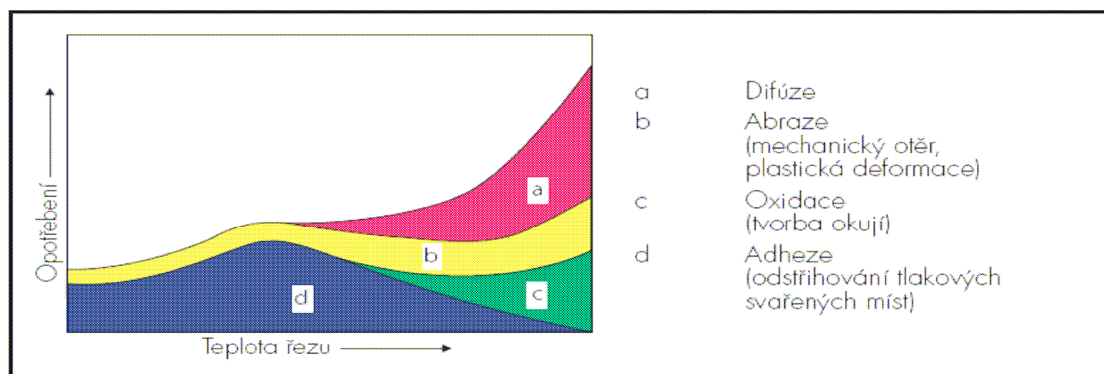


Nástrojové materiály.

Vlastnosti materiálu břitu nástroje zcela zásadním způsobem ovlivňují výkonnost a trvanlivost nástroje. Vývoj technologie obrábění po celé 20 století je především vývojem nových dokonalejších nástrojových materiálů. Objevy a zavádění rychlořezných ocelí začátkem 20 století a slinutých karbidů ve třicátých letech vždy znamenaly zlomovou změnu ve schopnostech nástrojů, kterým museli být urychleně přizpůsobeny schopnosti obráběcích strojů. Obráběcí operace trvající začátkem 20 století 100 minut je možno nyní provést během jedné minuty. Vývoj materiálů v současné době dále pokračuje, možná již méně dramaticky, a přináší neustálé další a další zlepšování užitečných vlastností viz dále.

Požadavky kladené na materiály břitu nástroje patří vůbec k nejvyšším v průmyslu (srovnatelné pouze s extrémně namáhanými částmi raketových motorů) a jsou současně značně protichůdné:

- vysoká tvrdost a pevnost při pracovních teplotách, zajišťující odolnost proti deformacím a abrasivnímu opotřebení
- vysoká houževnatost, eliminující křehké porušení břitu
- chemická stálost, zaručující odolnost proti difuzi a oxidaci
- odolnost proti teplotnímu rázu
- snadná zpracovatelnost
- dostupnost a přijatelná cena



Obr. Příčiny opotřebení v závislosti na teplotě v místě řezu.

Protože se nepodařilo najít ideální nástrojový materiál splňující současně všechny uvedené požadavky, používá se pro výrobu nástrojů podle převažujících požadavků daného nástroje a technologie řada velmi rozdílných materiálů. Skupiny materiálů dále uvedené jsou seřazeny podle historického vývoje. Rozsah použití je ale odlišný – **v současnosti je nejdůležitějším nástrojovým materiálem slinutých karbid**, na druhém místě je to rychlořezná ocel. Používání ostatních materiálů je výrazně méně rozšířené, ale v mnoha případech jsou tyto materiály nenahraditelné.

Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (RO) nebo HSS – High Speed Steels jsou historicky nejstarším „moderním“ nástrojovým materiálem. Přes současný mohutný nástup používání slinutých karbidů jsou díky svým některým vlastnostem nenahraditelné. Ze všech nástrojových materiálů má RO nejvyšší houževnatost. **Je zpracovatelná všemi běžnými technologiemi.** Nástroje můžeme z RO vyrábět odléváním, kování, válcováním, třískovým obráběním. To může být pro některé výrobce rozhodující argument. Výhodou je i příznivá cena. Naopak nevýhodou je menší tvrdost a odolnost proti opotřebení, které navíc prudce klesají při teplotě přesahující 500°C.

Chemické složení a vlastnosti

Rychlořezné oceli jsou samostatnou skupinou vysoce legovaných nástrojových ocelí, pro kterou je v normě vyhrazena třída 19 8xx. Vysoký obsah legujících prvků způsobuje kromě vysoké tvrdosti (60 až 68 HRC), pevnosti v ohybu 2700 až 4500 MPa **zvýšení popouštěcí teploty** (a tím i použitelnosti) do oblasti mezi 500 až 600°C. (Pro srovnání: popouštěcí teplota běžných ocelí je cca 250 °C.)

Vlastnosti jednotlivých RO jsou dány především obsahem legujících prvků a jejich kombinací:

Wolfram W (v množství 6 až 18%) je základním legujícím prvkem. Vytváří tvrdé, vůči opotřebení odolné karbidy a pevný, vůči popouštění stálý martensit.

Molybden Mo (0.7 až 10%) má podobné vlastnosti jako wolfram. Intenzita působení na vlastnosti oceli je dokonce vyšší, proto se používá menší koncentrace. Karbidy molybdenu jsou navíc jemnější a ve struktuře rovnoměrněji rozložené. Tím je dána poněkud vyšší houževnatost molybdenových ocelí. Tyto oceli jsou však citlivější na dodržování předepsaných podmínek tepelného zpracování což dříve poněkud omezovalo jejich používání.

Vanad V (1.3 až 4.3%) vytváří nejtvrdší karbidy a tím zvětšuje odolnost proti opotřebení. Současně ale výrazně klesá abrazivita a houževnatost.

Kobalt Co (5 až 12%) zvyšuje odolnost oceli proti poklesu tvrdosti při vysokých teplotách.

Chrom Cr (4%) zajišťuje dostatečnou kalitelnost a prokalitelnost oceli.

Sortiment rychlořezných ocelí

Podle převažujícího základního legujícího prvku se rychlořezné oceli dělí na typy wolframové a molybdenové. Podle obsahu dalších legur (Co a V) se dále dělí na oceli **výkonné** (označované HSS) a **vysoce výkonné** označované (HSS-E). Sortiment doplňují méně legované úsporné oceli pro méně náročné (např. řemeslnické) nástroje.

Pro přehlednost a možnost vzájemného porovnání ocelí dodávaných různými výrobci pod firemním značením bylo přijato mezinárodní značení normou EN ISO 4957. Číselný kód normy udává obsah legujících prvků v pořadí W, Mo, V, Co tedy například ocel 19 861 bude mít označení HS 10-4-3-10.

Sortiment vyráběných ocelí je velmi rozsáhlý. V následující tabulce jsou uvedeny pouze nejpoužívanější současné typy. V jiné literatuře můžete najít mnoho dalších typů především wolframových ocelí: HSS 19 802, 19 810 nebo HSS-E 19 855, 19 856. Od jejich používání se však postupně přechází k ocelím molybdenovým. Důvodem mimo jiné je i dostupnost a cena legujících prvků. Vlastnosti jiných typů ocelí je možno orientačně odvodit z jejich chemického složení.

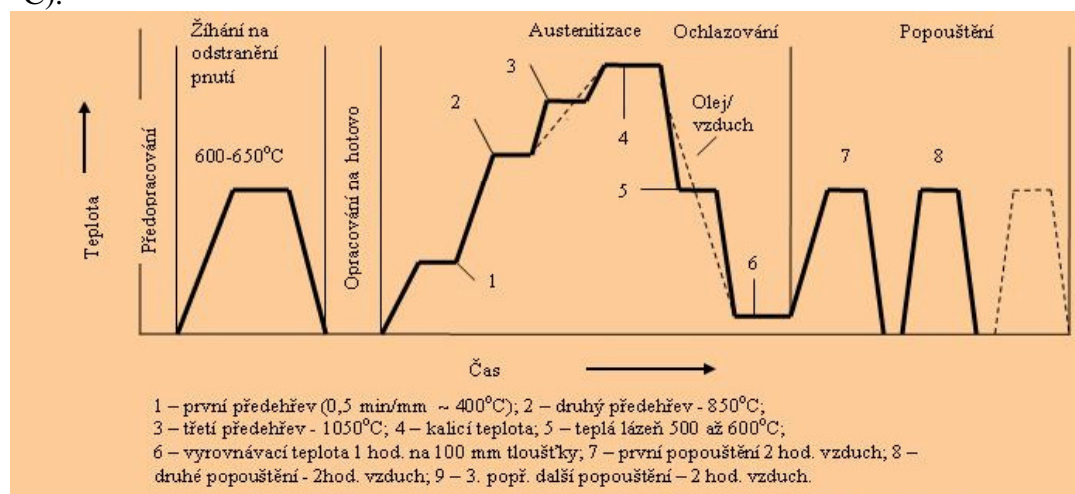
ČSN	EN ISO	W	Mo	V	Co	C	Vlastnosti, použití
19 824	HS 18-0-1	18.0	-	1.10	-	0.78	Soustružnické nože, frézy, výstružníky
19 820	HS 3-3-2	2.85	2.70	2.35	-	0.99	Úsporná ocel, komunální nářadí, pilové listy ručních pil
19 830	HS 6-5-2	6.30	4.95	1.90	-	0.84	Nejpoužívanější ocel pro všechny druhy nástrojů
-	HS 6-5-3	6.30	4.95	2.95	-	1.20	Nástroje se zvýšenou odolností proti opotřebení
19 852	HS 6-5-2-5	6.30	4.95	1.90	4.75	0.91	Frézy, vrtáky, závitníky pro nejvyšší namáhání
19 861	HS 10-4-3-10	9.50	3.55	3.25	10.0	1.28	Soustružnické nože a frézy pro nejvyšší výkony

Tab. Vybrané typy rychlořezných ocelí

Výroba a zpracování rychlořezných ocelí.

Hutní výroba RO se nejčastěji provádí v elektrických obloukových pecích a následným odléváním do kokil. Vlivem vysokého obsahu uhlíku a legur má ocel při tuhnutí tendenci výrazně segregovat. Výrazné rozdíly ve struktuře se nedaří zcela potlačit ani následným tvářením za tepla. Výsledkem je řádkovitá struktura typická pro tvářenou rychlořeznou ocel. V 70 letech se proto pro výrobu nejkvalitnějších RO začala používat **prášková metalurgie**. Prášek oceli vyrobený rozprašováním tekuté oceli do plynného prostředí nebo do vody se dále zpracovává izostatickým lisováním při vysokých teplotách do polotovarů. Následuje další zpracování za tepla (kováním nebo válcováním) na požadované polotovary. Jiný způsob zpracování prášku je lisováním za studena a následným spékáním. Takto se vyrábějí téměř na hotovo jednoduché nástroje například břitové destičky. Po tepelném zpracování se lisovaný tvar pouze dokončuje broušením.

Tepelné zpracování RO je velmi specifické v porovnání s jinými druhy ocelí. Typický je několikastupňový ohřev na velmi vysokou kalící teplotu (1000 až 1270 °C), přerušované kalení a několikanásobné popouštění při neobvykle vysoké teplotě (520 až 570 °C).



Obr. Graf typického tepelného zpracování rychlořezných ocelí.

Povlakování nástrojů

Rychlořezné nástroje se často opatřují tvrdými povlaky o tloušťce 4 až 5 μm . K nanášení povlaků se používají výhradně **PVD technologie** protože pracovní teplota při nanášení je nižší než popouštěcí teplota rychlořezné oceli. Pokud se nástroj přeastřuje pouze na jedné ploše břitu, povlak na zbylé ploše působí i nadále prodlužování trvanlivosti ale s menší intenzitou. Například šroubový povlakovaný vrták se ostří vždy na hřbetní ploše, povlak v drážce (čelní plocha) po přeastření zůstává. Podrobněji povlakování popsáno dále.

Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) jsou tuhé roztoky karbidů kovů (především WC a TiC) v pojivu, tvořeném většinou kobaltem (Co). Typickou vlastností slinutých karbidů je vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení až do teplot cca 900 °C a vysoká pevnost v tlaku. Nedostatkem je nižší houževnatost (ve srovnání s rychlořeznými oceli) a malá tepelná vodivost. V současné době **jsou slinuté karbidy nejdůležitějším nástrojovým materiálem**. Dodávají se jednak ve formě břitových destiček určených pro pájení nebo pro mechanické upevnění k tělesu nástroje, ale stále častěji též ve formě **monolitních nástrojů**.

Chemické složení a vlastnosti slinutých karbidů

První SK vyvinula německá firma Krupp v roce 1926. Jednalo se o jednoduché dvousložkové karbidy typu WC+Co. Tyto karbidy se dobře osvědčily při obrábění litin a barevných kovů ale pro obrábění oceli byly naprosto nevhodné. V důsledku difúzního opotřebení u nich docházelo k rychlé tvorbě žlábků na čelní ploše a trvanlivost ostří byla velmi nízká. Tyto nedostatky se podařilo postupně odstranit přísadou karbidů (TiC, TaC, NbC). Uvedené chemické složení se v různých poměrech používá pro karbidy určené k obrábění ocelí do současnosti.

Obsah kobaltového pojiva, který má zásadní vliv na houževnatost, kolísá od 6% pro jemné dokončování po 20% pro hrubování s přerušovaným řezem. Dalšího významného pokroku (především zvýšení houževnatosti) bylo dosaženo v 70. letech zavedením tzv. **jemnozrných** karbidů. Původní velikost zrna karbidové fáze 2 až 8 μm byla zavedením technologií ultrajemného mletí snížena na 1 nebo dokonce 0.5 μm .

Vlastnosti slinutého karbidu lze odvodit z jejich chemického složení orientačně takto:

WC – Základní složka standardních karbidů. Zajišťuje odolnost proti abrasivnímu opotřebení a pevnost břitu nástroje.

TiC – Zvyšuje odolnost proti vymílání čela, zmenšuje odolnost proti otěru, houževnatost, pevnost v ohybu a tím pevnost břitu

Ta (Nb)C - Ve spojení s WC zvyšuje proti opotřebení při vysokých teplotách. Zvyšuje houževnatost a mechanickou pevnost břitu a odolnost proti tepelným šokům.

Co - Plní funkci spojovací fáze karbidu. S růstem obsahu se zvyšuje houževnatost a pevnost v ohybu, klesá však tvrdost.

Snaha o úsporu drahých materiálů (W, Co) a současně snaha o obejití patentových práv, vedla k vývoji specifické skupiny slinutých karbidů, ve kterých není použit jako základ WC ale je úplně nebo z větší části nahrazen TiC, karbonitridem titanu (TiCN) nebo nitridem titanu (TiN). Jako pojivo se u nich používá slitin kobaltu. Tyto materiály označované

nejčastěji **cermety** jsou v někdy považovány za samostatný nástrojový materiál, někdy pouze za jeden z druhů slinutých karbidů. Cermety jsou velmi odolné proti opotřebení čela i hřbetu, mají vysokou pevnost za tepla a chemickou stabilitu. Oproti klasickým SK jsou méně houževnaté a odolné proti teplotnímu rázu. Jsou proto vhodné pro jemné obrábění a dokončování ocelí a ocelolitín a do určité míry i litin. Největšího rozšíření dosáhli cermety v Japonsku a USA.

Výroba slinutých karbidů.

Výroba SK je značně složitý proces obsahující řadu vysoce speciálních technologií. Jeho podrobnější popis by značně přesáhl možnosti tohoto textu. Základní výrobní kroky jsou tyto:

Výroba a příprava prášků. Z nerostných surovin se redukcí získává čistý wolframový prášek, který se následně vysokoteplotně nauhličuje – vzniká karbid wolframu. Následuje přesné smíšení s dalšími karbidy vyrobenými obdobným způsobem a s práškovým kobaltem. Další velmi důležitou a časově náročnou etapou je mletí za mokra v kulových mlýnech a následné sušení.

Lisování a úprava polotovarů. Směs prášků se dále zpracovává do požadovaného tvaru vysokotlakým oboustranným nebo izostatickým lisováním do forem. Jinou metodou zpracování prášků je vytlačování. V některých případech jsou vylisky ještě dokončovány obráběním.

Slinování. Vylisky se ohřívají ve slinovací peci v ochranné vodíkové atmosféře nebo ve vakuu na takovou teplotu (cca 1400 °C) aby se roztavené pojivo mohlo dobře spojit s karbidy, které vytvářejí tvrdou strukturní složku výsledného produktu. Značným problémem je poměrně velké smrštění původně pórovitého vylisku během procesu slinování.

Dokončování vylisků. Následkem změny rozměrů při slinování je někdy nutno výrobky zpřesnit následným broušením, otřep je nutno odstranit otryskáváním nebo kartáčováním.

Většina nástrojů ze slinutého karbidu (včetně vyměnitelných břitových destiček) se pro zvýšení užitečných vlastností povlakuje viz dále.



Obr. Vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu.

Třídění slinutých karbidů.

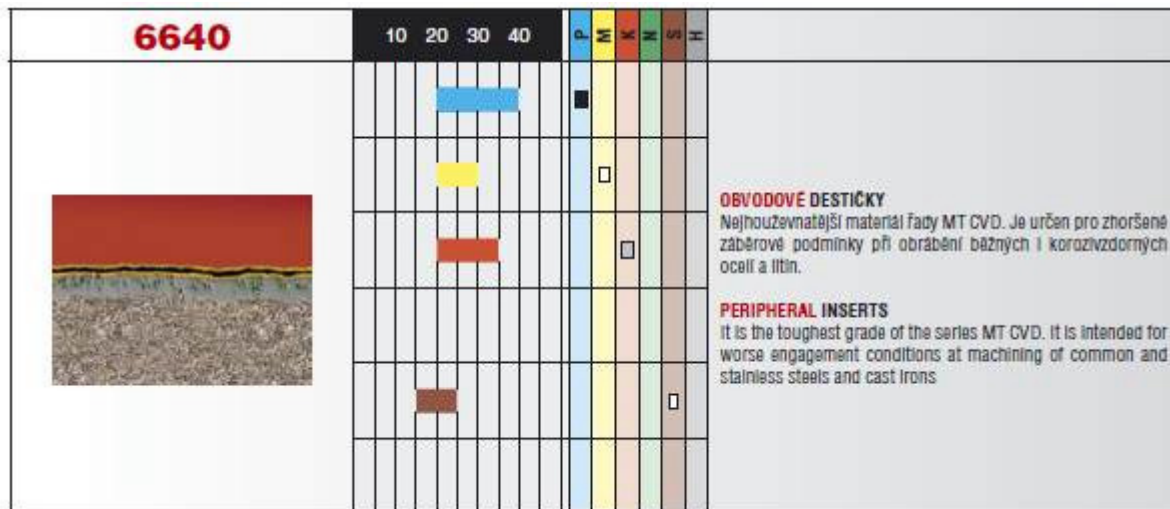
Obrovský sortiment vyráběných SK označovaných u jednotlivých výrobců zcela rozdílně, způsobuje obtížnou srovnatelnost a znesnadňuje výběr vhodného typu. Proto byla přijata mezinárodní klasifikace SK normou ISO 513, která jako základ třídění používá vhodnost karbidu pro obrábění určité skupiny materiálů podle charakteristického způsobu namáhání břitů a mechanismu opotřebení. Norma tedy neudává nic o chemickém složení karbidu, povlakování, nic o jeho výkonnosti pouze doporučuje vhodnost jeho použití.

Původní třídění karbidů do tří skupin **P** (určené pro obrábění ocelí), **M** (pro obrábění korozivzdorné oceli) a **K** (pro obrábění litiny), bylo později ještě rozšířeno o další skupiny (viz dále). Pro přehlednost jsou skupiny karbidů barevně rozlišeny. V každé skupině se karbidy ještě označují číselným kódem, který určuje poměr mezi tvrdostí a houževnatostí. Větší číslo znamená vyšší houževnatost a nižší tvrdost. Tedy např. karbid typu P01 je určen pro jemné dokončovací soustružení a vyvrtávání (nepřerušovaný řez) oceli vysokou řeznou rychlostí a malým posuvem. Naopak karbid P50 je určen pro hrubování, obrážení, nízké řezné rychlosti a vysoké posuvy.

Každý výrobce své slinuté karbidy přiřazuje do skupin podle vlastních zkušeností. Je zcela běžné, že některý karbid svými vlastnostmi umožňuje zatřídění do více materiálových skupin.

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

Tab. Rozdělení slinutých karbidů do skupin a jejich barevné označování



Obr. Ukázka vhodnosti použití SK. Karbid firmy Pramet firemního označení 6640 je vhodný především pro oblast P20 až P40 a omezeně použitelný i v jiných skupinách.

Řezná keramika

Snaha po nalezení dokonalejšího nástrojového materiálu pro jehož výrobu by současně nebyly nutné drahé a někdy nedostupné prvky (např. wolfram a kobalt) vedla již v první polovině 20 století k pokusům s řeznou keramikou. První prakticky upotřebitelné materiály byly uvedeny na trh koncem 50. let. Od této doby prodělala řezná keramika rychlý vývoj jehož základním cílem bylo odstranění nízké houževnatosti a sklonu k vydrolování ostří při zachování vysoké tvrdosti a odolnosti proti vysokým teplotám. Přes dosažený pokrok je řezná keramika materiálem s velmi úzkým použitím především pro soustružení a frézování šedé litiny, tvárné litiny, žáruvzdorných slitin, kalené oceli. V omezené míře se používá na obrábění konstrukčních ocelí. Nutnou podmínkou úspěšného nasazení řezné keramiky jsou vysoce výkonné a tuhé obráběcí stroje s dostatečným rozsahem otáček a posuvů. Obrobek musí umožnit dokonalé tuhé upnutí, pracovní prostor strojů musí být dokonale a bezpečně uzavřen. Některé řezné keramiky nedovolují použití chladicí kapaliny, což může být problém, pokud jsou na stoji současně upnuty i nástroje vyžadující chlazení.

Rozdělení řezné keramiky.

Pod označením řezná keramika se dodává řada materiálů s velmi rozdílným chemickým složením, strukturou případně povrchovou vrstvou. Norma EN DIN ISO 513 dělí keramiku takto:

CA - čistá oxidická keramika. (bílá nebo šedá barva) Je tvořena téměř výhradně (99%) oxidem hlinitým Al_2O_3 . Vyniká tvrdostí a odolností proti opotřebení za vysokých řezných teplot až 1200 °C. Má relativně nízkou pevnost a houževnatost a malou tepelnou vodivost. S výhodou lze použít řezných rychlostí až 1000 m/min, zvláště při obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem. Přidáním malého množství oxidu zirkoničitého do keramiky je možno je možno poněkud zvýšit houževnatost.

CM – směsná oxidová keramika. (černá barva) Vzniká přidáním 20 až 40% TiC nebo TiN k čisté keramice. Výrazně se tak zvýší teplotní vodivost tím i odolností proti teplotním

šokům, což umožňuje obrábění s částečně přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Lze použít pro obrábění tvrzené litiny a kalených ocelí (do 64 HRC), včetně středního a jemného frézování.

CN - nitridová keramika. Jedná se o zcela rozdílný keramický dvoufázový materiál, ve kterém jsou krystaly nitridu křemíku Si_3N_4 uloženy v pojivu. Materiál vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních řezných výkonů.

CC – povlakovaná řezná keramika. Povlakování řezné keramiky není tak obvyklé jako u slinutých karbidů. Hlavním posláním povlaku zde není zvýšení tvrdosti povrchu ale zvýšení houževnatosti pomocí snížení šíření mikrotrhlinek základního materiálu nebo zvýšení otěruvzdornosti řezných hran. Metodou CVD se nanáší jedna vrstva TiN nebo TiCN.

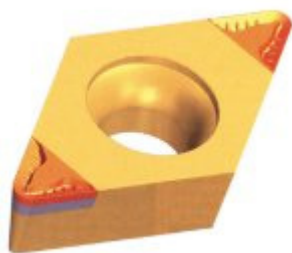
Dalším typem keramiky, pro které zatím uvedená norma nemá označení je:

Vyztužená keramika. (zelená barva) Nazývá se tak oxidická keramika zesílená přídavkem viskerů (až 30%). Viskery jsou velice jemná vlákna karbidu křemíku dosahující extrémní pevnosti. Jejich průměr je cca $1\mu m$, délka $20\mu m$. Vyztužením se výrazně zvýší houževnatost, pevnost v tahu a odolnost proti teplotním šokům. Současně se zvýší tvrdost za tepla a odolnost proti opotřebení. Vyztužená keramika je vhodná pro obrábění žáruvzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny zejména přerušovaným řezem.

	čistá oxidická	směsná oxidická	nitridová
měrná hmotnost	4.12	4.30	3.30
youngův modul GPa	380	400	320
tvrdost HV	2000	22050	1700
lomová houževnatost MPa.m	5.8	5.2	7.0
pevnost v ohybu MPa	600	600	800
tepelná vodivost WmK	28	35	45
koeficient tepelné roztažnosti 10K	7.0	7.4	2.3

Tab. Porovnání některých vlastností řezné keramiky

Syntetický diamant



Syntetický diamant je uměle vyráběný materiál, který se vlastnostmi blíží diamantům přírodním. Nejvyšší známá tvrdost způsobuje výbornou odolnost proti abrasivnímu opotřebení, má dobrou tepelnou vodivost a nízký koeficient tření. Nevýhodou je křehkost, afinita k železným kovům a Ni slitinám a tepelná odolnost pouze do cca $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejčastěji se používá polykrystalický diamant (PKD), který na rozdíl od monokrystalické formy má isotropní

vlastnosti, menší tvrdost a lepší houževnatost.

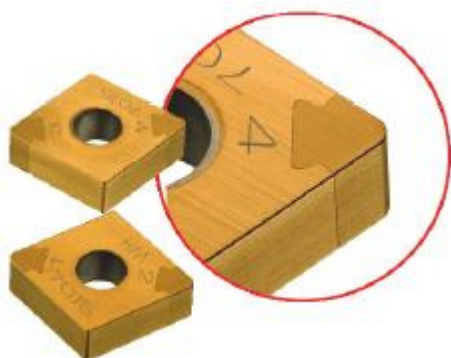
PKD se vyrábí slinováním diamantových zrn při vysokých teplotách s kovovým kobaltovým pojivem. Výsledná struktura je tvořena zrny diamantu spojenými buď přímo mezi sebou nebo pomocí kobaltového pojiva. PKD se dodává ve formě kompaktních řezných destiček nebo jako tenká vrstva (0.5 až 1 mm) na karbidové destičce.

Polykrystalickým diamantem se osazují nástroje na soustružení, vyvrtávání i frézování zejména **abrasivních materiálů** (s výjimkou železných kovů), např. AlSi slitin s vysokým obsahem Si, slinutých karbidů a keramiky, slitin mědi, kamene, tvrzené pryže, kompozitů a plněných plastů, dřevotřísky apod.

Nejrozšířenější upotřebení syntetického diamantu je ale ve formě **brousicích** nástrojů určených pro broušení a řezání všech tvrdých materiálů s výjimkou ocelí (tedy především slinutých karbidů, skla, keramiky). Podrobněji v kapitole Broušící nástroje.

Nitrid boru

Polykrystalický kubický nitrid boritý (KBN) je synteticky vyrobený materiál s extrémní tvrdostí, kterou si zachovává až do cca 2000 C, vysokou pevností za tepla, s výbornou odolností proti opotřebení. Houževnatost je nízká podobně jako u keramických materiálů. Vysoká chemická stabilita (na rozdíl od diamantu) umožňuje jeho použití při **obrábění ocelí**. Nevýhodou je velmi vysoká cena.



KBN se zpracovává do formy břitových destiček lisováním s kovovým nebo keramickým pojivem. Často bývá do karbidové destičky zapájena pouze špička z KBN. Uspoří se tak drahý materiál a destička získá houževnatý základ.

Použití KBN má smysl pouze pro dokončovací obrábění velmi tvrdých materiálů (např. kalených ocelí, tvrzených litin a pod.) jako alternativní technologie k broušení. Významné je užití KBN ve formě brousicích materiálů pro broušení kalených ocelí.

Povlakování obráběcích nástrojů.

Povlakování spočívá v nanesení velmi tenké vrstvy (2 až 12 μm) tvrdého a chemicky odolného materiálu na povrch hotového nástroje z RO nebo SK a tím výrazné zvýšení trvanlivosti nebo možné řezné rychlosti. Zavedení povlakování v 60. letech bylo významným pokrokem ve vývoji nástrojových materiálů, v současné době se **většina nástrojů** touto metodou běžně upravuje, užití nepovlakovaných slinutých karbidů je spíše vyjímečné při požadavku na extrémně malý poloměr ostří.

Nejpoužívanější materiály na povlaky jsou nitrid titanu TiN (povlak má zlatou barvu), karbid titanu TiC (šedá barva) a oxid hlinitý Al_2O_3 (černá barva). V menší míře se používají povlaky diamantu a kubického nitridu boru. Každý z těchto materiálů má své typické vlastnosti: TiC a Al_2O_3 vytvářejí velmi tvrdé vrstvy a zvyšují tak odolnost proti

opotřebení. TiN je méně tvrdý ale zmenšuje koeficient tření a lepší odolnost proti vymílání

čela. Karbonitrid titanu (TiCN) má vynikající přilnavost k podkladovému karbidu. Pro lepší využití specifických vlastností se používají **vícevrstvé povlaky**.

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Nejlepší	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiC	Al ₂ O ₃
↑	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al ₂ O ₃	TiCN
Nejhorší	TiC	TiC	TiN	TiC

Tab. Porovnání některých vlastností povlaků

Metody povlakování.

Pro povlakování byla vyvinuta řada technologií, které je možno rozdělit do dvou základních skupin:

Technologie CVD (chemical vapour deposition). Vysokoteplotní technologie spočívající v chemické reakci, při které **vzniká** materiál požadovaného chemického složení a ukládá se na povrch nástroje. Proces probíhá při teplotě cca 1000 °C v reakční komoře s regulovanou atmosférou. Například pro vytváření povlaku TiC jsou vstupními materiály vodík, chlorid titanu a metan. Jako zdroj energie se používá odporový ohřev, plazmový výboj nebo nejnověji laser. Metoda CVD je vhodná pro povlakování slinutých karbidů, pro rychlořeznou ocel je vzhledem k reakční teplotě nepoužitelná. Při použití dochází k zaoblování řezných hran.



Obr. Povlakované nástroje z rychlořezné oceli

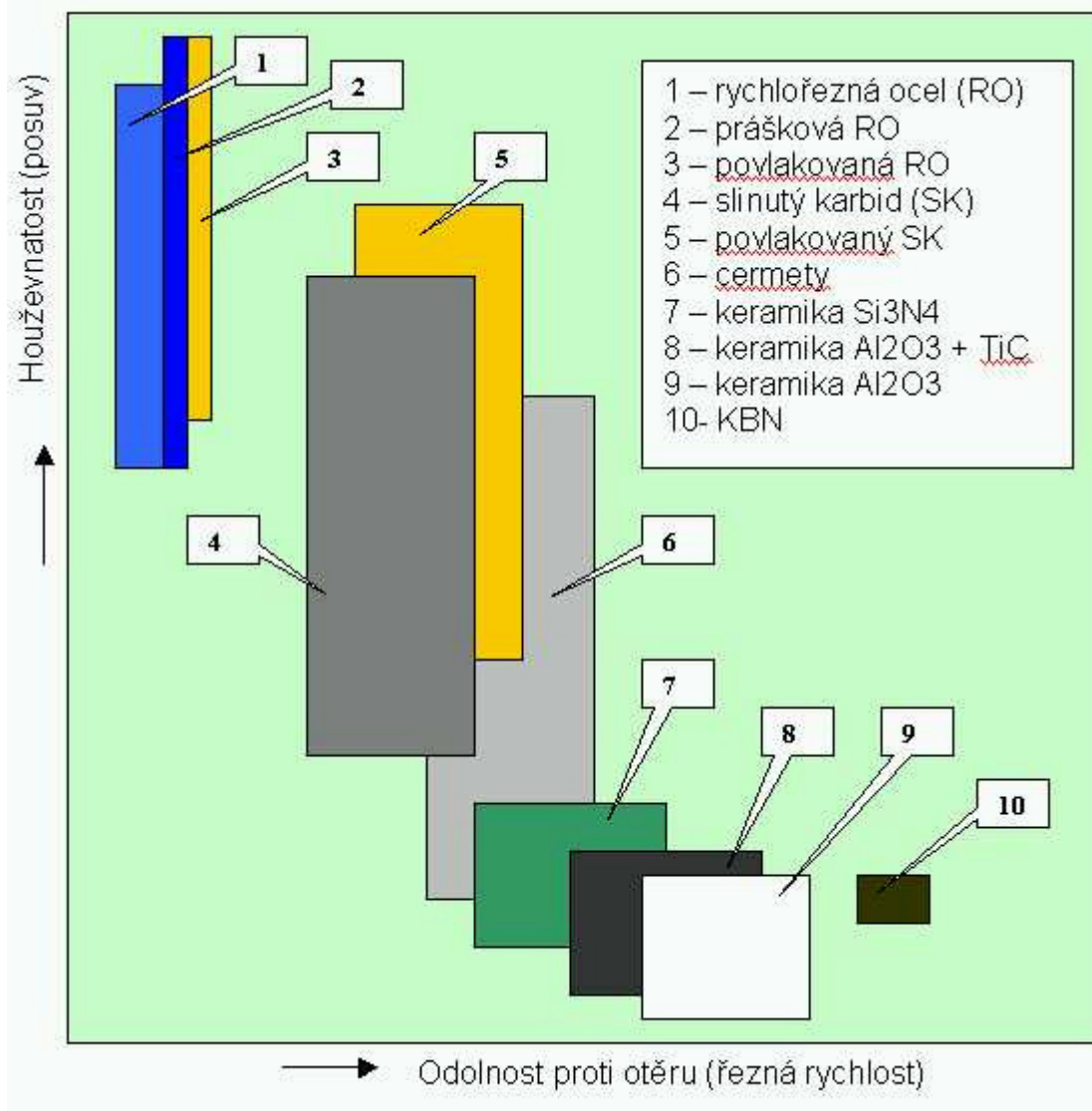
Technologie PVD (physical vapour deposition). Jedná se celou řadu velmi rozdílných (konkurenčních) technologií spočívajících na rozprašování nebo odpařování pevné látky například titanu, reakci s plynným prostředím a ukládáním na povrchu nástroje. Proces

probíhá za výrazně nižší teploty cca 500 °C ve vakuové komoře pomocí silného elektrického pole. Metoda PVD je vhodná především pro povlakování rychlořezných ocelí. U slinutých karbidů se používá především v případě potřeby zachování ostrého břítu.

Volba nástrojového materiálu.

Z předchozího popisu jsou patrné velmi rozdílné vlastnosti nástrojových materiálů (viz graf). Pro volbu nejvhodnějšího nástrojového materiálu platí tyto obecné zásady:

- Slinutý karbid. SK je v současnosti základní nástrojový materiál pro většinu nástrojů. Umožňuje použití vysokých řezných rychlostí při současně poměrně vysoké houževnatosti. Užití se stále rozšiřuje do oblastí, které byly ještě nedávno doménou rychlořezných ocelí (monolitní frézy, vrtáky, závitníky). Problémem je výroba a další zpracování SK. Kompletní výroba z prášků je velmi náročná dostupná pouze velkým výrobcům. Menší výrobci jsou odkázáni na zpracování nakupovaných již slinovaných polotovarů. Ale i tak jsou pro výrobu nutné specifické nekonvenční technologie např. elektroerosivní řezání. Pro broušení je nutné používat diamantové brousící kotouče.
- Rychlořezná ocel je druhý nejpoužívanější materiál. Použití je vhodné tam, kde využijeme některou z jejich předností (vysoká houževnatost, dobrá zpracovatelnost, ostřejší břit, příznivá cena). Jsou to monolitní nástroje větších rozměrů (např. protahovací trny), levné nástroje pro občasné použití, tvarové nástroje (snadná výroba), vysoce houževnaté nástroje (závitníky). Nástroje z rychlořezné oceli volíme rovněž v případech kdy obráběcí stroje nevyhovují pro použití SK tedy méně tuhé především starší stroje se sklonem ke chvění, málo výkonné stroje. Ostřejší břit (malý poloměr ostří) a možný velký úhel čela nástrojů z RO je rovněž vhodný pro obrábění zpevňujících speciálních materiálů, jako jsou Inconel, titan a jeho slitiny, plasty apod. Vyměnitelné destičky z RO jsou schopny řezat při nízkých řezných rychlostech s dobrou jakostí povrchu, bez vylamování nebo poškození břítu..
- Řezná keramika Použití je dosti omezené - vybrané obráběné materiály, nejčastěji litiny, sériová, dobře připravená výroba, tuhé výkonné stroje, dokonalé upnutí. Těmto podmínkám nejlépe vyhovuje vysoce sériová v automobilovém průmyslu.
- PKD a KBN Použití těchto materiálů je především z důvodu vysoké ceny zatím velmi omezené. Především se jedná o obrábění velmi abrasivních materiálů, obrábění zakalených materiálů jako náhrada broušení.



Graf. Porovnání vlastností nástrojových materiálů.