



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ
POMOCÍ TECHNOLOGIE VÍCEOSÉHO LISOVÁNÍ
PRODUCTION OF CEMENTED CARBIDE TOOLS USING TECHNOLOGY OF MULTIAXIAL
PRESSING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MACH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV KOLÁŘ

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Mach

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

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

Výroba nástrojů ze slinutých karbidů pomocí technologie víceosého lisování

v anglickém jazyce:

Production of cemented carbide tools using technology of multiaxial pressing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši na dané téma. Uvede přehled materiálů pro výrobu obráběcích nástrojů se zaměřením na slinuté karbidy. V rámci řešení BP proběhne stáž ve firmě Pramet Tools s.r.o. Práce bude obsahovat podrobný popis výroby břitových destiček pomocí víceosého lisování.

Cíle bakalářské práce:

1. Úvod
2. Aktuální literární studie
3. Teoretický rozbor výroby nástrojů z SK
4. Popis konkrétní výroby v Pramet Tools s.r.o.
5. Závěry

Seznam odborné literatury:

- [1] PTÁČEK,L.a kol.. Nauka o materiálu I. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2002. 392 s. ISBN: 80-7204-283-1.
- [2] FOREJT,M.,PÍŠKA,M. Teorie obrábění,tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] HUMÁR,A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MM publishing, s.r.o.,2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Kolář

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 24.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na řezné nástroje, které jsou vyrobeny ze slinutých karbidů. V této práci je charakterizován vývoj slinutých karbidů, rozdělení slinutých karbidů, materiály, ze kterých se slinuté karbidy vyrábějí a proces výroby povlakovaných a nepovlakovaných slinutých karbidů. Cílem této práce je přiblížit postup výroby břitových destiček pomocí víceosého lisování ve firmě Pramet Tools s.r.o.

Klíčová slova: Slinuté karbidy, řezné nástroje, povlakování slinutých karbidů, víceosé lisování, břitové destičky

Abstract

This thesis is focused on cutting tools made of cemented carbides. In this thesis are characterized the development of cemented carbides, distribution of cemented carbides, materials from which the cemented carbide are produced, the production proces of coated and uncoated cemented carbides. Target of this paper is to explain the production process inserts by using multiaxial pressing in company Pramet Tools Ltd.

Key words: Cemented carbides, cutting tools, coating of cemented carbides, multiaxial pressing, inserts

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

MACH, M. *Výroba nástrojů ze slinutých karbidů pomocí technologie víceosého lisování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Kolář.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba nástrojů ze slinutých karbidů pomocí technologie víceosého lisování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....

Datum

.....

Martin Mach

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce ing. Ladislavu Kolářovi za připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi ve firmě Pramet Tools s.r.o. panu Michalu Vařílkovi za pomoc při řešení problémů a poskytnutí podkladů pro bakalářskou práci.

Obsah

Abstrakt	5
Čestné prohlášení.....	6
Poděkování	7
Obsah	8
Úvod	9
1 Slinuté karbidy.....	10
1.1 Historický vývoj	10
1.2 Nepovlakované slinuté karbidy	13
1.2.1 Rozdělení slinutých karbidů.....	13
1.2.2 Výchozí materiály	14
1.3 Povlakované slinuté karbidy	17
1.3.1 Metody povlakování.....	18
2 Výroba řezných nástrojů ze slinutých karbidů ve firmě Pramet Tools, s.r.o.	22
2.1 Lisování řezných destiček.....	22
2.1.1 Postup výroby břitových destiček lisováním	23
2.1.2 Vliv konstrukce lisovacího nástroje na rozměry vyměnitelné břitové destičky.....	27
2.1.3 Vliv lisovacích parametrů na rozměry vyměnitelné břitové destičky.....	29
2.2 Lisy	30
2.2.1 Elektrický lis Osterwalder CA-SP	30
2.2.2 Elektrický lis Osterwalder CA-HM.....	32
Závěr.....	34
Seznam použitých zdrojů.....	35
Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin.....	36
Seznam obrázků.....	37
Seznam tabulek.....	38
Seznam příloh.....	39

Úvod

V dnešní době potřebuje průmysl ke své výrobě čím dál kvalitnější materiál, který by vydržel větší zatížení, lepší odolnost proti okolním vlivům či odolnost proti opotřebení, a tímto by tedy splňoval přísnější předpisy a stále by jeho výroba byla ekonomicky výhodná. Vývoj těchto materiálů stále postupuje dopředu a s tím i vývoj obráběcích nástrojů pro tyto materiály, jelikož obrábění těchto materiálů je jeden z hlavních částí procesu výroby. Proto velké nároky jsou kladeny na výrobu obráběcích nástrojů, jelikož tyto nástroje musí dosahovat lepších vlastností než obráběný materiál a plnit požadavky na rychlost obrábění a odolnost proti poškození.

V minulosti dominantní postavení pro výrobu obráběcích nástrojů měla ocel, ale ta postupně ztrácela toto postavení, jelikož již nestačila na obrábění nových materiálů. Materiáloví inženýři vyvinuli nové řezné nástroje ze slinutých karbidů, které představovaly významný pokrok v obrábění.

Tato bakalářská práce je právě zaměřena na, v dnešní době nejpoužívanější řezný materiál, slinuté karbidy. Práce vychází z odborné literatury, z katalogů světově rozšířených výrobců nástrojů ze slinutých karbidů a ze zkušeností české firmy, která se na tuto výrobu specializuje, Pramet Tools s.r.o. V této práci je popsáno rozdělení a vývoj slinutých karbidů, postup výroby povlakovaných a nepovlakovaných slinutých karbidů a v neposlední řadě postup výroby břitových destiček pomocí víceosého lisování ve firmě Pramet Tools s.r.o.

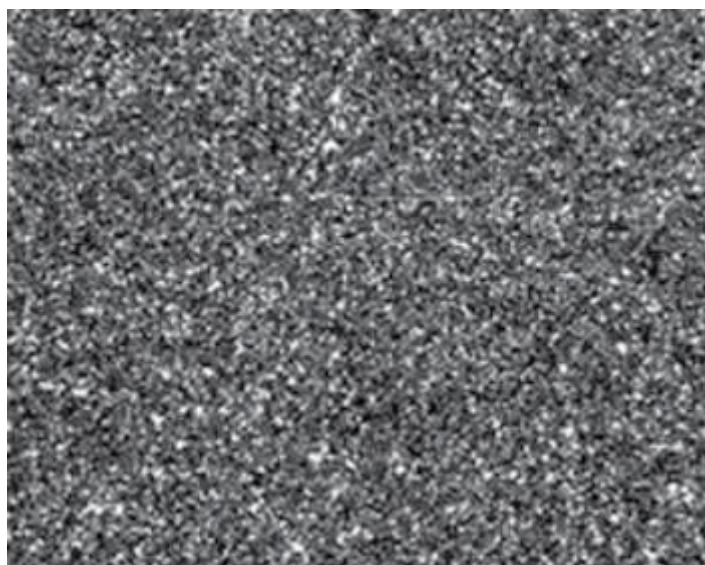
1 Slinuté karbidy

1.1 Historický vývoj

Vývoj slinutých karbidů začal na přelomu 19. a 20. století, kdy se mnoho vynálezců a strojních inženýrů pokoušelo vyrobit materiál, který by se svými vlastnostmi co nejvíce podobal diamantu. Umělý diamant se jim ale vytvořit nepodařilo, nicméně svými pokusy získali nové materiály, pro které je charakteristická velká tvrdost a vysoká teplota tavení. Tyto látky byly pojmenovány jako karbidy, boridy a silicidy.

První karbid, který byl vyroben Henrim Moissonem roku 1896 na Farmaceutické škole Pařížské univerzity, patřil karbid wolframu (WC), který vykazoval vysokou tvrdost a přitom svými charakteristickými vlastnostmi se podobal kovům. Tento karbid byl vyráběn jako odlitek, který měl hrubozrnnou strukturu s mnoha defekty a byl velmi křehký, proto nebyl vhodný pro řezné nástroje. Kvůli těmto negativním vlastnostem karbid wolframu nebyl průmyslově využíván [1].

Z wolframového prášku, s velikostí zrn několika μm , bylo vyrobeno na začátku 20. století žhavící vlákno. Tímto počinem začal rozvoj vědního oboru práškové metalurgie, který vyřešil problém výroby řezných materiálů na bázi karbidu wolframu. Přední expert v oboru práškové metalurgie Karl Schröter roku 1923 ohřál práškový wolfram ohřátý s uhlíkem a díky tomu vyrobil práškový karbid wolframu, který měl mikrometrickou zrnitost. Při dalším zkoumání tohoto materiálu dokázal, jestliže se takto vyrobený WC řádně smíchá s daným množstvím kovu ve formě jemnozrnného prášku z kategorie kobalt, železo, nikl (obsahem do 10 %) a takto vylisovaný blok se zahřívá ve vodíkové atmosféře nad teplotu 1300 °C, dostane se materiál s nízkou pórovitostí, velmi vysokou tvrdostí a pevností. Poté bylo zjištěno, že nejvhodnější pojivý materiál je kobalt a takto vyrobený materiál byl vhodný pro výrobu řezných nástrojů [1].



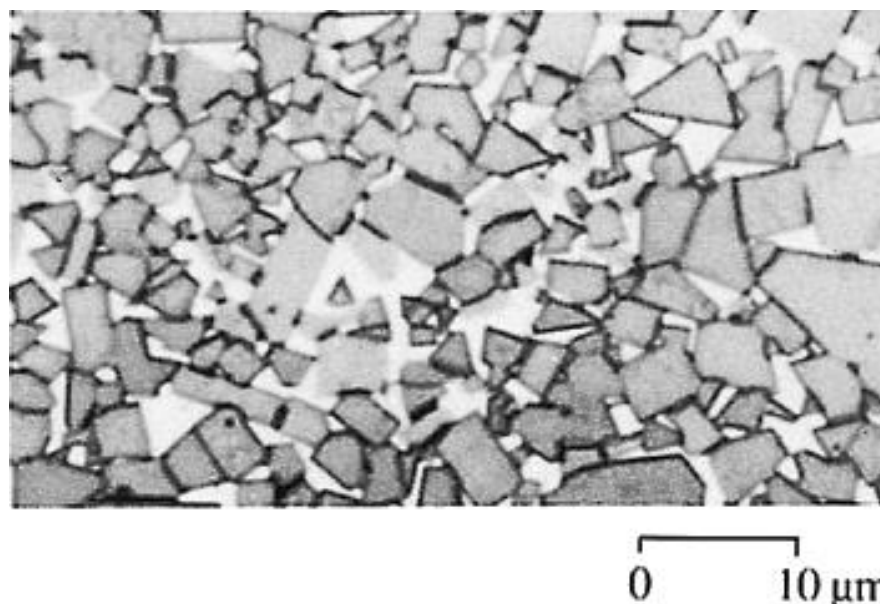
Obr. 1.1 Mikrostruktura WC [5]

Již v roce 1926 rozvinula německá metalurgická firma Krupp průmyslovou výrobu slinutého karbidu typu WC-Co pod názvem WIDIA. Roku 1926 vědečtí pracovníci firmy Krupp objevili, že vlastnosti výsledného materiálu značně ovlivňují velikost zrna karbidu wolframu. Za účelem dostat co nejmenější zrnitost karbidické fáze, byly přidány přísady matlého množství dalšího karbidu, a to VC a TaC a zároveň zvýšení obsahu kobaltu. Přidáním

VC a TaC bylo zamezeno v průběhu slinování růstu zrna. Následek toho zjemnění zrnitosti slinutého karbidu bylo dosažení větší trvanlivosti řezných nástrojů [1].

Na konci 20. let vyrobené řezné nástroje ze slinutých karbidů typu WC-Co byly využívány při obrábění litin a barevných kovů. Tyto řezné nástroje oproti rychlořezným ocelím dosahovaly vynikajících výsledků dva až třikrát vyššími řeznými rychlostmi. Nevýhodou těchto nástrojů byla trvanlivost při obrábění ocelí, kdy docházelo k rychlé tvorbě výmolu na čele nástroje (důsledek difúzního opotřebení). Proto se tehdejší vývoj zaměřil na další karbidy, a to TiC, TaC a NbC [1].

V letech 1939 až 1945 byl vývoj slinutých karbidů poznamenán 2. světovou válkou. V mnoha zemích se usilovalo o šetření wolframovými materiály a jejich maximální využití pro výrobu slinutých karbidů. Proto vědci byli donuceni zaměřit svůj vývoj na výrobu slinutých karbidů, které neobsahují wolfram. Tímto počinem byl v zásadě vývoj slinutých karbidů rozdělen na dva směry, a to na materiály na bázi WC a na materiály, které tento karbid nesměly obsahovat. Později z těchto materiálů se stala samostatná skupina zvaná cermety [1].



Obr. 1.2 Mikrostruktura WC-Co [4]

Slinutý karbid, který neobsahoval wolfram, byl vyroben už v roce 1930 v USA. Jednalo se o materiál na bázi TaC + Ni, který se vyžíval zejména pro nástroje zaměřené na obrábění ocelí, protože nedocházelo k rychlému opotřebení jako u slinutých karbidů na bázi WC-Co [1].

Významný krok v oblasti vývoje slinutých karbidů se stal na konci 60. let minulého století. V těchto letech byly vyvinuty jemnozrné materiály, které byly vysoce pevné, k čemuž nedocházelo na úkor snížení tvrdosti materiálu. Mezi další významné kroky a historicky jeden z nejdůležitějších přínosů vývoje bylo dosažení stechiometrického obsahu uhlíku v karbidu wolframu a jeho následné řízení. Stechiometrický obsah uhlíku dosahuje 6,12 hmotnostních procent a přesnost řízení obsahu uhlíku na rozmezí 0,02 až 0,03 procent [1].

Tab. 1.1 Vývoj materiálů slinutých karbidů [1]

Rok	Nový materiál, technologie
1923- 1925	WC – Co
1929- 1931	WC - TiC - Co
1930- 1931	WC – TaC (VC, NbC) - Co
1933	WC – TiC – TaC (NbC) - Co
1938	WC – Cr ₃ C ₂ – Co
1947- 1970	Submikrometrové WC – Cr ₃ C ₂ – Co
1956	WC – TiC – TaC (NbC) – Cr ₃ C ₂
1959	WC – TiC – HfC – Co
1965- 1975	Vysokoteplotní izostatické lisování (HIP)
1965- 1978	TiC, TiN, Ti(C,N), HfC, HfN, Al ₂ O ₃ , CVD povlaky na SK WC – Co
1968- 1969	WC – TiC – TaC (NbC) – HfC – Co
1969	CVD povlak TiC na vyměnitelné břitové destičce
1969- 1971	Termochemické povrchové kalení
1969- 1979	Komplexní karbidy s přísadou Ru
1971	CVD povlak Al ₂ O ₃
1972	Submikrometrový slinutý karbid WC – Co
1973	Vícevrstvý CVD povlak TiC+Ti(C,N) TiN
1973- 1978	Vícevrstvé povlaky (karbidy, karbonitridy/nitridy, vícenásobné karbidy/karbonitridy/nitridy/oxidy)
1974- 1977	Vrstvy polykrystalického diamantu na slinutých karbidech na bázi WC – Co
1978	PVD povlaky TiC a TiN (iontová implantace)
1981	Vícenásobné tenké povlaky typu Al(O, N)
1987-1989	PVD povlaky TiAlN
1992- 1996	PACVD povlaky, CVD diamantové povlaky
1995	Funkčně gradientní slinuté karbidy (gradientní struktura)
1995- 1996	CVD povlaky kubického nitridu boru – laboratorní vývoj
1999	PVD povlaky TiB ₂
2000	PVD povlaky TiN/TiCN/MoS ₂ , TiAlN/WC - C
2004	PVD vícevrstvé TiAlN nano - povlaky
2005	PVD povlaky AlCrN
2007	PVD povlaky Al ₂ O ₃ , (AlCr) ₂ O ₃

1.2 Nepovlakované slinuté karbidy

1.2.1 Rozdělení slinutých karbidů

Slinuté karbidy patří k nejrozšířenějším řezným materiálům, proto výběr materiálů a třídy obráběcího nástroje je důležitým faktorem pro úspěšné obrábění. Rozdílné charakteristické a řezné vlastnosti slinutých karbidů se tedy muselo rozdělit do několika kategorií. Tyto kategorie byly popsány normou ISO, přesněji ČSN ISO 513. Podle této normy se slinuté karbidy rozdělují do skupin s označením HW, HF a HC.

Do skupiny HW patří slinuté karbidy s obsahem primárního WC, jako pojivo slouží Co a se zrnitostí větší než 1 μ m. Do skupiny HF také patří slinuté karbidy s obsahem primárního WC a pojivem Co, ale zrnitost je menší než 1 μ m. Skupinu HC tvoří povlakované slinuté karbidy [2].

Podle použití se slinuté karbidy také rozdělují do šesti skupin označené písmenem a barvou – P (modrá), M (žlutá), K (červená), N (zelená), S (hnědá), H (šedá). Podskupiny jsou označeny dvoumístným číslem, které popisují základní mechanické vlastnosti jednotlivých karbidů. Pro všechny podskupiny platí, jestliže číslo podskupiny roste, tak se zvyšuje obsah pojivového kovu, klesá tvrdost a oteřuvzdornost, roste pevnost v ohybu a houževnatost, popřípadě z hlediska řezných podmínek roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky, ale klesá řezná rychlost [1, 2, 3].

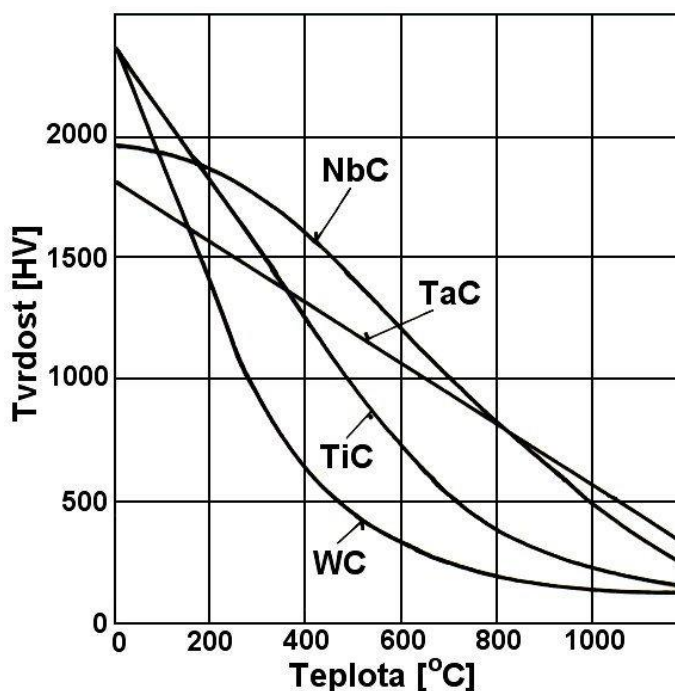
Skupina P, která se též označuje jako dvojkarbidová a dělí se na podskupiny P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50, má definované její základní chemické složení jako WC (30÷82) % + TiC (8÷64) % + Co (5÷17) % + (TaC.NbC). Slinuté karbidy patřící do této skupiny se používají pro obrábění materiálů, které dávají dlouhou a plynulou třísku. Obrábění je obvykle doprovázeno velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele. Nevýhodou těchto karbidů je nižší odolnost proti abrazi a vyšší křehkost. Těmito slinutými karbidy se obrábí nelegované, nízkolegované a vysoce legované oceli, lité oceli, automatové oceli, nástrojové oceli, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli [1, 3].

Skupina M neboli vícekarbidové slinuté karbidy jsou definovány základním chemickým složením WC (79÷84) % + TiC (5÷10) % + TaC.NbC (4÷7) % + Co (6÷15) % a dělí se na podskupiny M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35 a M40. Pro tuto skupinu slinutých karbidů je charakteristické, že při obrábění vzniká dlouhá a střední tříška. Při obrábění dochází k vydrolování ostří, přičemž řezné síly jsou střední až vysoké. Slinuté karbidy skupiny M mají velmi univerzální použití, používají se tedy k obrábění lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli, tvárné litiny, žáruvzdorné a žárupevné oceli [1, 3].

Skupina K, též nazývaná jako jednkarbidová skupina, má základní chemické složení WC (87÷92) % + Co (4÷12) % + (TaC.NbC) a do jejích podskupin patří K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40. Při použití těchto slinutých karbidů při obrábění se vytváří krátká a drobná tříška a řezné síly jsou relativně malé a k opotřebením dochází hlavně abrazi a adhezí. Nevýhodou této skupiny je, že není vhodná pro použití obrábění materiálů tvořící dlouhou třísku, protože by docházelo k velkému zahřátí čela nástroje. Proto se především tyto nástroje používají pro obrábění legované a nelegované šedé litiny, tvárné litiny či temperované litiny [1, 3].

Pro obrábění neželezných materiálů, jako jsou slitiny mědi, hliníku, duroplasty, tvrdá guma nebo plasty, se používají slinuté karbidy skupiny N, která se dělí na podskupiny N01, N05, N10, N15, N20, N25 a N30. Skupina S a její podskupiny S01, S05, S10, S15, S20, S25 a S30 tvoří skupinu na obrábění žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, Ti slitiny, Titan či super slitiny

ny na bázi Ni nebo Co. Poslední skupina H dělí se na podskupiny H01, H05, H10, H15, H20, H25 a H30 jsou především využívány na obrábění zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa, tvrdé kokilové litiny HSh 55÷58 či kalené oceli HRC 48÷68 [1, 3].



Obr. 1.3 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě [1]

1.2.2 Výchozí materiály

Základ dnešních slinutých karbidů a cermetů se skládá ze sloučenin uhlíku (nitridy), boru (boridy), dusíku (nitridy) a křemíku (silicidy) s přechodovými prvky periodické soustavy, mezi které patří titan a zirkon skupiny IV, niob, vanad a tantal skupiny V a do skupiny VI řadíme prvky jako chrom, wolfram a molybden. Ale hlavní dominantní postavení mezi nástrojovými materiály ze slinutých karbidů má WC.

Slinuté karbidy se připravují při teplotě kolem 2000 °C reakcí uhlíku s kovy nebo jejich oxidy, reakcí alkalických kovů s acetylenem v kapalném amoniaku nebo interakcí zahřátého kovu s uhlíky. Podle výsledné struktury dělíme karbidy do čtyř skupin na iontové karbidy, karbidy prvků skupiny železa, intersticiální karbidy a kovalentní karbidy [1].

Kovalentní karbidy vznikají reakcí příslušných prvků nebo jejich oxidů s uhlíkem. Hlavními zástupci jsou Be_2C , Al_4C_3 , B_4C a SiC [1].

Iontové karbidy obsahují acetylidové anionty a tak se považují za soli acetylenu. Do této skupiny patří Mg_2C_3 nebo CaC_2 [1].

Karbidy prvků skupiny železa tvoří přechod mezi intersticiálními a iontovými karbidy. Struktura karbidů této skupiny je značně deformována. Mezi zástupce řadíme Cr_3C_2 , Fe_3C , Mn_3C , Ni_3C a Co_3C [1].

Intersticiální karbidy tvoří TiC , VC , ZrC , MoC , TaC , NbC , WC , W_2C , Mo_2C a V_2C . Tyto karbidy se vytvářejí zahříváním na vysokou teplotu prášek kovu s uhlíkem. Intersticiální

karbidy jsou základní materiály pro výrobu slinutých karbidů, protože si udržují kovové vlastnosti a jsou velmi tvrdé [1].

Karbidy se některými svými vlastnostmi podobají kovům, jako je např. tepelná a elektrická vodivost, tak i vzhledem, ale za pokojové teploty se mohou jen velmi málo plasticky deformovat. S rostoucí teplotou tvrdost karbidů rapidně klesá, ale i tak si udržují vyšší tvrdost než ocel za těchto obráběcích podmínek, proto se ve velkém množství velmi efektivně využívají jako materiál pro řezné nástroje.

1.2.2.1 Wolfram

Výroba prášku z wolframu se považuje za jeden z nejdůležitějších technologických operací potřebných k výrobě slinutého karbidu. Vlastnosti slinutých karbidů zásadně ovlivňuje velikost zrn jednotlivých strukturních složek, mezi které patří WC, a proto je hlavním požadavkem, aby i wolframový prášek měl co nejmenší zrnitost.

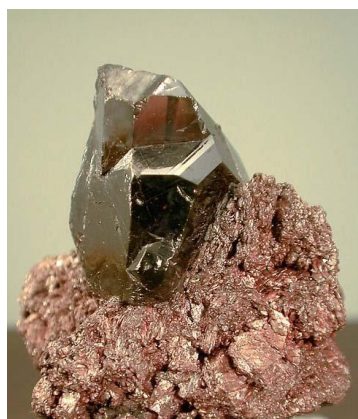
Čistý wolframový prášek se vyrábí redukcí oxidu wolframového vodíkem. Tato reakce probíhá v elektricky ohřívaných horizontálních trubkových pecích. Vkládané suroviny v peci prostupují několika teplotními zónami a vytváří se tak prášek z wolframu. Tento proces může být jednostupňový nebo dvoustupňový. Pomocí dvoustupňového postupu se vytvoří prášek s rovnoměrnější zrnitostí než u jednostupňového procesu. Další výhodou tohoto procesu je možnost regulovat velikost zrna a poměrně nízké výrobní náklady [1].

Další možnost výroby je redukce pevným uhlíkem, který je ve formě sazí a smíchá se s wolframovým oxidem. Tato směs je poté žhána při teplotě 1400÷1800 °C a vložena do pece. Takto vytvořené a slisované brikety se poté pomelou a vznikne wolframový prášek. Nevýhodou tohoto procesu je, že dochází ke znečištění prášku popelem i za předpokladu použití popelu s nejvyšší čistotou [1].

Karbid wolframu se vyrábí ze směsi wolframového prášku a pevného uhlíku. Tato směs je poté ohřívána v atmosféře nauhličujících plynů při teplotě kolem 1300÷2400 °C. Čím vyšší teplota je použita při nauhličování, tím větší je výsledná zrnitost WC [1].



Obr. 1.4 Wolframit [6]



Obr. 1.5 Krystaly rutilu na pyrofilitu [6]

1.2.2.2 Titan

Za vysokých teplot kolem 2000÷2200 °C v indukčních pecích, ve vakuu nebo ve vodíkové atmosféře, je vyráběn karbid titanu redukcí a nauhličováním směsí čistého TiO₂ a sazí, popřípadě grafitovým práškem. Výhodou vakuové atmosféry v peci je, že oproti vodíkové atmosféře vyrobený TiC obsahuje vyšší procento vázaného uhlíku a vůbec neobsahuje dusík [1].

1.2.2.3 Tantal a niob

Podobným způsobem jako většina karbidů, tak i karbid tantalu je vyráběn redukcí a nauhličováním oxidů kovů uhlíkem. Směs, která je vytvořena daným množstvím oxidu a grafitového prášku, popřípadě čistých sazí, je v peci zahřívána na $1400\div 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zahřívací proces může probíhat ve vodíkové atmosféře nebo ve vakuu. Tímto výběrem můžeme dosáhnout submikrometrových prášků s malým rozptylem velikosti zrn [1].



Obr. 1.6 Tantalit [6]



Obr. 1.7 Chromit [6]

1.2.2.4 Chrom a vanad

Z oxidu chromitého Cr_2O_3 a čistých sazí či grafitového prášku se vyrábí karbid chromu. Tato řádně promíchaná směs se v odporové peci s vodíkovou atmosférou zahřívá na teplotu asi $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Existují celkem tři karbidy chromu, ale pouze jediný se používá na výrobu slinutých karbidů, a to karbid Cr_3C_2 [1].

Podobným způsobem se vyrábí i karbid vanadu. Směs čistých sazí nebo grafitového prášku a oxidu vanadečného je nauhličován ve vakuové peci za teploty kolem $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karbid chromu Cr_3C_2 a karbid vanadu VC jsou využívány pro výrobu slinutých karbidů, protože zpomalují růst zrna výsledného karbidu, v čemž předčili i NbC a TaC [1].

1.2.2.5 Kobalt

Do slinutých karbidů se kobalt přidává jako pojivo. Práškový kobalt se přidává do práškové směsi na začátku výrobního procesu. Práškový kobalt se vyrábí ve vodíkové atmosféře redukcí oxidů uhlíkem při teplotách v rozmezí $350\div 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo rozkladem Co_2O_4 v ohřáté redukční atmosféře na teplotu $500\div 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. V dnešní době se do kobaltového pojiva přidávají i další kovy, např. ruthenium [1].



Obr. 1.8 Vanadit [6]



Obr. 1.9 Kobaltit [6]

1.3 Povlakované slinuté karbidy

K jednomu z nejvýznamnějšímu objevu v oblasti vývoji slinutých karbidů přišla roku 1969 švédská firma Sandvik Coromant. Tato firma vyvinula a začala vyrábět vyměnitelné břitové destičky s tenkými povrchovými vrstvami TiC. Jednalo se o materiál označený jako GC125 s tloušťkou TiC vrstvy $4\div 5\ \mu\text{m}$. Tato tenká vrstva několikanásobně zlepšila výkonnost řezného nástroje a zlepšila jeho vlastnosti. Díky povlaku se při obrábění mohly u stejného nástroje použít vyšší řezné rychlosti, posuvy a jeho trvanlivost se několikanásobně zvýšila [1].

Jen pár let po vyvinutí povlaku TiC se na trhu objevily nové povlaky na bázi TiCN a TiN až v polovině 70. let 20. století byly vyvinuty povlaky typu Al_2O_3 . Díky těmto povlakům se tyto materiály staly velice odolné proti opotřebení a zároveň houževnaté, což do té doby nebylo pravidlem [1].

Povlaky byly nanášeny na řezné nástroje metodou CVD (Chemical Vapour Deposition – viz kap. 1.3.1.2) neboli chemickým napařováním z plynné fáze a později v 80. letech vyvinutou metodou PVD (Physical Vapour Deposition – viz kap. 1.3.1.1) neboli fyzikálním napařováním [1].

Dříve bylo vyvinuto jen několik typů povlaků, ale dnešní doba již vyžaduje každoroční vývoj několika nových povlaků k uspokojení náročného trhu. Původně se povlakovaly běžné slinuté karbidy typu K, P nebo M, ale dnes se již vyrábějí speciální slinuté karbidy k povlakování. Tyto materiály se od sebe liší druhem povlaku, tloušťkou povlaku a v poslední řadě také kombinací vrstev a metodou povlakování.

Zpravidla se vývoj slinutých karbidů dělí do čtyř vývojových skupin [1]:

- 1. generace – jedná se o jednovrstvé povlaky, převážně TiC, s tloušťkou přibližně $6\ \mu\text{m}$ a špatnou soudržností povlaku a podkladu, způsobenou nedokonalou technologií výroby. Při použití těchto nástrojů často docházelo k odlupování povlaku a nakonec tedy k poškození nástroje.
- 2. generace – jedná se o jednovrstvé povlaky tlusté $7\div 10\ \mu\text{m}$ na bázi TiCN, TiC a TiN. Díky modernější technologii výroby již nedocházelo k nebezpečnému odlupování povlaků při zátěži. Do této generace řadíme povlakované slinuté karbidy firmy Pramet typu 015 P, 020 P.
- 3. generace – jedná se o vícevrstvé povlaky (minimálně 2 vrstvy), kde lze pozorovat ostré ohraničené přechody mezi vrstvami. Vrstvy jsou řazeny podle vlastností, kdy na materiál je nanášena vrstva s nejlepší přilnavostí, ale horší odolností proti opotřebení, a jako poslední vrstva je nanášena vrstva s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Jednotlivé vrstvy se běžně řadí v pořadí (od povrchu k podkladu): TiC- Al_2O_3 -TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-TiN, TiC- Al_2O_3 .
- 4. generace – řadí mezi sebe speciální vícevrstvé povlaky (více než deset vrstev). Tyto povlaky jsou charakterizovány velmi velkou tvrdostí, která se pohybuje až v rozmezí $2800\div 4000\ \text{HV}$ a zároveň k velké výhodě patří schopnost povlaku brzdit a odchylovat šíření trhlin, které vznikají na povrchu nástroje.

Do čtvrté generace se také řadí současné povlaky, ať se jedná o povlaky diamantové, gradientní, nanokompozitní, inteligentní, supermřížkové či povlaky z kubického nitridu boru.

Podle tvrdosti lze ještě povlaky dělit na tvrdé povlaky (s tvrdostí do 40 GPa) a supertvrdé povlaky (s tvrdostí nad 40 GPa), přičemž do skupiny supertvrдых lze zařadit pouze pár vybraných materiálů, jako například kubický nitrid boru, amorfni uhlík, DLC (Diamond Like Carbon) nebo polykrystalický diamant [1].

Tab. 1.2 Stupně ve vývoji tvrdých povlaků [1]

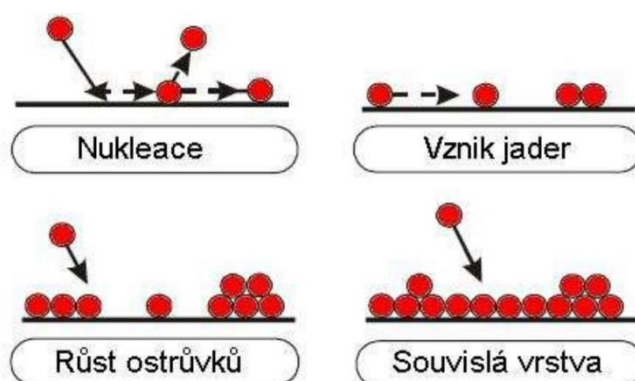
Povlak	Materiál	Tvrdość [GPa]	Charakteristika
Jednovrstvý	TiN, TiC, Al ₂ O ₃	21,28,21	CVD při teplotě kolem 1000 °C na substrátech slinutých karbidů
	TiN, TiC	21,28	PVD při teplotě ≤550 °C na ocelových substrátech
Vícevrstvý	TiC/TiB ₂		Kolem 10 ³ mezifázových hranic TiC/TiB ₂
Jednovrstvý	c-BN	50	Chemická rozpustnost boru v železe
	diamant	90	Vysoká chemická aktivita k železu
	TiAlN		Odolnost proti oxidaci až do 800 °C
	DLC	65	Amorfní fáze
	CN _x	50÷60	Substechiometrická struktura (x = 0,20÷0,35)
Supermřížkový	TiN/VN, TiN/NbN, atd.	~50	Supermřížková perioda 5÷10 nm
Jednovrstvý	Nc-MN/α-nitrid	~50	Nanokompozit, M = kov
	Nc-MN/M	~50	
	Ti _{0,4} Al _{0,6} N	~32	Nanokompozit, odolnost proti oxidaci až do 950 °C

1.3.1 Metody povlakování

1.3.1.1 Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition) neboli fyzikální napařování byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, protože při této metodě nedochází k tepelnému ovlivnění nástroje, jelikož teplota povlakování nepřesahuje 500 °C a tlak při povlakování se pohybuje v rozmezí 0,1÷1 Pa. Za těchto podmínek jsou povlaky vytvářeny kondenzací částic, které jsou uvolněny ze zdroje částic fyzikálními metodami a to napařováním, napařováním a iontovou implantací [1].

Hlavní nevýhodou všech metod PVD je složitý vakuový systém, který je při povlakování vyžadován a potřeba pohybovat všemi povlakovanými nástroji, aby došlo k rovnoměrnému nánosu vrstvy. Naopak výhodou tohoto procesu je možnost povlakování ostrých hran nástrojů s poloměrem zaoblení menší než 20 μm [1].



Obr. 1.10 Schéma vzniku PVD povlaku [1]

Naprašování

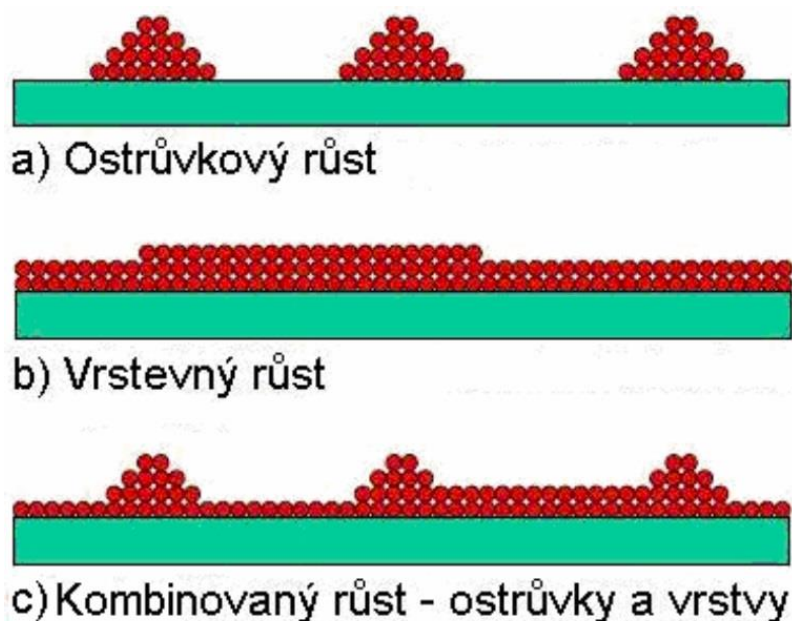
System naprašování se skládá z terče (katody), který je vyroben z materiálu, kterým se má povlakovat, držáku substrátu, vakuové komory, odprašovacího systému a zdroje energie. Při této metodě dochází k rozprašování materiálu terče ionty a kondenzací částic materiálu z terče, jež byl odprášen. Naprašování probíhá ve vakuu nebo při velmi nízkém tlaku. Výhodou této metody je, že lze vyrábět povlaky z těžkotavitelných materiálů, terč a substrát mohou být v blízkosti, tudíž depoziční komora může mít malý objem a nástroj není vystaven vysokým teplotám a nedojde k zatížení tepelnou radiací. Nevýhodou je, že intenzita naprašování není tak velká a terče jsou většinou drahé a je nutné pohyblivé upevnění substrátu [1].

Napařování

V procesu napařování je povlakovací materiál odpařován z terčů (katod), které jsou zahřívány. Napařování probíhá za velmi nízkých tlaků, a to v rozsahu 10^{-3} až 10^{-8} Pa, ve vakuu. Odpařené atomy překonají vzdálenost od terčů k povlakovanému materiálu na němž dojde ke kondenzaci povlaku. Povlak se vytváří na nástroji nerovnoměrně, protože vzdálenost terčů a povlakovaného nástroje je poměrně velká. Aby bylo dosaženo rovnoměrného povlakování, je do komory vháněn plyn (argon) pod tlakem a tím dochází k vícenásobným srážkám na substrátu a k rovnoměrné tloušťce povlaku. K výhodám napařování lze zařadit relativně snadné řízení a ovládání a v neposlední řadě patří k nejlevnější metodě PVD. Naopak velkou nevýhodou této metody je vysoké zatížení tepelnou radiací, nízké využití materiálu zdroje a je zapotřebí velkého místa pro velké vakuové komory [1].

Iontová implantace

Iontová implantace je hybridní PVD proces povlakování, jehož pomocí lze nanášet povlaky různého složení s výbornými mechanickými vlastnostmi. Tento proces je používán na materiály, které se těžko povlakuji jinými metodami, např. tepelně zušlechtnuté materiály či dokonce plasty. Pro iontovou implantaci je charakteristické, že vlastnosti povlaku nejsou závislé na úhlu dopadu materiálu a pro zlepšení vlastností povlaku se používá řízené bombardování částic. Díky velkému množství energie, které je zapotřebí dodávat, lze přesně definovat chemické složení povlaku [1].



Obr. 1.11 Modely růstu vrstvy PVD povlaku [1]

1.3.1.2 Metoda CVD

Princip metody CVD (Chemical Vapour Deposition) je založen na chemickém procesu povlakování, jejíž základ spočívá v reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří na povrchu podkladového slinutého karbidu a následné uložení produktů na povrchu. Tento proces probíhá za vysokých teplot v rozmezí 1000÷1200 °C [1].

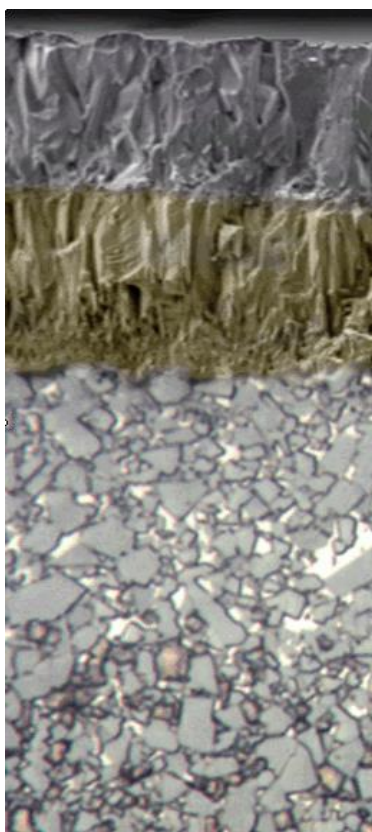
V současnosti se metoda CVD značně rozšířila a byly vytvořeny nové modifikované metody CVD. Mezi tyto modifikované metody patří nízkotlaká metoda CVD (LPCVD), laserem indukovaná metoda CVD (LCVD), metoda CVD se žhavicím vláknem (HFCVD) nebo metoda CVD s lavinovým plazmatickým výbojem (CACVD) [1].

Výhody metody CVD [1]:

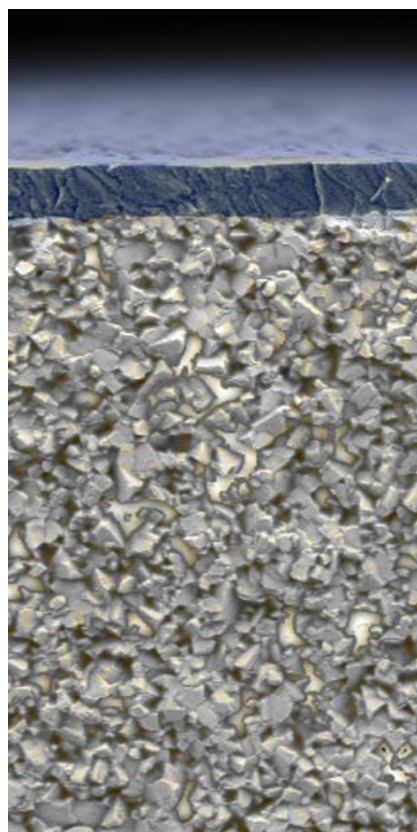
- vysoká hustota, teplotní stabilita a homogenita povlaku
- rovnoměrná tloušťka povlaku u složitých tvarů, výborná adheze k podkladovému materiálu
- ekonomická výhodnost při vytváření silných vrstev, poměrně nízké náklady (pořizovací i provozní)
- povlakování ze všech stran za pomoci vysokých pracovních tlaků (1÷100 kPa)

Nevýhody metody CVD [1]:

- vysoké pracovní teploty (možnost ovlivnění materiálu i povlaku)
- nelze povlakovat všemi typy povlaků a ani ostré hrany
- dlouhý pracovní cyklus (8÷10 hodin) a energetická náročnost
- ekologicky nevyhovující plynné směsi



Obr. 1.12 CVD povlak firmy Sandvik Coromant ($TiCN + Al_2O_3$) [3]



Obr. 1.13 PVD povlak firmy Sandvik Coromant ($(Ti,Al)N$) [3]

Tab. 1.3 Tabulka porovnání PVD a CVD [1]

Charakteristika	PVD		CVD
	Napařování	Naprašování	
Mechanismus tvorby materiálu povlaku	tepelná energie	přenos pohybové energie	chemická reakce
Teplota povlakování [°C]	<500		700÷1200
Doba trvání povlakovacího cyklu	kratší		delší
Původní určení pro	nástroje z rychlořezných ocelí		nástroje z SK
První aplikace pro řezný nástroj	začátek 80. let 20. století		konec 60. let 20. století
První materiál povlaku	TiN		TiC
Tloušťka povlaku [μm]	2÷4		5÷10
Čištění povrchu substrátu	složitější		jednodušší
Rychlost povlakování [Å min ⁻¹]	může být velmi vysoká, až 750 000	Nízká, s výjimkou povlaků z čistých kovů (např. 10 000 u Cu)	střední 200÷2500
Rovnoměrnost pokrytí	špatná v přímočarém směru (ne při rozptýlení plynu)	dobrá, s nerovnoměrným rozložením tloušťky	dobrá
Stínový efekt → nutný pohyb substrátu	ano		ne
Napovlakování ostré hrany			obtížné
Narušování povrchu rostoucího povlaku	běžně ne	ano	ano (otěrem)
Nanášení kovů	ano		
Nanášení kovových slitin			
Nanášení těžkotavitelných sloučenin			
Ohřev substrátu (externími prostředky)	ano, běžně	zpravidla ne	ano
Ovlivnění mechanických vlastností substrátu	menší		větší
Zbytková napětí v povlaku	tlaková		taková
Energetická náročnost	nízká		vysoká
Negativní vliv na okolní prostředí	ne		ano

2 Výroba řezných nástrojů ze slinutých karbidů ve firmě Pramet Tools, s.r.o.

Firma Pramet Tools, s.r.o. vznikla na základě dlouholeté tradice výroby slinutých karbidů. V Šumperku. Díky této více jak šedesátileté tradici firma Pramet Tools, s.r.o. využila své zkušenosti výroby a vývoje a vydobyla si přední postavení mezi výrobci řezných nástrojů v tuzemsku [7, 8].

Od roku 1999 ve firmě došlo k významným změnám. Firma se spojila se silným světovým partnerem, švédskou firmou Seco. Poté firma díky svému vývoji a výzkumu získala kompletní nový sortiment řezných nástrojů a materiálů, jak po stránce geometrií, nových tvarů. Pro výrobu tohoto nového sortimentu musela firma inovovat i lisovací či další dokončovací stroje [7, 8].

V dnešní době se firma specializuje na vývoj, výrobu a prodej obráběcích nástrojů ze slinutých karbidů. Všechny tyto produkty, jež jsou vyráběny v České republice, jsou prodávány díky velké síti poboček a partnerů do více jak 50 zemí světa. Vlastní zastoupení firmy Pramet Tools, s.r.o. má firma v devíti zemích, a to i v zámoří [7, 8].

Specialitou firmy jsou inovační řezné nástroje pro renovaci železniční dopravy. Firma každý rok vyvine několik druhů nových řezných nástrojů, výkonných materiálů a povlaků [7, 8].

Výroba i vývoj firmy Pramet Tools, s.r.o. sídlí v Šumperku, kde se nachází i další důležité oddělení firmy. Ve firmě je zaměstnáno kolem 620 zaměstnanců (k 1.1.2014) ve všech svých pobočkách. V roce 2010 se firma umístila v mezi prvními sty nejvíce obdivovanými firmami České republiky v soutěži Czech Top 100 [8].

V roce 2014 se Pramet Tools, s.r.o. spojil s firmou Dormer Tools, výrobcem monolitních nástrojů. Tímto spojením došlo ke zkvalitnění výroby, tudíž i výsledných produktů a k rozšíření sortimentu [7, 8].



Obr. 2.1 Logo firmy Pramet Tools, s.r.o. [7]

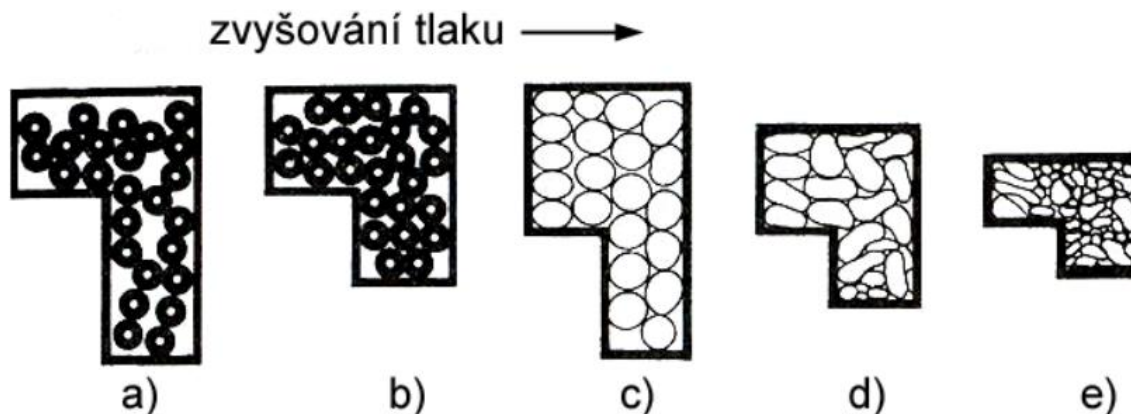
2.1 Lisování řezných destiček

Pro výrobu řezných destiček ze slinutých karbidů je zapotřebí kvalitního karbidového prášku a lisů odpovídajících tlaků pro výrobu. Karbidový prášek musí splňovat určité požadavky kvality, a to suchost příměsí či velikost zrn. Všechny tyto technologické vlastnosti, jako jsou tekutost, lisovatelnost, sytký objem, porezita apod. ovlivňují postupy výroby. Do prášku je možné také přimíchat mazání nebo pojiva pro zlepšení lisovatelnosti a spojení zrn.

Pro lisování se používají lisy mechanické klikové, mechanické hydraulické a elektrické lisy. Lisování prášku můžeme rozdělit na jednostranné, oboustranné a vícestranné. U jednostranného lisování dochází k nerovnoměrnému radiálnímu smrštění. Oboustranné lisování má tu výhodu, že smrštění je rovnoměrné a výsledný nástroj má větší hustotu.

Stav lisování prášku dělíme na [9]:

- a) stav při plnění
- b) přemísťování částic
- c) zhušťování částic
- d) stlačování a přetvařování částic
- e) konečný stav po lisování



Obr. 2.2 Fáze lisování prášku [9]

Lisovací tlaky stroje závisí na vlastnostech lisovaného karbidového prášku, jeho tvaru a účelu výrobků. Lisovací tlaky se tedy pohybují v širokém rozmezí od 50 do 150 MPa [1].

Celkové lisování probíhá ve třech fázích [9]:

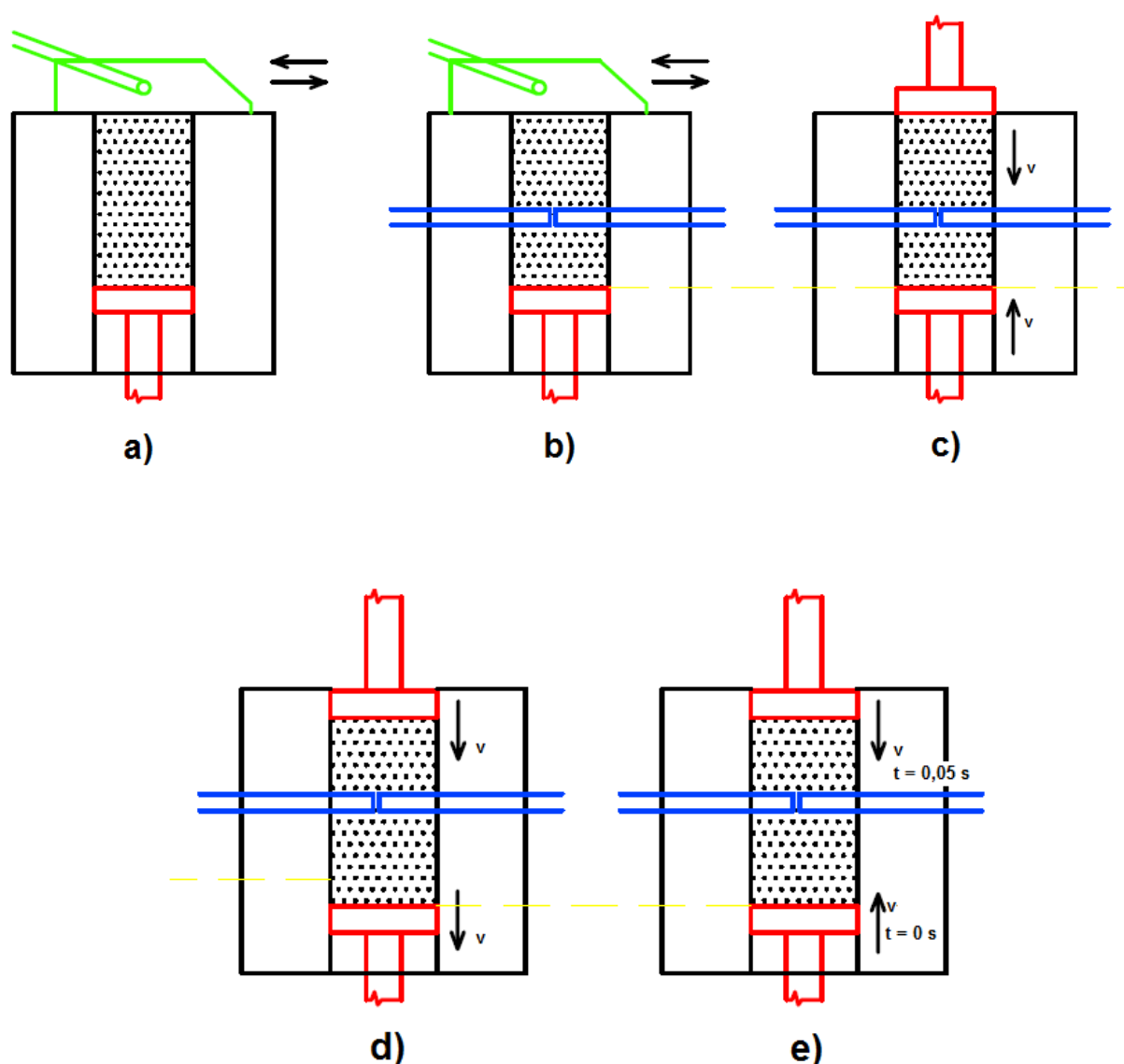
- 1. fáze – V této fázi dochází při nízkém deformačním tlaku k zhutňování hlavně díky bezdeformačním přemísťováním částic
- 2. fáze – Druhá fáze probíhá při středních hodnotách tlaku a v místech kontaktů částic dochází k pružně plastické deformaci
- 3. fáze – Tato fáze je charakteristická vzrůstajícím tlakem a tím se zvětšují objemové deformace částic plastickou deformací. Dochází k deformačnímu a geometrickému zpevnování částic

2.1.1 Postup výroby břitových destiček lisováním

Počátek výroby slinutých karbidů začíná formováním směsí práškových karbidů a pojícího kovu pomocí lisování. Při tomto procesu lisování je snaha dosáhnout homogenity zhutnění prášku s co nejmenší pórovitostí, a to v celém jeho objemu. Pro výrobu břitových destiček se nejčastěji používají způsoby lisování, kdy vylisovaný tvar co nejvíce dosahuje finálního tvaru destičky, aby bylo zapotřebí co nejméně času při sekundárním obrábění těchto destiček. Tyto způsoby lze dělit na oboustranné lisování a víceosé lisování.

K nejrozšířenějšímu způsobu lisování patří právě oboustranné lisování, kdy dochází k výbornému zhutnění prášku v celém objemu výlisku, a to za poměrně nízkých nákladů. Princip tohoto lisování spočívá v pohybu proti sobě dvou lisovníků, kteří mezi sebou lisují směs. Při návrhu velikosti lisovaných součástí se musí počítat se vznikem pórovitosti směsi, která má za následek smrštění destičky po slinování přibližně o 20 procent objemu, v některých extrémních případech dochází i k smrštění o více jak 20 procent [1].

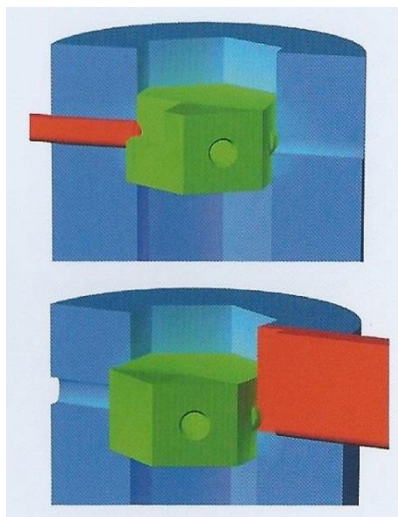
Postup oboustranného lisování je naznačen na obr. 2.3, kdy nejprve dochází k nasypání směsi do lisovací formy neboli matrice pomocí tzv. „jezdce“, který projede několikrát nad otvorem formy lisu, aby bylo dosaženo co nejrovnoměrnějšího zaplnění formy (a). Pro minimalizaci sekundárního obrábění břitové destičky jsou do lisovací formy zavedeny dva trny, díky kterým se do břitové destičky přímo při lisování vytvoří díra pro upnutí destičky do upínací hlavy nástroje (b). Po tomto kroku je lisovací forma připravená pro vylisování výsledné břitové destičky, která je velmi křehká a připravená pro další opracování (c). Při použití trnů na vytvoření díry pro upnutí může docházet k menší hustotě zaplnění prášku pod těmito trny, proto se využívá posunutí spodního lisovníku směrem dolů, aby došlo k vyrovnání hustoty zaplnění pod trny (d). Po tomto kroku, ale dochází k problému, že trny nejsou uprostřed lisovací formy mezi oběma lisovnicími a tudíž by došlo k znehodnocení výsledné břitové destičky při současném posuvu lisovníku proti sobě. Tento problém se řeší opožděným startem posunu horního lisovníku, díky čemuž se rozdíl vzdálenosti lisovníku od sebe vykompenzuje (e).



Obr. 2.3 Schématický postup lisování břitové destičky

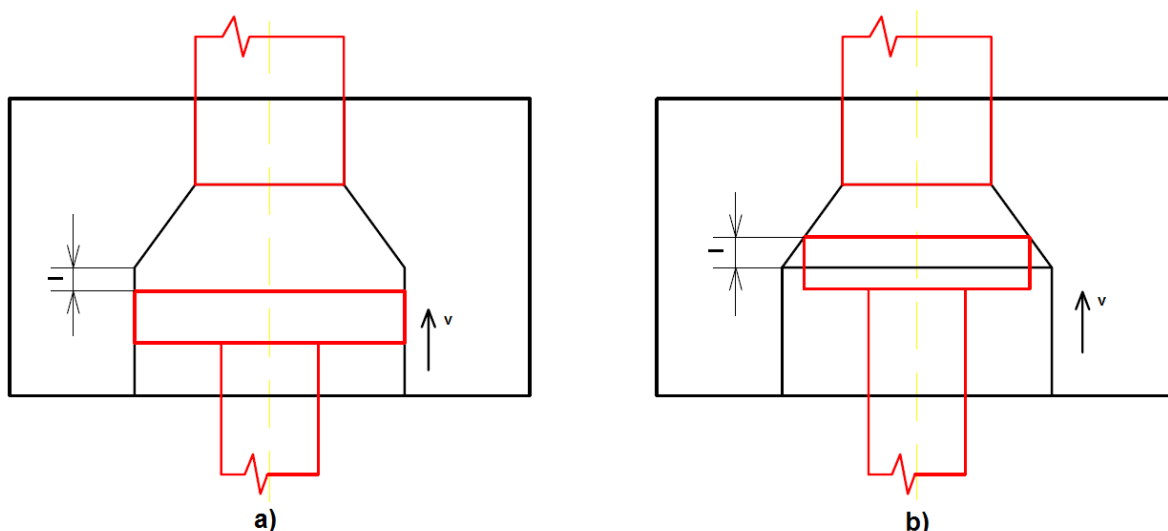
Tento princip nasypávání a lisování směsi oboustrannými lisovnicími se také využívá u víceosého lisování břitových destiček, ale nasypání směsi a následné jeho lisování probíhá

ve speciální lisovací formě, tzv. modulu pro víceosé lisování, který je opatřen až 6 menšími moduly pro lisování ve více směrech. Díky těmto modulům lze v průběhu lisování vytvořit různé řezné hrany na více stranách destičky, přičemž tyto posuvy modulů mohou probíhat současně. Při použití tohoto modulu pro víceosé lisování se ušetří velké množství výrobního času a také klesnou výrobní náklady až desetkrát, protože bude zapotřebí minimálního sekundárního obrábění břitové destičky.



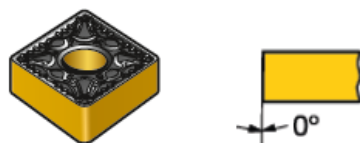
Obr. 2.4 Schéma lisování modulů ve více směrech [13]

Při lisování břitových destiček dochází k vzniku negativního nebo pozitivního úhlu čela destičky. Tento rozdíl ve výrobním postupu je naznačen na obr. 2.4, kdy při lisování destičky je spodní raznice stejného rozměru jako matrice. Při splnění této podmínky vznikne při lisování čelo destičky s úhlem 0° , protože spodní raznice se nemůže už dále posunout (a). Tímto postupem vznikne negativní úhel čela břitové destičky. Při lisování, kdy je spodní raznice menšího rozměru jak matrice, vznikne díky skloněné stěně formy čelo destičky s úhlem větším jak 0° , tedy s pozitivním úhlem čela břitové destičky.



Obr. 2.5 Schéma vzniku čela břitové destičky s a) negativním úhlem b) pozitivním úhlem

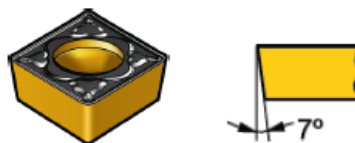
Břítová destička s negativním základním tvarem



Negativní provedení

- Oboustranné nebo jednostranné
- Vysoká pevnost břítu
- K dispozici s hladíci geometrií nebo bez ní.

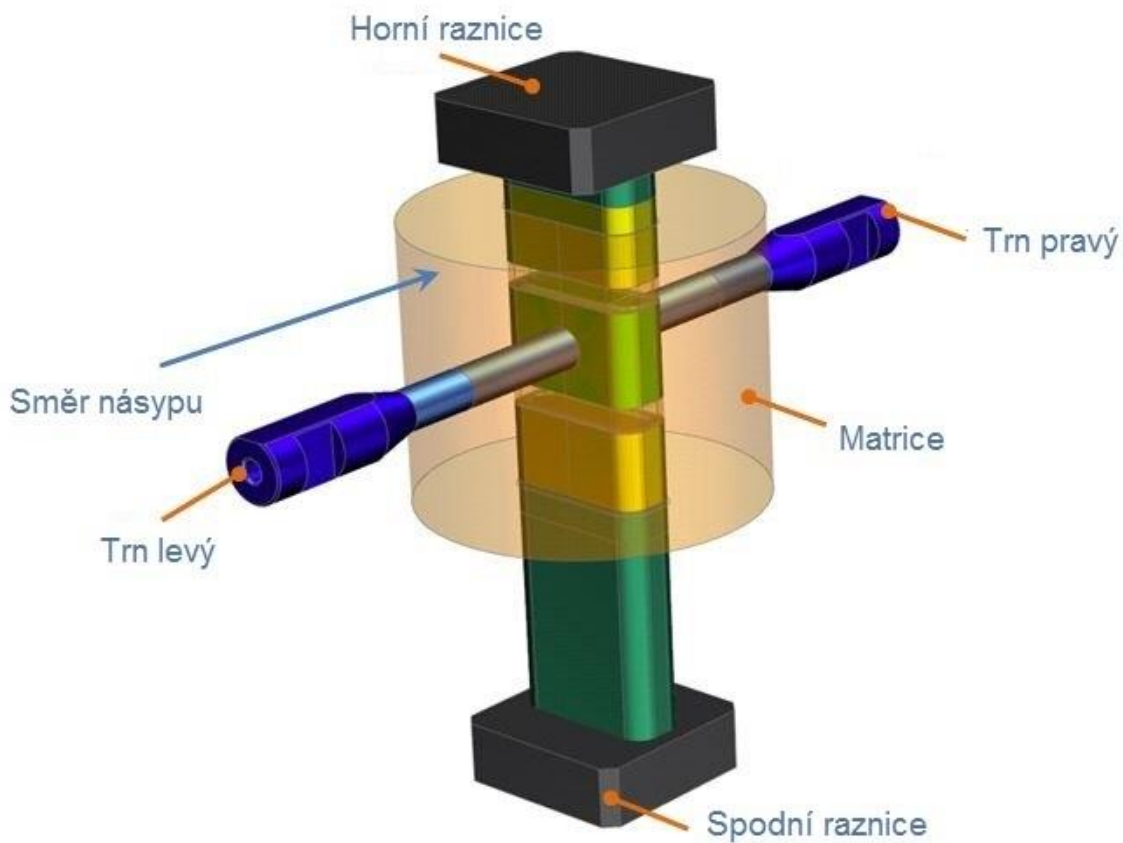
Břítová destička s pozitivním základním tvarem



Pozitivní provedení

- Jednostranné
- Ostrý břit
- Nízké řezné síly
- K dispozici s hladíci geometrií nebo bez ní.

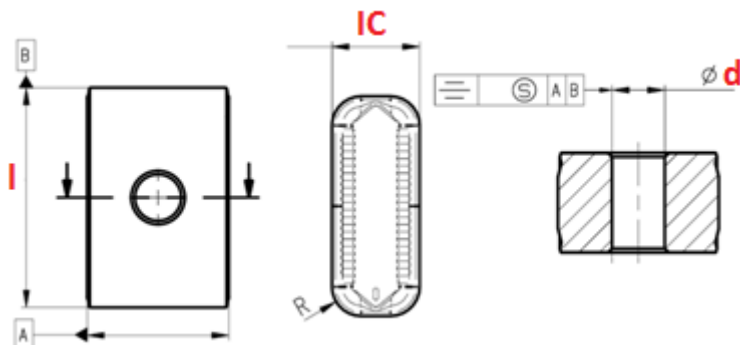
Obr. 2.6 Rozdíl mezi negativním a pozitivním tvarem destičky [3]



Obr. 2.7 Set lisovacího nástroje [14]

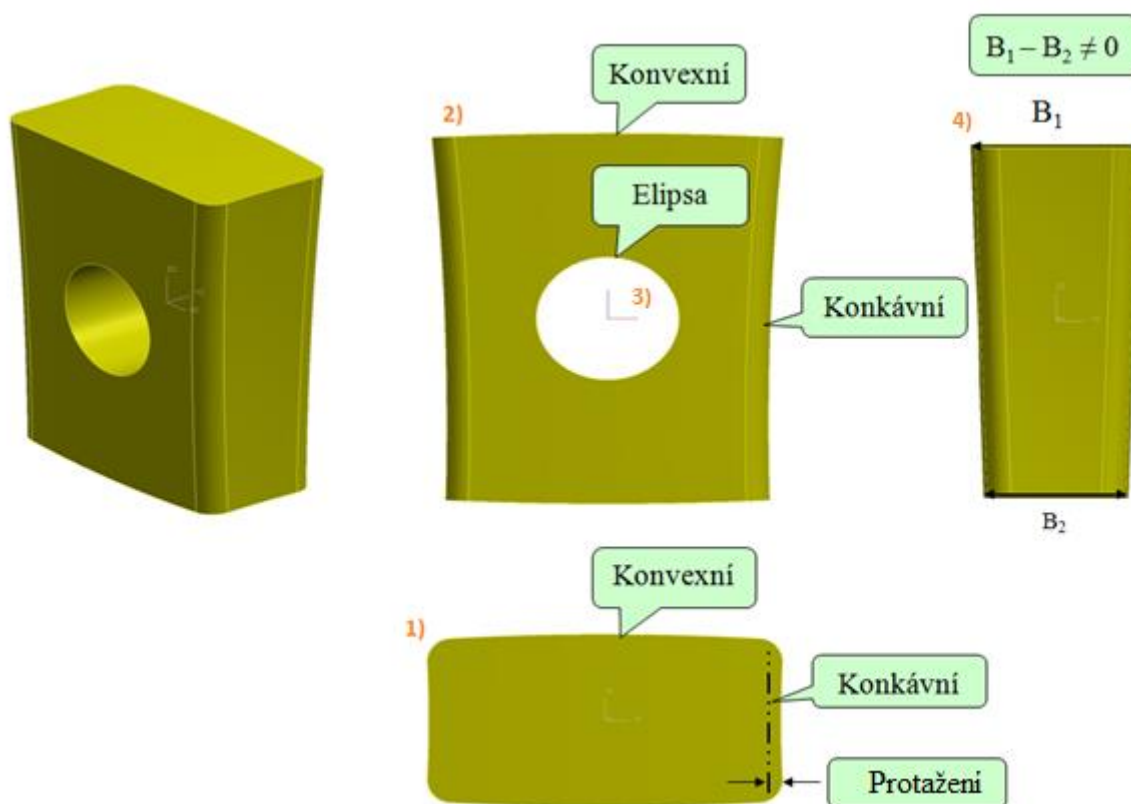
2.1.2 Vliv konstrukce lisovacího nástroje na rozměry vyměnitelné břitové destičky

Pro zkoušku byla zvolena destička s přímo lisovaným otvorem s označením LNUX 301940SN-DM viz obr. 2.8.



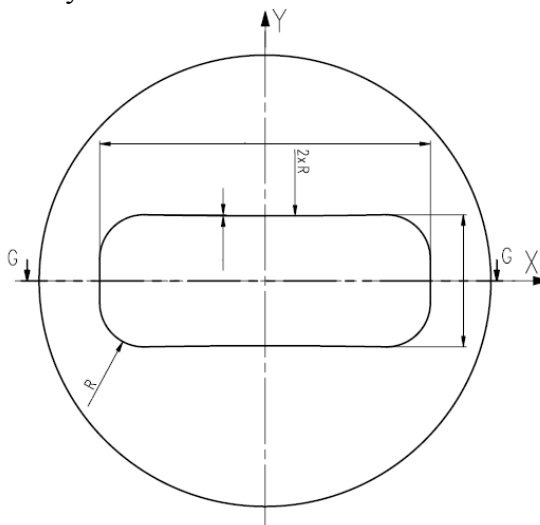
Obr. 2.8 Břitová destička LNUX 301940SN-DM [14]

Navržená konstrukce lisovacího nástroje, oproti standartním lisovacím nástrojům, zahrnovala i předem odhadované deformace tvaru, které jsou způsobené nerovnoměrnou lisovací hustotou. Odhadované deformace tvaru jsou vyobrazeny a popsány na obr. 2.9 s odkazy na jednotlivé dílčí deformace [14].



Obr. 2.9 Deformace tvaru břitové destičky při lisování [14]

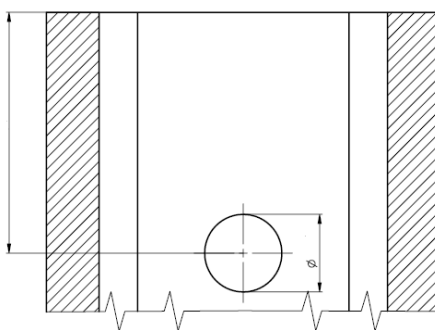
- 1) Pro eliminaci odhadovaných deformací musí dojít ke korekci kontury matrice. Delší rozměr má nakonstruovaný rádius viz obr. 2.10.



Obr. 2.10 Korekce matrice [14]

Dané korekce se na první matici přetáhli, aby se vyhnulo výrobě nové matrice, jelikož konvexnost plochy pro uložení v držáku je nežádoucí. Po experimentální zkoušce došlo k závěru, že náměry destiček díky této upravené kontuře matrice jsou akceptovatelné a proto není potřeba výroba nové [14].

- 2) Vypouklost čela a dosedací plochy je řešena obdobně. Na čele razníků jsou nakonstruovány rádiusy. Díky této relativně jednoduché úpravě jsou náměry destiček akceptovatelné a nejsou potřeba další úpravy a přepaly razníků [14].
- 3) Po slinutí je původně navržený kruhový otvor zdeformován do elipsy. K odstranění této deformace jsou proto příčné trny nakonstruované do elipsy ale v opačném směru. Zkouška ukázala, že náměry a tolerance otvoru jsou akceptovatelné a není potřeba úpravy a přepaly trnů [14].
- 4) Čtvrtá deformace je popsána jako rozdíl rozměru B_1 od horního razníku a B_2 od spodního razníku. Tuto deformaci je možné eliminovat posunutím polohy otvoru v matici, viz obr. 2.11. Po zkoušce bylo zjištěno, že rozměr B_1 je větší než B_2 a tento rozdíl je v toleranci destičky a je akceptovatelný. Pro srovnání rozdílu mezi rozměrem B_1 a B_2 , lze tedy dosáhnout úpravou matrice a dalším prováděním zkoušek. Při dodatečných zkouškách bylo zjištěno, že nastavení lisu nemá vliv na tuto deformaci, tudíž ani na rozměry B_1 a B_2 [14].



Obr. 2.11 Posunutí polohy otvoru v matici [14]

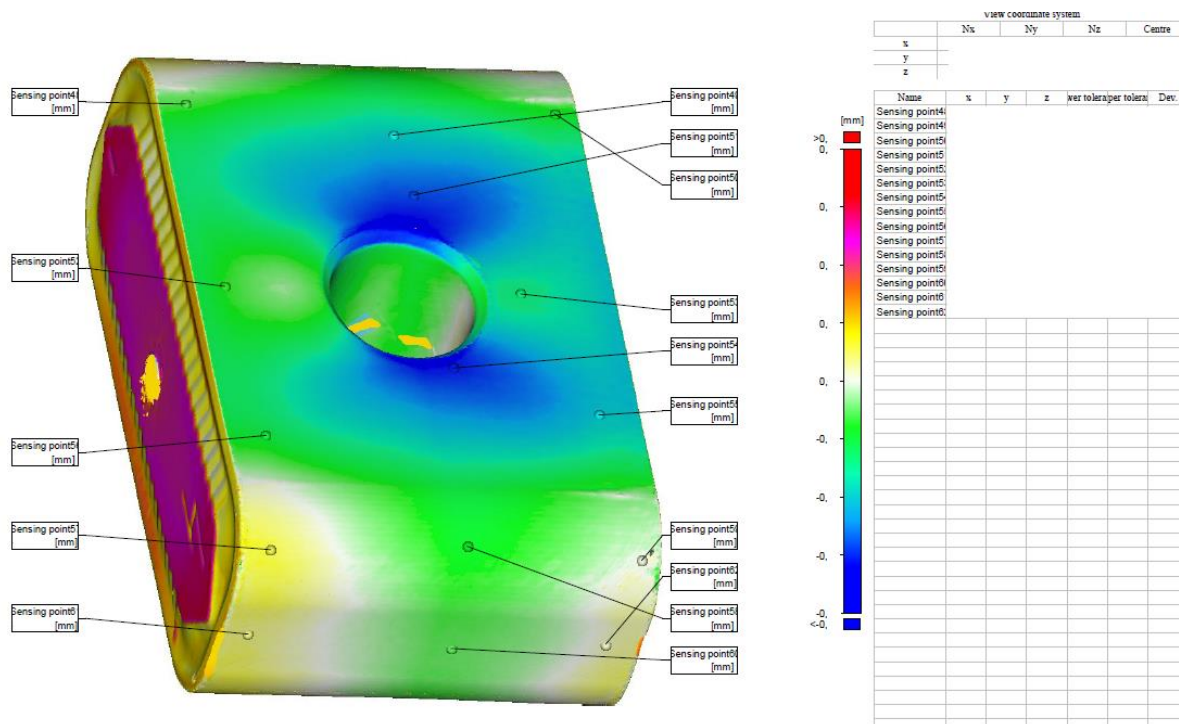
2.1.3 Vliv lisovacích parametrů na rozměry vyměnitelné břitové destičky

VBN LNUX 30194SN-DM je lisována na hydraulickém lise TPA 30 HS od firmy Dorst. Lis má dvě osy pro přímo lisovaný otvor (pravá a levá), dvě samostatně řízené horní osy a také dvě samostatně řízené dolní osy. Pro přímo lisovaný otvor se používá vždy jen jedna horní a jedna spodní osa, tedy vnější osy. Vnitřním osám je zamezen pohyb, tedy jsou zablokovány. Toto není zcela vhodné pro přímo lisovaný otvor, jelikož váha desek lisu může způsobovat nedodržení nastavených poloh a nedodržení opakovatelnosti.

U hydraulických lisů je velmi důležitý stav servoventilů a jejich seřízení. Nedodržení poloh může způsobit v extrémním případě i nevratné poškození lisovacího nástroje, zejména matrice, například dojde k vyštípnutí hrany otvoru matrice pod trny.

- Hmotnost a výška – Kombinací správné váhy a výšky výlisku se zajistí rozměr destičky po slinutí [14].
- Rate – Rate neboli poměr udává, jakou dráhu urazí horní razník a spodní razník. Změnou poměru je možné regulovat lisovací hustotu v jednotlivých vrstvách výšky destičky. Lisovací hustotu je potřeba mít co možná nejrovnoměrnější pro zamezení deformací a rozdílů rozměrů ve vztahu ke kontuře matrice. Rate ovšem ovlivňuje pouze rozměr destičky od horní raznice a spodní raznice. Nemá vliv na rozměr B_1 a B_2 a nemění polohu otvoru [14].
- Poloha otvoru – Polohu otvoru je možné měnit nastavením koncových (lisovacích) poloh horní a spodní raznice. Při slinutí destiček ovšem dochází k určitým deformacím a proto je nutné polohu otvoru na výlisku zkorigovat [14].

Destičky byly proměřeny na měřícím zařízení FGM (viz obr. 2.11), kde je možné díky barevnému spektru, a také díky možnosti zadat konkrétní body měření, ověřit správnost tvaru a dané deformace, popřípadě odchylky mimo povolené limity.



Obr. 2.12 Výsledky měření odchylek tvaru pomocí zařízení FGM [14]

2.2 Lisy

Pro výrobu břitových destiček ze slinutých karbidů se nejčastěji používají hydraulické nebo elektrické lisy. Přísným požadavkem na lisy pro výrobu břitových destiček je přesnost pohybu a zastavení horního a dolního lisovníku, aby nedošlo k poškození lisu či k znehodnocení břitové destičky.

U hydraulických lisů dochází k menší přesnosti pohybu než u lisu elektrických, kvůli setrvačnosti pohonu lisu. Pro zvýšení přesnosti těchto mechanických lisů je zapotřebí, aby byly tyto lisy často seřizovány a opatřeny servoventily. Výhoda těchto mechanických lisů je jejich cena a univerzálnost použití.

Při využití lisů na elektrický pohon lze dosáhnout vyšší požadované přesnosti, a to až k hodnotám $\pm 0,005$ mm. Díky těmto hodnotám se na výrobu složitějších tvarů břitových destiček využívají právě elektrické lisy. Elektrické lisy často bývají osazeny modulem pro schopnost lisovat břitovou destičku v různých směrech a odlišných varů a rádiusů. Díky této technologii je výroba břitových destiček zjednodušena o další postup obrábění a tím je výroba efektivnější a méně nákladná [13].

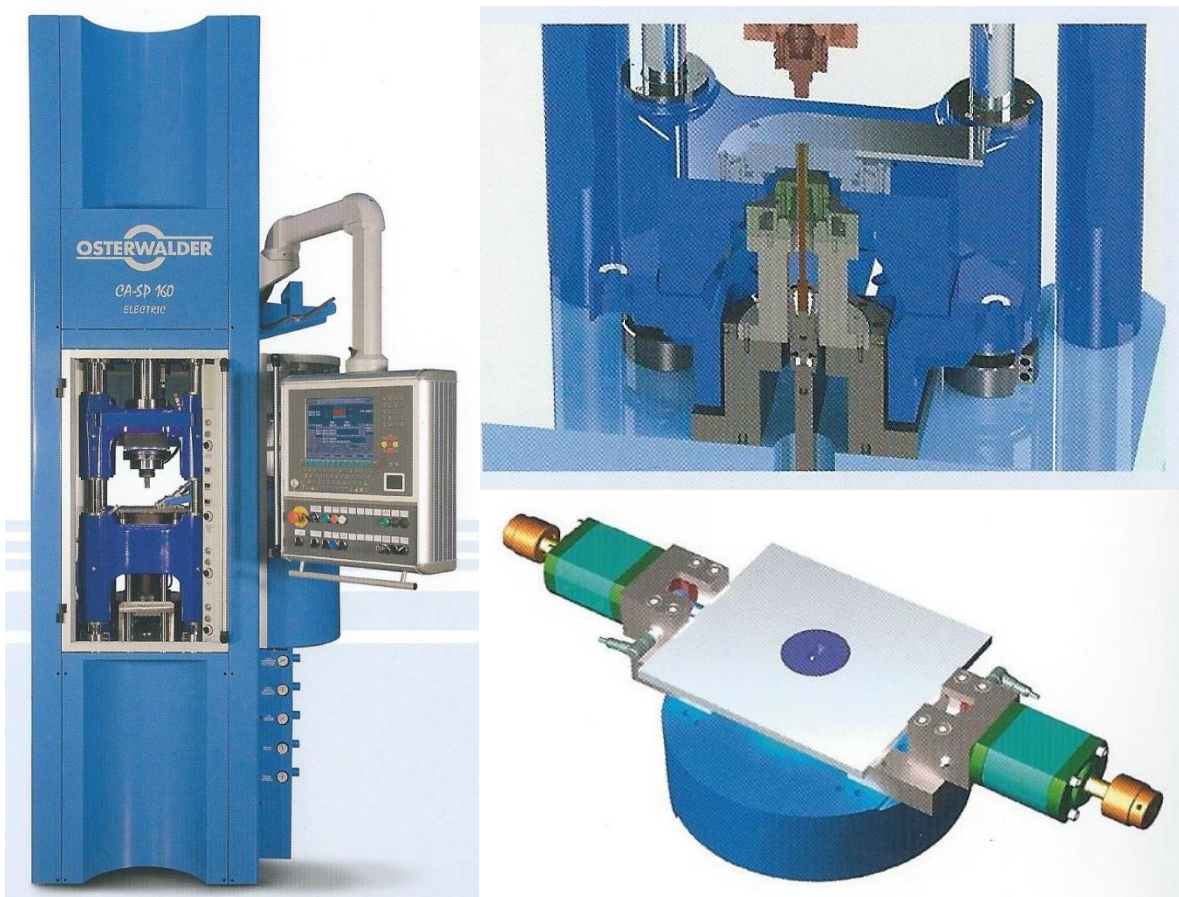
Na výrobu lisů přímo pro lisování slinutých karbidů se specializuje švýcarská firma Osterwalder, která nabízí širokou škálu lisů s odlišnými parametry.

2.2.1 Elektrický lis Osterwalder CA-SP

Jedná se o menší lis s maximální vyvinutou silou 160 kN nebo 320 kN. Tento lis je velice rozšířen díky svým menším rozměrům a vysoké přesnosti při opakování lisování více kusů.

Výhody elektrického lisu CA-SP [13]:

- nízká spotřeba energie
- přesnost opakování 0,001 mm
- žádný olej v lisovací oblasti
- malé rozměry
- minimální hluk
- nevyžaduje chlazení



Obr. 2.13 Elektrický lis Osterwalder CA-SP a řez lisovací oblasti [13]

Tab. 2.1 Technická data lisu Osterwalder CA-SP 160 [13]

Hlavní charakteristické hodnoty			
	Maximální síla	Maximální zdvih	Maximální rychlost
Horní raznice	160 kN	180 mm	300 mm/s
Deska	80 kN	95 mm	100 mm/s
Plnicí výška	95 mm		
Zdvihů	30/min		

Tab. 2.2 Technická data lisu Osterwalder CA-SP 320 [13]

Hlavní charakteristické hodnoty			
	Maximální síla	Maximální zdvih	Maximální rychlost
Horní raznice	320 kN	180 mm	350 mm/s
Deska	190 kN	180 mm	200 mm/s
Plnicí výška	130 mm		
Zdvihů	30/min		

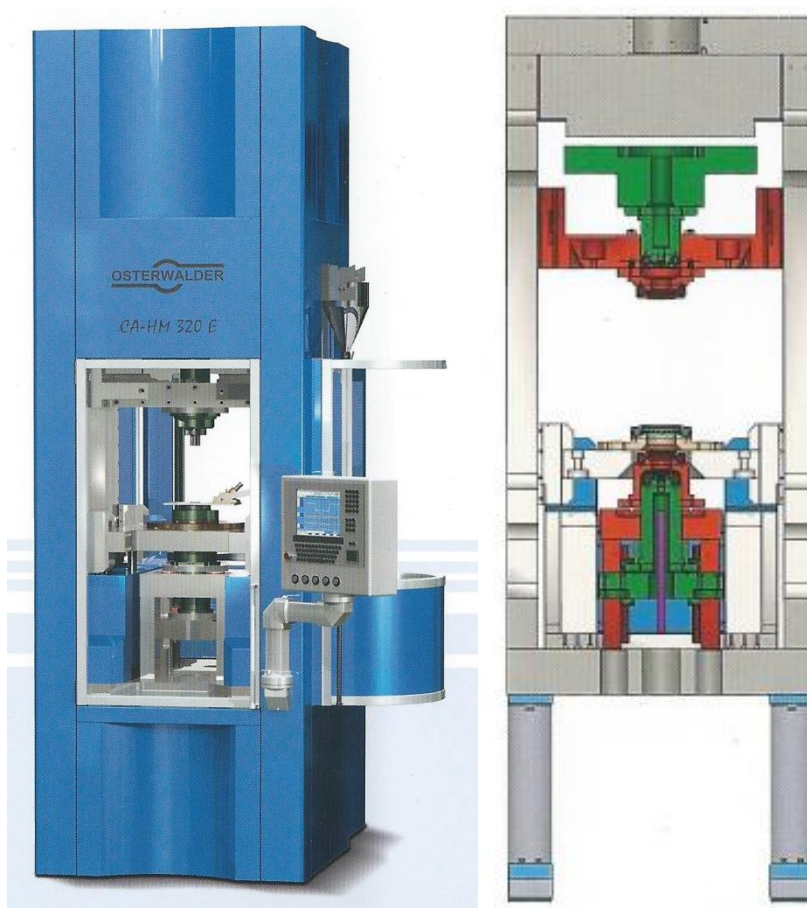
2.2.2 Elektrický lis Osterwalder CA-HM

Jde o středně velký elektrický lis s maximální silou 320 kN, který je opatřen modulem pro schopnost víceosého lisování. Díky tomuto systému uzavřené smyčky dosáhne proces lisování větších úspor týkající se druhotného obrábění a následného prášení [13].

System je vybaven až šesti servo-elektrickými moduly namontované na maticovou desku, který umožňuje flexibilní a rychlou montáž a demontáž jednotlivých bočních razníků. Pro vysokou přesnost jsou všechny pohyby této uzavřené smyčky ovládané přes dvojitý systém vřetena [13].

Výhody elektrického lisu CA-HM [13]:

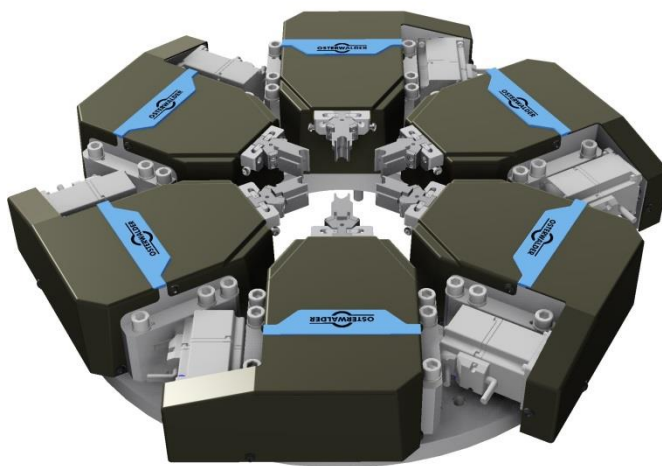
- nízká spotřeba energie
- přesnost opakování 0,002 mm
- žádný olej v lisovací oblasti
- malé rozměry
- minimální hluk
- nevyžaduje chlazení



Obr. 2.14 Elektrický lis Osterwalder CA-HM a jeho řez [13]

Tab. 2.3 Vlastnosti modulu pro víceosé lisování [13]

Křížové lisovací moduly	až 6
Aktivní lisovací síla	60 kN (až 4 moduly) 35 kN (5-6 modulů)
Zdvih	28 mm
Přesnost pozice opakování	+/- 0,001 mm
Střed lisování	+/- 12 mm (+/- 3°)
Plnicí výška	dle konceptu nástroje



Obr. 2.15 Modul pro víceosé lisování [13]

Závěr

Od počátku vývoje slinutých karbidů prošlo toto technologické odvětví velkou řadou vývojových změn. Nejvýraznější podmět k tomuto vývoji slinutých karbidů byl od výrobců nově vyvinutých materiálů, které bylo zapotřebí obrábět, a tehdejší dostupné materiály pro řezné nástroje nevyhovovaly tak, aby bylo dosaženo vysoké produktivity výroby. Každý rok je tedy vyvinuto velké množství nových materiálů a s tím i vhodný materiál na jeho obrábění.

Tato práce popisuje v první části informativní formou historii a rozdělení slinutých karbidů na povlakované a nepovlakované slinuté karbidy. Poté je zvláštní důraz kladen na firmu Pramet Tools, s.r.o. a její výrobu břitových destiček ze slinutých karbidů pomocí víceosého lisování. Tento proces výroby břitových destiček pomocí slinutých karbidů není ještě zdaleka tak rozšířen jako oboustranné lisování břitových destiček, protože počáteční náklady na zahájení této výroby převyšují počáteční náklady oboustranného lisování. Tyto vyšší pořizovací náklady by se z dlouhodobého hlediska měli investorovi vrátit, jelikož výrobní cena břitové destičky vyrobené pomocí víceosého lisování je značně nižší, protože se minimalizují dokončovací procesy. V závěru jsou popsány lisy, které se používají pro výrobu břitových destiček ze slinutých karbidů a v přílohách ukázky nových materiálů pro frézování a soustružení a příklady vyměnitelných břitových destiček z katalogů firmy Pramet Tools, s.r.o. a světové konkurenční firmy Iscar ČR s.r.o.

Tato práce může sloužit jako komplexnější informační zdroj o slinutých karbidech a následném zpracování ve firmě Pramet Tools, s.r.o. k výrobě břitových destiček pomocí víceosého lisování.

Seznam použitých zdrojů

- [1]. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2]. ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostrším – Označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. 02/2006.
- [3]. AB SANDVIK COROMANT. *Technická příručka obrábění*. Švédsko: Elanders, 2010. 895 s. C-2900: 7CZE/01
- [4]. MDME: MANUFACTURING, DESIGN, MECHANICAL ENGINEERING. *PROCESSING*. [online]. [2014] [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30007A/processing/processing.html>
- [5]. UNITED WOLFRAM. *TUNGSTEN CARBIDE POWDER*. [online]. [2015] [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.unitedwolfram.com/portfolio/tungsten-carbide-powder/>
- [6]. BARTHELMY, D. *Mineralogy Database*. [online]. [cit. 20.5.2015]. Dostupné z: <http://www.webmineral.com/>
- [7]. PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk, ČR. *O společnosti*. [online]. [2015] [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>
- [8]. IPROSPERITA.CZ. *Historie a současnost Pramet Tools*. [online]. © 2010-2012 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.iprosperita.cz/firmy/2145-historie-a-soucasnost-pramet-tools>
- [9]. LMS MOODLE. *PRÁŠKOVÁ METALURGIE*. [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/6638/mod_resource/content/0/Pr%C3%A1%20kov%C3%A1%20metalurgie.pdf
- [10]. DORMER PRAMET, s.r.o. *Nové výrobky 2015.1*. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/downloads/news%20catalogue%202015%20pramet%20cz-en%20screen.pdf>
- [11]. ISCAR ČR, s.r.o. *Katalog frézovacích nástrojů ISCAR*. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/FREZOVANI_ISCAR.pdf
- [12]. ISCAR ČR, s.r.o. *Katalog nástrojů pro soustružení a závitování*. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/SOUSTRUZENI_ISCAR.pdf
- [13]. Propagační materiály firmy Osterwalder.
- [14]. Archiv firmy Pramet Tools, s.r.o.
- [15]. DORMER PRAMET, s.r.o. *Nové výrobky 2014*. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.dormerpramet.com/downloads/pramet-catalogue-incl-cover_cz-en.pdf

Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin

°C	stupeň Celsia
Å min ⁻¹	rychlost povlakování
a _{pmax}	maximální hloubka řezu
a _{pmin}	minimální hloubka řezu
CACVD	Cascade Arc Plasma-assisted Chemical Vapour Deposition
CVD	Chemical Vapour Deposition
ČSN	Česká státní norma
f _{max}	maximální posuv na zub
f _{min}	minimální posuv na zub
GPa	gigapascal
HFCVD	Hot Fiament Chemical Vapour Deposition
HV	stupeň tvrdosti podle Vickers
ISO	The International Organization for Standardization
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
LCVD	Laser Induced Chemical Vapour Deposition
LPCVD	Low-Pressure Chemical Vapour Deposition
mm	milimetr
mm/s	rychlost posuvu
MPa	megapascal
nm	nanometr
ot/min	otáčky za minutu
Pa	Pascal
PVD	Physical Vapour Deposition
r _a	radius
WC	karbid wolframu
µm	mikrometr

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Mikrostruktura WC	10
Obr. 1.2 Mikrostruktura WC-Co	11
Obr. 1.3 Závislost tvrdosti karbidů na teplotě	14
Obr. 1.4 Wolframit	15
Obr. 1.5 Krystaly rutilu na pyrofilitu	15
Obr. 1.6 Tantalit	16
Obr. 1.7 Chromit	16
Obr. 1.8 Vanadit	16
Obr. 1.9 Kobaltit	16
Obr. 1.10 Schéma vzniku PVD povlaku	18
Obr. 1.11 Modely růstu vrstvy PVD povlaku	19
Obr. 1.12 CVD povlak firmy Sandvik Coromant (TiCN+ Al ₂ O ₃)	20
Obr. 1.13 PVD povlak firmy Sandvik Coromant ((Ti,Al)N)	20
Obr. 2.1 Logo firmy Pramet Tools, s.r.o.	22
Obr. 2.2 Fáze lisování prášku	23
Obr. 2.3 Schématický postup lisování břitové destičky	24
Obr. 2.4 Schéma lisování modulů ve více směrech	25
Obr. 2.5 Schéma vzniku čela břitové destičky s a) negativním úhlem b) pozitivním úhlem	25
Obr. 2.6 Rozdíl mezi negativním a pozitivním tvarem destičky	26
Obr. 2.7 Set lisovacího nástroje	26
Obr. 2.8 Břitová destička LNUX 301940SN-DM	27
Obr. 2.9 Deformace tvaru břitové destičky při lisování	27
Obr. 2.10 Korekce matrice	28
Obr. 2.11 Posunutí polohy otvoru v matrici	28
Obr. 2.12 Výsledky měření odchylek tvaru pomocí zařízení FGM	29
Obr. 2.13 Elektrický lis Osterwalder CA-SP a řez lisovací oblastí	31
Obr. 2.14 Elektrický lis Osterwalder CA-HM a jeho řez	32
Obr. 2.15 Modul pro víceosé lisování	33

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Vývoj materiálů slinutých karbidů	12
Tab. 1.2 Stupně ve vývoji tvrdých povlaků	18
Tab. 1.3 Tabulka porovnání PVD a CVD	21
Tab. 2.1 Technická data lisu Osterwalder CA-SP 160	31
Tab. 2.2 Technická data lisu Osterwalder CA-SP 320	31
Tab. 2.3 Vlastnosti modulu pro víceosé lisování	33

Seznam příloh

- Příloha 1 Seznam nových materiálů pro frézování firmy Pramet Tools, s.r.o. [15]
- Příloha 2 Nové výrobky a geometrie řezných destiček pro frézování Pramet Tools, s.r.o. 2015 [10]
- Příloha 3 Nové výrobky a geometrie řezných destiček pro soustružení Pramet Tools, s.r.o. 2015 [10]
- Příloha 4 Vyměnitelné břitové destičky pro frézování a soustružení firmy Pramet Tools, s.r.o [10]
- Příloha 5 Vyměnitelné břitové destičky pro frézování a soustružení firmy Iscar ČR, s.r.o. [11, 12]