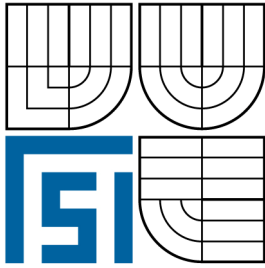


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ APLIKACE ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

TECHNOLOGICAL APLICATIONS OF CEMENTED CARBIDE TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VLASTIMIL BRLICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAROSLAV PROKOP, CSC.

BRNO 2008

Zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Bakalářská práce vypracovaná v rámci bakalářského studia B2339-00 na fakultě strojního inženýrství se zabývá problematikou řezných nástrojů ze slinutých karbidů. Z literární studie jsou charakterizovány obecné informace, jako např. rozdělení, vlastnosti, či výroba slinutých karbidů. V druhé části této práce jsou zpracovány konkrétní příklady řezných podmínek a následný výpočet ekonomických aspektů při obrábění. Informace o materiálech, řezných podmínkách a cenách břitových destiček ze slinutých karbidů jsou čerpány z katalogů firmy Sandvik – Coromant.

Klíčová slova

Slinuté karbidy, povlakování, řezné podmínky.

ABSTRACT

The fully fashioned bachelor's thesis within the frame of the bachelor's study B2339-00 at the Faculty of mechanical engineering deals with subject cemented carbide tools. General information is characterized by literary production; e.g. division, characteristics and manufacturing. The particular examples of cutting conditions are worked up in the second part of this study followed by calculation of economic aspects in the process of tooling. The information about materials, cutting conditions and prices of exchange cutter bit from cemented carbide are drawn from catalogues of Sandvik – Coromant company.

Key words

Cemented carbide tools, coated tools, cutting conditions.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRLICA, Vlastimil. *Název: Technologické aplikace řezných nástrojů ze slinutých karbidů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 39s., Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Technologické aplikace řezných nástrojů ze slinutých karbidů* vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Vlastimil Břiča

Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	8
1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA SLINUTÝCH KARBIDŮ	9
1.1 Nepovlakované slinuté karbidy	10
1.1.1 Rozdělení a značení	10
1.1.2 Výroba slinutých karbidů	14
1.1.3 Vlastnosti slinutých karbidů	15
1.2 Povlakované slinuté karbidy	17
1.2.1 Vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů	17
1.2.2 Metody povlakování	18
1.2.3 Vlastnosti povlaků	21
2 ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO APLIKACI ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ	24
2.1 Podélné soustružení	24
2.2 Frézování	25
2.3 Vrtání	27
3 EKONOMICKÉ ASPEKTY POUŽITÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ	28
3.1 Náklady na jednotku objemu odebraného materiálu	29
3.1.1 Podélné soustružení	29
3.1.2 Čelní rovinné frézování	31
3.2 Náklady na jednotku plochy odebraného materiálu	33
3.2.1 Podélné soustružení	33
3.2.2 Čelní rovinné frézování	34
Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	39

ÚVOD

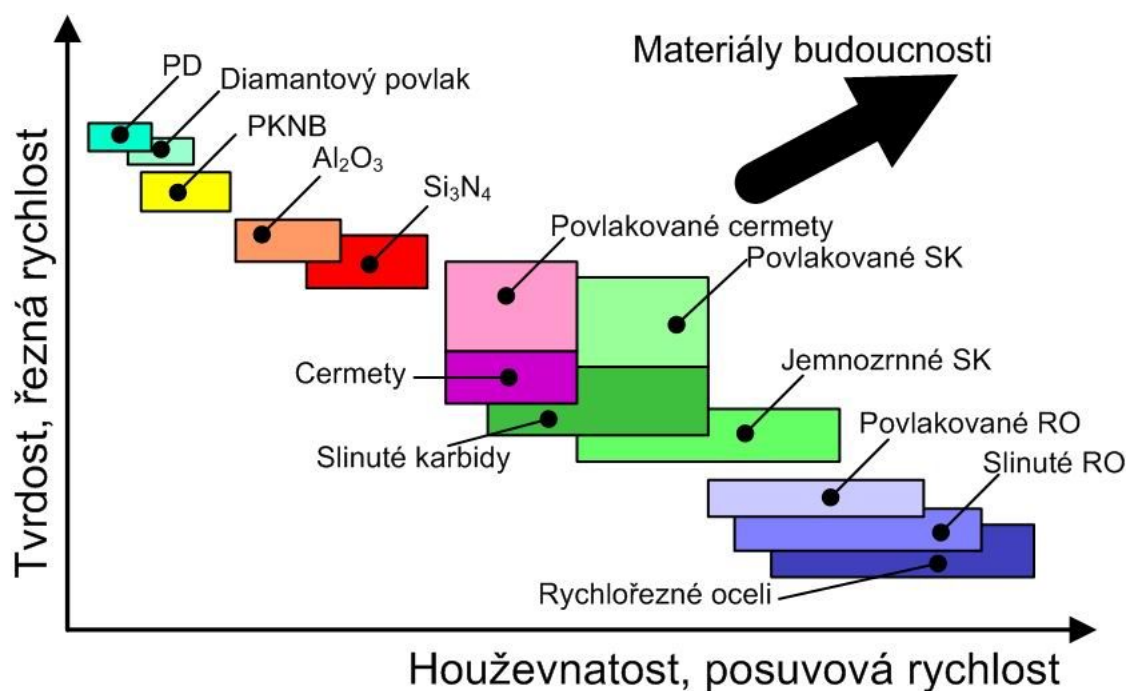
V současné době existují materiály, které mají vyšší tvrdost než klasické řezné nástroje z kalené nástrojové oceli. Z přírodních materiálů to jsou např. diamant a korund (Al_2O_3). Tyto materiály však v důsledku své nízké houževnatosti nejsou vhodné pro standardní řezný nástroj pro obrábění kovů. Právě proto vznikly a jsou dále vyvíjeny slinuté karbidy. Z počátku to byly slinuté karbidy nepovlakované a posléze slinuté karbidy povlakované. Slinuté karbidy se vyrábí pomocí práškové metalurgie z různých karbidů a kovového pojiva. Skládají se tedy z karbidů (karbid wolframu WC, karbid titani TiC , karbid tantalu TaC, karbid niobu NbC) a pojiva (kobalt Co). Slinuté karbidy jsou směsí dvou a více fází, které není možné po výrobě dále tepelně zpracovávat. Složení ovlivňuje tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru. Protože jsou karbidy velmi tvrdé, dají se tvarově a rozměrově upravovat pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. Vyrábějí se ve tvaru destiček normalizovaných tvarů a rozměrů, které se pájí, ale nejčastěji mechanicky upínají na řeznou část nástroje (způsoby upínání a tvary destiček jsou zobrazeny na obr 1.). Mechanicky upínané destičky mají několik ostří, které se využívají postupně. Nástroje z povlakovaných slinutých karbidů mají široké uplatnění pro soustružení, vrtání (kde jsou využívány v 75% výroby) a pro frézování (40%).



Obr. 1 Destičky ze slinutých karbidů [5]

1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA SLINUTÝCH KARBIDŮ

Při technologické charakteristice se v této kapitole zaměříme na slinuté karbidy bez povlaků a následně na slinuté karbidy s povlakem na povrchu, které jsou v současné době nejpoužívanějším nástrojovým materiálem. Základními vlastnostmi, které charakterizují veškeré druhy nástrojových materiálů, jsou na jedné straně tvrdost a řezná rychlost, na straně druhé houževnatost a posuvová rychlost. Můžeme říci, že tyto dvě skupiny vlastností stojí proti sobě. Pokud potřebujeme nástrojový materiál maximálně houževnatý vybereme nástroj z rychlořezné oceli, pokud naopak potřebujeme materiál maximálně tvrdý, tak vybereme nástroj ze supertvrdých materiálů (diamant, kubický nitrid bóru). Ve většině případů však je potřeba takový materiál, který splňuje obě tyto vlastnosti. Podle tohoto kritéria mezi nejvíce univerzální materiály můžeme zařadit slinuté karbidy a také cermety (obr. 2). Jak naznačuje šipka „Materiály budoucnosti“, právě tímto směrem směřuje vývoj současných nástrojových materiálů.



Obr. 2 Tvrdost versus houževnatost [5]

1.1 Nepovlakované slinuté karbidy

Nepovlakovaný slinutý karbid je takový řezný materiál, který se skládá jednak z tvrdých částic, které obsahují různé karbidy a jednak z pojiva, které tyto tvrdé částice spojují do jednoho celku. Zmiňované tvrdé částice jsou tvořeny karbidy wolframu, titanu, tantalu a niobu, jako pojivo se používá kobalt. Jak se dozvíme (viz níže) tak řezné nástroje z nepovlakovaných slinutých karbidů není možné kvůli svým vlastnostem použít pro lehlé a dokončovací operace, naopak díky těmto vlastnostem se používají pro těžké hrubovací operace. Ve slinutých karbidech zaujímají tvrdé částice 55÷92 % celkového objemu materiálu, tím je dán jejich velký význam pro funkci řezného nástroje.

1.1.1 Rozdělení a značení [1]

Nepovlakované slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou podle normy ČSN ISO 513 podle použití rozdělovány do šesti základních skupin:

- P (barva značení modrá)
- M (barva značení žlutá)
- K (barva značení červená)
- N (barva značení zelená)
- S (barva značení hnědá)
- H (barva značení tmavošedá)

S dalším dělením např. P10, M30, K20 (vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojivového kovu, vyšší houževnatost a pevnost v ohybu a nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu a vymezuje oblast jeho aplikací pro nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti). Základním karbidem pro výrobu všech druhů slinutých karbidů pro obrábění (nepovlakovaných i povlakovaných) je karbid wolframu (WC), pojivím kovem je kobalt (Co), jako další složky jsou používány karbidy titanu (TiC), tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr₃C₂). Přidání malého množství přísad kovů (0,5÷3,0 % V, Nb, Ta, Ti,) nebo karbidů (VC, Cr₃C₂, NbC, TaC) do výchozí práškové směsi zajistí zpomalení růstu zrna WC a výsledný slinutý karbid má pak jemnější zrno a vyšší tvrdost a pevnost (negativním důsledkem může být částečné snížení houževnatosti).

V následujícím přehledu jednotlivých skupin jsou uvedeny bližší informace k jednotlivým skupinám. Přehled je situován do šesti barevně odlišených tabulek (tab. 1 až tab. 6). Přičemž u nejpoužívanějších skupin (P, M, K) jsou navíc uvedeny stručné informace o základním použití a nevýhodách (vždy před tabulkou).

Skupina P

Použití: Obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku (uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli).

Nevýhody: Díky TiC a tuhým roztokům na bázi TiC je ovlivněna jejich křehkost a odolnost proti abrazi.

Tab.1 Vlastnosti skupiny P [5]

Hlavní skupina	Označení	Obráběný materiál	Příklad užití a podmínky užití	Změna charakteristik
P Oceli, oceli na odlitky, temperované litiny	P01	Oceli, oceli na odlitky	Jemné soustružení a vyvrtávání - vysoké řezné rychlosti, malé posuvy	
	P10		Soustružení, kopírování, řezání závitů, frézování	
	P20		Soustružení, kopírování, frézování - střední řezné rychlosti, střední posuvy, hoblování při malých posuvech	
	P30	Oceli, oceli na odlitky, temperované litiny	Soustružení, hoblování, frézování - střední až nízké řezné rychlosti, střední až velké posuvy, méně příznivé pracovní podmínky (proměnlivá tvrdost, hloubka řezu, přerušovaný řez apod.)	
	P40	Oceli, oceli na odlitky s pískem a lunkry	Soustružení, hoblování, obrázení, částečně práce na automatech - nízké řezné rychlosti, velké posuvy, možnost použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách	
	P50	Oceli, oceli na odlitky, střední nebo nižší pevnosti, také s pískem a lunkry	Soustružení, hoblování, obrázení, práce na automatech - nízké řezné rychlosti, velké posuvy, možnost použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách	
Složení: WC + TiC + Co + (TaC.NbC) [hm. %] 30÷82 8÷64 5÷17				

Skupina M

Použití: Obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny (vzhledem k relativně vysoké houževnatosti se SK této skupiny též často používají pro těžké hrubovací a přerušované řezy).

Nevýhody: Řezné síly dosahují středních až vysokých hodnot, dochází k vydrolování ostří.

Tab.2 Vlastnosti skupiny M [5]

Hlavní skupina	Označení	Obráběný materiál	Příklady užití a podmínky užití	Změna charakteristik
M Oceli, manganové oceli, austenitické oceli, automatové oceli, oceli na odlitky, šedé litiny, legované litiny, tvárné litiny, temperované litiny, neželezné a lehké kovy	M10	Oceli, manganové oceli, oceli na odlitky, šedé litiny, legované litiny	Soustružení - střední až vysoké řezné rychlosti, malé až střední posuvy	Roste tvrdost, otěruvzdornost a v_c ↓ Roste %Co, houževnatost a v_f
	M20	Oceli, austenitické oceli, manganové oceli, oceli na odlitky, šedé, tvárné a temperované litiny	Soustružení, frézování - střední řezné rychlosti, střední posuvy	
	M30	Oceli, austenitické oceli, žárovečné materiály, oceli na odlitky, šedé litiny	Soustružení, hoblování, frézování - střední řezné rychlosti, střední až velké posuvy	
	M40	Oceli nízké pevnosti, automatové oceli, neželezné a lehké kovy	Soustružení, tvarové soustružení, upichování - zvláště na automatech	
Složení: WC + TiC + TaC.NbC + Co [hm. %] 79÷84 5÷10 4÷7 6÷15				

Skupina K

Použití: Obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou, drobivou třísku (zejména pro šedé litiny, neželezné slitiny a nekovové materiály). Řezné síly jsou přitom obvykle relativně nízké a převládá abrazní a adhezni opotřebení.

Nevýhody: Slinuté karbidy této skupiny nejsou vhodné pro obrábění materiálů, tvořících dlouhou třísku, (tepelné zatěžování čela nástroje).

Tab.3 Vlastnosti skupiny K [5]

Hlavní skupina	Označení	Obráběný materiál	Příklady užití a podmínky užití	Změna charakteristik
K Šedé litiny, temperované litiny, kokilové litiny, neželezné kovy, oceli nízké pevnosti, kalené oceli, plastické hmoty, dřevo, nekovové materiály	K01	Kalené oceli, kokilové litiny s HRC≤60, šedé litiny s vysokou tvrdostí, slitiny Al s vysokým obsahem Si, plastické hmoty, keramické látky	Soustružení, jemné vyvrtávání, frézování na čisto, škrabání	Roste tvrdost, otěruvzdornost a v_c ↑ ↓ Roste %Co, houževnatost a v_f
	K10	Kalené oceli, šedé litiny s HB≤220, temperované litiny, slitiny Cu, slitiny Al s obsahem Si, plastické hmoty, tvrdá guma, sklo, porcelán, kámen	Soustružení, vrtání, vyhrubování, vystružování, frézování, protahování, škrabání	
	K20	Šedé litiny s HB≤220, měď, mosaz, hliník a ostatní neželezné kovy, vrstvené dřevo	Soustružení, hoblování, vyhrubování, vystružování, frézování - při vysokých požadavcích na houževnatost slinutého karbidu	
	K30	Oceli nízké pevnosti, šedé litiny s nízkou tvrdostí, vrstvené dřevo	Soustružení, hoblování, obrábění, frézování; možnosti použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách	
	K40	Neželezné kovy, měkké dřevo a tvrdé dřevo v přírodním stavu	Soustružení, hoblování, obrábění; možnosti použití velkého úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách	
Složení: WC + Co + (TaC.NbC) [hm. %] 87÷92 4÷12				

Skupina N

Tab.4 Vlastnosti skupiny N [5]

Hlavní skupina	Označení	Příklady a podmínky užití	Změna charakteristik
N Neželezné kovy (slitiny hliníku, hořčíku, mědi), plasty, kompozity a dřeva	N01	Dokončovací obrábění neželezných kovů a nekovových materiálů	Roste rychlost, otěruvzdornost a v_c ↓ Roste %Co, houževnatost a v_f
	N05	Střední až těžké soustružení neželezných kovů a nekovových materiálů	
	N10		
	N25	Hrubování neželezných kovů a nekovových materiálů	

Skupina S

Tab.5 Vlastnosti skupiny S [5]

Hlavní skupina	Označení	Příklady a podmínky užití	Změna charakteristik
S Tepelně odolné slitiny a superslitiny, slitiny titanu	S05	Dokončovací obrábění za tepelně nepříznivých pracovních podmínek	Roste rychlost, otěruvzdornost a v_c ↓ Roste %Co, houževnatost a v_f
	S10	Obrábění při nízkých rychlostech. Nepřerušované i přerušované řezy	
	S25		
	S30	Střední až těžké soustružení	

Skupina H

Tab.6 Vlastnosti skupiny H [5]

Hlavní skupina	Označení	Příklady a podmínky užití	Změna charakteristik
H Kalené a zušlechtěné materiály	H01	Nepřerušované a lehce přerušované řezy v zušlechtěných ocelích	
	H05		
	H10	Soustružení vysokých součástí za nepříznivých pracovních podmínek	
	H15		
	H25	Soustružení tvrzených materiálů při nízkých řezných rychlostech	

1.1.2 Výroba slinutých karbidů [1]

Výroba slinutých karbidů představuje typickou metodu oboru, nazývaného prášková metalurgie, který se zabývá přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících kovů, jejich smísením v patřičných poměrech, lisováním směsi a slinováním výlisků. Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu, a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který vyniká poměrně vysokou pevností, protože jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna relativně křehkých karbidů.

Postup výroby:

- výroba práškového wolframu,
- výroba práškových karbidů (WC, TiC, TaC.NbC, VC, Cr₃C₂) a kobaltu,
- příprava směsí uvedených prášků (míchání, homogenizace, mletí, v případě mokrého mletí sušení a granulace),
- formování směsí (lisování, vytlačování),
- předslinování sformovaných směsí (700÷850 °C),

- slinování (1350÷1650 °C),
- vysokoteplotní izostatické lisování (tlak 150 MPa, teplota 1400 °C)

Tvrdé karbidické částice pro výrobu slinutých karbidů jsou připravovány některou z následujících metod:

- litím,
- karbidizací práškových kovů, hydridů, nebo oxidů kovů pomocí uhlíku v pevném skupenství,
- karbidizací práškových kovů, hydridů, nebo oxidů kovů pomocí plynů, které obsahují uhlík (někdy s přísadou pevného uhlíku),
- usazováním z plynné fáze,
- chemickým vylučováním z nauhličených feroslitin,
- usazováním při elektrolýze roztoků odpovídajících solí.

1.1.3 Vlastnosti slinutých karbidů [1]

Vlastnosti slinutého karbidu mají rozhodující vliv na jeho použití. Houževnatost, tvrdost a odolnost proti opotřebení mají velmi často shodný význam, v některých případech jsou nejdůležitější vlastnosti za vysokých teplot. Vzájemné ovlivnění vybraných vlastností je velmi důležitým údajem pro uživatele. Vývoj v oblasti nástrojových materiálů je zaměřen především na zlepšení jejich odolnosti proti opotřebení a zvýšení tvrdosti a houževnatosti. Tyto dvě vlastnosti (tvrdost a houževnatost) jsou vzájemně neslučitelné a v praxi nelze obě tyto vlastnosti současně zlepšit jedním samostatným postupem, např. jednoduchou změnou chemického složení. K optimalizaci nástrojového materiálu je potřeba pečlivě řídit mnoho faktorů - složení materiálu, velikost zrn a jejich rozložení, druh a množství přísad, rovnoměrnost mikrostruktury, obsah nekovových prvků (C, N), množství a druh nečistot, defekty (póry). Nejvyšší hodnoty tvrdosti a pevnosti v tlaku vykazují SK s nízkým obsahem kobaltu (Co), s rostoucím obsahem Co tyto hodnoty klesají. Pro libovolné složení materiálu je tvrdost tím vyšší, čím menší je velikost zrna tvrdých částic.

U slinutých karbidů jsou zejména důležité tyto vlastnosti:

- ohybové napětí
- mez pevnosti v ohybu.

Průběh ohybové pevnosti má vzhledem k průběhu tvrdosti opačné vlastnosti a dosahuje svého maxima u materiálů s nejvyšším obsahem Co a hrubozrnnou strukturou. Při tahových nebo ohybových zkouškách probíhá porušení slinutých karbidů s téměř nezatelnou plastickou deformací, což je řadí mezi „křehké“ materiály, jako je sklo a keramika. Slinuté karbidy mají vyšší modul pružnosti v tahu a mnohem vyšší mez kluzu než oceli.

Slinuté karbidy mají typicky křehký lom a pevnost je silně ovlivněna defekty, protože na nich je obvykle iniciována trhlina. V případě slinutých karbidů jsou póry, velké tvrdé částice a segregovaný pojící kov hlavními defekty, na kterých iniciuje trhlina. Shlukování tvrdých částic a segregace nečistot také působí jako místa pro počátek lomu. Uvedené defekty jsou v zásadě společné pro všechny slinované tvrdé materiály a proto je zřejmé, že i u slinutých karbidů poroste pevnost bez poklesu tvrdosti jen tehdy, když bude snížen počet a velikost defektů. Je tedy třeba velice pečlivě řídit celou jejich výrobu, od produkce prášků, až po slinování, aby výsledným produktem bylo jednolitě slinuté těleso bez defektů. Při slinovací teplotě se v pojící fázi do značné míry rozpouští uhlík i wolfram. Díky relativně pomalé difúzi zůstává při normálních rychlostech ochlazování wolfram v pojící fázi v nerovnovážném množství. Množství wolframu v roztoku vzrůstá s klesajícím obsahem uhlíku (zároveň klesá zrnitost výsledného slinutého karbidu).

Vlastnosti řezných nástrojů ze slinutých karbidů závisejí na složení a zrnitosti materiálu, množství a velikosti strukturních defektů (např. póry), velkou roli hraje i kvalita vstupních surovin.

Mezi hlavní příčiny pórovitosti slinutých karbidů patří:

- nízký obsah uhlíku (póry pod 25 μm),
- nedostatečné rozmělnění směsi (póry pod 25 μm),
- nehomogenita (nedostatečné promísení směsi, nestejná hmotnost prášku, nehomogenní rozložení plastifikátoru, póry 25÷100 μm),
- zachycené plyny (nedokonalé utěsnění pece vůči vnější atmosféře - průnik N₂ a CO do výlisků, póry pod 25 μm),

- nečistoty (póry 25-100 μm , případně libovolná velikost, podle okolností vzniku znečištění).

Nízký obsah uhlíku omezuje slinování a má podobný vliv, jako snížení množství pojiva. Nehomogenita jednoznačně souvisí s mletím. Pokud mletí nebylo provedeno s potřebným účinkem, zůstane část pojivého kovu ve výlisku ve formě velkých částic nebo shluků. Při slinování se tento kov roztaví a je vlivem povrchového napětí vtažen do spár mezi karbidickými částicemi v přilehlých oblastech.

1.2 Povlakované slinuté karbidy

Díky neustálému vývoji a zvyšování technologických požadavků, přestaly postačovat samotné slinuté karbidy, proto jsou na jejich povrch nanášeny tenké povlaky, které zlepšují vlastnosti. Díky těmto povlakům můžeme dosáhnout jedinečných vlastností - na povrchu je tvrdý materiál ve formě povlaku a uvnitř (v jádru) houževnatý materiál.

1.2.1 Vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů [1]

- 1. generace:

Jednovrstvý povlak (téměř výhradně TiC) s tloušťkou asi 6 μm a špatnou soudržností podkladu a povlaku (tato nepříznivá vlastnost byla způsobena nedokonalou technologií výroby, kdy mezi podkladem a povlakem docházelo k tvorbě křehkého *eta*-karbidu). Při obrábění takovými nástroji proto rychle docházelo k odlupování povlaku, což vedlo k znehodnocování nástroje.

- 2. generace:

Jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez *eta*-karbidu na přechodu podklad - povlak. Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaků o větší tloušťce (7 až 10 μm), bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje.

- 3. generace:

Vícevrstvý povlak (dvě až tři, případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem tak, že jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení a jako poslední

jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu (dobrá přilnavost k předchozí vrstvě vyplývá z procesu výroby), ale požaduje se od nich zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení a oxidaci za zvýšených teplot. Nejčastěji bývají jednotlivé vrstvy řazeny v tomto pořadí (od podkladu k povrchu): TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN.

• 4. generace:

Speciální vícevrstvý povlak (velmi často i více než 10 vrstev a mezivrstev), s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami (užívají se stejné materiály povlaků jako u 3. generace). Multivrstvé povlaky jsou vyráběny pomocí cíleného řízení atmosféry v povlakovacím zařízení, podle potřeb technologického postupu povlakování. K jejich velkým výhodám lze přiřadit i schopnost odklánět a zpomalovat šíření trhlin od povrchu povlaku k substrátu. Za povlaky 4. generace jsou považovány též diamantové, nanokompozitní, gradientní, supermřížkové, povlaky z kubického nitridu boru.

1.2.2 Metody povlakování [1]

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na podklad z běžného slinutého karbidu typu K, P nebo M (v současné době jsou již povlaky většinou nanášeny na podkladové SK, vyrobené speciálně k tomuto účelu) se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení (povlak ve formě tenké vrstvy má vyšší tvrdost i pevnost, než stejný homogenní materiál v jakékoli jiné formě). Tyto výhodné vlastnosti vyplývají z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů a tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Vlastnosti povrchové vrstvy povlaku se významně podílejí na zamezování tvorby nárůstku na břitu nástroje.

Metody povlakování lze rozdělit: metoda PVD
metoda CVD

Metoda PVD

(Physical Vapour Deposition - fyzikální napařování), která je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 500 °C). Tato metoda byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí (nízká teplota zaručuje, že

nedojde k tepelnému ovlivnění nástroje), v posledním období dochází k velmi významnému rozvoji metod PVD a rozšiřování jejich aplikací také pro slinuté karbidy.

Povlak je nejčastěji vytvářen:

- napařováním (evaporation) - přímé, reaktivní, aktivované reaktivní, s asistencí iontového paprsku,
- naprašováním (sputtering) - doutnavý výboj (stejnoseměrná nebo RF dioda, trioda, magnetron), iontový paprsek (jediný, dvojité),
- iontovou implantací (ion-plating) - doutnavý výboj (stejnoseměrná nebo RF dioda, trioda, výboj v duté katodě, naprašování), iontový paprsek (přímý iontový paprsek, iontový paprsek, skupinový iontový paprsek);

U metody PVD jsou povlaky vytvářeny za sníženého tlaku ($0,1 \div 1,0$ Pa) kondenzací částic (atomů, případně shluků atomů), které jsou uvolňovány ze zdroje částic fyzikálními metodami - rozprašováním (urychlenými ionty Ar vytvářenými ve zkříženém elektromagnetickém poli) nebo odpařováním (indukčně, nízkonapěťovým obloukem, laserem nebo elektronovým paprskem), některé metody využívají i klasický odporový ohřev. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn (Ar a N_2) a záporným předpětím (řádově ve stovkách voltů) jsou urychlovány k povrchu substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku ($1 \div 5$ μm , v atmosféře obsahující dusík se tvoří povlak TiN).

Vrstva povlaku je vytvářena z jednotlivých dopadajících atomů. Atomy jsou na povrchu nejdříve zachyceny procesy sorpce (chemické nebo fyzikální), pohybují se po povrchu a potom jsou buď zachyceny trvalou vazbou, nebo zpětně uvolněny. Další dopadající atomy se díky pohyblivosti po povrchu mohou spojit vazbou s dříve zachycenými atomy a postupně tak vytvářet izolované zárodky (jádra) a ostrůvky rostoucí vrstvy. Ty se potom spojují, až vytvoří souvislou vrstvu, která dále roste a zvětšuje svou tloušťku.

Nevýhoda - složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty (rotační držáky nástrojů), aby bylo zaručeno rovnoměrné ukládání povlaku po celém jejich povrchu.

Výhoda - možnost povlakování ostrých hran (ostří nástroje, s poloměrem zaoblení pod 20 μm).

Metoda CVD

Chemical Vapour Deposition - chemické napařování z plynné fáze, která probíhá za vysokých teplot (700÷1500 °C);

metody napařování:

- tepelně indukovaná,
- plazmaticky aktivovaná,
- elektronově indukované (paprsek elektronů),
- fotonově indukovaná (např. laserem).

Jedná se o chemický proces povlakování, který je založen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Základním požadavkem přitom je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku přivedení energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládá (např. kovový halogenid, TiCl_4). Produkty jejího rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu a působí zde jako katalyzátor. Aby proběhla požadovaná reakce (vytvoření vrstvy povlaku), musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např. N_2 , NH_4 , CH_4).

Metoda PCVD

Plasma CVD, která se od klasické CVD metody liší nízkými pracovními teplotami, přičemž nemění její princip, tj. vytváření povlaku z plynné fáze. U metody PCVD jsou molekuly reaktivního plynu ionizovány plazmovým výbojem, který doutná v komoře reaktoru při tlaku 100÷300 MPa (výboj je vyvolán přiložením negativního pólu elektrického napětí na povlakovaný předmět). Tím lze dosáhnout snížení teploty povlakování na hodnoty 400÷600°C. Molekuly plynu jsou u metody PCVD rozkládány zejména neutrálními částicemi, radikály a ionty, generovanými srážkami elektronů. I když ionty všeobecně příliš nepřispívají procesu vytváření povlaku, ty ionty, které dopadají na povrch substrátu v průběhu růstu povlaku výrazně ovlivňují jeho vlastnosti. Protože jsou

molekuly plynu namísto tepelné energie aktivovány prostřednictvím energetických elektronů, dochází ke snížení teploty reakce. Teplota substrátu má i v PCVD procesu důležitou roli, protože aktivační energie chemické reakce je získávána především z doutnavého výboje. V průběhu růstu povlaku musí absorbované radikály difundovat do stabilních poloh, aby se staly součástí vznikajícího povlaku. Tento pohyb radikálů na povrchu substrátu je silně ovlivněn jeho teplotou. Při vyšší teplotě substrátu získají radikály více energie a snadněji difundují do stabilních poloh, čímž vytvářejí hutnější povlak, zatímco při nižší teplotě je difúze bržděna a povlak má více defektů a tím i nižší hustotu.

Metoda MTCVD

Middle Temperature Chemical Vapour Deposition – CVD za středních teplot. Na rozdíl od konvenční CVD technologie, kde teploty nanášení povlaků přesahují hodnoty 1000÷1040 °C, umožňuje technologie MTCVD nanášet povlaky z plynné fáze za teplot podstatně nižších, 700÷850 °C. Zatímco u metody CVD je používán plynný metan CH₄ (zdroj uhlíku) a čistý dusík, MTCVD metoda využívá jako vstupní sloučeninu acetonitril (CH₃CN, zdroj dusíku), nebo též vysoce toxický a hořlavý metykyanid. Zdrojem titanu je u obou metod chlorid titaničitý (TiCl₄).

1.2.3 Vlastnosti povlaků [1]

K hlavním faktorům, které ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti a tím i řezný výkon povlakovaných SK patří druh povlaku a jeho tloušťka, metoda povlakování a substrát. Pro řezný výkon je též důležitá drsnost povrchu povlaku a koeficient tření. Odolnost povlaku proti opotřebení závisí na typu povlaku. Povlak Al₂O₃ s vynikající termochemickou stabilitou vykazuje vyšší trvanlivost než TiC při vysokých řezných rychlostech, kde převládá tepelné opotřebení. S poklesem řezné rychlosti, kdy začíná převládat abrazní opotřebení, narůstá trvanlivost u povlaku TiC, který je tvrdší než Al₂O₃. Povlaky podle odolnosti proti tepelnému opotřebení seřadit následovně: Al₂O₃>TiN>TiCN>TiC, pořadí podle odolnosti proti abraznímu opotřebení je opačné. Proto jsou povlaky Al₂O₃ používány pro vysoké řezné rychlosti, zatímco TiC je vhodný pro nízkou řeznou

rychlost, samozřejmě v rozsahu určeném pro povlakované SK. Pro praktické užití je tloušťka povlaku regulována v rozsahu 5 až 10 μm (při příliš velké tloušťce povlaku dochází snadněji k jeho odlupování).

Při frézování, kde je břit nástroje vystaven rázům, se u tlustých povlaků vyskytuje mikrovydrolování a proto jsou pro tento účel vhodnější tenčí povlaky a zejména povlaky PVD. Ohybová pevnost SK povlakovaných metodou CVD s rostoucí tloušťkou vrstvy klesá, kdežto u SK povlakovaných metodou PVD se příliš nemění (snížení ohybové pevnosti povlakovaných SK proti nepovlakovaným činí asi 5÷20%).

Povlakování metodou CVD se odehrává za teplot kolem 1000 °C a na povrchu substrátu se může snadno vytvářet oduhlíčená eta-fáze. Navíc se v důsledku různého koeficientu tepelné roztažnosti ve vrstvě povlaku často vytvářejí trhliny. Povlaky PVD tyto defekty nemají, protože jsou vytvářeny za nižších teplot, kolem 500 °C. Navíc zbytková napětí v povlaku CVD jsou tahová, kdežto v povlaku PVD tlaková. Proto mají SK povlakované metodou PVD vyšší pevnost v ohybu a tedy i vyšší odolnost proti vydrolování, než SK povlakované metodou CVD. Povlaky CVD mají ale vynikající adhezi a odolnost proti opotřebením.

V důsledku uvedených rozdílů ve vlastnostech jsou povlaky CVD obvykle užívány pro soustružení a frézování, zatímco povlaky PVD jsou užívány tam, kde by trvanlivost povlaků CVD byla v důsledku vydrolování a vysokých řezných sil nízká, jak je tomu např. při obrábění korozivzdorných ocelí. Povlaky PVD jsou též užívány u nástrojů, které mají ostré ostří (bez zaoblení), jako jsou např. celokarbidové vrtáky a stopkové frézy. Pokud je vrstva povlaku příliš tenká, je řezný výkon povlakovaných SK silně ovlivněn vlastnostmi podkladu. Opotřebením nástroje na hřbetě je urychlováno plastickou deformací břitu, proto i u tenkých povlaků hřbetní opotřebením klesá s rostoucí tvrdostí podkladu (tvrdý podklad = malá deformace břitu). Když nedochází k vydrolování ostří nástroje, jako je tomu např. u lehkých řezů, povlaky na tvrdém podkladě vykazují vyšší trvanlivost. U těžkých řezů a těžkých přerušovaných řezů je vydrolování eliminováno volbou podkladu s vysokou houževnatostí, i když běžné opotřebením je pak vyšší než u tvrdého podkladu. Kvůli zlepšení odolnosti proti vydrolování

jsou v poslední době pro těžké řezy často užívány substráty s gradientní strukturou.

Povlaky na slinutých karbidech pro obrábění mají vyšší tvrdost, než běžné slinuté karbidy, snižují řezné síly, teploty a koeficient tření a brání difúznímu mechanismu opotřebení. I když dojde k porušení vrstvy povlaku a odkrytí podkladového slinutého karbidu (jak na hřbetě, tak na čele), udržují si povlakované břitové destičky obvykle ještě po určitou dobu svoji vyšší odolnost proti opotřebení (ve srovnání s nepovlakovanými destičkami vyrobenými ze slinutého karbidu stejného druhu, jako je podklad povlakované destičky).

U hřbetu je to způsobeno tím, že podklad má dobrou odolnost proti abrazivnímu opotřebení, které zde převládá, nebo tím, že hřbet je i nadále chráněn vrstvou povlaku, která se zachovala na čele a vytváří jakýsi ochranný „štít“ podél celé části ostří, která je v záběru. Štít, podobně jako odolný nárůstek, chrání hřbet břitu a snižuje intenzitu jeho opotřebení, protože má vyšší odolnost proti opotřebení než podkladový SK.

Na dolním okraji opotřebené plošky hřbetu vytvoří vrstva povlaku úzký ochranný „práh“, který rovněž vystupuje nad rovinu opotřebení. Vystupující práh ztěžuje pohyb obráběného materiálu po hřbetě břitu a způsobuje tak váznutí jeho částic. Tyto částice jsou v další fázi odtrhávány od opotřebeného povrchu podkladového SK a odnášeny přes práh.

V důsledku adheze jsou s částicemi obráběného materiálu odnášena i jednotlivá zrna, případně shluky zrn podkladu a proto se před prahem začíná podél hranice plošky opotřebení vytvářet rýha. Rychle vznikající rýha podemílá povlak, což vede k vydrolování jeho částic podél uvedené hranice a zvětšování opotřebené plošky. Podobně je vytvářen štít a práh i na čele destičky, kde nadále nesou převažující část zatížení způsobeného odcházející třískou a částečně tím chrání odkrytý povrch podkladového SK před opotřebením. Postupem času dochází ke zvětšování rýhy, snižování ochranného účinku štítu a prahu a urychlování opotřebení povlaku zejména u zadního okraje výmolu.

Vzhledem k tomu, že zde dochází k vydrolování, má houževnatější TiN větší odolnost proti opotřebení v oblasti zadního okraje výmolu a tím i proti vymílání na čele než TiC (naproti tomu odolnost proti opotřebení na hřbetě je u TiN nižší, v důsledku nižší tvrdosti jím vytvářeného ochranného štítu).

2 ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO APLIKACI ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

Jak napovídá název kapitoly, jsou zde řešeny řezné podmínky pro jednotlivé obráběcí operace. Řezné podmínky pro aplikace jsou doporučené hodnoty z katalogů fitmy Sandvik – Coromant. Při řešení aplikovatelnosti se zaměříme na tři základní operace (podélné soustružení, čelní rovinné frézování a vrtání). Níže zobrazené jednotlivé řezné podmínky je nutno brát s rezervou, protože samotné nastavení řezných podmínek při obrábění je složitý proces a podstatě nejde konkretizovat ideální nastavení pro ten či onen případ.

2.1 Podélné soustružení

V současné době nejčastěji používaná obráběcí operace ve strojírenské výrobě. Základním typem nástroje je radiální držák s vyměnitelnou destičkou ze slinutého karbidu (keramiky, cermetu). Nejdůležitějším faktorem efektivního využití řezného nástroje je správná volba podmínek jeho funkce (řezné podmínky, metoda obrábění, materiál obrobku). K tomuto účelu každý výrobce slinutých karbidů, dodává ke svému výrobku tabulky, kde jsou uvedeny vlastnosti a podmínky použití, zejména řezná rychlost, posuv na otáčku a trvanlivost. Důležitým kritériem při aplikaci nástroje je utváření třísky. Cílem je, aby tříška byla dělená na co nejmenší elementy a aby bez problémů odcházela z místa řezu. Utváření třísky při obrábění je ovlivněno metodou obrábění, materiálem obrobku, geometrií břitu a řeznými podmínkami. V současnosti je téměř každá destička ze slinutých karbidů opatřena na čelní ploše utvařečem třísky, vyrobeným již ve fázi lisování práškové směsi. Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Řezné podmínky pro podélné soustružení jsou doporučené výrobcem Sandvik – Coromant (tab. 7).

Tab.7 Řezné podmínky pro podélné soustružení

SKUPINA SK	TYP OPERACE	ŘEZNÉ PODMÍNKY			MATERIÁL OBROBKU
		a_p [mm]	f [mm]	v_c [mm/min]	
P	Dokončování	0,4	0,2	455	Ocel
	Střední obrábění	3,0	0,3	330	
	Hrubování	4,0	0,4	290	
M	Dokončování	0,4	0,2	255	Korozivzdorná ocel
	Střední obrábění	3,0	0,25	200	
	Hrubování	3,0	0,35	175	
K	Dokončování	0,5	0,2	250	Litina
	Střední obrábění	3,0	0,35	220	
	Hrubování	4,0	0,45	200	
N	Dokončování	3,0	0,39	1900	Neželezné materiály
	Střední obrábění				
	Hrubování				
S	Dokončování	0,4	0,15	85	Žárovzdorné superslitiny
	Střední obrábění	2,4	0,22	70	
	Hrubování	3,0	0,39	75	
H	Dokončování	0,15	0,2	100	Tvrzené materiály
	Střední obrábění	0,15	0,2	150	
	Hrubování	0,3	0,2	150	

a_p šíře záběru ostří

f posuv na otáčku

v_c řezná rychlost

2.2 Frézování

Metoda obrábění, která se používá zejména k obrábění rovinných ploch. Na rozdíl od soustružení je při frézování tříska dělená vždy, protože nástroj má více destiček. Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebírán břity rotujícího nástroje. Posuv nejčastěji koná obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování válcové (frézování obvodem nástroje) a frézování čelní (frézování čelem nástroje). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. Řezné podmínky pro rovinné čelní frézování jsou doporučené výrobcem Sandvik – Coromant (tab. 8).

Tab.8 Řezné podmínky pro rovinné čelní frézování pro frézu \varnothing 125 mm, 8 zubů

SKUPINA SK	TYP OPERACE	ŘEZNÉ PODMÍNKY				MATERIÁL OBROBKU
		v_f [mm·min ⁻¹]	n [min]	f_z [m]	v_c [m·min ⁻¹]	
P	Dokončování	1227	1096	0,14	430	Ocel
	Střední obrábění	1908	994	0,24	390	
	Hrubování	2497	892	0,35	350	
M	Dokončování	628	714	0,11	280	Korozivzdorná ocel
	Střední obrábění	1172	637	0,23	250	
	Hrubování	1593	586	0,34	230	
K	Dokončování	458	637	0,09	250	Litina
	Střední obrábění	1027	535	0,24	210	
	Hrubování	1212	433	0,35	170	
N	Dokončování	5752	2397	0,3	940	Hliník
	Střední obrábění	5323	2218	0,3	870	
	Hrubování	9849	2052	0,6	805	
S	Dokončování	224	165	0,17	65	Žáruvzdorné superslitiny
	Střední obrábění	428	153	0,35	60	
	Hrubování	392	140	0,35	55	
H	Dokončování	168	140	0,15	55	Tvrzené materiály
	Střední obrábění	190	119	0,20	47	
	Hrubování	152	91	0,21	36	

v_f posuv stolu
 n otáčky vřetene
 f_z posuv na zub
 v_c řezná rychlost

2.3 Vrtání

Pro vrtáky s malým průměrem se používají vrtáky celokarbidové, pro průměry větší se používají vrtáky s ocelovým tělem a pájenými destičkami, nebo s vyměnitelnými destičkami. Nástroje jsou vyráběny buď s přívodním otvorem pro řeznou kapalinu nebo bez něj. Řezné podmínky pro vrtání jsou doporučené výrobcem Sandvik – Coromant (tab. 9).

Tab.9 Řezné podmínky pro vrtání vrtákem o průměru 10 mm

SKUPINA SK	TYP OPERACE	ŘEZNÉ PODMÍNKY		MATERIÁL OBROBKU
		f [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	
P	V R T Á N Í	0,20	80	Ocel
M		0,17	40	Korozivzdorná ocel
K		0,21	85	Litina
N		0,25	115	Hliník
S		0,10	25	Žárovzdorné superslitiny
H		0,11	30	Tvrzené materiály

f posuv na otáčku

v_c řezná rychlost

3 EKONOMICKÉ ASPEKTY POUŽITÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

I když podíl řezných nástrojů na celkové výrobní náklady činí pouze 3 %, je jejich vliv na ostatní výrobní náklady značný. Moderní řezné nástroje vedou ke značným úsporám. Pokud se do výroby použije správný řezný nástroj a zvýší-li se například posuv, nebo řezná rychlost, sníží se nám čas obrábění, tím pádem se nám významně zvyšuje efektivnost výroby a s tím ruku v ruce ekonomičnost.

Náklady na obrábění ovlivňují tyto složky:

- řezný nástroj
- držák nástroje, upínače obrobku, nástroje a měřidla
- obráběcí stroj
- materiál obrobku
- mzdové náklady
- všeobecné náklady (budovy, energie,..)

Pro ekonomickou výkonnost řezného nástroje jsou důležité tyto aspekty:

- trvanlivost bříty
- řezné podmínky
- odchod a utváření třísky
- spolehlivost

Trvanlivost bříty nástroje - konec trvanlivosti je stav kdy už břit není schopen plnit svou funkci (jakost obrobené plochy, přesnosti rozměrů obrobku, schopnost odvádět třísku). V extrémním případě trvanlivost končí lomem bříty. Avšak tomuto případu se snažíme vyhnout. Trvanlivost závisí na způsobu obrábění, zejména ji ovlivňují řezné podmínky. Pokud zvýšíme posuv či řeznou rychlost automaticky se nám snižuje trvanlivost.

Slinuté karbidy jsou z hlediska řezivosti velmi kvalitní materiály. Použití je velice široké i díky tomu, že můžeme využívat vysokých řezných rychlostí a tím pádem můžeme ubírat velké množství materiálu. S kvalitou nástrojového

materiálu roste pochopitelně jeho cena, proto je velmi důležité najít takové řezné podmínky, které budou výhodné nejenom z hlediska úběru materiálu, ale také z hlediska ekonomických nákladů.

V této práci se zaměříme na náklady na použití jedné destičky při hrubování (náklady na jednotku objemu odebraného materiálu) a při dokončovacích operacích (náklady na plošnou jednotku obrobeného povrchu). Obě tyto varianty budou počítány pro soustružení a frézování. Vybrané materiály, jejich následná aplikace a řezné podmínky jsou z katalogu světoznámého výrobce řezných nástrojů, firmy Sandvik – Coromant.

3.1 Náklady na jednotku objemu odebraného materiálu

Pokud mluvíme o výpočtu nákladů na jednotku objemu odebraného materiálu, myslíme tím hrubovací operace při obrábění, v našem případě se zaměříme na podélné soustružení a rovinné frézování. Jednotlivé parametry jsou voleny tak, aby výsledné náklady byly co nejmenší. Tyto náklady jsou počítány pro slinutý karbid skupiny P, což znamená, že obráběný materiál je ocel. Pro všechny níže uvedené výpočty budeme uvažovat, že trvanlivost jednoho ostří vyměnitelné břitové destičky činí 15 minut.

3.1.1 Podélné soustružení

Pro podélné soustružení se náklady na jednotku odebraného objemu materiálu vztažené na jedno ostří vypočítají dle následujícího výpočetního postupu (pro hrubování):

Náklady na jednotku odebraného materiálu [1]:

$$N_e = \frac{N_p}{T \cdot U} \cdot q \quad (1)$$

N_e	[Kč cm ⁻³]	náklady na jednotku odebraného objemu materiálu
N_p	[Kč]	cena břitové destičky
q	[-]	počet ostří břitové destičky
T	[min]	trvanlivost jednoho ostří břitové destičky
U	[cm ³ min ⁻¹]	úběr obráběného materiálu

Úběr obráběného materiálu [1]:

$$U = v_c \cdot f \cdot a_p \quad (2)$$

U	[cm ³ min ⁻¹]	úběr obráběného materiálu
v _c	[m min]	řezná rychlost
f	[mm]	posuv na otáčku
a _p	[mm]	šíře záběru ostří

Parametry pro konkrétní výpočet:

Typ operace: hrubování	Posuv na otáčku	f = 0,5 – 1,5 mm
	Šíře záběru ostří	a _p = 5 – 15 mm

Doporučené řezné podmínky pro hrubování ocelí vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou CNMG 19 06 24 – PR:

Posuv na otáčku	f = 0,9 mm
Šíře záběru ostří	a _p = 8 mm
Řezná rychlost	v _c = 205 mm min ⁻¹
Cena:	583 Kč

Výpočet:

Do rovnice (2) dosadíme řeznou rychlost, posuv na otáčku, hloubku řezu a vypočítáme úběr obráběného materiálu. Při našich parametrech dostáváme výsledný úběr 1,476 cm³ min⁻¹, ten pak spolu s cenou, počtem ostří, trvanlivostí (která je zvolena T = 15 min) dosadíme do rovnice (1).

$$N_e = \frac{583}{15 \cdot 1,476} = 6,6 \quad [\text{Kč cm}^{-3}]$$

$$U = 0,205 \cdot 0,9 \cdot 8 = 1,476 \quad [\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}]$$

S vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou (CNMG 19 06 24 – PR) se odebere jeden kubický centimetr za cenu 6,6 Kč.

3.1.2 Čelní rovinné frézování

Pro frézování se náklady na jednotku odebraného objemu materiálu vztažené na jedno ostří vypočítají dle následujícího výpočetního postupu:

Náklady na jednotku odebraného materiálu [1]:

$$N_e = \frac{z \cdot N_p}{T \cdot U} \quad (3)$$

N_e	[Kč cm ⁻³]	náklady na jednotku odebraného objemu materiálu
z	[-]	počet břítových destiček frézy
N_p	[kč]	cena břítové destičky
q	[-]	počet ostří břítové destičky
T	[min]	trvanlivost jednoho ostří břítové destičky
U	[cm ³ min ⁻¹]	úběr obráběného materiálu

Úběr obráběného materiálu jedním ostřím [1]:

$$U = \frac{B_o \cdot v_f \cdot a_p}{10^3 \cdot z \cdot q} \quad (4)$$

U	[cm ³ min ⁻¹]	úběr obráběného materiálu
B_o	[mm]	šířka frézované plochy
v_f	[mm min ⁻¹]	posuvná rychlost
a_p	[mm]	šíře záběru ostří
z	[-]	počet břítových destiček frézy
q	[-]	počet ostří břítové destičky

Posuvná rychlost [1]:

$$v_f = z \cdot n \cdot f_z \quad (5)$$

v_f	[mm min ⁻¹]	posuvná rychlost
z	[-]	počet břítových destiček frézy
n	[min ⁻¹]	počet otáček za minutu
f_z	[mm]	posuv na zub

Otáčky vřetene [4]:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (6)$$

n	[min ⁻¹]	počet otáček za minutu
v_c	mm/min	řezná rychlost
D	mm	průměr frézy

Parametry pro konkrétní výpočet:

Typ operace: hrubování šíře záběru ostří $a_p = 3 - 8$ mm

Doporučené řezné podmínky pro hrubování ocelí vybranou vyměnitelnou
břitovou destičkou R245 12 T3 M-PH GC 4020

Šíře záběru ostří $a_p = 6$ mm

Řezná rychlost $v_c = 283$ mm/min

Cena: 296 Kč

Parametry frézy, do které jsou destičky vsazeny, CoroMill 245:

Průměr frézy $D = 125$ mm

Počet zubů $n = 8$

Posuv na zub $f_z = 0,24$ mm

Výpočet:

Do rovnice (6) dosadíme řeznou rychlost, průměr frézy a vypočítáme otáčky vřetene. Dále použijeme rovnici (5) pro výpočet posuvné rychlosti, a do rovnice (4) pro výpočet úběru materiálu, ten pak spolu s cenou, počtem ostří, počtem destiček frézy a trvanlivostí (která je zvolena $T = 15$ min) dosadíme do rovnice (3).

$$N_e = \frac{8 \cdot \frac{296}{4}}{15 \cdot 22,05} = 1,8 \quad [\text{Kč cm}^{-3}]$$

$$U = \frac{85 \cdot 1384 \cdot 6}{10^3 \cdot 8 \cdot 4} = 22,05 \quad [\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}]$$

$$s = 8 \cdot 721 \cdot 0,24 = 1384 \quad [\text{mm/min}]$$

$$n = \frac{283 \cdot 1000}{\pi \cdot 125} = 721 \quad [\text{min}^{-1}]$$

S vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou a s vybranou frézou se odebere jeden kubický centimetr za cenu 1,8 Kč.

3.2 Náklady na jednotku plochy odebraného materiálu

3.2.1 Podélné soustružení

Pro podélné soustružení se náklady na jednotku odebrané plochy materiálu vypočítají dle následujícího výpočetního postupu (rovnice 7 a 8, byly odvozeny z rovnic 1 a 2 za předpokladu, že při dokončovacích operacích nás nebude zajímat šíře záběru ostří):

Náklady na jednotku odebraného materiálu:

$$N_e = \frac{N_p \cdot q}{T \cdot P} \quad (7)$$

N_e	[Kč cm ⁻²]	náklady na jednotku odebrané plochy
N_p	[kč]	cena břitové destičky
q	[-]	počet ostří břitové destičky
T	[min]	trvanlivost jednoho ostří břitové destičky
P	[cm ²]	plocha obrobeného materiálu za minutu

Plocha obrobeného materiálu:

$$P = v_c \cdot f \quad (8)$$

P	[cm ²]	plocha obrobeného materiálu za minutu
v_c	[cm min ⁻¹]	řezná rychlost
f	[cm]	posuv na otáčku

Parametry pro konkrétní výpočet:

Typ operace: dokončování

Posuv na otáčku $f = 0,1 - 0,3$ mm

Šíře záběru ostří $a_p = 0,5 - 2,0$ mm

Doporučené řezné podmínky pro hrubování ocelí vybranou destičkou:

CNMG 09 03 04 – PF

Posuv na otáčku	$f = 0,2 \text{ mm}$
Hloubka řezu	$a_p = 0,4 \text{ mm}$
Řezná rychlost	$v_c = 455 \text{ mm min}^{-1}$
Cena:	173 Kč

Výpočet:

Do rovnice (8) dosadíme řeznou rychlost, posuv na otáčku a vypočítáme obrobenou plochu obráběného materiálu. Při našich parametrech dostáváme výsledný úběr $1,476 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$, ten pak spolu s cenou, počtem ostří, trvanlivostí (která je zvolena $T = 15 \text{ min}$) dosadíme do rovnice (1).

$$N_e = \frac{\frac{173}{4}}{15 \cdot 0,91} = 3,17 \quad [\text{Kč cm}^{-2}]$$

$$P = 45,5 \cdot 0,02 = 0,91 \quad [\text{cm}^2 \text{ min}^{-1}]$$

S vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou se odebere jeden centimetr čtverečný za cenu 3,17 Kč.

3.2.2 Čelní rovinné frézování

Pro frézování se náklady na jednotku odebrané plochy materiálu vypočítají dle následujícího výpočetního postupu (rovnice 9 a 10, byly odvozeny z rovnic 3 a 4 za předpokladu, že při dokončovacích operacích nás nebude zajímat šíře záběru ostří):

Náklady na jednotku odebraného materiálu:

$$N_e = \frac{z \cdot N_p}{T \cdot P} \quad (9)$$

N_e	[Kč cm ⁻²]	náklady na jednotku odebrané plochy
z	[-]	počet břitových destiček frézy
N_p	[kč]	cena břitové destičky
q	[-]	počet ostří břitové destičky
T	[min]	trvanlivost jednoho ostří břitové destičky
P	[cm ² min ⁻¹]	plocha obrobeného materiálu

Úběr obráběného materiálu:

$$P = \frac{B \cdot v_f}{10^2 \cdot q \cdot z} \quad (10)$$

P	[cm ² min ⁻¹]	plocha obrobeného materiálu
B	[mm]	šířka frézované plochy
v_f	[mm min ⁻¹]	minutový posuv obrobku
z	[-]	počet břitových destiček frézy
q	[-]	počet ostří břitové destičky

Posuvná rychlost [1]:

$$v_f = z \cdot n \cdot f_z \quad (11)$$

v_f	[mm min ⁻¹]	posuvná rychlost
z	[-]	počet břitových destiček frézy
n	[min ⁻¹]	počet otáček za minutu
f_z	[mm]	posuv na zub

Otáčky vřetene [4]:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (12)$$

v_c	mm/min	řezná rychlost
D	mm	průměr frézy

Parametry pro konkrétní výpočet:

Typ operace: dokončování šířka záběru ostří $a_p = 3 - 8$ mm

Doporučené řezné podmínky pro hrubování ocelí vybranou destičkou:

R245 12 T3 M-PL

Šířka záběru ostří $a_p = 4$ mm

Řezná rychlost $v_c = 283$ mm min⁻¹

Cena: 296 Kč

Parametry frézy CoroMill 245:

Průměr $D = 125 \text{ mm}$

Počet zubů $n = 8$

Posuv na zub $f_z = 0,24 \text{ mm}$

Výpočet:

Do rovnice (12) dosadíme řeznou rychlost, průměr frézy a vypočítáme otáčky vřetene. Dále použijeme rovnici (11) pro výpočet posuvné rychlosti, a dosadíme do rovnice (10) pro výpočet obrobenej plochy obráběného materiálu, tu pak spolu s cenou, počtem ostří, počtem destiček frézy a trvanlivostí (která je zvolena $T = 15 \text{ min}$) dosadíme do rovnice (9).

$$N_e = \frac{8 \frac{296}{4}}{15 \cdot 36,76} = 1,07 \quad [\text{Kč cm}^{-2}]$$

$$P = \frac{85 \cdot 1384}{10^2 \cdot 8 \cdot 4} = 36,6 \quad [\text{cm}^2 \text{ min}^{-1}]$$

$$V_f = 8 \cdot 721 \cdot 0,24 = 1384 \quad [\text{mm min}^{-1}]$$

$$n = \frac{283 \cdot 1000}{\pi \cdot 125} = 721 \quad [\text{min}^{-1}]$$

S vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou a s vybranou frézou se odebere jeden centimetr čtverečný za cenu 1,07 Kč.

ZÁVĚR

Slinuté karbidy patří mezi přední materiály pro řezné nástroje. Slinuté karbidy jsou díky vlastnostem, které byly popsány v této bakalářské práci velice výhodné jak z hlediska řezných podmínek, tak také z hlediska ekonomických aspektů. Při nasazení nástrojů ze slinutých karbidů do výroby strojních součástí jsou řezné podmínky (popsané v druhé kapitole tohoto díla) nadstandardní oproti jiným materiálům (rychlořezná ocel,..), které se můžou používat pro řezné procesy. To platí jak pro hrubování, tak také pro dokončovací operace. Kvalitní řezné podmínky jsou velice důležitý aspekt pro výběr a následnou koupi řezného nástroje, avšak nejdůležitější pro koupi a provoz nástrojového materiálu je jeho cena a vliv na náklady obrábění. Jedním možným ekonomickým porovnáním nákladů je způsob, kdy porovnááme jaké jsou náklady na odebrání jednoho kubického centimetru, vztažené na jedno ostří vyměnitelné břitové destičky. Tento způsob je vhodný pro hrubování, pokud však je zapotřebí porovnávat náklady pro dokončovací operace, je nutno přistoupit k modifikaci této metody a to takovým způsobem, že náklady budeme počítat pro obrobení čtverečného centimetru, vztažené na jedno ostří vyměnitelné břitové destičky. Avšak výše zmíněné porovnávací ekonomické hlediska nejsou běžně dostupné a žádný výrobce je neuvádí (podrobně se tomuto problému věnuje třetí kapitola). Řezné nástroje ze slinutých karbidů mají v dnešní době široké uplatnění a nejinak tomu bude i v budoucnu, neboť jsou neustále vyvíjeny a zdokonalovány.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1.vyd. Brno: CCB, 1995. 265s. ISBN 0-5825-10-4.
2. AB SANDVIK COROMANT-SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – kniha pro praktiky. Přel.M.Kudela. 1.vyd. Praha : Scientia, s.r.o. 1997.857s. Přel. z : Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
3. KOČMAN, Karel., PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
4. AB SANDVIK COROMANT-SANDVIK CZ s.r.o. Katalog Soustružnické nástroje, rotační nástroje 2007
5. HUMÁR, Anton, Materiály pro řezné nástroje, multimediální sylabus, <<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/page=opory> > 2006, 192s.
6. FOREJT, Milan., PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226s. ISBN 80-214-2374-9.
7. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha : Scientia, 1996. 212s. ISBN 80-7183-024-0.
8. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie. Část metrologie.1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151s. ISBN 80-214-1997-0.
9. VLACH, Bohumil. Technologie obrábění a montáží. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 472s. ISBN 80-03-00143-9.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	mm	Šířka záběru ostří
B	mm	Šířka frézované plochy
D	mm	Průměr
f	mm	Posuv na otáčku
f_z	mm	Posuv na zub
n	min^{-1}	Počet otáček za minutu
N_e	Kč cm^{-3}	Náklady na jednotku
N_p	Kč	Cena břitové destičky
P	$\text{cm}^2 \text{min}^{-1}$	Plocha obrobeného materiálu
q	-	Počet ostří břitové destičky
S	mm min^{-1}	Minutový posuv obrobku
T	min	Trvanlivost jednoho ostří bř. destičky
U	$\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$	Úběr obráběného materiálu
v_c	mm min^{-1}	Řezná rychlost
v_f	mm min^{-1}	Posuvná rychlost