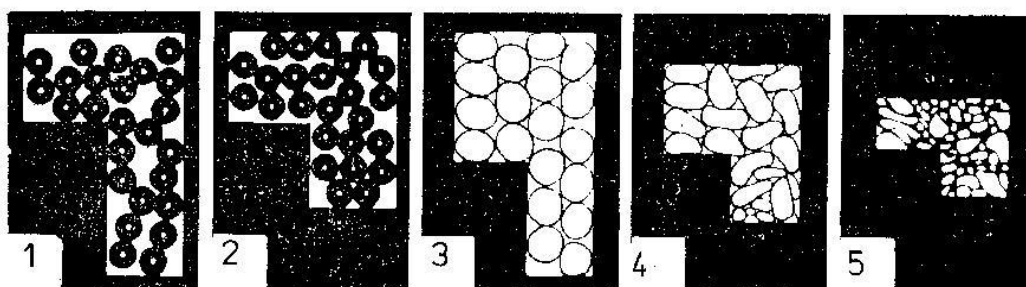
Mletí probíhá v kulových mlýnech, kde při pohybu uvnitř bubnu působí mlecí kuličky na pracovní směs rázovým a třecím účinkem. Mlecí účinek může být umocňován vibracemi pružně uloženého mlýnu. Mletí je dlouhodobý proces, který může trvat i několik dnů, po mletí se směs prášků prosívá¹¹.

2.3.3 Formování směsí

Docílení požadovaného tvaru, rozměrů a vlastností výrobků se docílí formováním - zhutňováním. Při formování je snaha docílit homogenity zhutnění v celém objemu, minimální pórovitosti, zvětšení hmotnosti zhotovovaných výrobků a vyšší rozmarnosti tvarů. Směs práškových karbidů a pojícího kovu může být formována více metodami, které se dělí na základní dvě skupiny:

- 1) zhutňování s použitím tlaku (např. válcování, izostatické lisování, kování, protlačování)
- 2) zhutňování bez použití tlaku (např. vibrační tvarování, keramické lití)

Z hlediska teplot se procesy dělí na zhutňování za tepla a za studena¹¹.



Obr. 2.2 Schéma stádií lisování prášků. (1. zásyp, 2. přemístění částic prášku, 3.-5. zhutňování vlivem deformace částic)¹¹

2.3.4 Slinování

V průběhu slinování je vylisované těleso umístěno do slinovací pece, kde je ohříváno a následně ochlazováno za řízených podmínek, v atmosféře H_2 , nebo smíšené atmosféře H_2/N_2 , Ar, či ve vakuu. Tento proces je náročný jak z teplotního hlediska, tak z hlediska časových prodlev během slinování (obr. 2.3). Po skončení procesu slinování je výrobek zcela zhutněn, vykazuje poža-

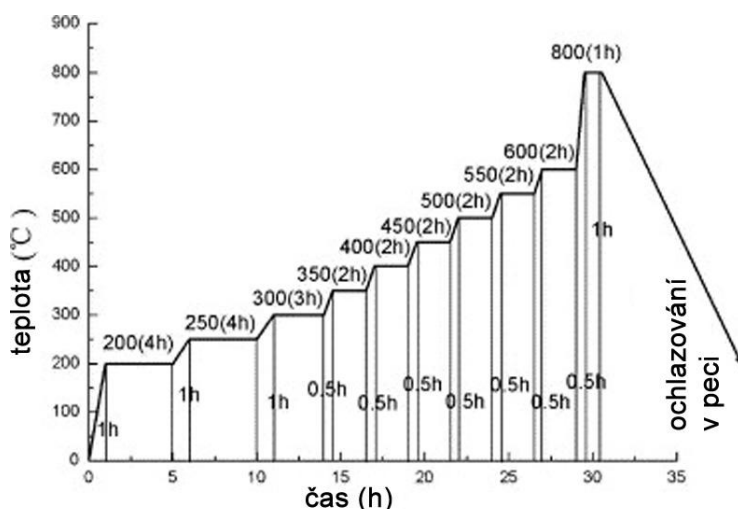
dovanou mikrostrukturu a má očekávané mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Celý proces slinování může být rozdělen na dvě části: předslinování a slinování, i když z technologického hlediska mohou být tyto dvě části spojeny do jedné operace.

Slinování je proces, při kterém je materiál zhutněn, vytvoří se hranice mezi zrny tvrdé fáze a difuzní procesy přeskupí jednotlivé složky. Je považován za nejkritičtější fázi výrobního procesu cermetů. Pro výrobu současných cermetů na bázi karbonitridu titanu se kromě slinování nejčastěji užívají tyto metody:

- vysokoteplotní lisování,
- vysokoteplotní izostatické lisování (HIP) – tímto způsobem výroby se může odstranit zvýšená mikropórovitost způsobená dusíkem,
- slinování v kombinaci s HIP.

Výchozími materiály jsou prášky TiC/TiN, nebo Ti(C,N), dalšími přísadami mohou být Mo₂C, VC, WC, NbC, TaC, ZrC atd., které zpevňují tvrdé fáze v důsledku zpevňujících mechanismů. Základním pojivem je nikl, ke kterému se často přidává kobalt kvůli snížení rozpustnosti Ti v Ni a stabilizaci karbonitridů. Pro zpevnění pojivové fáze se do některých cermetů přidává molybden, který se výrazně podílí na zpevnění tuhého roztoku niklu. V poslední době se do pojiva místo kobaltu přidává značné množství chromu, tím se zvyšuje smáčivost, houževnatost, vysokoteplotní pevnost a odolnost proti oxidaci.

Co se týče smáčivosti při slinování, tak dobrá smáčivost nezaručuje dobré spojení, ale dobré spojení vyžaduje dobrou smáčivost. Měřítkem je tzv. kontaktní (smáčecí) úhel mezi zrny tuhé fáze a tekutým kovem^{3,11}.

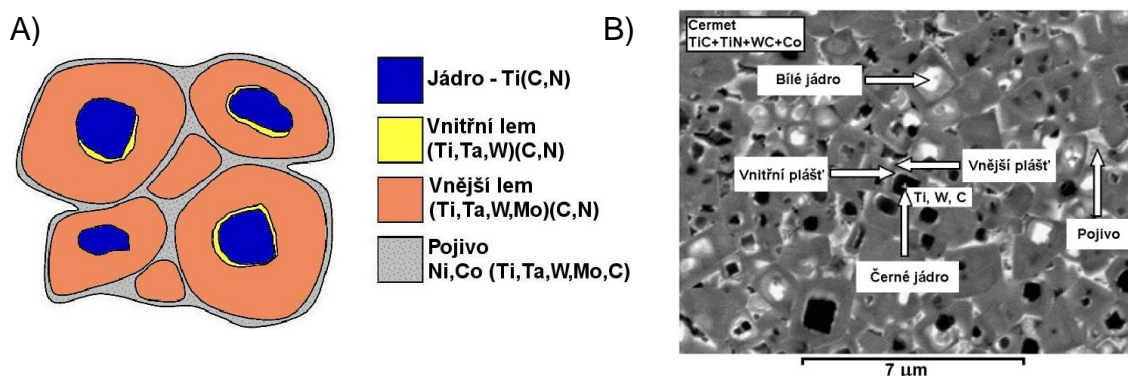


Obr. 2.3 Průběh slinovacího procesu cermetu¹³.

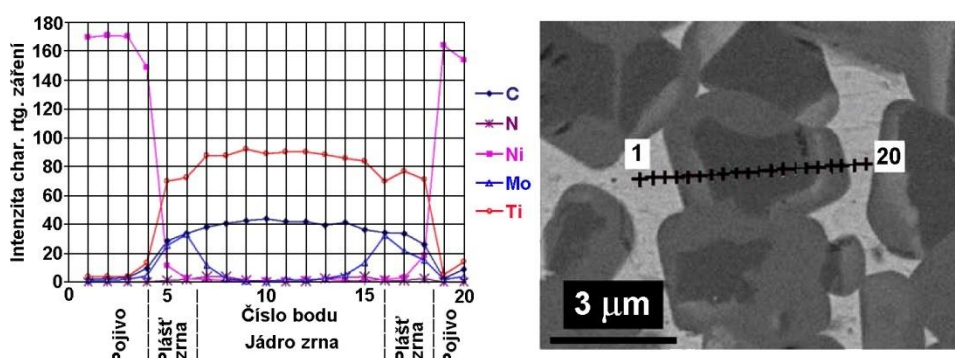
2.4 Struktura a vlastnosti cermetů

Stejně jako slinuté karbidy jsou cermety slinuté materiály, s tím rozdílem, že slinuté karbidy jsou materiály s tvrdou fází karbidu wolframu (WC), zatímco cermety jsou slinuté materiály s tvrdou fází tvořenou zejména karbidem titanu (TiC), nitridem titanu (TiN), karbonitridem titanu (TiCN), nebo jejich kombinací. Jako kovové pojivo slouží nikl (Ni) či kobalt (Co). Na rozdíl od slinutých karbi-

dů nabízejí cermety výhody vyšších řezných rychlostí, protože TiC je termochemicky stabilnější než WC. Tvrdá fáze cermetů vytváří při obrábění plochy s velmi nízkou drsností, také proto jsou používány hlavně pro dokončovací operace obrábění. V porovnání se strukturou slinutých karbidů je struktura cermetů mnohem složitější a je ovlivněna mnoha faktory (velikostí částic, složením výchozího prášku apod.). Navíc se při pozorování zjistilo, že karbonitridová zrna vykazují takzvanou strukturu jádro-plášť, kdy černá jádra Ti(C,N) jsou obklopena šedými lemy složitých kubických karbonitridů (obr.2.4).



Obr. 2.4 A) Schematická mikrostruktura cermetů⁴ B) TEM obrázek cermetů¹⁴



Obr. 2.5 Analýza složení zrna cermetu¹

Zásadní změny ve vlastnostech cermetů, jak fyzikálních (elektrická a tepelná vodivost, hustota atd.), tak mechanických (houževnatost, tvrdost, pevnost, odolnost proti opotřebení) nastávají se změnami koncentrace jednotlivých prvků. Jak lze vidět na obr. 2.5 koncentrace jednotlivých prvků v různých částech zrna je odlišná. Vlastnosti se mohou měnit v závislosti na koncentraci primárních karbidů (TiN, TiC, Ti(C,N)), nebo sekundárních karbidů (TaC, WC, ZrC, NbC), či dokonce se změnami množství přidaného pojiva (Ni, Mo, Co, Mo).

Tab. 2.3 Porovnání vlastností nástrojových materiálů⁴

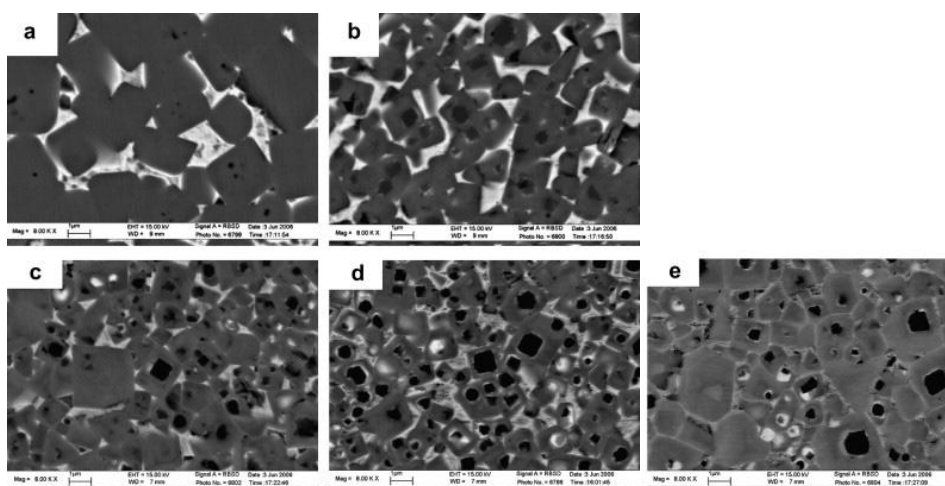
Vlastnost	Nástrojový materiál					
	Slinutý karbid WC+Co	Cermet Mo ₂ C+TiCN+Ni	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Al ₂ O ₃ +TiC	Si ₃ N ₄ +příslady	
Měrná hmotnost [g·cm ⁻³]	12÷15,1	5,6÷7	3,8÷4	4,2÷4,3	3,2÷3,4	
Pevnost v ohybu [MPa]	1000÷2400	1150÷1800	600÷800	600÷900	600÷950	
Tvrdost	[HV]	1900	2000	1600÷2200	1000÷2400	1800÷200
	[HRA]	90÷92	91÷93	91÷94	93÷95	86÷95
Modul pružnosti v tahu [GPa]	520÷660	500	340÷400	370÷420	300÷380	
Souč. délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]	4,5÷7	7÷7,5	7÷8,5	1,5÷3,5		
Měrná tepelná vodivost [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	80	30	20÷30	20÷25	30÷50	
Lomová houževnatost	10÷17	10	4÷6		5÷7	

2.4.1 Vliv WC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

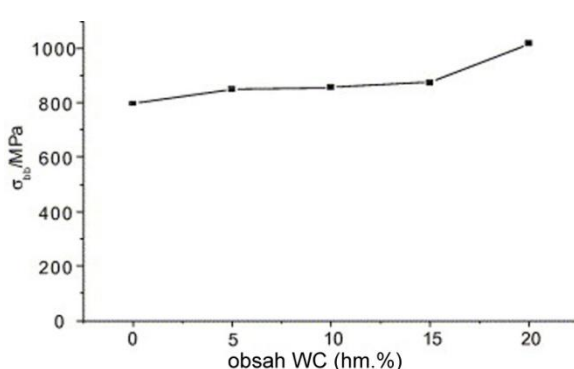
Vliv přísad WC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů zkoumali autoři¹³. Vlivem nárůstu karbidu wolframu (WC) se u zkoumaných cermetů snížilo množství pórů a také množství volného grafitu. Dále se zvětšila tloušťka vnitřního lemu, konečná velikost zrna (jádro-lem) se snížila, což mělo za následek zjemnění mikrostruktury cermetu (obr. 2.6). Z fyzikálních vlastností se zvýšila hustota cermetu (obr. 2.9). Obsah WC měl také vliv na mechanické vlastnosti, zvýšila se tvrdost (obr. 2.8) a nastalo i mírné zvýšení ohybové pevnosti (obr. 2.7), ovšem byl zaznamenán pokles lomové houževnatosti (obr. 2.10). WC zlepšuje smáčivost mezi keramickou a kovovou fází, snižuje rozpustnost Ti(C,N) v pojivu a tak omezuje růst zrn roztoku v precipitačním mechanismu během slinování. Z obr. 2.6 je patrné hromadění kovové fáze ve struktuře s nízkým obsahem WC, oproti tomu rovnoměrné rozložení kovových fází při vysokém obsahu WC (zejména 20%).

Tab. 2.4 Složení zkoumaných cermetů¹³

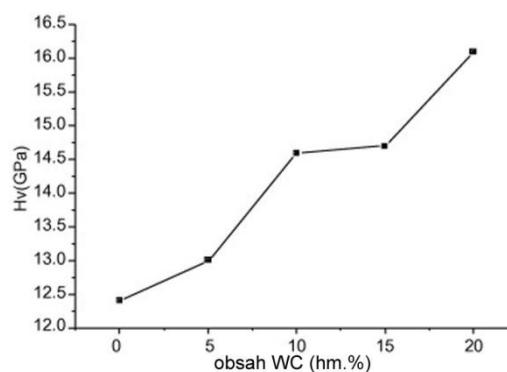
Specimen	TiC	TiN	WC	Co	C
A	68	10	0	20	2
B	63	10	5	20	2
C	58	10	10	20	2
D	53	10	15	20	2
E	48	10	20	20	2



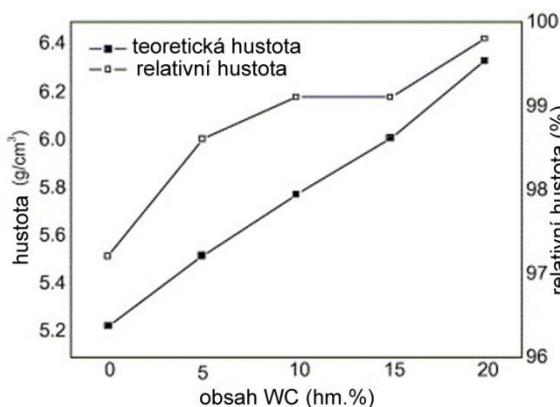
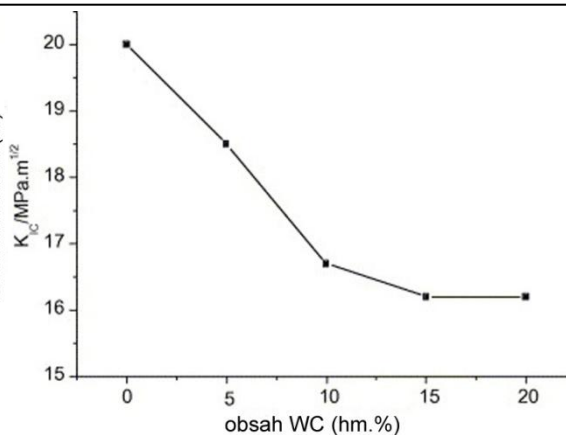
Obr. 2.6 Vliv obsahu WC na mikrostrukturu cermetů¹³



Obr. 2.7 Vliv obsahu WC na ohybovou pevnost (TRS)¹³



Obr. 2.8 Vliv obsahu WC na tvrdost¹³

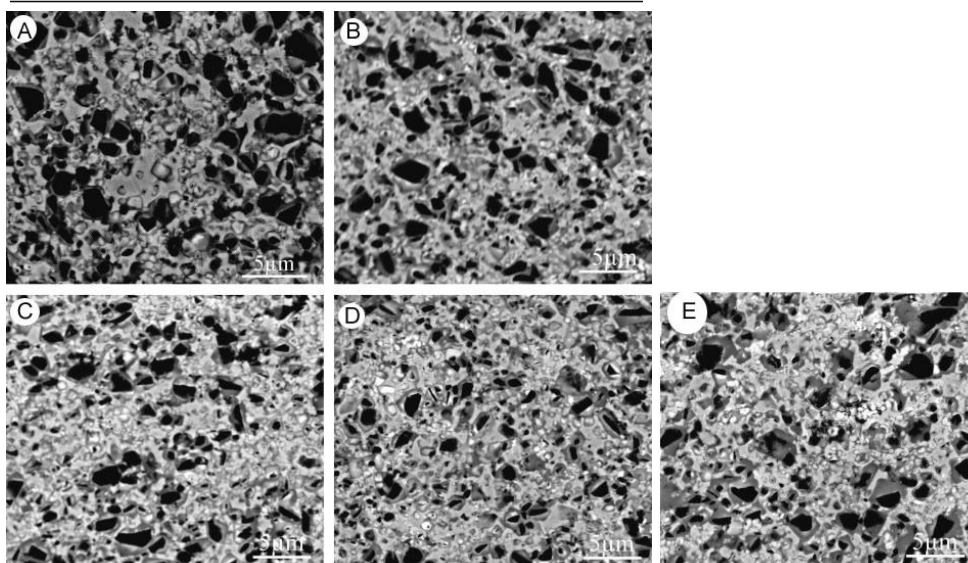
Obr. 2.9 Vliv obsahu WC na hustotu¹³Obr. 2.10 Vliv obsahu WC na lomovou houževnatost¹³

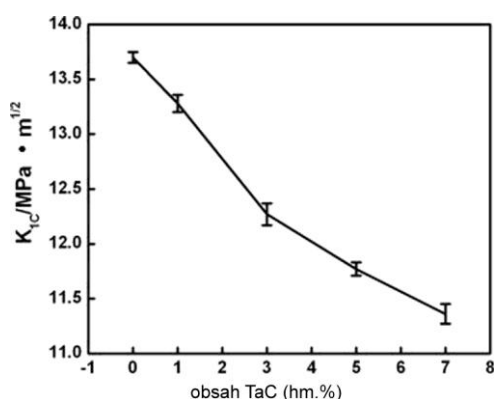
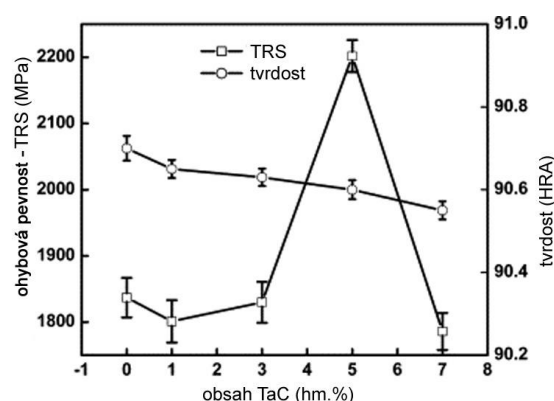
2.4.2 Vliv TaC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

Vlivem TaC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů se zabývali autoři²⁸. Z pozorování zjistili, že při obsahu karbidu tantalu (TaC) od 0 do 5 hm.% velikost zrn mírně poklesla, ovšem při 7 hm.% velikost zrn roste, což bylo způsobeno aglomerací zrn (obr. 2.11). Pórovitost cermetů roste do 3 hm. % TaC, následně klesá do 5 hm. % TaC, ovšem při 7 hm. % lze spatřit opětovný nárůst. Karbid tantalu napomáhá ke zvýšení rozpustnosti wolframu, titanu, molybdenu a tantalu v pojivové fázi. Z mechanických vlastností TaC mírně snižuje tvrdost (obr. 2.13). Největší ohybová pevnost byla pozorována u cermetů s 5 hm.% TaC (obr. 2.13). TaC také snižuje lomovou houževnatost (obr. 2.12). Z fyzikálních vlastností má obsah TaC vliv na hustotu, která se se zvyšujícím obsahem snižuje.

Tab. 2.5 Složení zkoumaných cermetů²⁸

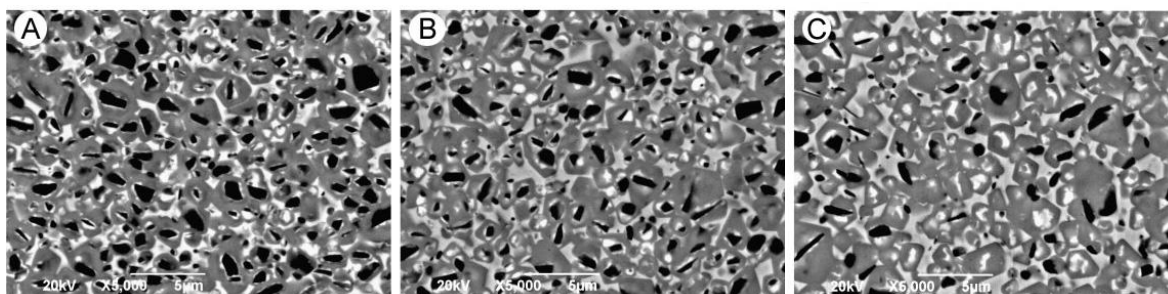
Cermets	TiC	TiN	Ni + Co	Mo	WC	Cr ₃ C ₂	C	TaC
A	35	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	0
B	35	10.6	23	16	12.7	0.6	1.1	1
C	35	10.6	23	16	10.7	0.6	1.1	3
D	35	10.6	23	16	8.7	0.6	1.1	5
E	35	10.6	23	16	6.7	0.6	1.1	7

Obr. 2.11 Vliv obsahu TaC na mikrostrukturu cermetů²⁸

Obr. 2.12 Vliv obsahu TaC na lomovou houževnatost²⁸Obr. 2.13 Vliv obsahu TaC na ohybovou pevnost a tvrdost²⁸

2.4.3 Vliv NbC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

Karbid Niobu byl u cermetů zaveden jako náhrada za dražší karbid tantalu. Vliv karbidu niobu na cermety byl zkoumán ve článku⁶. Z experimentů mohli autoři vyvodit tyto závěry. Zvyšující obsah NbC nemá téměř žádný vliv na okrajový lem cermetu ani na jemnost mikrostruktury výsledného cermetu (obr. 2.14). Ovšem vyšší obsah NbC snižuje teplotu slinování. Dále lehce snižuje pórovitost, nejlepší pórovitost byla sledována při 5 hm.% NbC a zlepšuje zhutnění cermetů. Pokud je obsah karbidu niobu nad určitou hodnotu (5 hm.%), některé částice se nerozpustí a stanou se precipitačními místy pro pevné roztoky, neboť rozpustnost niobu v tvrdé fázi je nízká.

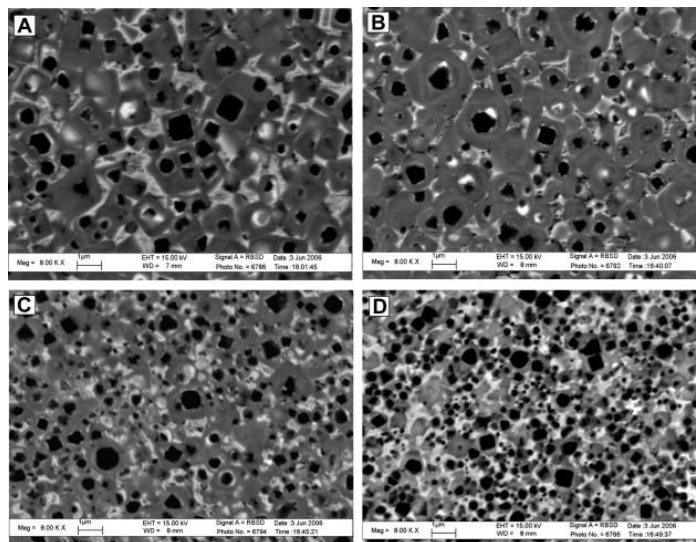
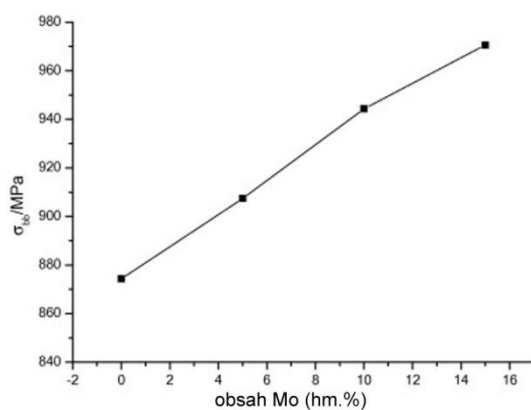
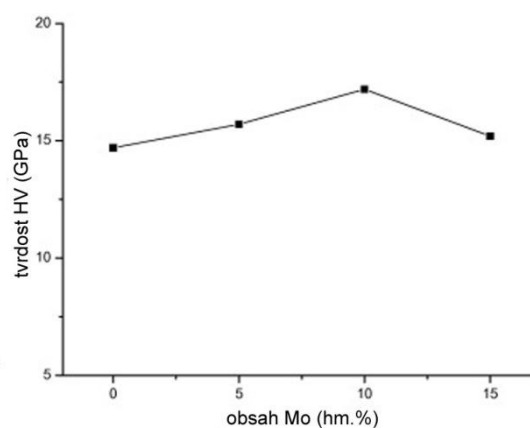
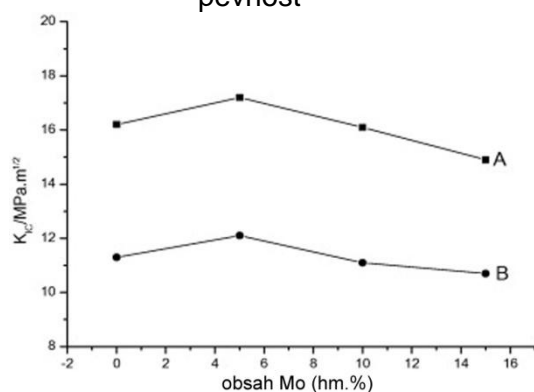
Obr. 2.14 Vliv obsahu NbC na mikrostrukturu cermetů (A- 0 hm.% NbC, B- 5 hm.% NbC, C- 10 hm.% NbC)⁶

2.4.4 Vliv Mo na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

Vliv molybdenu na mikrostrukturu a vlastnosti výsledných cermetů byl zkoumán ve článku^{15,33}. Zvyšující se obsah Mo zjemňuje strukturu cermetu (při překročení 10 hm.% Mo), zvyšuje tloušťku vnitřního lemu a snižuje tloušťku vnějšího lemu (obr. 2.15). Dále zlepšuje smáčivost mezi keramickou a kovovou fází, snižuje rozpustnost TiC, nebo Ti(C,N) v pojivu a tak omezuje růst zrna při rozpouštění precipitátů během slinování. Na mechanické vlastnosti má obsah molybdenu vliv také. Se zvyšujícím se obsahem Mo se zvyšuje ohybová pevnost (obr. 2.16), tvrdost se zvyšuje do 10 hm.% Mo, ale poté se snižuje (obr. 2.17). Lomová houževnatost se nejdříve lehce zvyšuje (maximum při 5 hm.% Mo), ovšem později klesá (z důvodu pozdějšího zjemnění struktury) (obr. 2.18).

Tab. 2.6 Složení zkoumaných cermetů¹⁵

Specimen	TiC	TiN	WC	Mo	Co	C
A	53.0	10	15	0	20	2.0
B	48.0	10	15	5	20	2.0
C	43.0	10	15	10	20	2.0
D	38.0	10	15	15	20	2.0

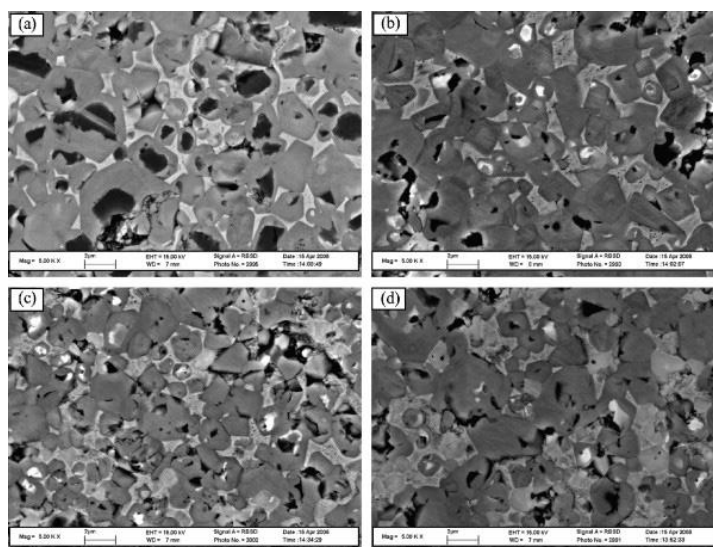
Obr. 2.15 Vliv obsahu Mo na mikrostrukturu cermetů¹⁵Obr. 2.16 Vliv obsahu Mo na ohybovou pevnost¹⁵Obr. 2.17 Vliv obsahu Mo na tvrdost¹⁵Obr. 2.18 Vliv obsahu Mo na lomovou houževnatost (A-metoda SNB, B-metoda IM)¹⁵

2.4.5 Vliv Zr na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

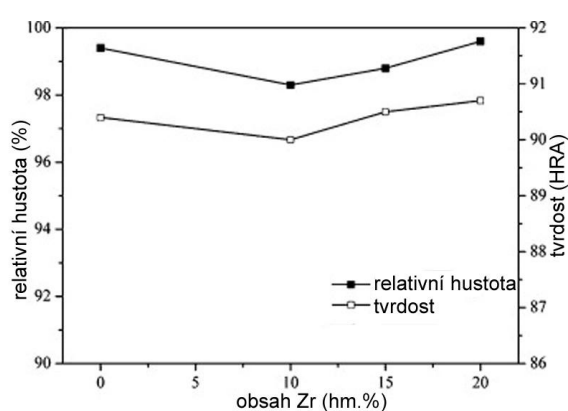
Také vliv zirkonu byl zkoumán a publikován³². Zvyšující obsah zirkonu v cermetech přispívá k tvorbě tuhých roztoků (Ti,Zr,W)(C,N) a (Zr,Ti,W)(C,N). Zirkon má také rafinační efekt v zrnech cermetů. Na strukturu cermetu působí zvýšení obsahu Zr zjemněním struktury (obr. 2.19). Mechanické vlastnosti zvýšení obsahu Zr ovlivní následovně, nepatrně se zvýší tvrdost (obr. 2.20) a ke zvýšení dojde také u lomové houževnatosti (při 10-15 hm.% Zr) (obr. 2.21). Z fyzikálních vlastností se nepatrně zvýší relativní hustota se zvýšením obsahu Zr (obr. 2.20).

Tab. 2.7 Složení zkoumaných cermetů³²

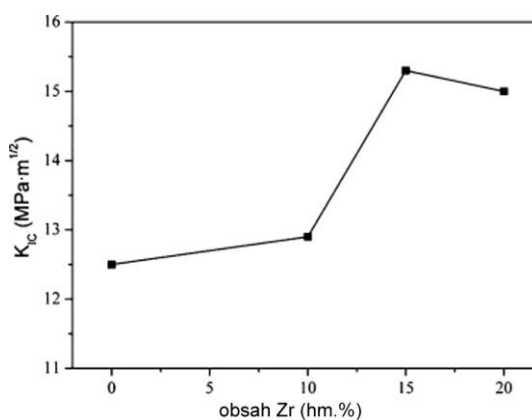
Cermets	TiC	TiN	Zr	WC	Co	Ni	C
A	58.5	10	0	15	7.5	7.5	1.5
B	48.5	10	10	15	7.5	7.5	1.5
C	43.5	10	15	15	7.5	7.5	1.5
D	38.5	10	20	15	7.5	7.5	1.5



Obr. 2.19 Vliv obsahu Zr na mikrostrukturu cermetů³²



Obr. 2.20 Vliv obsahu Zr na tvrdost a relativní hustotu³²



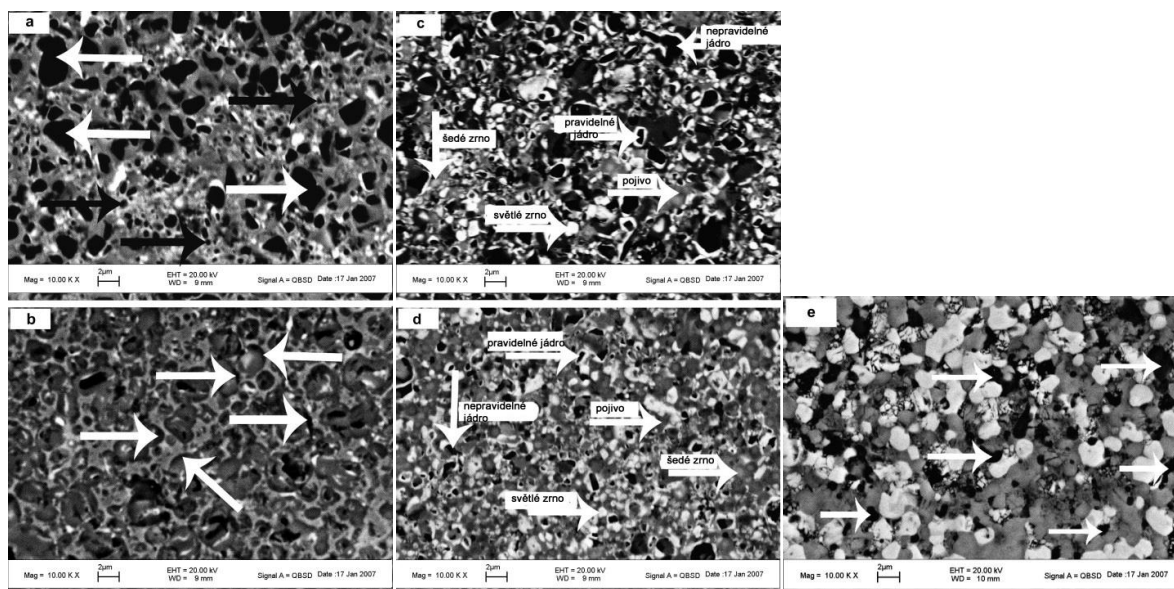
Obr. 2.21 Vliv obsahu Zr na lomovou houževnatost³²

2.4.6 Vliv ZrC na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

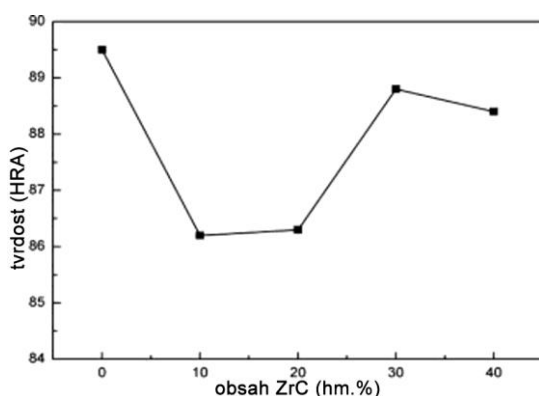
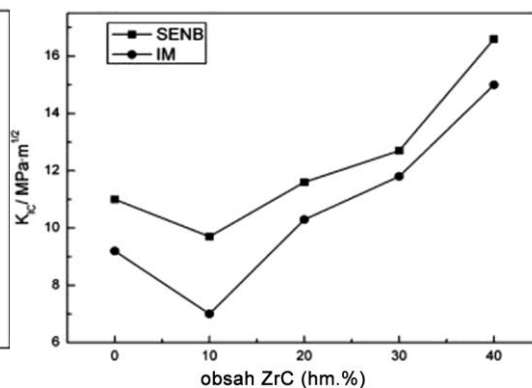
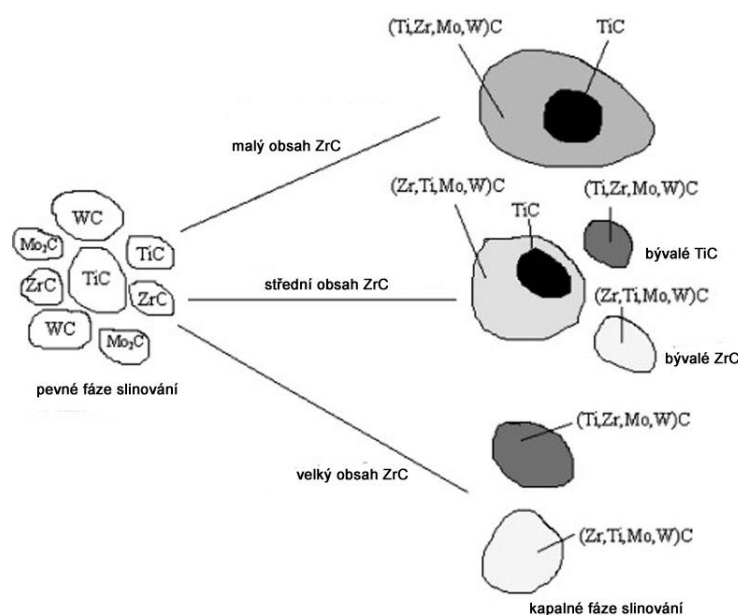
Vliv obsahu karbidu zirkonu (ZrC) na výslednou strukturu cermetů byl sledován ve článku³¹. Vliv obsahu ZrC má zřejmý vliv na strukturu cermetů, nárůst obsahu ZrC v cermetech přispívá k tvorbě tuhých roztoků (Zr,Ti,Mo,W)C a (Ti,Zr,Mo,W)C, když přísady ZrC dosáhnou 40 hm.%, mikrostruktura se skládá hlavně ze světlých kulových bezjádrových (Zr,Ti,Mo,W)C zrn a šedých bezjádrových (Ti,Zr,Mo,W)C zrn, kolem nichž se objeví malé kulaté póry (obr. 2.22). Světlá a šedá jádra byla považována za přínosná pro houževnatost cermetů. Lomová houževnatost klesá do obsahu 10 hm.% ZrC, ovšem po překročení této hranice naopak stoupá (obr. 2.24). Pokud obsah ZrC dosáhne 40 hm.%, lomová houževnatost je o 51% větší, než u cermetů bez přísad ZrC. Tvrdost cermetů závisí především na obsahu pevné fáze, tvrdost ZrC samotného je o něco menší než tvrdost TiC, takže teoreticky by tvrdost cermetu měla klesat se zvyšujícím se obsahem ZrC. Ovšem experimentální výsledky jsou poněkud složitější. U cermetu B a C tvrdost zjevně klesá, ale pak se jasně zvětší u cermetu D a nakonec se ukáže malý pokles u cermetu E (obr. 2.23). Z čehož plyne, že obsah ZrC není jediným faktorem pro tvrdost. Také relativní hustota a velikost zrna tvrdost ovlivňují. Takže obecně platí, že tvrdost cermetu je ovlivněna nejenom obsahem ZrC, ale také relativní hustotou a velikostí zrna.

Tab. 2.8 Složení zkoumaných cermetů³¹

Cermets	TiC	ZrC	WC	Mo	Ni	C
A	50	0	15	14	20	1
B	40	10	15	14	20	1
C	30	20	15	14	20	1
D	20	30	15	14	20	1
E	10	40	15	14	20	1



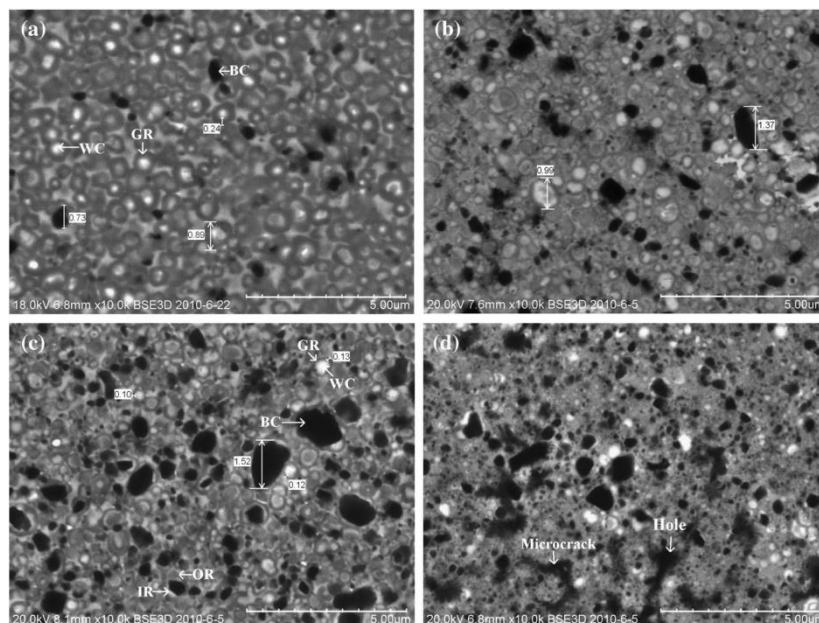
Obr. 2.22 Vliv obsahu ZrC na mikrostrukturu cermetů (bílé šipky ukazují jádra, která jsou větší než 3 μm , černé šipky ukazují jádra, která jsou menší než 0,2 μm)³¹

Obr. 2.23 Vliv obsahu ZrC na tvrdost³¹Obr.2.24 Vliv obsahu ZrC na lomovou houževnatost (metoda SENB a IM)³¹Obr. 2.25 Vliv obsahu ZrC na výslednou strukturu³¹

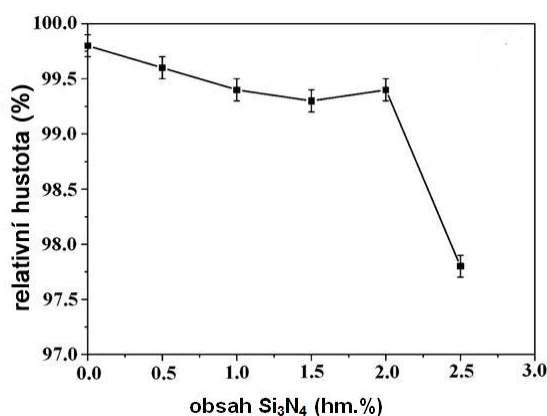
2.4.7 Cermety vyztužené nanočásticemi Si₃N₄

Nanočástice Si₃N₄ mají významný vliv na vlastnosti cermetů³⁰. Analýza pomocí elektronového řádkovacího mikroskopu (SEM), v kombinaci s energiově disperzní X-RAY analýzou (EDX) prokázala, že cermety s a bez nanočástic Si₃N₄ mají zcela odlišné morfologické a strukturní vlastnosti. Cermety bez nanočástic mají vyšší relativní hustotu, po přidání nanočástic Si₃N₄ se nejdříve relativní hustota lehce snížila a pokud přísady nanočástic překročily 2 hm.%, tak se relativní hustota začala zjevně snižovat (obr.2.27). Ohybová pevnost se nejdříve zvyšuje s přidáním nanočástic Si₃N₄, ale pokud obsah nanočástic je vyšší než 2 hm.%, ohybová pevnost začne rapidně klesat (obr. 2.28). Optimální obsah nanočástic jsou 2 hm.%, při tomto poměru se u zkoumaných cermetů v porovnání s cermety bez nanočástic tvrdost zvýšila o 1,3 % a ohybová pevnost se zlepšila o 25,2 %, což naznačuje že nanočástice Si₃N₄ mají na cermety zpevňující a posilující vliv.

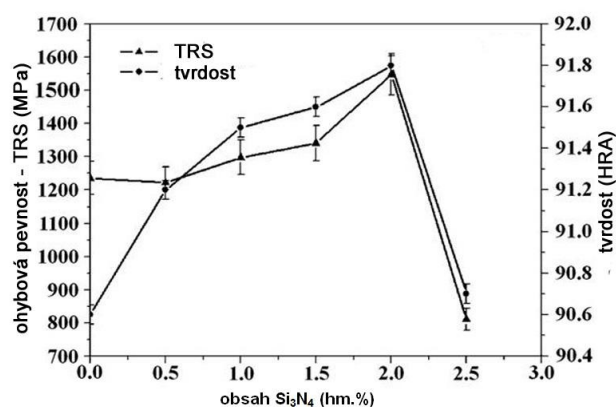
Nanočástice Si_3N_4 zabraňují rozpouštění $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ a podporují rozpouštění WC a Mo_2C v pojivové fázi a tvorbu vnitřního lemu. Dále nanočástice zjemňují zrno (obr. 2.25). Všechny uvedené modifikace napomáhají k vynikajícím mechanickým vlastnostem cermetů vyztužených nanočásticemi Si_3N_4 .



Obr.2.26 Vliv obsahu Si_3N_4 na mikrostrukturu cermetů (a) 0 hm.% Si_3N_4 b) 1 hm. % Si_3N_4 c) 2 hm.% Si_3N_4 d) 2,5 hm.% Si_3N_4) (BC-Ti(C,N) jádro, WC- (Ti,W,Mo)(C,N) jádro, IR-vnitřní lem, OR-vnější lem, GR-šedé zrno)³⁰



Obr. 2.27 Vliv Si_3N_4 na relativní hustotu³⁰



Obr. 2.28 Vliv Si_3N_4 na tvrdost a ohybovou pevnost³⁰

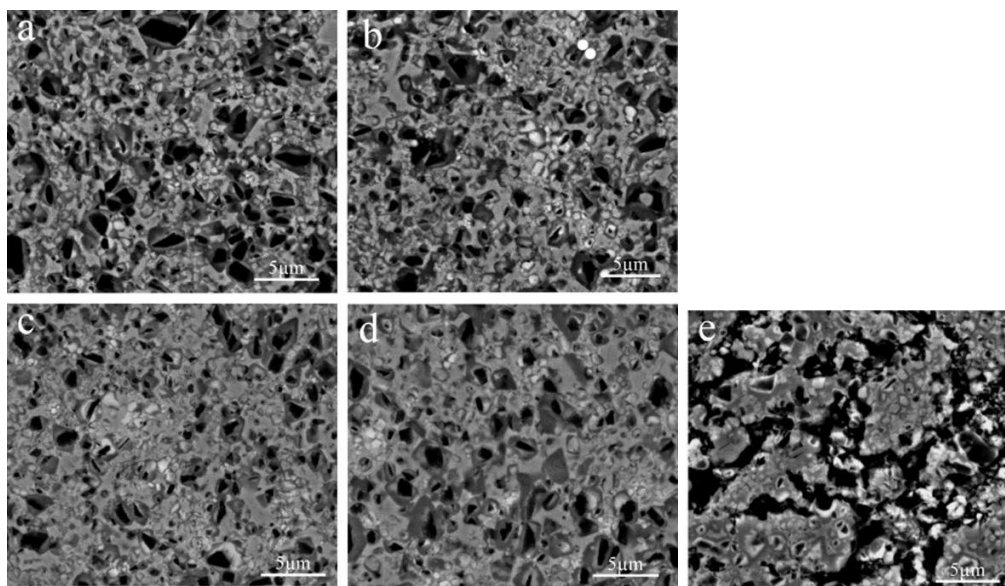
2.4.8 Vliv přísad SiC whiskerů na mikrostrukturu a vlastnosti cermetů

Whisker je monokrystalické vlákno s vysokým poměrem délky k tloušťce. Jako základní materiál pro výrobu whiskerů se nejčastěji používá grafit a karbid křemíku (SiC). Tyto vlákna se používají výhradně jako výtěž do kompozitů. Využívají se při výrobě prakticky všech druhů rezných keramik, kde slouží jako vyztužující vlákna. Nyní se zkoumaly i jejich vlastnosti na cermetu. Tyto vlákna kombinují vysokou pevnost, vysoký modul pružnosti a dobrou tepelnou stabilitu.

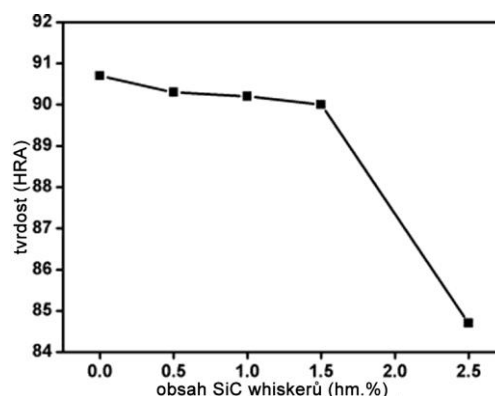
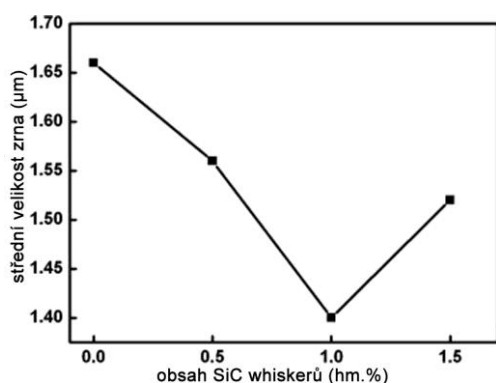
Vliv SiC whiskerů na vlastnosti cermetů byly zkoumány²⁹. Velikost zrna se mírně snížila po přidání 0-1 hm.% whiskerů, při dalším zvyšování obsahu whiskerů až na 1,5 hm.% se velikost zrna snížila, nejmenší velikost zrna se ukázala u cermetu s 1 hm.% SiC whiskerů (obr. 2.30). Zvýšení zrnitosti bylo způsobeno špatnou smáčivostí mezi tvrdou a pojivovou fází s rostoucím obsahem SiC whiskerových přísad (rozložení whiskerů podél hranic zrn snížilo rozpustnost tvrdé fáze v pojivu fáze, což brzdilo růstu zrn). Pórovitost cermetů stoupá se zvyšujícím se obsahem whiskerů, avšak whiskery nemají žádný vliv na fázové složky cermetů (obr. 2.29). U zkoumaných cermetů byla nejvyšší ohybová pevnost (TRS) při 1 hm.% SiC whiskerů (obr. 2.33), v porovnání s cermetem bez whiskerů se hodnota zvýšila o 24%, ovšem při vyšším než 1 hm.% se TRS snížila v důsledku zvýšení pórovitosti a seskupení whiskerů. Lomová houževnatost byla nejvyšší opět při 1 hm.% whiskerů (obr. 2.32), zde se v porovnání s cermetem bez whiskerů měřená hodnota zvýšila dokonce o 29%. Toto posílení mechanismů je připisováno jemnější zrnitosti, homogenní mikrostruktuře a mírné tloušťce lemu fáze. Zpevňující mechanismy byly charakterizovány vychýlením trhliny, whiskerovým přemostěním (příčným ztuhnutím) a whiskerovým vytrháváním. Tvrdost se u cermetů mírně snížila při 0-1,5 hm.% whiskerů, ovšem když přísady whiskerů přesáhly 1,5 hm.%, tak se tvrdost snížila podstatně (obr. 2.31), což bylo opět v důsledku zvýšené pórovitosti a seskupení whiskerů.

Tab. 2.9 Složení zkoumaných cermetů²⁹

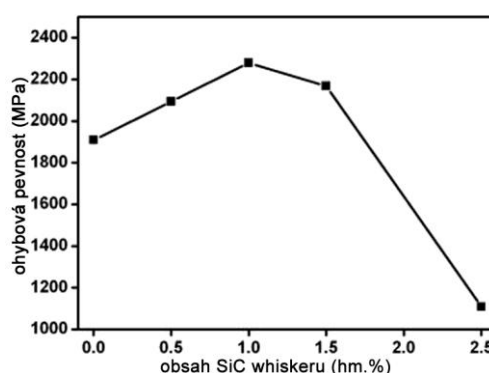
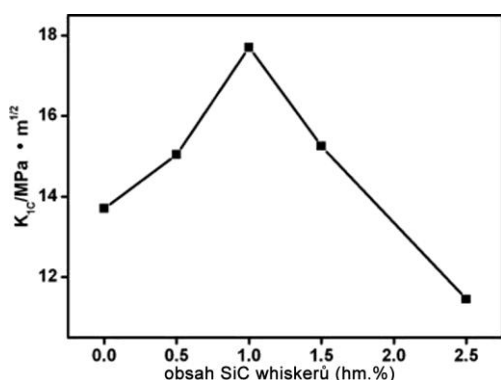
Cermets	TiC	TiN	Ni	Mo	WC	Cr ₃ C ₂	C	SiC _w
A	35	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	0
B	34.5	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	0.5
C	34	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	1.0
D	33.5	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	1.5
E	32.5	10.6	23	16	13.7	0.6	1.1	2.5



Obr. 2.29 Vliv whiskerů SiC na mikrostrukturu cermetů²⁹



Obr. 2.30 Vliv whiskerů SiC na velikost zrn²⁹ Obr. 2.31 Vliv whiskerů SiC na tvrdost²⁹



Obr. 2.32 Vliv whiskerů SiC na lomovou houževnatost²⁹

Obr. 2.33 Vliv whiskerů SiC na ohybovou pevnost²⁹

2.4.9 Srovnání cermetů s různým obsahem výchozích přísad

V tabulkách 2.10 a 2.11 jsou ukázky různých typů cermetů. Experimentálně byly zjištěny mechanické a fyzikální vlastnosti cermetů s různým obsahem výchozích surovin^{18,19}.

Z tabulek je zřejmé, že vysoký obsah tvrdých fází karbidu chrómu či karbidu titanu dopomáhá cermetu k vyšší tvrdosti. Největší naměřená tvrdost byla při 80 hm.% karbidu titanu (1650 HV₁₀). Při 92 hm.% WC byla tvrdost menší (1380 HV₁₀). Nejmenší tvrdost byla při obsahu 70 hm.% Cr₃C₂ a 30 hm.% Ni (780 HV₁₀). Největší ohybová pevnost byla u měřeného vzorku s 80 hm.% WC a 20 hm.% Co (2500 MPa) a nejmenší u vzorku s 90 hm.% Cr₃C₂ a 10 hm.% Ni (670 MPa). Je patrné z tabulky, že vysoký obsah WC má zvyšující vliv na hustotu. Nejvyšší hustota byla naměřena při 94 hm.% WC (14,8 g/cm³). Oproti tomu složka TiC hustotu spíše snižuje, neboť při 70 hm.% TiC byla hustota pouhých 5,68 g/cm³. Samozřejmě významný vliv na vlastnosti cermetů mají i pojící prvky Co a Ni.

Tab. 2.10 Srovnání vlastností cermetů s různým obsahem výchozích přísad¹⁹

WC (hm.%)	TiC (hm.%)	Cr ₃ C ₂ (hm.%)	Co (hm.%)	(obj.%)	Ni (hm.%)	(obj.%) vypočtené	(obj.%) změřené	Mo (hm.%)	Hustota ρ (g/cm ³)	Tvrđost (HV ₁₀)	TRS (MPa)
94			6	10					14.8	1380	1370
92			8	13.3					14.5	1350	1700
89			11	17.4					14.4	1240	1900
85			15	23.7					13.9	1200	2100
80			20	31.6					13.5	890	2500
80 ⁺			20	31.6					13.4	880	2200
	80				16	9.7	11.7	4	5.47	1400	1010
	80				13	8.5	10.7	7	5.50	1515	990
	80				10	6.1	7.5	10	5.54	1650	730
	70				24	15.3	15	6	5.74	1300	1210
	70				20	12.8	13.5	10	5.77	1415	1180
	70				15	9.7	10.2	15	5.68	1590	880
	60				32	21.6	14.3	8	6.04	1170	1450
	60				26	18.3	15.4	12	6.02	1270	1320
	60				20	13.7	12.9	20	6.03	1360	890
	50				40	28.7	22.5	10	6.4	990	2180
	50				34	23.8	17.9	16	6.42	1150	1600
	50				25	18.2	16.7	25	6.54	1340	1120
	40				48	34.4		12	6.5	810	2450
	40				40	28.7		20	6.54	950	2270
	40				30	22.7		30	6.52	1180	1300
		90			10	7.7			6.83	1330	670
		85			15	11.7			6.92	1210	810
		80			20	15.8			7.03	1180	840
		75			25	20			7.12	1030	890
		70			30	24.3			7.21	780	910

Tab. 2.11 Srovnání vlastností cermetů s různým obsahem výchozích přísad¹⁸

TiC (hm.%)	Ni (hm.%)	Mo (hm.%)	Hustota ρ (g/cm ³)	Tvrđost (HV ₁₀)	TRS (MPa)	K _{IC} (MPa/m ^{1/2})
80	16	4	5.47	1400	1010	11.9
80	13	7	5.50	1515	990	11.8
80	10	10	5.54	1650	730	11.3
70	24	6	5.74	1300	1210	17.3
70	20	10	5.77	1415	1180	15.5
70	15	15	5.68	1590	1090	10.4
60	32	8	6.04	1170	1450	18.6
60	26	14	6.02	1270	1320	18.3
60	20	20	6.03	1360	890	14.4
50	40	10	6.40	990	2180	22.6
50	34	16	6.42	1150	1600	22.9
50	25	25	6.34	1340	1120	13.2
40	48	12	6.5	810	2450	N/A
40	40	20	6.54	950	2270	N/A
40	30	30	6.62	1180	1300	N/A

3. CERMETY V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

Tato část bude zaměřena na producenty cermetů a ukázky jejich individuálního značení. Jelikož cermety díky svým dobrým technologickým vlastnostem hlavně v dokončovacích operacích mají zastoupení u mnoha producentů, bylo vybráno pouze několik známých producentů jak z Japonska, tak i ze zbytku světa.

3.1 Japonští producenti cermetů

V Japonsku jsou cermety velmi populární jako levný a lehce dostupný materiál pro řezné nástroje. Získávají zde stále větší uplatnění a zde je také hlavně prováděn jejich výzkum a vývoj.

3.1.1 Kyocera





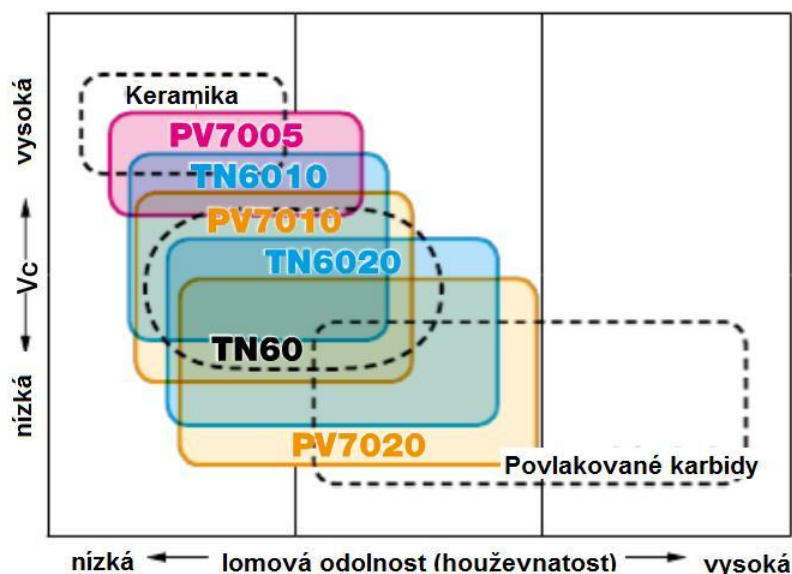
Je nadnárodní společnost se sídlem v japonském Kyotu. Kromě výroby řezných materiálů se zabývá také výrobou průmyslové keramiky, solárních systémů, kancelářských příslušenství a dokumentů, elektronických součástí atd.. Od roku 1975 začala vyrábět řezné nástroje a dnes již patří k předním světovým výrobcům.

Vyráběné druhy cermetů:

Přehled aktuálně produkovaných cermetů firmy Kyocera s jejich značením, výhodami a aplikací v obrábění je popsán v tabulce 3.1. Na obrázku 3.1 je možné vidět oblast použití jednotlivých druhů cermetů této firmy.

Tab. 3.1 Cermety firmy Kyocera¹²

Materiál	Symbol	Barva	Hlavní komponenty (komponenty potažení)	Výhody	Aplikace
Ocel 	Nepovlakované cermety	TN6010 (super-mikro zrna) P05-P25, M05-M25	Šedá TiCN	Lepší povrch cermetu, který má vyšší odolnost proti opotřebení a houževnatost.	Ekonomický, nepovlakovaný cermet pro ocel.
		TN60 P08-P25, M08-M25, K05-K20	Šedá TiCN + NbC	Standartní cermet s vysokou odolností proti opotřebení a houževnatostí.	Obrábění oceli, litiny a neželezných kovů, kdy je vyžadována vynikající úprava povrchu.
		TN6020 (super-mikro zrna) P05-P25, M05-M25	Šedá TiCN	Ultra-mikro zrnitý cermet s vysokým obsahem dusíku.	Standartní cermet.
		TN100M P10-P30, M10-M30	Šedá TiCN + NbC	Houževnatý cermet pro frézovací aplikace se zlepšenou odolností proti oxidaci a tepelným šokům.	Prevence proti oxidaci při vysokých řezných rychlostech frézování oceli.
		TC40 P08-P15, K08-K10	Šedá TiC + TiN	Dobrá rovnováha odolnosti proti opotřebení a houževnatosti.	Prodloužená životnost nástroje při obrábění oceli a řezání závitů.
PVD	PVD	PV7010 (super-mikro zrna) P01-P25, M01-M25	Načernale červená TiCN (megapovlakovaný)	Lepší povrch substrátu s excelentní odolností proti opotřebení a houževnatostí.	Stabilní a vylepšené nástroje pro delší životnost obrábění a excelentní úpravy povrchů.
		PV7020 (super-mikro zrna) P05-P25, M05-M25	Zlatá TiCN (TiAlN + TiN)	TiAlN PVD-FS (jemný povrch) povlaku na ultra-mikro zrnech substrátu.	Standartní, dobře vyvážený PVD cermet pro ocel.
Litina 		PV7005 K05-K20	Načernale červená TiC + TiN (megapovlakovaný)	Vynikající odolnost proti opotřebení.	Dlouhá životnost v dokončovacích aplikacích šedé a tvárné litiny.

Obr. 3.1 Oblast použití jednotlivých druhů cermetů firmy Kyocera¹²

3.1.2 NGK Spark Plug NGK SPARK PLUG CO., LTD.

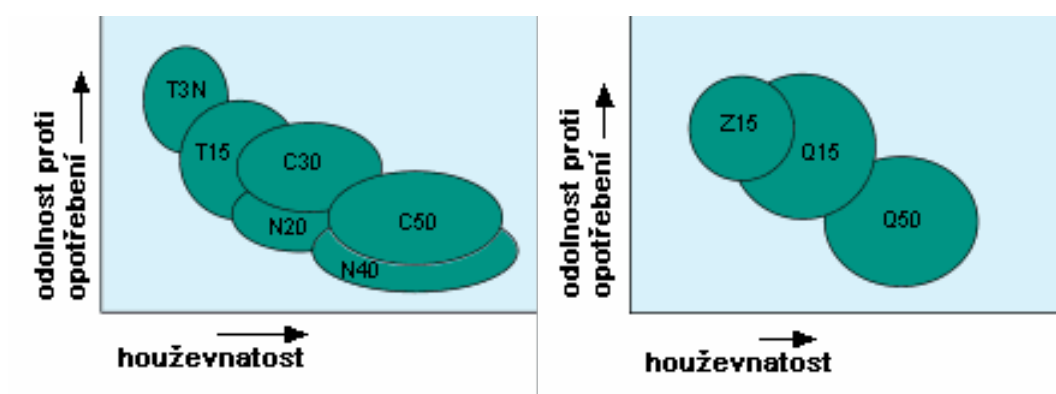
Japonská společnost zabývající se výrobou různých druhů součástí z různých průmyslových odvětví. V automobilismu se zabývá výrobou žhavicích a zapalovacích svíček, v komunikačním odvětví výrobou polovodičových součástí a v technické oblasti se zaměřuje na keramické výrobky jako např. zdravotnické pomůcky, průmyslové komponenty a samozřejmě také řezné nástroje.

Vyráběné druhy cermetů:

Přehled aktuálně vyráběných druhů cermetů firmy NGK Spark Plug se nalézá v tabulce 3.2. Ukázka výrobků této firmy je na obrázku 3.2 a na obrázku 3.3 je ukázka aplikace jednotlivých druhů cermetů.

Tab. 3.2 Vyráběné druhy cermetů firmy NGK SPARK PLUG¹⁷

↑ Odolnost proti opotřebení ↓	↑ Strukturální houževnatost ↓	Druh	Mech. vlastnosti	Použití
Nepovlakované cermety		T3N P01-P05, M01-M05, K05- K20	Nejtvrdší cermet této firmy, obzvláště odolný proti plastické deformaci.	Soustružení na čisto a vrtání běžných ocelí při vysokých řezných rychlostech.
		T15 P05-P20, M05-M25, K10- K25	Vysoká mech. pevnost, vynikající houževnatost, skvělá odolnost proti opotřebení a teplotním šokům.	Soustružení – dokončovací operace ocelí.
		N20 P15-P30	Výborná odolnost proti teplotním šokům.	Dokončovací operace především vrtání a upichování.
		N40 P30-P45	Největší houževnatost ze všech cermetů této firmy.	Lehké hrubování a dokončovací operace.
		C30 P10-P15	Široký rozsah řezných rychlostí a pracovních materiálů.	Všeobecné soustružení.
		C50 P15-P25	Vynikající odolnost proti opotřebení a tepelná vodivost.	Frézování ocelí a obrábění ložisek.
		Z15 K15-K25	Cermet T15 povlakovaný vrstvou TiN.	Dokončovací a polodokončovací soustružení ocelí a tvárné litiny.
		Q15 P05-P15, M05-M20, K05-K25	Cermet T15 povlakovaný vrstvou TiCN.	Soustružení tvárné litiny na čisto při vysokých řezných rychlostech.
		Q50 P10-P20, M10-M20, K10-K20	Cermet C50 povlakovaný vrstvou TiCN.	Frézování ocelí.
		Povlakované cermety (metoda PVD)		

Obr. 3.2 Ukázka produktů firmy NGK Spark Plug¹⁶Obr. 3.3 Aplikace jednotlivých druhů cermetů firmy NGK Spark Plug - řezný rozsah¹⁷

3.2 Ostatní světový producenti cermetů

Nejenom v Japonsku, ale i v dalších zemích světa se vyrábí kvalitní nástrojové materiály z cermetů. V USA je to např. Kennametal, nebo North America Carbide. V Evropě zase Ceratizil (Rakousko), Iscar (Izrael), Sandvik Coromant (Švédsko), Widia (Německo) a další. V této části si ukážeme alespoň výrobky těchto tří společností:

3.2.1 Ceratizit



Tato společnost vznikla roku 2002 sloučením dvou jiných společností CERAMETAL a PLANSEE TIZIT (odtud také název Ceratizit). Obě tyto firmy již před spojením měly dlouholeté zkušenosti s výrobou řezných nástrojů (ve firmě PLANSEE byl roku 1931 patentován první cermet pány P. Schwarzkofem a J. Hirschlem). Dnes Ceratizit patří ke světové špičce producentů řezných nástrojů a materiálů s pobočkami po celém světě. Kromě řezných nástrojů pro obrábění ocelových materiálů se společnost specializuje např. i na obrábění dřeva či kamene.

Vyráběné druhy cermetů²⁰:TCM407 (P10/M05/K05)

Tento cermet se vyznačuje maximální odolností proti opotřebení a teplotám. Má také excelentní odolnost proti oxidaci. Je určen pro vysoké řezné rychlosti při dokončovacích operacích. Použití při soustružení. K obrábění ocelových materiálů, ale je možné obrábět i nerez ocelové a litinové materiály.

TCM10 (P15/M10/K10)

Vysoká odolnost proti opotřebení a teplotám, ale ovšem také dobrá houževnatost jsou znaky tohoto cermetu. Má univerzální použití při obrábění soustružením i frézováním při vysokých řezných rychlostech. Obrábění materiál může být ocel, nebo nerezová ocel, ale je možno obrábět i litinu.

H212 (P15)

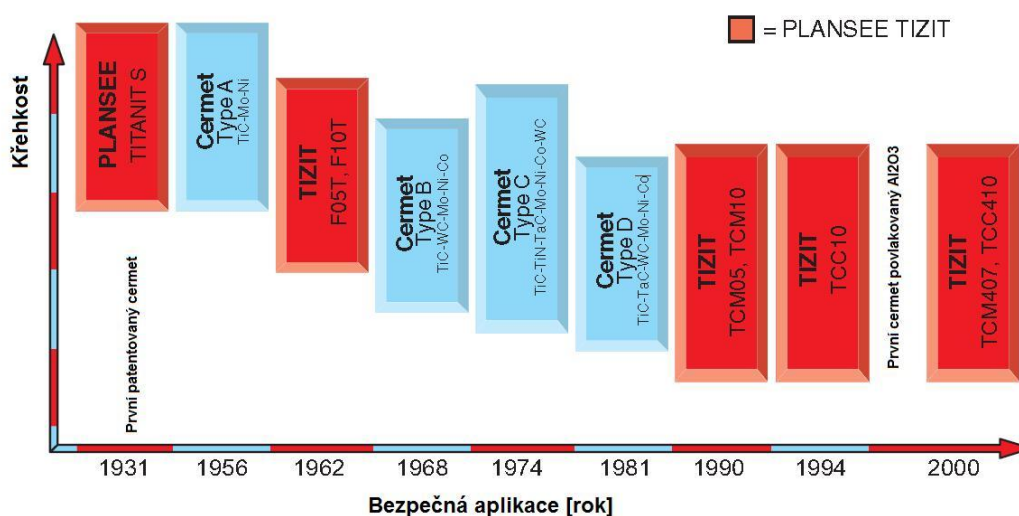
Velmi dobrá odolnost proti opotřebení a teplotám je doplněna velmi dobrou houževnatostí. Použití pro vysoké řezné rychlosti při operacích vrtání a frézování. Tento cermet se vyrábí v podobě polotovaru na nástroje pro přesné obrábění.

TCC410 (P10/M10/K05)

Stejně jako všechny ostatní cermety i TCC410 má vynikající odolnost proti opotřebení a teplotám, excelentní odolnost proti oxidaci a skvělou odolnost proti vydrolování. Navíc je potažen multivrstevným CVD povlakem Al_2O_3 tloušťky 6 μm . Použití pro soustružení ocelí a litin při vysokých řezných rychlostech.

Tab. 3.3 Složení a tvrdost cermetů firmy Ceratizit²⁰

Značení cermetu	Složení [hm. %]					Tvrdost [HV]
	Co/Ni	WC	(Ta,Nb)C	Ti(C,N)	Mo ₂ C	
TCM407	8	16	10	zbytek	-	1780
TCM10	12,2	15	10	zbytek	-	1780
H212	15	-	12	zbytek	10	-
TCC410	12,2	15	10	zbytek	-	1620

Obr. 3.4 Ukázka vývoje cermetů firmou PLANSEE TIZIT²⁰

3.2.2 Kennametal



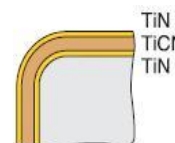
Vznik společnosti se datuje od roku 1938 a řeší problémy zákazníků, bez ohledu na to, jak náročné jsou aplikace. Kennametal je přední světový dodavatel nástrojů, obráběných komponentů a moderních materiálů používaných ve výrobních procesech, má široké pole působnosti od zpracování kovů, přes energetiku, hornictví a stavebnictví až po letectví a obranu. Sídlo společnosti je v Lantrobe v Pensylvánii, má ovšem mnoho poboček po celém světě i v České republice a to v Říčanech u Prahy.

Vyráběné druhy cermetů:

Řezné nástroje pro soustružení⁸:

KTP10 (K10-K20)

Cermet s vícevrstevným povlakem PVD TiN/TiCN/TiN. Ideální pro vysokorychlostní dokončování až střední obrábění většiny uhlíkových, legovaných a nerezových ocelí, vhodný také pro obrábění šedé a kujné litiny. Dlouhá a konzistentní životnost.



KT1120 (P01-P05), (M01-05), (K01-05)

Břitové destičky pro obrábění ocelí. Při vysokých řezných rychlostech a malé hloubce řezu. Mikrozrná struktura zajišťuje vyšší tuhost a odolnost proti tepelným šokům, vedoucí k delší životnosti nástroje a vynikající jakosti povrchu. Vynikající odolnost proti vzniku nárůstků.

KT5020 (P10-P25), (M10-M25), (K10-K25)

Břitové destičky pro obrábění oceli a korozivzdorné oceli. Povlak PVD zajišťuje zvýšenou odolnost proti opotřebení a možnost použití při vysokých řezných rychlostech s delšími intervaly mezi výměnou nástroje.

Řezné nástroje pro frézování⁷:

KT350M (P01-P10), (M01-M10), (K01-K10)

Cermet s povlakem TiAlN. Pro obrábění většiny nelegovaných, legovaných a korozivzdorných ocelí a slitin. Může být použit s nebo bez chlazení.

Řezné nástroje pro zapichování a upichování:

KT5135 (P25-P45), (M30-M40), (K25-K35)

Cermet povlakovaný TiN metodou PVD. Vhodný pro obrábění většiny nelegovaných, legovaných a korozivzdorných ocelí, možné využití i při obrábění tvárné litiny. Má vynikající odolnost proti opotřebení a dlouhou trvanlivost nástroje.

3.2.3 Sandvik Coromant



Tato společnost je přední světový výrobce nástrojů pro soustružení, frézování a vrtání. Má zastoupení po celém světě (ve 130 zemích). Sídlo této firmy se nalézá v Sandvikenu ve Švédsku, ale pobočku má i v České republice a to v Praze. Zákazníci firmy jsou z celé oblasti zpracování kovů, včetně největších společností automobilního a leteckého průmyslu, dále firem na výrobu forem a všeobecného strojírenského průmyslu.

Řezné nástroje pro soustružení²⁴:

CT5015 P10 (P05-P15), M10 (M05-M15)

Nepovlakovaný cermet s vynikající odolností proti tvorbě nárůstku na břitech a plastické deformaci. Nové složení se zvýšenou houževnatostí. Pro dokončování nízkolegovaných a legovaných ocelí s vysokými nároky na kvalitu povrchu nebo požadavkem na nízké řezné síly.

GC1525 P15 (P05-P25), M10 (M05-M15)

Cermet s PVD povlakem. Velmi vysoká odolnost proti opotřebení a dobrá houževnatost břitu. Pro dokončování a polodokončování nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Používá se při požadavku na dobrou kvalitu povrchu při středních až vysokých řezných rychlostech. Vynikající pro obrábění korozivzdorné oceli za příznivých podmínek. Třída určená pro použití při vysokých řezných rychlostech s relativně pomalým posuvem.

Řezné materiály pro upichování a zapichování²³:

CT525 P10 (P01-P15), M10 (M05-M15)

Cermet na bázi titanu s vynikající odolností proti oxidaci. Pro tvorbu vysoké kvality povrchu při zapichování nízkolegovaných, legovaných, a korozivzdorných ocelí za poměrně dobrých podmínek. Střední řezné rychlosti a posuvy.

Řezné nástroje pro frézování²²:

CT530 P20 (P05-P30), M20 (M10-M30), N15 (N10-N25), H25 (H10-H25)

Cermetová třída pro lehké frézovací operace, zejména bez přívodu řezné kapaliny. Vysoká odolnost vůči plastické deformaci, ulpívání materiálu a vytváření nárůstku na břitu činí tuto třídu vhodnou pro široký rozsah řezných rychlostí. Ideální třída pro hladicí VBD. Dále pro lehké frézování austenitických/ duplexních korozivzdorných ocelí.



Obr. 3.6 Druhy břitových destiček firmy Sandvik Coromant²⁴

ZÁVĚR

Cermety jsou materiály vyráběné práškovou metalurgií, stejně jako slinuté karbidy. Jejich výroba je náročná jak časově, tak i technologicky. Od přípravy prášku, až po konečné fáze slinování se musí vykonat mnoho technologických operací. Stejně jako ostatní nástrojové materiály mají své výhody, mezi které patří např. vysoká chemická stálost (výhoda vyšších řezných rychlostí oproti slinutým karbidům), vysoká odolnost proti opotřebení, ale i oxidaci atd.. Ovšem mají i nevýhody, které se snaží výrobci různými způsoby eliminovat.

Od roku 1931, kdy byl patentován první cermet, byly jejich vlastnosti mnohokrát upravovány a vylepšovány. Velký význam byl přikládán snížení křehkosti, odolnosti proti vydrolování a houževnatosti. Tyto vlastnosti se jistě budou i nadále zlepšovat. Jejich vývoj byl a stále je nejvíce sledován a zkoumán v Japonsku, protože většinou neobsahují drahý wolfram ani kobalt. Odtud lze také nashromáždit nejvíce aktuálních informací ohledně jejich vlastností, struktur a vývoje cermetů samotných.

Vlastnosti a mikrostruktura cermetů se mění s obsahem jednotlivých prvků a strukturních složek. Proto jsou experimenty směřovány hlavně tímto směrem a jsou zkoumány cermety s různým hmotnostním procentem jednotlivých prvků a strukturních složek. Dalo by se říct, že každý prvek, nebo strukturní složka má významný vliv na výsledný cermet. Navíc v poslední době se nejenom mění obsah jednotlivých prvků, ale zkouší se i nové metody zlepšení vlastností cermetů. Jako příklad mohou sloužit cermety vyztužené nanočásticemi Si_3N_4 , což mělo dopad nejenom na mikrostrukturu, ale také na některé mechanické vlastnosti jako tvrdost, či ohybovou pevnost, ale i fyzikální vlastnosti jako např. relativní hustotu cermetů. Další netradiční možností bylo přidání přísad SiC whiskerů, které byly doposud přidávány hlavně do řezné keramiky jako vyztužující vlákna. Opět se ukázalo, že tyto přísady budou mít vliv na výsledný cermet. Nezměnila se opět pouze mikrostruktura, ale i vlastnosti výsledných cermetů s různým obsahem těchto přísad byly jiné. V průběhu experimentu se měnila velikost zrn, tvrdost, lomová houževnatost i ohybová pevnost a to s různým obsahem SiC whiskerů. Ovšem zlepšení vlastností cermetů se nedosahuje pouze změnou obsahu jednotlivých prvků, ale cermet je možno stejně jako např. slinuté karbidy povlakovat, a to jednovrstvě, nebo vícevrstvě.

Použití cermetů je hlavně v dokončovacích operacích při vysokých řezných rychlostech. Podíl cermetů z celkové produkce řezných nástrojů je kolem 8%, což se může zdát málo, ale zastoupení mají v sortimentu u každého většího výrobce nástrojových materiálů, jak v Japonsku, tak i ve zbytku světa.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CARDINAL, S., MALCHERE, A., GARNIER, V., FANTOZZI, G. Microstructure and mechanical properties of TiC-TiN cermets for tool application. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 27 (2009). pp. 521-527. ISSN 0263-4368.
2. ČEP, R. Výkonné řezné materiály. MM průmyslové spektrum, duben 2003, roč. 3, č. 4, str.20. ISSN 1212-2572
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [vid. 3.března 2011]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf>
5. CHOU, Y.K., EVANS, C.J., BARASH, M. Experimental investigation on cubic boron turning of hardened AISI 52100 steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 134 (2003). pp. 1-9. ISSN 0924-0136
6. JUN, W., YING, L., YAN, F., JINWEN, Y., MINGJING, T., Effect of NbC on microstructure and sinterability of Ti(C_{0.7}, N_{0.3})- based cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 27 (2009). pp. 549-551. ISS 0955-2219.
7. KENNAMETAL. *Milling*. Katalog [online]. [vid. 23.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://www.jan-havelka.cz/kennametal-pdf.html> >
8. KENNAMETAL. *Řezné nástroje*. Katalog [online]. [vid. 23.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://www.jan-havelka.cz/kennametal-pdf.html> >
9. KERAMIKA. *Prezentace*. 25s. [online]. [vid. 2.března 2011]. Dostupné na Wolrd Wide Web: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf> >
10. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
11. KRAUS, V. *Tepelné zpracování a slinování*. 226 s [online]. [vid. 28.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/TZSprcelk.pdf>>
12. KYOCERA. *Cutting tools*. Katalog [online]. [vid. 22.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://americas.kyocera.com/kicc/cuttingtools/catalog.html> >
13. LI, Y., LIU, N., ZHANG, X., RONG, Ch. Effect od WC content on microstructure and mechanical properties of (Ti,W)(C,N)-Co cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 26 (2008). pp. 33-40. ISS 0955-2219.
14. LI, Y., LIU, N., ZHANG, X., RONG, CH. Effect of carbon conctect on the microstructure and mechanical properties of ultra-fine grade (Ti,W) (C,N)-Co cermets. *Journal of Materials Processing Technology*. 206 (2008). pp. 365-373. ISSN 0924-0136.
15. LI, Y., LIU, N., ZHANG, X., RONG, Ch. Effect of Mo addition on the microstructure and mechanical properties of ultra-fine grade TiC-TiN-WC-

- Mo₂C-Co cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 26 (2008). pp. 190-196. ISSN 0955-2219.
16. NGK SPARK PLUGS. *Cermet grades*. [online]. [vid. 22.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://www.ngkntk.co.jp/english/product/machine/cermet/index.html>>
17. NGK SPARK PLUGS. *NTL cutting tools*. Katalog [online]. [vid. 22.dubna 2011]. Dostupné z: <<http://www.ngk.de/ntk/en/>>
18. Pirso, J., Viljus, M., Juhami, K., Kuningas, M. Three-body abrasive wear of TiC-NiMo cermets. *Tribology International*. 43 (2010). pp. 340-346. ISSN 0301-679X
19. PIRSO, J., VILJUS, M., LETUNOVITŠ, S. Two-body dry abrasive wear of cermets. *Wear*. 266 (2009). pp. 21-29. ISSN 0043-1648.
20. PLANSEE TIZIT. *Cermets*. Katalog [online]. [vid. 22.dubna 2011]. Dostupné z: <http://www.cerazit.com/cermets_ENG_HTML.htm>
21. PRÁŠKOVÁ METALURGIE. *Prezentace*. 27s [online]. [vid. 28.dubna 2011]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf>
22. SANDVIK COROMANT. *Frézování*. Katalog [online]. [vid. 23.dubna 2011]. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/ROT_D.pdf>
23. SANDVIK COROMANT. *Upichování a zapichování*. Katalog [online]. [vid. 23.dubna 2011]. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/TUR_B.pdf>
24. SANDVIK COROMANT. *Všeobecné soustružení*. Katalog [online]. [vid. 23.dubna 2011]. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/TUR_A.pdf>
25. TUAN, W.H., CHEN, R.Z., WANG, T.C., CHENG, C.H., KUO, P.S., Mechanical properties of Al₂O₃/ZrO₂ composites. *Journal of the European Ceramic Society*. 22 (2002). pp. 2827-2833. ISSN 0955-2219.
26. WIKIPEDIA – *free encyklopedia* [online]. [vid. 7.března 2011]. Wikipedie: otevřená encyklopedie. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/>>
27. WANG, Y., AKAISHI, M., YAMAOKA, S. Diamant formation from graphite in the presence of anhydrous and hydrous magnesium sulfate at high pressures and high temperatures. *Diamond and Related MATERIALS*. 8 (1999). pp. 73-77. ISSN 0925-9635.
28. WU, P., ZHENG, Y., ZHAO, Y., YU, H. Effect of TaC addition on microstructure and mechanical properties of Ti(C,N)-based cermets. *Materials & Design*. 31 (2010). pp. 3537-3541. ISSN 0261-3069.
29. WU, P., ZHENG, Y., ZHAO, Y., YU, H., Effect of SiC whisker addition on the microstructures and mechanical properties of Ti(C,N)-based cermets. *Materials & Design*. 32 (2011). pp. 951-956. ISSN 0261-3069.

30. ZHANG, H., YI, J., GU, S. Mechanical properties and microstructure of Ti (C,N) based cermets reinforced by nano-Si₃N₄ particles. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 29 (2011). pp. 158-162. ISSN 0955-2219.
31. ZHANG, X., LIU, N., RONG, CH. Microstructure and fracture toughness of TiC-ZrC-WC-Mo-Ni cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 26 (2008). pp. 346-356. ISSN 0955-2219.
32. ZHANG, X., LIU, N., RONG, CH., ZHOU, J. Microstructure and mechanical properties of Ti-C-TiN-Zr-WC-Ni-Co cermets. *Ceramics International*. 35 (2009). pp. 1187-1193. ISSN 0272-8842.
33. ZHOU, S., ZHAO, W., XIONG, W. Microstructure and properties of the cermets based on Ti(C,N). *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 27 (2009). pp. 26-32. ISSN 0955-2219.

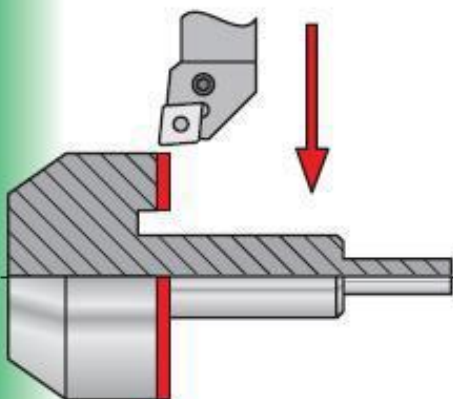
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CVD	-	Chemical Vapour Deposition (Chemické napařování z plynné fáze)
EDX	-	Energiově disperzní rtg. analýza
HIP	-	Vysokoteplotní izostatické lisování
HRA	-	Tvrдость podle Rockwella
HRC	-	Tvrдость podle Rockwella
HSS	-	Rychlořezná ocel
HV	GPa	Tvrдость podle Vickerse
K_{IC}	$MPa \cdot m^{1/2}$	Lomová houževnatost
KNB	-	Kubický nitrid bóru
PKD	-	Polykrystalický diamant
PKNB	-	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	-	Physical Vapour Deposition (fyzikální napařování)
SEM	-	Snímek elektronového řádkovacího mikroskopu
TRS	MPa	Transverse Fracture Strenght (Ohybová pevnost)

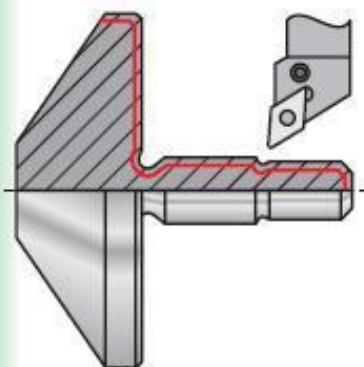
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Doporučené aplikace nástrojů vyrobených z cermetů. Tato pravidla byla odečtena z praktických aplikací. Jejich respektováním se zvyšuje pravděpodobnost úspěšné aplikace.

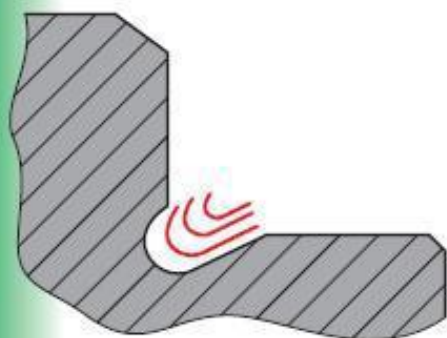
Správně



Konvenční přístup

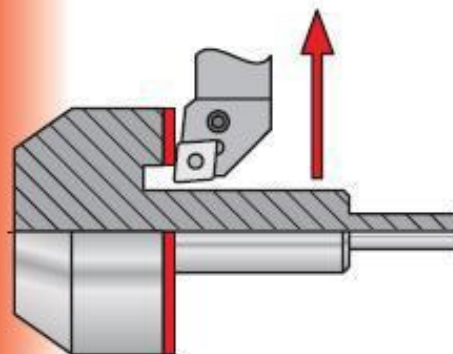


Konstantní průřez třísky

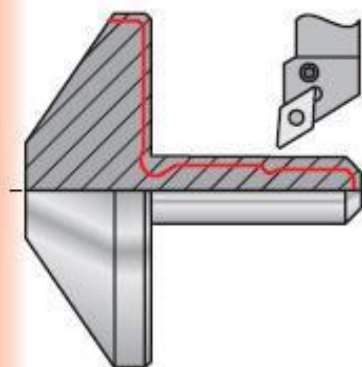


Několik řezů

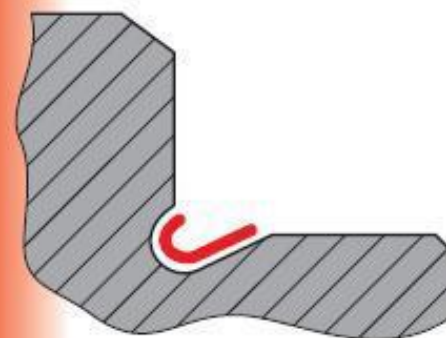
Špatně



Žádné přitahující řezy

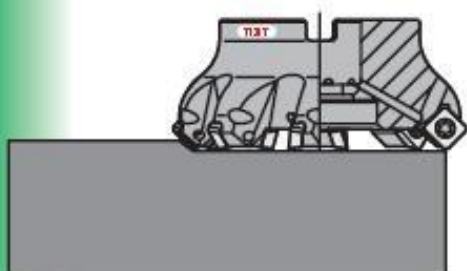


Změny v hloubkách řezu

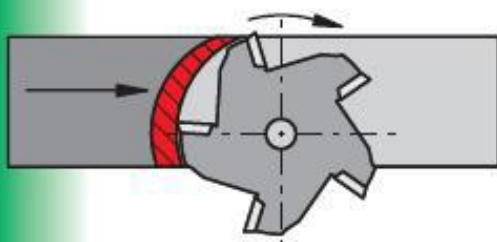


Jeden řez

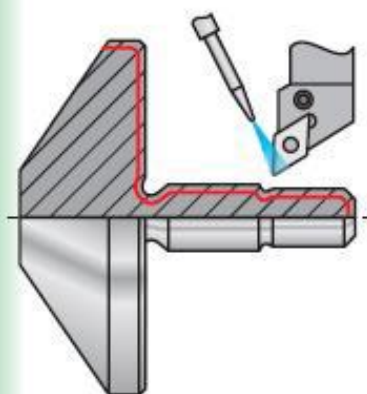
Příloha 1 – pokračování



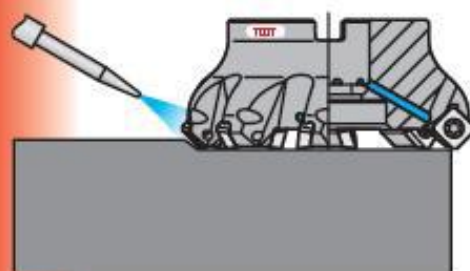
Suché frézování



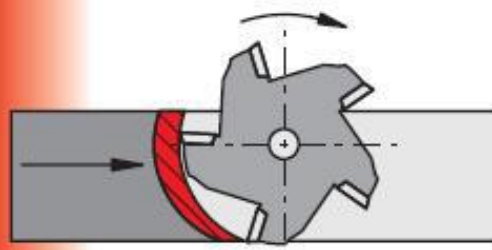
Tangenciální výstup



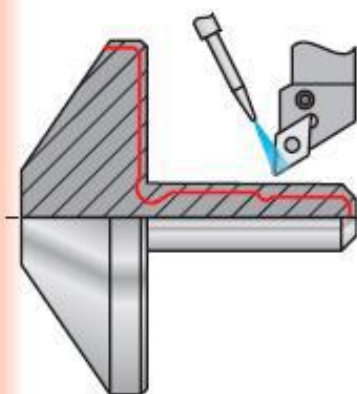
**Chlazení pouze s malým úběrem
třísky ($a_{max} < 0.5$ / $f_{max} < 0.2$)**



Mokrě frézování

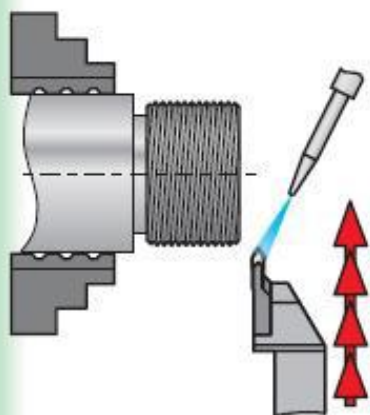


90° výstup

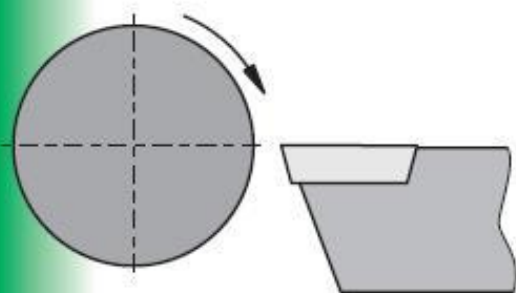


Chlazení při hrubování

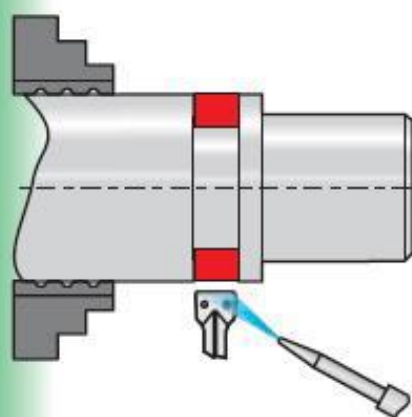
Příloha 1 – pokračování



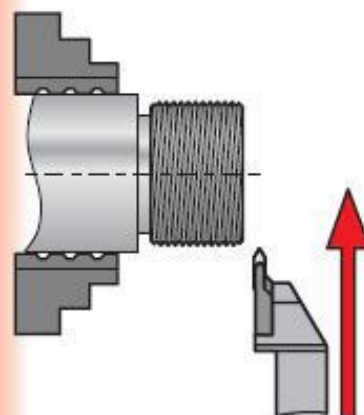
Max. 0,25 mm hloubka řezu



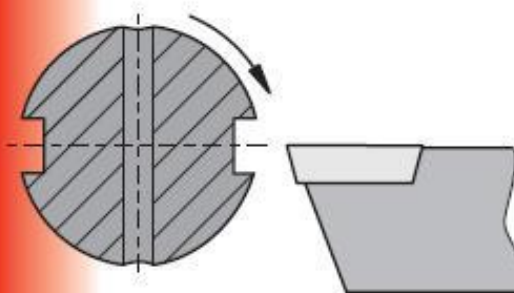
Nepřerušovaný řez



**Chlazení možné
($f_{max} < 0.15 \text{ mm/ot}$)**



Velká hloubka řezu



Přerušovaný řez