



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA A OSTŘENÍ NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

PRODUCTION AND GRINDING/SHARPENING OF CEMENTED CARBIDE
TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID PROKEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Prokeš

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 a ostření nástrojů ze slinutých karbidů

v anglickém jazyce:

Production and grinding/sharpening of cemented carbide tools

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Představení prostředí ostřírny. Přehled a příprava brousicích kotoučů. Procesy ostření. Informace o povlakování nástrojů.

Cíle bakalářské práce:

Sestavení výrobních a ostřicích procesů v podmínkách firmy. Doložení databáze technologických údajů. Definování podmínek pro povlakování.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá popisem výroby rotačních nástrojů ze slinutých karbidů. Slinuté karbidy se jeví jako vhodný nástrojový materiál, který má široké možnosti použití vzhledem k houževnatosti a tvrdosti materiálu a relativně nízké ceně. Nové poznatky z výroby slinutých karbidů však i nadále zlepšují mechanické vlastnosti nástrojů. Nástroje ze slinutých karbidů jsou vyráběny na moderních 5-ti osých CNC nástrojařských bruskách umožňujících rychlou a přesnou výrobu tvarově složitých nástrojů. Moderní softwarové vybavení umožňuje jednoduché zadávání parametrů broušení a interakci s měřicím zařízením pro rychlé možnosti změny parametrů broušení. Všechny tyto vlastnosti jsou vhodné jak pro sériovou tak i kusovou výrobu nástrojů.

Klíčová slova

Slinutý karbid, rotační nástroj, nástrojařská bruska, 3D simulace, Saacke, NUMROTOplus

ABSTRACT

The bachelor thesis concerns the description of rotary tools made of cemented carbides. Cemented carbides appear as wide range tool material with reference to ductility, hardness of material and relatively low cost. New knowledge of cemented carbide manufacturing has still improved mechanical characteristics of this material. Tools made of cemented carbides are made on modern 5 axis CNC tool-making grinder machines which can be easily set with grinding parameters and interaction with measuring tools for quick parameters changeover. All of these qualities are suitable for serial and also piece tools production.

Key words

Cemented carbide, rotary tool, tool-making grinder, 3D simulation, Saacke, NUMROTOplus

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROKEŠ, David. *Výroba a ostření nástrojů ze slinutých karbidů*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojirenské technologie. 36 s., příloh 4. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

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

.....
Datum

.....
David Prokeš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji všem, kteří mě během studia a vypracování této bakalářské práce podporovali a byli nápomocní. Především však za cenné připomínky, předané informace a rady patří: Panu Ing. Milanu Kalivodovi, VUT Brno za vedení a podporu při vypracování bakalářské práce.

Panu kolegovi Lubomíru Tribulovi za podporu při návrhu tématu práce.

Panu Radku Švihálkovi a Ing. Jaroslavu Vejrostovi z firmy Rotana a.s. za umožnění nahlédnutí do výroby nástrojů.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	7
1 ÚVOD DO SLINUTÝCH KARBIDŮ	8
1.1 Historie	8
1.2 Vývoj slinutých karbidů	9
1.3 Složení slinutých karbidů	9
1.4 Rozdělení slinutých karbidů	9
1.5 Použití slinutých karbidů	10
1.6 Povlakování slinutých karbidů.....	10
2 VÝROBA NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ	13
2.1 Návrh nástroje	13
2.2 Volba polotovaru.....	13
2.3 Dělení materiálu	14
2.4 Příprava polotovaru	15
2.5 Broušení na kulato.....	16
2.6 Výroba nástroje	18
2.7 Brousicí kotouče	22
2.8 Pomocné výrobní technologie	23
2.9 Pomocná dílenská měření	24
2.10 Pomocné výrobní technologie	25
2.11 Povlakování nástrojů.....	27
3 OSTŘENÍ NÁSTROJŮ	29
3.1 Postup ostření.....	29
3.2 Nástrojové úhly	30
4 DISKUZE.....	31
4.1 Shrnutí BP.....	31
4.2 Možné další směry ve výrobě nástrojů	31
ZÁVĚR	32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	33
Seznam použitých symbolů a zkratk	35
SEZNAM PŘÍLOH	36

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá popisem slinutého karbidu jako materiálu pro výrobu rotačních nástrojů na moderních CNC nástrojařských bruskách. Je rozvíjen popis vlastní výroby nástrojů a jejich ostření, který může sloužit jako základ pro získání hlubších znalostí o dané problematice, která se z hlediska CNC technologií jeví jako zajímavá.

Výroba nástrojů je odvětví, které je nezbytné pro strojírenskou výrobu, avšak znalosti o postupech a metodách v této výrobě ustupují do ústraní na úkor výrobků těmito nástroji obráběnými. Proto si autor práce na základě této myšlenky položil otázku, jak se vlastně tyto nástroje vyrábějí? Z toho vznikla bakalářská práce, která popisuje výrobu a ostření nástrojů ze slinutých karbidů.

Slinutým karbidům jako materiálu vhodného na obrábění většiny současných materiálů v průmyslové výrobě je věnována v této práci pozornost od stručných historických souvislostí, které vedli k vývoji tohoto materiálu do současné podoby, tj. struktury, složení a práce s ním až po rotační nástroje, které jsou z tohoto materiálu obráběny na specifických CNC zařízeních, které dokážou obrobit, možná spíše „vymodelovat“, nástroje požadované geometrie a velikosti. Toho je docíleno použitím stroje, který dokáže pracovat v 5-ti nezávislých osách a zároveň brousicích kotoučů různých tvarů a velikostí, které jsou opět voleny dle parametrů nástroje.

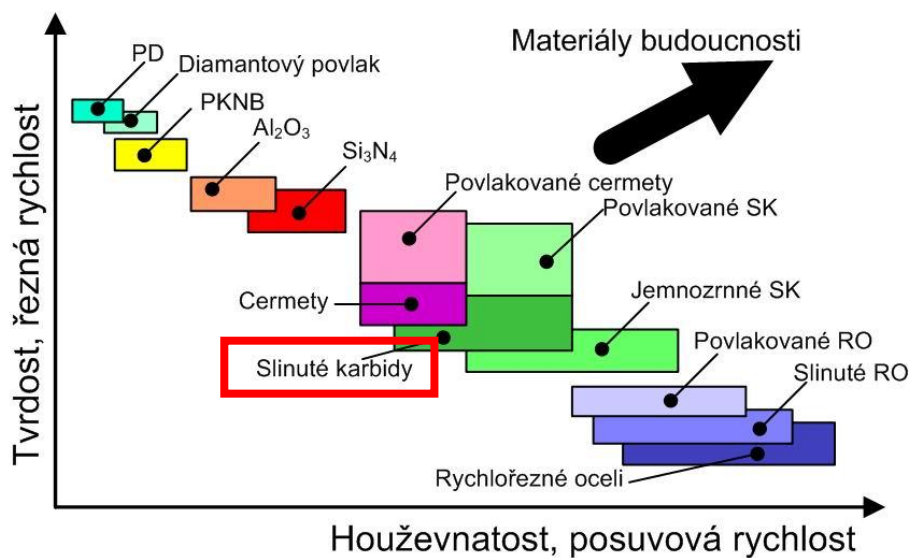
Současně s tím je nutné zmínit i další odvětví a pomocné technologie posouvající možnosti těchto strojů ještě o krok dále. Tím jsou například přesné optické měření, bez kterého by nebylo možné přesné a složité nástroje navrhovat, přesná kalibrace strojů náchylných na sebe-menší změny parametrů, přesné zpracování brousicích nástrojů, a dále zařízení zlepšující omezené možnosti procesu broušení, tj. především zlepšení povrchových vlastností obráběného materiálu, které je nezbytné pro následné povlakování, bez kterého se dnešní materiály neobejdou. I když by bylo možno říct, že tato činnost stojí v jiném odvětví výroby je povlakování materiálu, jako specifické a technologicky náročné činnosti také potřeba věnovat náležitou pozornost v souvislosti s obráběcími nástroji.



Obr.1 Příklady nástrojů z SK a simulace výroby [1].

1 ÚVOD DO SLINUTÝCH KARBIDŮ

Potřeba použití dostatečně houževnatého a zároveň tvrdého nástroje pro obrábění rozdílných materiálů vedlo k vývoji různých typů nástrojových materiálů. Vývoj vedl od základních nástrojových ocelí jako rychlořezná ocel, které ale postupem času nevyhovovaly kladeným požadavkům ve strojírenství, k vývoji supertvrdých materiálů v podobě syntetického diamantu a kubického nitridu boru.



Obr. 1.1 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky [2].

K vývoji jednotlivých typů nástrojových materiálů vedl intenzivní vývoj v oblasti obráběcích materiálů a rychlý rozvoj používaných konstrukčních materiálů, které bylo potřeba efektivně obrábět. [2]

1.1 Historie

Obrábění kovů jako rozšířený způsob výroby se začalo rozmáhat na začátku 19. století v souvislosti s průmyslovou revolucí. Neustálá nutnost vyrábět stále více produktů se stále vyšší produktivitou přivedla průmyslovou výrobu na dnešní úroveň technologie. [3]

V počátcích obrábění byly nejlepší používané materiály legovaná a nelegovaná uhlíková ocel. Trvanlivosti těchto nástrojů však byly velice nízké kvůli své nedostatečné odolnosti vůči vysokým teplotám, které vznikají i při malých řezných rychlostech. Prvním materiálem, který projevoval dostatečnou odolnost vůči tehdejším podmínkám v obrábění, byla tzv. Mushetova ocel, která se svými vlastnostmi blížila rychlořezné oceli. Experimentálními metodami s manganem vedli k objevu výrobních technologií kalení na vzduchu a znalostí o vlivu wolframu v materiálu. Wolfram jako legující prvek dosáhl podstatného zvýšení výkonu. Díky použití Mushetovy oceli bylo možné dosáhnout i zdvojnásobení produkce při soustružení díky vyšší odolnosti vůči teple.

Dalšími kroky vývoje nástrojových ocelí se staly následné metalurgické procesy a tepelné zpracování. Experimentálními pokusy přidáváním legujících prvků, obzvláště wolframu a chromu, a změnou obsahu jednotlivých složek docházelo ke zvyšování kalicích teplot a vzniku většího podílu tvrdých, tepelně odolných karbidů. Tyto pokusy položily základ vzniku nástrojů z rychlořezné oceli (HSS). [3]

Milníkem v obrábění oceli byly ovšem 30. léta 20. století, kdy došlo k vývoji prvních slinutých karbidů (Kapitola 1.2).

1.2 Vývoj slinutých karbidů

První slitina podobná dnešním slinutým karbidům se objevila v USA v roce 1907. Tato slitina obsahovala přibližně 50% vysokotavitelných karbidů oproti dnešním 94% i více. Slinuté karbidy s tímto obsahem tvrdých částic jsou vyráběny od roku 1926. První typy slinutých karbidů byly složeny především z karbidu wolframu, který dodával potřebné tvrdé části materiálu. Jako pojivo byl použit kobalt. Tímto složením, které znamenalo značný posun pro obrábění hliníku a šedé litiny, se však nedosahovalo dostatečného zlepšení při obrábění oceli, při kterém docházelo k přílišnému vymílání materiálu. [4]

1.3 Složení slinutých karbidů

Slinutý karbid je vyráběn za pomoci práškové metalurgie, kde jsou základem především různé druhy karbidů a kovového pojiva. Z těch nejzákladnějších karbidů je potřeba zmínit především karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Nejpoužívanějším typem pojiva je kobalt (Co). Slinuté karbidy se skládají dle technologie a požadovaného použití z tvrdých částic o velikosti $1\div 10\ \mu\text{m}$ v celkovém objemovém množství $80\div 95\ \mu\text{m}$. Poměry jednotlivých prvků závisí na typu použití, které utváří různé skupiny slinutých karbidů. Bližší rozdělení je popsáno v kapitole 1.4.

1.4 Rozdělení slinutých karbidů

Slinuté karbidy jsou děleny do 6 základních skupin (Obr. 1.2) dle použití a jsou zahrnuty v normě ČSN ISO 513. Jednotlivé skupiny se liší složením slinutého karbidu a množstvím jednotlivých legujících prvků. Každá skupina má tak dána specifické vlastnosti vhodné pro obrábění různých materiálů a také je určena jednotlivým barevným označením.



Obr. 1.2 Rozdělení slinutých karbidů (SK) do skupin ČSN ISO 513 [5].

Jednotlivé skupiny jsou pak dále děleny na podskupiny (viz příloha 1), kdy s rostoucím číslem třídy dochází ke zvyšování obsahu pojiva v materiálu (většinou kobalt), dále roste houževnatost a pevnost v ohybu, ale klesá tvrdost a otěrovzdornost. Je tak nutné vzít v potaz potřeby obrábění a zvolením vhodné třídy docílit optimálních režných podmínek.

Základní popis nejpoužívanějších typů slinutých karbidů (P, M, K), kde skupina P jsou jednodokarbidové, M dvoukarbidové a K vícekarbidové je: [2] [5]

SK typu P

- Složení: 30÷92 % WC, 8÷64 % TiC, 5÷17 % Co, další prvky (TaC.NbC)
- Třídy: P01 ÷ P50
- Použití: Pro obrábění železných kovů s dlouhou třískou jako uhlíkové oceli, slitiny oceli a feritické korozivzdorné oceli. Dochází ke vzniku velkých řezných sil a velkým opotřebením na čele (povlakováním TiC nebo TaC se výrazně zlepši odolnost proti opotřebením na čele nástroje).

SK typu M

- Složení: 79÷84 % WC, 5÷10 % TiC, 4÷7 % TaC.NbC, 6÷15 % Co, další prvky (TaC.NbC)
- Třídy: M01 ÷ M40
- Použití: Je možné použít pro různé materiály, které při obrábění utváří střední a dlouho třísku, tj. především lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Řezné síly střední až vysoké. Při použití dochází k vydrolování ostří.

SK typu K

- Složení: 87÷92 % WC, 4÷12 % Co, TaC.NbC, další prvky (TaC.NbC)
- Třídy: K01 ÷ K40
- Použití: Obrábění železných kovů s krátkou, lámavou třískou a neželezných kovů. Dochází k nízkým řezným silám. Opotřebením se projevuje adhezivní a abrazivní.

Kromě tří základních typů uvedených výše jsou dále uváděny další 3 typy N, S, H, které se ovšem kvůli svému speciálnímu užití nepoužívají v takovém rozsahu. Nejsou proto běžně uváděny při bližším popisu složení slinutých karbidů.

1.5 Použití slinutých karbidů

Jak je možné vidět z Obr. 1.1, oblast použití slinutých karbidů je jedna z nejširších ve střední oblasti houževnatosti a tvrdosti. Jejich použití je možné jak pro jemné obrábění, tak i hrubovací operace všech možných materiálů. Slinuté karbidy ve skupinách se dále dělí do podskupin. Možnosti použití jednotlivých typů slinutých karbidů jsou uvedeny v příloze 1.

Jako relativně levný a dostatečně odolný materiál má v současné době slinutý karbid velice široké užití, kterého se využívá ve spoustě různých odvětví a prozatím by se dalo říct, že nedochází k vytlačování jiným typem progresivních materiálů.

1.6 Povlakování slinutých karbidů

Povlakování materiálu se stalo nejdůležitější etapou vývoje nástrojových materiálů. Povlaky zaručují výrazné zlepšení otěruvzdornosti materiálu. Od 60. let 20. století tak došlo k rozvoji mnoha postupů a typů povlaků. Především se ale možnosti povlaků neustále zlepšují oproti prvním pokusům a umožňují neustálé posouvání možností obrábění pro všechny povlakované materiály.

První pokusy nanášení povlaků byly prováděny pomocí metody CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování). Později se objevily také povlaky nanášené pomocí metody PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování), základní porovnání vrstev je uvedeno v Tab. 1.2. Jako základní druhy povlaků jsou popisovány vrstvy se základním složením TiC, TiN, TiCN, TiAlN a Al₂O₃ (Tab. 1.1).

Tab. 1.1 Základní vlastnosti nejpoužívanějších povlaků [6].

TiN	Nitrid titanu	Základní, nejstarší používaná vrstva. Mikrotvrdotost 20÷25 GPa, barva zlatá. použitelný na většinu aplikací, ekonomicky výhodný. Dobrá elasticita a přilnavost.
TiAlN	Titan aluminium nitrid	Mikrotvrdotost 25÷33 GPa, barva růžovofialová po černošedou. Neustále využívanější na úkor TiN díky odolnosti proti vysokým teplotám. Při výrobě tvoří povrchovou vrstvu Al_2O_3 , která snižuje tření a zlepšuje řezné vlastnosti.
TiCN	Titan carbonitrid	Mikrotvrdotost 30÷40 GPa, barva hnědočerná. Obtížné dosahování rovnoměrnosti povlaku, spíše nahrazován TiAlN.
TiC	Karbid titanu	Typická šedá barva. Vyniká vysokou tvrdostí ale zaostává nižší teplotní odolností. Vhodný pro nízké řezné rychlosti.
Al_2O_3	Oxid hlinitý	Povlaky založené na bázi Al_2O_3 vzhledem k náročnému způsobu výroby (teplota přes 1000°C), jeden ze základních vrstev pro multipovlaky díky svojí vysoké termochemické stabilitou. Vhodný pro vysoké řezné rychlosti. Typická výroba především pomocí CVD.



Obr. 1.3 Příklad multivrstvy TiN+AlTiN při PVD nanášení [7].



Tyto základní povlaky se dají nanášet jak samostatně, ale s vývojem v oblasti vrstev tak v současnosti dochází spíše k aplikaci vrstvených povlaků, které se skládají kombinací povlakovacích materiálů a zaručují ještě vyšší odolnosti nástroje (Obr. 1.3). Současné trendy v oblasti povlakování by se daly shrnout na čtyři hlavní směry: [6]

- kombinace jednotlivých vrstev (tzv. multivrstvy, viz. Obr. 1.3) – střídání alespoň dvou druhů vrstev za předpokladu nepřekročení tloušťky zpravidla 4 μm . Kombinací dochází k vyšší tvrdosti a houževnatosti. Zvláštním druhem jsou tzv. supermřížky s tloušťkou několika nm, které zlepšují mezivrstevné vazby a výslednou kvalitu povlaku,
- zjemňování struktury povrchů – zmenšením zrn dochází k lepším bariérovým vlastnostem PVD povlaku pro přenos tepla,
- nové typy vrstev – zahrnuje pokusy nanášení PVD vrstev v současnosti možných pouze s pomocí CVD technologie, tj. vrstvy z plynů za vysokých teplot a tím ovlivnění základního materiálu,
- zdokonalování vlastností dotováním prvků.

Cílem vývoje povlaků je i nadále zlepšování užitných vlastností povlakovaných materiálu a zvýšení životnosti. Zároveň s tím je ale nutné podotknout že již povlaky v první fázi vývoje udělali obrovský skok v možnostech obrábění a odolnosti nástrojů a současné vylepšování

plyne z neustálé potřeby posouvat možnosti současné výroby a tím ji i zefektivňovat a také zlevňovat.

Tab. 1.2 Porovnání CVD, PVD způsobu nanášení povlaku na SK [8].

	Způsob nanášení	CVD - Chemické nanášení
	Teplota nanášení	700÷1050°C
	Vznik	Chemické reakce
	Vlastnosti	Vysoká odolnost proti otěru, výborná adheze ke slinutým karbidům
	Typy povlaků	Karbid Titanu (TiC) Aluminium (Al ₂ O ₃) Nitrid titanu (TiN) Moderní povlaky vznikající kombinací předchozích (MT-Ti(C,N), Al ₂ O ₃ +TiN)
	Způsob nanášení	PVD - Fyzikální nanášení
	Teplota nanášení	400÷600°C
	Vznik	Odpařování kovu reakcí s dusíkem za vzniku nitridického povlaku
	Vlastnosti	Vysoká tvrdost zvyšující odolnost proti otěru. Vnitřní pnutí zvyšuje houževnatost břitu a odolnost proti tepelným hřebenovým trhlinám
	Typy povlaků	Nitrid titanu (TiN) Karbonitrid titanu (Ti(C,N)) Titan aluminium nitrid ((Ti,Al)N) Oxidické vrstvy

2 VÝROBA NÁSTROJŮ ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

Výroba nástrojů ze slinutých karbidů, ale i jiných nástrojových materiálů jako PM nebo HSS, je důležitou součástí strojní výroby. Zároveň s tím je především na rotační nástroje kladen vysoký důraz na geometrickou přesnost a kvalitu nástroje, od kterého se dále odvíjí kvalita obrobků. V současnosti velice přísná kritéria tolerancí, kvality povrchu a strojních časů tak zadávají nutnost již při výrobě nástrojů použít nejmodernější metody, bez kterých by nebylo možné takto vysokých požadavků dosáhnout.

2.1 Návrh nástroje

Před vlastní výrobou požadovaného nástroje je potřeba důkladně stanovit všechny požadované parametry nového nástroje. Stejně jako při výrobě jakéhokoliv jiného výrobku je nutné stanovit přesně požadavky ještě před započítáním výroby a vyhnout se tak například problémům spojeným se změnami těsně před nebo během výroby. Výrobce nástroje požaduje následující data k návrhu vhodného designu:

- rozměr a tvar obrobku před opracováním,
- přesné rozměry a tvar obrobku po opracování,
- obráběný materiál, tepelné nebo jiné opracování, které mohou ovlivnit obrábění nástrojem,
- způsob upnutí nástroje,
- druh chlazení (vnitřní, vnější, mlhou),
- typ obráběcího stroje (horizontální, vertikální, frézovací, atd.),
- tuhost stroje,
- další specifické požadavky zákazníka (specifické řezné podmínky nebo jiné parametry).

Tyto informace jsou velice důležité pro design nástroje, protože mohou významně ovlivnit parametry obrábění. Nalezení optimální varianty nástroje je při obrábění spojené s volbou vhodných řezných rychlostí a posuvů. I při dnešním stupni technologie je při návrhu stále ve velké míře využíváno i znalostí jednotlivých technologů a konstruktérů, kteří mohou zajistit oproti tabulkovým hodnotám materiálů dodat vlastní znalosti a v mnohých případech docílit lepších výsledků na základě aktuálních podmínek.

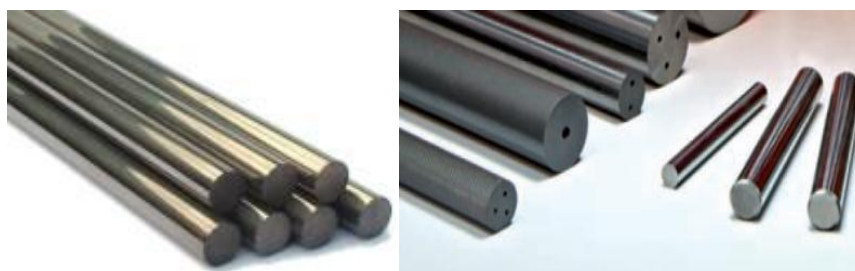
Pro návrh designu nástroje se používá CAD technologie, např. rozšířený CAD software Pro-Engineer, která zajistí přesné a snadné navržení obrobku. Postupně jsou při návrhu vytvořeny základní rozměry nástroje a skici, které jsou využity k předložení a posouzení navrhovaného řešení pro potřeby zákazníka. Při odsouhlasení požadovaného návrhu bez nutnosti fyzické výroby vzorků je tento návrh podstoupen k dalšímu kroku. Výkresy CAD je také možné rovnou transformovat do CAM

2.2 Volba polotovaru

Pro výrobu rotačních nástrojů jsou voleny polotovarové tyče ze slinutých karbidů s požadovaným průměrem. Druh slinutého karbidu je objednan dle požadovaného zadání na obráběný materiál, řezných podmínek a velikosti nástroje. Tyto parametry by již měli být stanoveny na základě objednávky. Bez těchto informací není možné docílit optimální varianty nástroje vzhledem k širokým možnostem výběru prodáváných polotovarů.

Jednotliví dodavatelé jsou také na základě požadavků schopni dodávat tvarové polotovary, které jsou vhodnější na výrobu tvarových nástrojů. Jako výhody se jeví menší úběr materiálu

a tím i zkrácení strojního času pro výrobu. (pozn.: Dodavatelé jsou schopní specifické požadavky na polotovary uspokojit do 4 týdnů od objednání.)



Obr. 2.1 Polotovar ze slinutého karbidu bez a s chladicím kanálkem [9].

Polotovary je možné dodat ve dvou provedeních:

- s přídavkem na broušení na kulato – přídavek 0,2 mm, je potřeba další operace,
- broušené s tolerancí povrchu H5 / H6 – již připravené od dodavatele materiálu, odpadá operace broušení na kulato.

Polotovary s přídavkem je nutné dále dokončovat. Tím je zajištěno přesné dokončení dle požadovaného zadání, tj. i přesnější parametry povrchu, než jsou dodávány běžné polotovary. Podle zvoleného provedení polotovaru je tak dále nutné zařadit do procesu výroby broušení na kulato. Bližší informace jsou popsány v kapitole 2.5.

2.3 Dělení materiálu

Dodané tyče je nutné dělit s ohledem na kvalitu řezné plochy a bezpečnost práce. Z tohoto důvodu je vhodné volit pro menší výrobu poloautomatickou řezačku, např. Anton Wimmer TM 374 [10], která disponuje automatickým, plynulým pohybem řezného kotouče s programovatelným CN řízením. Další výhodou je možnost připojení na centrální olejové hospodářství, které zefektivňuje možnosti výroby.



Obr. 2.2 Poloautomatická řezačka Anton Wimmer TM 374 [10].

Tato řezačka je univerzální stroj, který lze využít na více druhů materiálu, není tedy orientována pouze na řezání slinutých karbidů, ale například také na keramický materiál, kalené materiály a další. Disponuje výkonnou pohodnou jednotkou, kterou lze volitelně osadit i silnějším motorem (Tab. 2.1). Tyto parametry vedou ke zkrácení času a vysoce kvalitní řezné ploše. [11]

Stroj disponuje pneumatickým uchycením řezaného materiálu umožňující snadné a rychlé upnutí především kulatého polotovaru a senzorem tlaku, který zabezpečuje prevenci proti zlomení kotouče nebo obrobku. CN řízení zajišťuje spolehlivé nastavení délky s požadovanou tolerancí, které lze jednoduše nastavit.

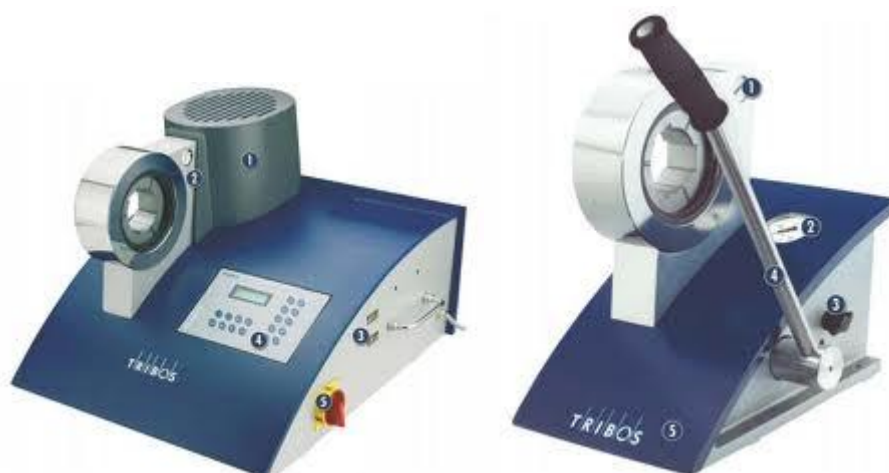
Tab. 2.1 Technická data [10]

Maximální řezání průměr	max. Ø 50 mm
Průměr kotouče	Ø 200 mm
Výkon motoru	1,5 kW (volitelně 3 kW)
Zdroj	400V 3 fáze – 50 Hz
Broušící rychlost	0,1 – 1 mm.s ⁻¹
Barevné provedení	RAL 7035 (světle šedá)
Hmotnost	cca 400 kg
Rozměry (d×š×v)	95×82×195 cm

2.4 Příprava polotovaru

Pro potřeby další výroby je vhodné jednotlivé polotovary předpřipravit – upnout do vhodných držáků, v kterých lze polotovar obrábět po celou dobu výroby nástroje. Jako vhodné se jeví patentované silové upínání Tribos, které využívá meze pružnosti materiálu držáku. Držák je tlakem deformován, do polygonálního otvoru vložen materiál pro nástroj a tlak opět povolen, tím dojde k navrácení elastické deformace materiálu a upnutí obrobku. (Tab. 2.2)

Přesnost upínání tohoto systému je do 0,003 mm, které je dostatečně pro následné broušící operace.



Obr. 2.3 Tribos hydraulický stroj na upnutí obrobku: a) automatický, b) mechanický [12].

Výhody tohoto řešení spočívají v kompaktnosti upínacího systému bez porušení materiálu a zvláštních požadavků na stroj, získaný prostor kolem nástrojového držáku, který lze lépe vyu-

žit pro pohyb broušícího kotouče a jeho lepší výběh, tj. dokončení požadované dráhy bez nutnosti výměny kotouče nebo přenastavování obrobku.

Tab. 2.2 Vizualizace způsobu upnutí Tribos [13].

1)		Volná pozice bez působení síly, polygonální tvar držáku
2)		Působením hydraulické síly čelistí je vyvinuta síla (ve směru šipek), vnitřní průměr je kulatý
3)		Stopka obrobku je vložena do vnitřního průměru držáku (zelený šraf) za stálého působení síly
4)		Působící hydraulická síla je uvolněna a vnitřní průměr se vrací do svého původního tvaru (polygonální tvar) a tímto svírá stopku nástroje (ve 3 bodech). Veškeré deformace držáku jsou konány v oblasti elastické deformace materiálu.

2.5 Broušení na kulato

Operace broušení na kulato je jedna z prvních broušících operací. Je nezbytná pro nebroušené polotovary (viz. kapitola 2.2). Materiál je od výrobce dodáván s přídavkem 0,2 - 0,3 mm. V případě broušených polotovarů s tolerancí H6/H5 není tato operace nutná a přechází se k vlastní výrobě nástroje popsané v následující části 2.6.

Broušení na kulato zajišťuje dostatečnou toleranci polotovaru, především zamezující možnému házení obrobků používaných při vysokých otáčkách. Po broušení je polotovar dostupný dle požadovaných parametrů průměru také s tolerancí H6/H5. Na operaci jsou používány speciální brusky navržené pro broušení na kulato. Můžeme použít například stroj Junker Grindor Silver (Obr. 2.4). Stroj je vhodný pro broušení širokého spektra rozměrů polotovarů a vysokým přesností broušení (Tab. 2.3). Možnosti pracovního rozsahu při broušení na kulato jsou znázorněny na Obr. 2.5.



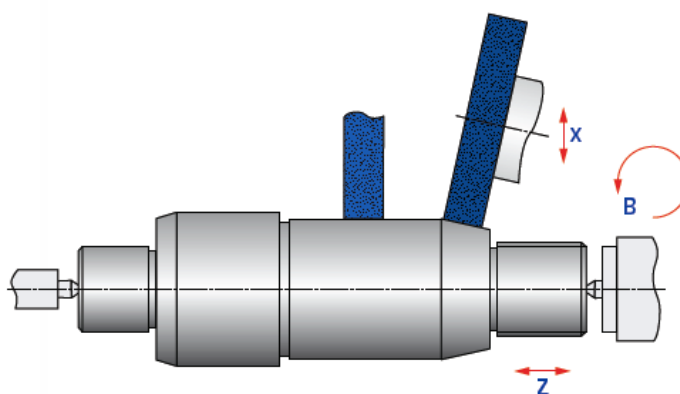
Obr. 2.4 Junker Grindor Silver pro broušení na kulato [14].

Tab. 2.3 Základní technická data [14].

Údaje o obrobku	
Délka upnutí	max. 800 mm
Výška hrotu	150 mm
Hmotnost obrobku	max. 80 kg (mezi hroty)
Příčná osa (Osa X)	
Max. dráha	350 mm
Rychlost	0,001 – 12 m.min ⁻¹
Rozlišení	0,0001 mm
Podélná osa (Osa Z)	
Max. dráha	1000 mm
Rychlost	0,001 – 12 m.min ⁻¹
Rozlišení	0,0001 mm
Brousící vřeteník (Osa B)	
Programovatelný s ručním natočením	
Rozsah natačení	max. 210° (±20*)
Rozlišení	0,0001 mm
Vnější vřeteno brousícího kotouče	
Výkon motoru	5 kW (vysokofrekvenční řízení) (7,5 kW s řemenovým pohonem)
Průměr brousícího kotouče	400 – 290 mm
Šířka brousícího kotouče	max. 63 mm
Pracovní přesnost	
Rovinnost povrchové přímky	0,005 / 800
Hodnoty připojení	
Celkový příkon	20 kVA
Rozměry (d × š × v)	3340 × 2000 × 2050 mm
Hmotnost	5500 kg

Navrhovaný stroj vyniká dle výrobce v:

- velmi jednoduché obsluze,
- vysoké spolehlivosti a přesnosti,
- možnosti použití brusiva: korund, CBN, diamant,
- dodávaný obslužný software s dotykovou obrazovkou a jednoduchým způsobem programování.



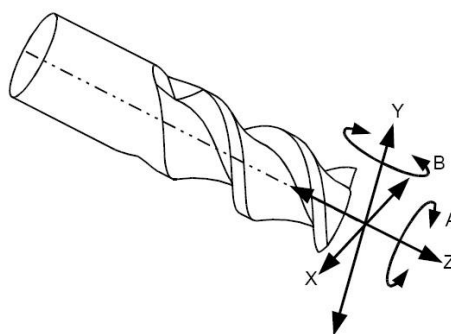
Obr. 2.5 Vizualizace pohybových os (Junker Grindor Silver) pro broušení mezi hroty [14].

2.6 Výroba nástroje

Pro výrobu moderních nástrojů ze slinutých karbidů, ale i jiných materiálových nástrojů, je vysoce efektivní a vhodné vybrat moderní, 5-ti osé CNC nástrojařské brusky.

Moderní stroje umožňují interpolace bodů ve všech 5-ti osách, které zajistí dostatečně vedení brousící kotouče po dráze obrábění vrtáků, fréz, stupňovitých nástrojů a jiných tvarově složitých nástrojů. 5-ti osé stroje tak zaručí maximální možnou flexibilitu nutnou pro obrábění tvarově složitých nástrojů. Vizualizace možností pohybu os na těchto strojích je znázorněna na Obr. 2.6.

Výrobci strojů nabízejí spektrum svých výrobků dimenzovaných na odlišné velikostní požadavky jak série, tak obrobků. I pro nástrojařské brusky je tak možné vybírat tak, aby bylo možné do stroje upnout obrobek podle délky obráběného nástroje, průměru brousícího kotouče (Tab. 2.4) a také dané požadované výrobní série.



Obr. 2.6 Zobrazení 5-ti osého systému pro nástrojařské brusky [15].



Obr. 2.7 CNC Bruska a) Saacke UW I F, b) Saacke UW I G [1].

Pro výrobu nástrojů lze využít brusek SAACKE GmbH, které patří tradičním strojům v tomto odvětví a řadí se k jedněm z nejlepších výrobců. Dlouhá tradice výroby dělají z těchto strojů vysoce výkonná zařízení, optimalizovaná speciálně na výrobu nástrojů s velice dobrou podporou ze strany výrobce.

Tab. 2.4 Technická data [1].

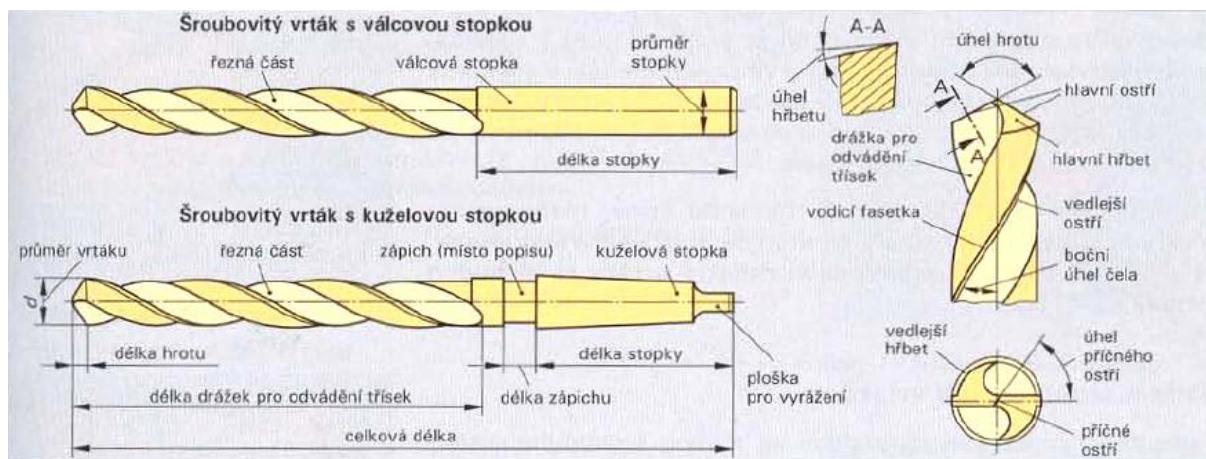
	Saacke UW I D	Saacke UW I F	Saacke UW I G
Údaje o nástroji (obrobku)			
Max. průměr	250 mm	200 mm	300 mm
Max. průměr pro kompl. opracování	250 mm	230 mm	-
Max. délka při kompl. opracování	430 mm	-	430 mm (volitelně 630 mm)
Délka obrobku mezi hroty	-	-	480 mm (volitelně 550 mm)
Celková výška hrotu	195 mm	-	195 mm
Broušící dráha (Osa X)			
Podélný pohyb	625 mm	530 mm	560 mm (vol. 760 mm)
Posuv	0 – 15 m.min ⁻¹	0 – 15 m.min ⁻¹	0 – 30 m.min ⁻¹
Příčný pohyb (Osa Z)			
Podélný pohyb	305 mm	320 mm	770 mm
Posuv	0 – 15 m.min ⁻¹	0 – 15 m.min ⁻¹	0 – 30 mm
Vertikální pohyb (Osa Y)			
Vertikální pohyb	305 mm	400 mm	320 mm
Posuv	0 -15 m.min ⁻¹	0 – 15 m.min ⁻¹	0 – 20 m.min ⁻¹
Broušící vřeteno (Osa B)			
Otočení v horizontální rov.	240°	240°	270°
Průměr motoru vřetena	Ø 170 mm	-	Ø170 mm
Upnutí kotouče	HSK – C 50	HSK – E50	HSK-C / E50

Otáčky vřetena	2000 – 10000 min ⁻¹	2000 – 12000 min ⁻¹	2000 – 12000 min ⁻¹
Max. průměr kotouče	Ø150 mm	Ø150 mm	Ø200 mm
Zásobní kotoučů			
Počet míst v zásobníku	4 (volitelně 8)	2 (volitelně 4)	6 (volitelně 12)
Nosič obrobku (Osa A) - S přímým pohonem			
Upnutí	ISO 50	ISO 50	ISO 50
Počet znaků	1 - 999	-	-
Přesnost znaků (dělení)	± 15“	±15“	±15“
Max. otáčky vřetene	600 min ⁻¹	600 min ⁻¹	-
Rozlišení			
Osy X, Y, Z	0,0001 mm	0,0001 mm	0,0001 mm
Osy B, A	0,0001°	0,0001°	0,0001°
Příkon			
Hlavní motor	26 kW	5 kW (volitelně 16 kW)	26 kW (volitel- ně 36 kW)
Ostatní motory	3 kW	2 kW	3 – 7 kW
Celkový příkon			
	28 kW	20 kW	-
Hmotnost			
	5200 kg	3500 kg	7600kg

Pro vlastní výrobu nástroje je nutné znát následující vstupní parametry geometrie, které vychází z výkresu nástroje. Tím jsou:

- nástrojové úhly,
- typ a úhly šroubovice (pro určité nástroje),
- délkové rozměry nástroje.

Obr. 2.8 poslouží jako příklad znázornění geometrie břitů monolitního šroubovitého vrtáku s kuželovou stopkou. Zde jsou znázorněny jednotlivé výše zmíněné parametry nezbytné pro správný návrh nástroje.



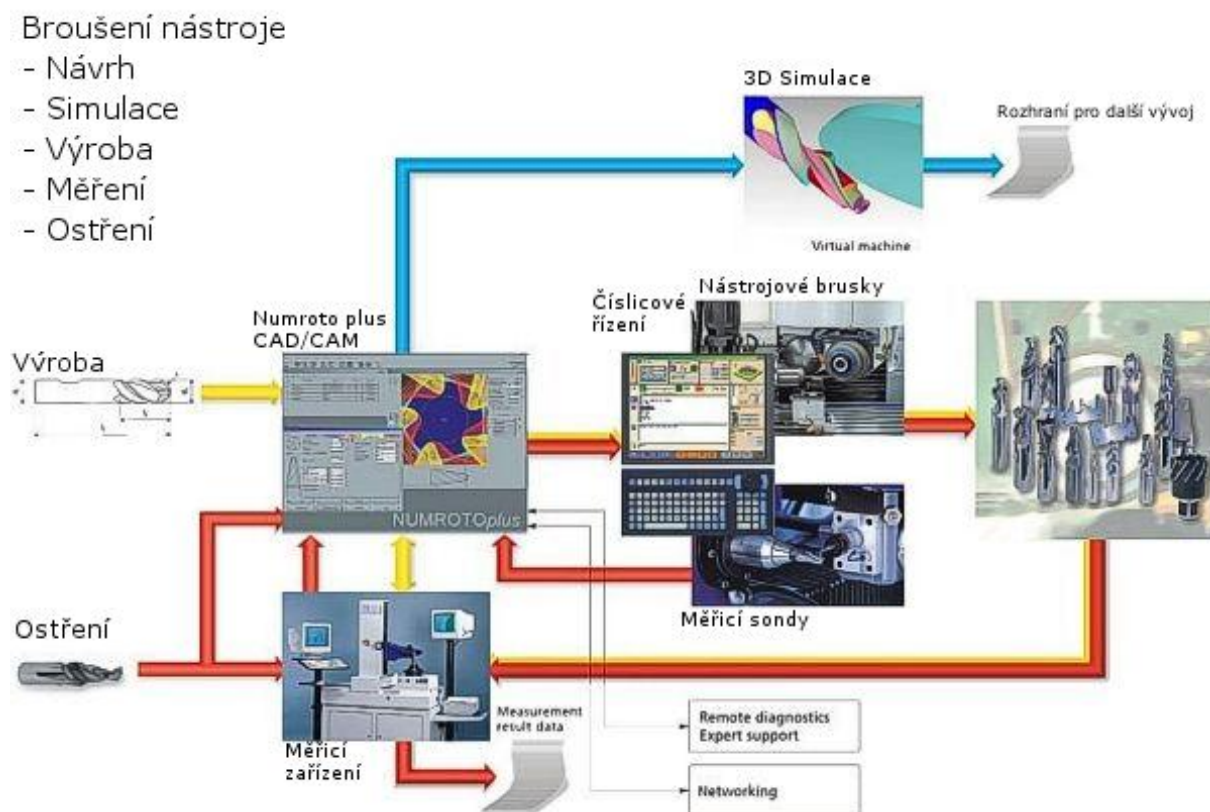
Obr. 2.8 Geometrie monolitního šroubovitého vrtáku [16].

Vhodně zvolená geometrie nástroje významně ovlivňuje řezné podmínky. Volba optimálních úhlů břitů nástroje vede ke zvýšení trvanlivosti a vyšší efektivitě. Při správně volených parametrech by mělo být docíleno:

- maximální trvanlivosti nástroje,
- dostatečné pevnosti břitu,
- nižšího namáhání stroje,
- klidného průběhu obrábění,
- požadované přesnosti a jakosti obráběného povrchu.

Vzhledem k situaci, kdy jednotlivé požadavky nelze spolehlivě sloučit k nejlepšímu možnému výsledku, je nutné pro jednotlivé parametry leckdy volit kompromisní hodnoty tak, aby bylo docíleno nejlepšího možného výsledku. Nicméně i z těchto parametrů mírně vystupuje do popředí požadavek na co největší trvanlivost nástroje, který je obzvláště důležitý v hromadné výrobě, kde každá výměna nástroje znamená významné ztráty ve výrobě. Pro hromadnou výrobu se tak především hledá specifické optimální nastavení geometrie nástroje a nevyužívá se levnějších standardizovaných parametrů.

Velikou výhodou současných univerzálních broušicích center je implementování ovládacích systémů, které umožňují jednoduché zadání požadovaného tvaru nástroje za pomoci interaktivního grafického průvodce na displeji stroje. Jedním z takovýchto programů je NUMROTOPlus [17], který je již zároveň dodáván na nástrojařských bruskách firmy Saacke GmbH (Obr. 2.9). [1]

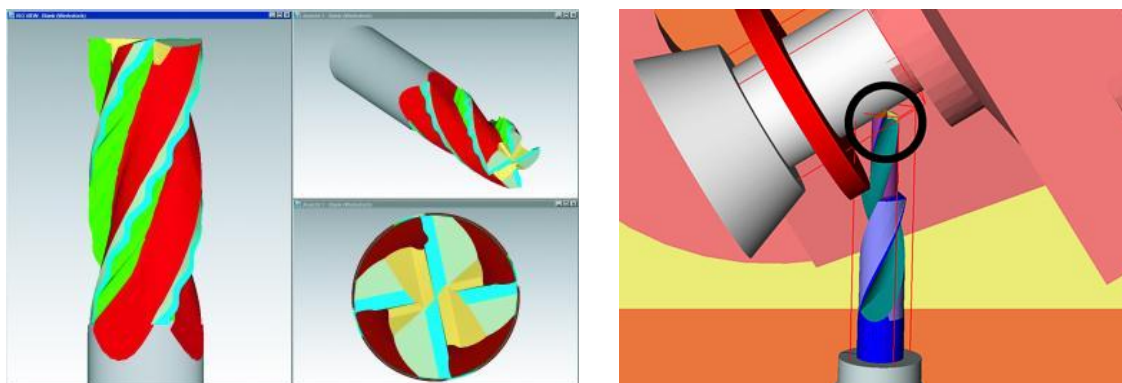


Obr. 2.9 Schéma návrhu nástroje pomocí softwaru NUMROTOPlus [17].

Před započítím výroby jsou pomocí integrovaného průvodce zadány rozměry nástroje. Systém je navržen tak, aby bylo zadání parametrů pro uživatele co nejsnazší a nejrychlejší. Uvá-

děná doba zadání pro monolitní šroubovitý vrták je dle údajů firmy Saacke GmbH kolem jedné minuty, kdy je možné okamžitě vidět grafickou podobu navrženého nástroje (Obr. 2.10a). [1] [17]

Před spuštěním samotné výroby je možné (a doporučované) si prohlédnout simulovanou výrobu, kde je zohledněno použití nástrojů, velikosti upínání, poloha vřeten a nástroje konkrétního stroje. Můžeme se tak ve výrobě vyhnout nežádoucím kolizním stavům (Obr. 2.10b), nesprávně zadaných parametrů broušení nebo nevhodně zvolené nástroje pro broušení.



Obr. 2.10 NUMROTOplus 3D a) Vizualizace nástroje, b) Simulace kolizního stavu [17].

Po kontrole a spuštění procesu pak již probíhá výroba automaticky díky řetězovým zásobníkům obráběných materiálů a zásobníkům brousících kotoučů. V tuto chvíli je tak již pouze nutné kontrolovat v intervalech správné výstupní parametry obrobenejších nástrojů bez nutnosti neustálého zasahování do procesu.

2.7 Brousící kotouče

Pro výrobu nástrojů ze slinutých karbidů jsou využívány především diamantové kotouče, které dokážou nejlépe reflektovat vysoké požadavky na stabilitu procesu. Při broušení SK tak nedochází k zanášení brousící vrstvy a tím ke ztrátě brousících vlastností kotouče. Pro porovnání se diamantové kotouče používají také na broušení keramiky, skla, kamene a jiných podobných materiálů.

Jednotlivé kotouče se liší tvarem, druhem použitého pojiva a tvarem a velikostí diamantového zrna. Jako pojivo je nejvíce využíváno pryskyřice nebo kovového pojiva s tím, že pro broušení nástrojů z SK je v převážné většině využito kotoučů s kovovou vazbou a je doporučováno vždy využít chlazení, které zvyšuje výkon diamantových nástrojů.

Tab. 2.5 Řezné podmínky pro opracování SK [18].

Druh broušení	Vazba kotouče	Řezná rychlost	Rychlost otáčení obrobku	Podélný posuv	Příčný posuv	Přísuv
		$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{mm}\cdot\text{průchod}^{-1}$	mm
Ostření nástrojů	pryskyřičná kovová	20 - 25 15 - 20	20 - 30 20 - 30	1 - 1,5 1 - 1,5	0,5 - 1 0,5 - 1	0,01 - 0,03 0,02 - 0,05
Rovinné broušení	pryskyřičná kovová	25 - 30 15 - 25		4 - 5 1 - 3		0,01 - 0,03 0,02 - 0,05
Vnitřní broušení	pryskyřičná kovová	10 - 25 10 - 20				0,005 - 0,01 0,01 - 0,02
Broušení	pryskyřičná	25 - 30				0,005 - 0,02

na kulato	kovová	20 - 30				0,01 - 0,03
-----------	--------	---------	--	--	--	-------------

Pro správnou volbu typu kotouče je vhodné dodržet následující zásady, které zohledňují např. typ obráběného slinutého karbidu, požadované výsledné drsnosti a typ operace. Jako příklad poslouží výběr z těchto zásad:

- Druh brusiva podle obráběného materiálu – pro wolframový SK doporučováno jako brusivo SiC C49 (zelený) a jako spíše vhodný SiC C47 (černý).
- Zrnitost brusiva – je volena dle požadované drsnosti povrchu obrobku.
 - Ra 0,05 ÷ 0,2 μm zrnitost 46 ÷ 200.
 - Ra 0,2 ÷ 1,6 μm zrnitost 30 ÷ 60.
 - Ra 1,6 a více zrnitost 10 ÷ 36.
- Tvrдость kotouče – je volena podle materiálu a způsobu broušení.
- Pojivo – pro diamantové kotouče především kovové (viz informace výše).

Nejběžněji používané typy brousících kotoučů jsou zobrazeny v příloze 3 [19].

2.8 Pomocné výrobní technologie

Kontrolní měřicí zařízení

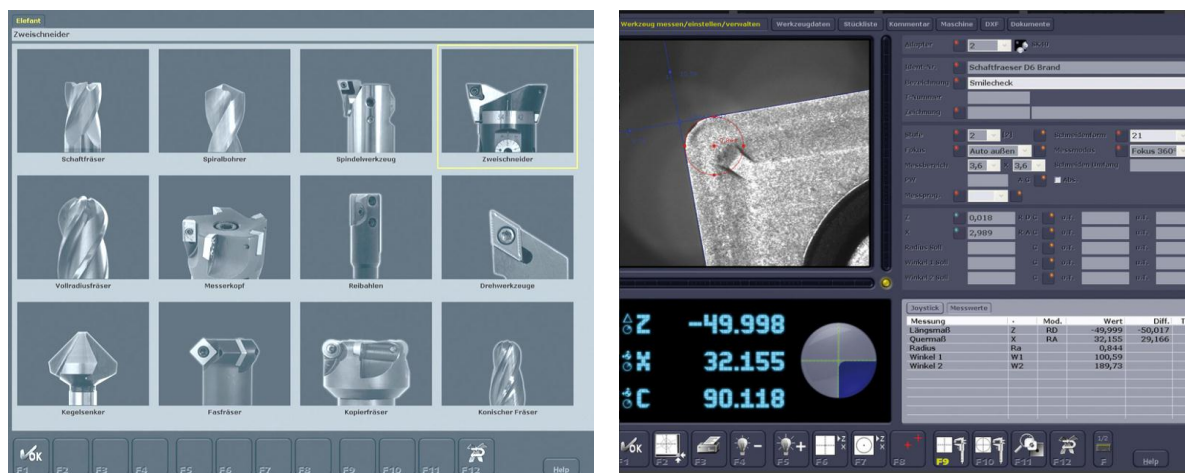
Pro přesnou a kvalitní výrobu je nezbytné pomocné měření pro potvrzení požadovaných výsledků. Pro tvarově složité měření, jako jsou nástrojové úhly na obráběcích nástrojích, není kontaktní měření vhodné. Pro takováto měření je vhodné využít optické měřicí zařízení, které dokáže bezkontaktní metodou poskytnout požadovaná výstupní data s vysokou přesností i pro tvarově složité výrobky. V tomto případě jsou vhodná univerzální zařízení navržená na měření nástrojů.

Moderní optické bezkontaktní měřicí zařízení jsou dodávána i s ovládacím software umožňujícím jednoduché nastavení parametrů měření. Po nastavení již probíhá kontrola zcela automaticky a zajišťuje tak efektivní získání výsledků. Výstupní data lze přenést do brousícího centra a dát vazbu o parametrech broušení přímo ovládacímu systému. Tím je zajištěna rychlá zpětná vazba bez nutnosti manuálního přenášení získaných informací a z toho plynoucí vyšší produktivity práce bez nutností ručních zásahů operátora.



Obr. 2.11 Zoller >>genius 3<<, 5-ti osé měřicí CNC zařízení [20].

Měřicí zařízení jsou vyráběna jako 3-osé nebo 5-ti osé stroje. Dle požadavků na měření je tak zajištěno 100% proměření požadovaných rozměrů. Díky možnostem zobrazování lze měřit široké spektrum rozdílných, tvarově náročných nástrojů (Obr. 2.12a).



Obr. 2.12 a) Možnosti měření rotačních nástrojů, b) Reálné zobrazení měření [20].

Pro navrhované měření lze využít měřidla firmy Zoller, které využívají vlastní software >>pi-
lot 3.0<<. Optická měřicí zařízení s vysokým rozlišením dokážou zobrazit reálný pohled na
měřenou součást včetně přesného měření požadovaných rozměrů (Obr. 2.12b). Lze tak velice
efektivně zajistit kontrolu vyrobených nástrojů.

2.9 Pomocná dílenská měření

Mikroskop s kamerou

Dílenské měřidlo je využíváno obzvláště pro měření opotřebení nástrojů před ostřením (Kapi-
tola 3). Je možné provádět optickou kontrolu včetně zadokumentování i pro zkoušené nástroje
při hledání optimální varianty nástroje.

Profiloměr pro kontrolu a měření zaoblení řezné hrany

Používá se pro měření zaoblení řezné hrany. Správné zaoblení je důležité pro dosažení
správné trvanlivosti nástroje, aby nedocházelo k vylamování ostří. Požadovaného zaoblení se po
broušení dosahuje při řízeném otupování hran (viz. kapitola 2.10).

Toto zařízení je možné využít pouze k měření
drobných dílců, dle konkrétního typu zařízení
50 – 100 mm. Data jsou zpracována v digitální
podobě, takže nedochází k nepřesnému vyhod-
nocování výsledků



Obr. 2.13 Mitutoyo Contracer – profiloměr [21].

Zaměřovací kufr – přesné zaměření a kalibrace CNC brusek Saacke

Jako pomocné měřidlo lze dokoupit k nástrojařským brusům Saacke GmbH kalibrační sadu. Pomocí tohoto dodatečného zařízení lze svépomocí a rychle zajistit základní kalibraci stroje. Přesná a spolehlivá kalibrace je základní předpoklad kvalitní výroby přesných nástrojů.

Proměření pomocí sady probíhá po upnutí plně automaticky pomocí předdefinovaného kalibračního programu, není tak potřeba specifických znalostí na zajištění dílenské kalibrace. Tímto je zajištěno proměření všech lineárních a rotačních os, 3D dotykových sond a zakládacích palet. Výsledné hodnoty jsou poté přeneseny automaticky do řídicích modulů stroje [22]. Celý proces překalibrování pomocí dodávané sady trvá okolo 10 minut. Za krátký čas je tak možné dosáhnout nejvyšší možné přesnosti.



Obr. 2.14 Zaměřovací sada Saacke [1].

2.10 Pomocné výrobní technologie

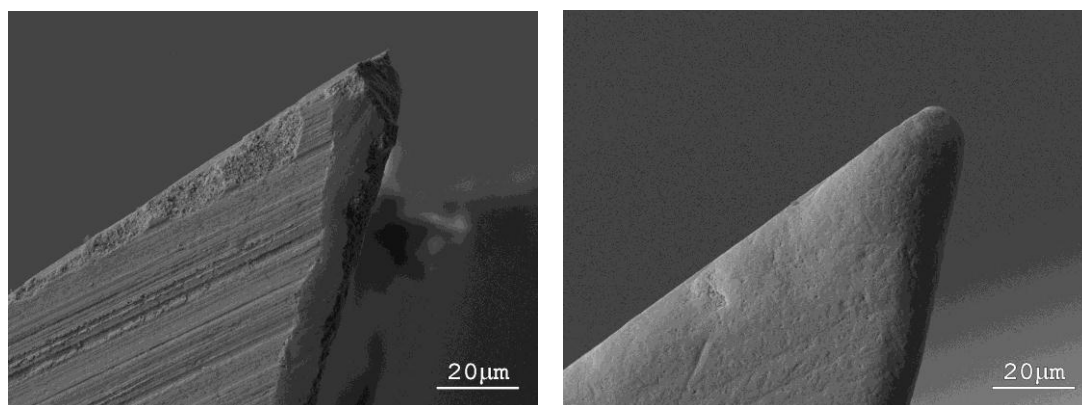
Řízené otupení hrany

Po dokončení broušení nástroje dostáváme nežádoucí ostré hrany s velmi malým poloměrem zaoblení, které by při obrábění mohly způsobovat vylamování ostří. Zároveň je povrch materiálu narušen od brusných zrn kotouče (Obr. 2.16a) a může tak být ovlivněna přilnavost pro následné povlakování. Pro tyto případy se používá metody vibračního omílání, tzv. trovalizace.



Obr. 2.15 Zařízení na řízené otupení hrany OTEC. [23]

Metoda, při níž je za pomoci keramických brousících tělísek různých tvarů a velikostí a pracovní tekutiny (voda), zajištěno relativního pohybu materiálu uvnitř válcových nádob pomocí vibračních motorů. Omíláním slinutých karbidů je drobným úběrem materiálu docíleno zvýšení trvanlivosti nástroje z důvodu lepších povrchových a geometrických vlastností (Obr. 2.16) a také zlepšení adheze povlaku, jak již bylo zmíněno výše.



Obr. 2.16 Špička nástroje a) před, b) po omílání [24].

Kromě nástrojů je tato metoda využívána ke zlepšení povrchových parametrů i jiných tvarově náročných obrobků z různých odvětví průmyslové výroby. Pro příklad je tato metoda využívána pro dokončování keramiky, ozubených kol a jiných součástí z automobilového a leteckého průmyslu.

Orovnání brousících kotoučů

Pro správné parametry nástroje je nutné zajistit, aby měl brousící kotouč požadovaný tvar a geometrii. Optimální požadované podmínky kotouče jsou docíleny za pomoci orovnávacích kotoučů.

Brousící zrna v kotouči ubírají materiál pouze tehdy, jsou-li ostrá a nachází se mezi nimi dostatečný prostor pro odchod třísky. Mezery a ostrost zrn se zmenšují s tím, jak je kotouč používán a jak třísky mezery zanáší. Tím dochází k uhlazení povrchu kotouče, který tak již nemůže vykonávat svou funkci. Orovnáním kotouče dojde k obnovení ostrosti zrn a velikosti mezery.

Účelem orovnávacího je [25]:

- vytvořit nebo obnovit na brousícím kotouči požadovaný geometrický tvar,
- odstranit broušený materiál a prach ze struktury kotouče,
- obnovovat řezivost kotouče (zajistí se odstraněním otupené vrstvy),
- ovlivnit způsobem orovnávacího jakost broušeného povrchu obrobku, resp. drsnost jeho povrchu.

Při orovnávacího diamantových kotoučů je nutné z technologických důvodů dodržet několik zásad, které nám umožní dosáhnout požadovaných parametrů kotouče. Pro výběr je uvedeno několik základních zásad [25]:

- volba správného typu orovnávacího (vzájemný pohyb kotouče a orovnávacího),
- volba typu orovnávacího (jednodiamantový, vícediamantový),
- zacházení s diamantovým kotoučem jako citlivým materiálem na změny prostředí,
- dodržení správného vedení a upnutí orovnávacího,
- dodržení sklonu orovnávacího ($5 \div 15^\circ$ pod středem kotouče ve směru jeho pohybu),
- zajištění konstantního běhu kotouče během celého procesu orovnávacího, dodržení hloubky třísky u kotouče (do 0,03 mm u jednodiamantových, do 0,05 mm u vícediamantových) zamezující velkému opotřebení diamantu.

Vyvážení brousících kotoučů

Vzhledem k vysokým geometrickým přesnostem obráběných nástrojů je nezbytné také zajistit, aby docházelo k efektivnímu a rovnoměrnému úběru materiálu. Proto je doporučováno brousící kotouče před použitím vyvážit. Tím je zajištěno odstranění házení kotouče, tj. snížení opotřebení, případné kvalitativní nedostatky na obráběném materiálu a také zaručuje snížení zatížení ložisek vřetene stroje.

K vyvažování kotoučů je možné například využít digitálního opticko-laserového zařízení značky Haimer GmbH (Obr. 2.17). Pomocí zařízení lze odstranit radiální i axiální házení kotouče. V případě brousících kotoučů je případné nevyvážení odstraňování pomocí axiálních stavitelných šroubků po obvodu kotouče.

Stejné zařízení je používáno i na vyvažování vysoce namáhaných součástí jako například oběžné kolo turbokompresoru, vrtacích nástrojů nebo vysokoobrátkových fréz.



Obr. 2.17 Haimer Dynamic 2002 Economic. [26]

Způsob vyvážení kotouče může probíhat několika způsoby. Buď se kotouče navrtávají pro správné vyvážení. Tato metoda je však z důvodu narušení materiálu nevratná a pro opakovatelně použitelné brousící kotouče nevhodná. Další metodou je již kotouč s předvrtanými závitky, do kterých se v určené pozici šroubují vyvažovací šrouby. Dle váhy zvoleného šroubu a hloubky zašroubování je zajištěno jak radiální, tak axiální odstranění házení.

2.11 Povlakování nástrojů

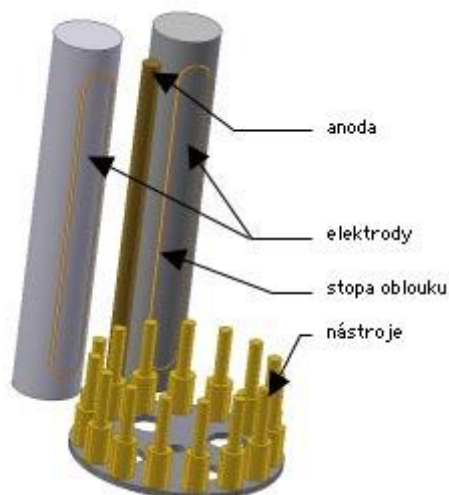
Povlakování nástrojů je nezbytné pro zajištění dostatečné trvanlivosti nástroje. (Bližší podrobnosti k jednotlivým vrstvám jsou blíže rozebrány v kapitole 1.6). Vzhledem ke specifickým problematiky povlakování a odlišnosti od procesu broušení menší firmy využívají k povlakům služeb specializovaných externích firem, tzv. kooperace ve výrobě. Tento způsob dokončení nástrojů je výhodnější. V případě pořízení povlakovacích center se jedná o vysoké pořizovací náklady s malou návratností vynaložené investice. Také je zapotřebí zajistit odborné technology z tohoto technologického odvětví se znalostí problematiky PVD a CVD povlaků.

Vlastní proces povlakování má také své zákonitosti, které je nutné dodržet pro správný kvalitativní výsledek povlakovacího procesu. Důležitým krokem před nanášením povlaků je důkladné odmaštění, bez kterého by nebylo možné docílit dostatečné přilnavosti, při které do-

cháží k nežádoucí delaminaci povlaku a znehodnocení nástroje. Nástroje jsou po přípravě skládány na planetové držáky znázorněné na Obr. 2.18, které zajišťují rovnoměrné nanášení povlaku požadovanou metodou [27].

U povlakovaných nástrojů jsou testovány vlastnosti jednotlivých vrstev. Ty jsou charakterizovány různými fyzikálními a chemickými veličinami: [6]

- otěruvzdornost – povlaky na bázi Cr a Al dokáží odolávat teplotám až 800°C (teplotní bariéra těchto vrstev se využívá pro vysokorychlostní obrábění),
- korozivzdornost – závisí na pórovitosti daného povlaku, jakou ochranu dokážou materiálu poskytnout a schopnosti pasivace některých prvků,
- snížení třecího odporu – je dáno nízkým koeficientem tření některých vrstev, např. vrstvy MoS₂, WC/C, DLC,
- adheze – přílnavost vrstvy měřeny na okrajích vpichu Rockwellovým hrotem (kulička),
- tloušťka – měřená pomocí kalotestu, při kterém je dochází k odbroušení kulového vrchlíku a odečtem tloušťky za pomoci mikroskopu. Obvyklá tloušťka povlaků bývá 1÷4 μm,
- mikrotvrdost – schopnost vrstev odolávat opotřebení. U nejtvrděších DLC povlaků dosahuje až 60 GPa.



Obr. 2.18 Zobrazení planetového uložení nástrojů pro PVD povlak. [7]

3 OSTŘENÍ NÁSTROJŮ

Broušení nástrojů vychází ze stejných technologických zásad procesu výroby nástroje popsaných v kapitole 2. Při renovaci nebo ostření nástroje se vychází z výkresové dokumentace pro daný nástroj, kdy je nutné dodržet předepsané rozměry nového nástroje, pokud není specifikováno jinak.

Ostření nástrojů se provádí především z ekonomického důvodu, kdy postačuje na nástrojařských bruskách obnovit opotřebená ostří nástroje (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Příklad opotřebení břitu nástroje [28].

3.1 Postup ostření

Po přijetí opotřebeného nástroje dochází k téměř shodnému procesu výroby jako u nového nástroje. Několik rozdílů však existuje. Před ostřením je v první řadě nutné analyzovat velikost opotřebení a rozhodnout, zdali je možné nástroj naostřit (Velikost opotřebení také ovlivňuje finální náklady vyúčtované při opravě nástrojů). V Tab. 1.1 je uveden přehled obvykle broušených ploch u běžných nástrojů.

Ostření probíhá na základě požadavků zákazníka, kde je specifikováno:

- zdali má dojít k podbroušení krčku,
- jestli je možné nástroj zaříznout,
- jestli se má zachovat vnější průměr
- minimální délka šroubovice,
- minimální hodnota řezného průměru,
- obráběný materiál pro volbu povlaku.

Tab. 3.1 Přehled ostřených ploch nástrojů [16]

Vrtáky	Ostření na čele
	Při velkém opotřebení VF je čelo zaříznuto a obnoveno
Stupňovité vrtáky	Ostření na čele
	Ostření jednotlivých stupňů dle délkových rozměrů
Výstružníky	Pouze z čela (Vrtací výstružníky se ostří obvykle maximálně 3×)
Závitníky	Pouze z čela drážky
Frézy válcové, kuželové, atd.	Na čele
	Na čele z drážky
	Na vnějším průměru
Frézy hrubovací	Na čele
	Na čele z drážky

Všechny tyto předpoklady jsou vzaty v úvahu a dle výsledku je rozhodnuto o výsledném způsobu broušení v podstatě specifikovaných v požadavcích výše. Možnosti ostření by se dali shrnout do následujících skupin:

- pouze přeastření břitů – zachování původního nástroje,
 - Ostření po obvodu – vzata v úvahu tolerance průměru.
 - Podbroušení – zachování původního průměru nástroje.
- zaříznutí nástroje a modelace nové špičky, břitů nebo celého nástroje – dochází ke změně původního rozměru nástroje a ke změnám původních rozměrů (především délkových).

Po přeastření dochází opět k měření, tj. kontrole požadovaných rozměrů, zaoblení hran a polakování, jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách. Tyto operace se již v podstatě neliší od výroby nového nástroje.

3.2 Nástrojové úhly

Pro ostření, ale i výrobu nového nástroje, je potřeba vzít v úvahu požadavek na nástrojové úhly, tj. geometrii břitů, které jsou specifikovány na základě výkresové dokumentace (Schématické znázornění na Obr. 2.8). Tyto parametry vychází z požadavku na obráběný materiál a řezné podmínky. Vzhledem k velkému množství různých typů nástrojů a jejich nástrojových úhlů nelze specifikovat použití každého z nich. Pro určení daných úhlů se vychází ze zkušenosti a doporučení pro obrábění jednotlivých materiálů za daných řezných podmínek. V příloze 2 jsou jako příklad popsány nástrojové úhly pro soustružnický nůž vnější. Z tohoto břitového diagramu se poté odvozuje názvosloví a úhly i pro jiné typy nástrojů s odlišnou geometrií. Hodnoty úhly pro jednotlivé nástroje jsou většinou stanoveny výrobcem nástrojů, kteří také v největší míře dávají nejlepší doporučení na optimální využití jejich nástrojů.

4 DISKUZE

Popis dané problematiky, tj. výroby nástrojů ze slinutých karbidů, je v současné době vysoce automatická práce, co se jednotlivých operací týče. Vývoj v posledních několika letech umožnil přechod od ruční či poloautomatické výroby k plně autonomním systémům, bez kterých by nebylo možné splnit vysoké požadavky na moderní nástrojové materiály. I přesto je stále nutné dodržet základní technologické požadavky a poznatky, které byly získány v tomto strojírenském odvětví.

4.1 Shrnutí BP

Při shromažďování podkladů pro BP se objevilo několik zábran, které z důvodu předepsaného rozsahu a přístupu k informacím pro tuto práci znemožňovaly přesnější rozebrání problematiky v daném rozsahu.

- Parametry pro broušící operace nejsou popsány tak, aby se daly využít jako podklad pro rozebrání konkrétní situace. V nástrojařských dílnách se vychází z bohatých zkušeností operátorů a technologů, jejichž znalosti umožňují správnou reakci a změnu procesu při jakékoliv překážce. Broušení vychází ze všeobecných znalostí pro obrábění materiálu a jako takové nebylo možné najít konkrétní podklady pro proces broušení nástrojů.
- Široké spektrum broušených nástrojů a zároveň nástrojů na broušení, které se také liší dle jednotlivého užití, nelze tuto problematiku spolehlivě popsat tak, aby byl uspokojen případný čtenář práce, který by chtěl načerpat cenné informace. Při výběru konkrétního typu nástroje tak došlo k situaci, kdy se objevovalo další větvení a rozšiřování vstupních informací nutných k popsání procesu. Tím jsou například požadavky na řezné podmínky dle konkrétního materiálu, požadavky na broušící kotouče a jejich variabilita tvarů a složení.
- Ochrana know-how jednotlivých firem neumožňuje bez vhodného zázemí zabývat se rozbořením konkrétní situace. Proto bylo nutné spolehnout se na obecné zdroje informací. S tím ale opět souvisí pouze omezené možnosti pro sběr podkladů pro bakalářskou práci.

4.2 Možné další směry ve výrobě nástrojů

S neustálým vývojem elektrotechniky a zvyšováním možností ve strojírenství a technice všeobecně se nabízí myšlenka dalšího směřování v broušení nástrojů. Nemusí se však nutně jednat o SK, jiné materiály nebo i nové typy nástrojových materiálu. Jako zlepšení by se stále dalo uvažovat o dalším propojování jednotlivých systémů při výrobě nástrojů a větší automatizaci i v menších firmách. Již základní propojení zařízení pro výměnu informací o parametrech broušení nebo výsledných hodnot obroběných nástrojů umožňuje pružnou a efektivní výrobu se zmenšováním výskytu neshodných dílů. Pro každou firmu je toto bráno jako měřítko ziskové a kvalitní výroby, která se odráží v dalším rozvoji zakázek.

Vzhledem k tomu, že rychlý rozvoj CNC technologií nejen pro hlavní výrobní stroje ale i do pomocných oblastí výroby umožňuje neustále přesnější a složitější výrobu, je pravděpodobné, že i v tomto ohledu bude vývoj probíhat i nadále. Stále by se v budoucnu daly hledat rezervy v jednotlivých možnostech strojů, které jsou nyní na hranici svých možností, ale které budou pravděpodobně pokořeny s novými postupy a materiály.

ZÁVĚR

Celá problematika výroby nástrojů včetně jejich ostření je velice široká. Důvodem je i přes podobné parametry výroby především široká rozmanitost nástrojů pro různé účely v oblasti frézování, vrtání a jiných technologií. Každý nástroj má své vlastní náležitosti a i když se nástroje od sebe liší v drobných změnách geometrie, ty však mají velký vliv na parametry obrábění. Z toho nám plyne široká variabilita různých vstupních a výstupních parametrů, které nelze v daném rozsahu plně zpracovat.

Proto se tato práce zabývá obecným popisem výroby nástrojů, který umožňuje získání znalostí o vlastním procesu od použití polotovarů ze slinutých karbidů až po možnosti přestřování použitých nástrojů a problematiku s ním spojenou. Částečně se také dotýká moderního rozvoje CNC strojů, neustálé vylepšování uživatelských funkcí a zjednodušování obsluhy.

Možnosti slinutých karbidů jako nástrojového materiálu jsou neustále vyvíjeny a společně se zdokonalováním materiálových povlaků umožňují stále širší oblast využití na jedné straně a zvyšování produktivity při obrábění materiálů na straně druhé. Zlepšování procesů broušení a zdokonalování brusek naopak vede k zmenšování strojních časů při výrobě nástrojů a vyšší produktivitě broušení.

Vzhledem k procesu neustálého zlepšování technologií by se dalo říci, že se neustále dosahuje lepších podmínek ať už při výrobě nástrojů, tak i následného použití nástrojů. To vše za neustále nižších nákladů na výrobu, která je v současné době rozhodující.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GEBR. SAACKE GmbH & Co. KG. SAACKE Tool and Cutter Grinding Machines. *Gebr. SAACKE GmbH & Co. KG Precision Tools and Tool Cutter Grinding Centers*. [Online] 2008. [Citace: 15. 04. 2012.] http://www.saacke-group.com/scom/machines_model.php.
2. Doc. Ing. HUMÁR, A., CSc. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění*. Praha : Scientia, s.r.o., 1997, 1. české vydání. ISBN 91-97 22 99-4-6.
4. TUMLIKOVO.CZ. Slinuté karbidy v nástrojářství. *tumliKOVO - Metal Cutting Technologies*. [Online] 05. 12. 2012. [Citace: 12. 04. 2012.] <http://www.tumlikovo.cz/slinate-karbidy-v-nastrojarstvi/>.
5. SANDVIK COROMANT. Skupiny obráběných materiálů. *Sandvik Coromant*. [Online] [Citace: 15. 04. 2012.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups/pages/default.aspx.
6. PVD Pro, s. r. o., Kopidlno. Současnost a trendy povlakování technologií PVD. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 23. 04. 2003. [Citace: 03. 05. 2012.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologiei-pvd.html>.
7. SHM, s.r.o. PVD technologie SHM. *SHM Svět tvrdých a supertvrdých materiálů*. [Online] 16. 03. 2012. [Citace: 25. 04. 2012.] <http://www.shm-cz.cz/cs/technicke-informace/pvd-technologie-shm>.
8. SANDVIK COROMANT. Povlakovaný slinutý karbid. *Sandvik Coromant - Technická příručka*. [Online] 2012. [Citace: 03. 05. 2012.] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx.
9. CHINA TUNGSTEN ONLINE (XIAMEN) MANU. & SALES CORP. Tungsten Carbide Rod. *China Tungsten Online (Xiamen) Manu. & Sales Corp*. [Online] 2011. [Citace: 13. 04. 2012.] <http://www.tungsten-carbide-rod.com/tungsten-carbide-rod-with-hole.html>.
10. ANTON WIMMER MASCHINENFABRIK. Anton Wimmer Maschinenfabrik. *Anton Wimmer Trenntechnik für Profis*. [Online] [Citace: 10. 04. 2012.] <http://www.anton-wimmer.de/produkte.php?id=0&details=TM374&link=1>.
11. SK TECHNIK - DVORÁK L. Dělení tvrdých materiálů. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 26. 04. 2012. [Citace: 22. 04. 2012.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/deleni-tvrдых-materialu-2-2.html>.
12. SCHUNK GmbH & Co. KG. TRIBOS Polygonal Clamping. *Schunk*. [Online] 2012. [Citace: 12. 04. 2012.] http://www.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products.html?product_level_1=247&product_level_2=267&product_level_3=0&country=INT&lngCode=EN&lngCode2=EN.
13. SCHUNK GmbH & Co. KG. TRIBOS Patented Tool Holding System. *AKHurst CNC Seamless Solutions*. [Online] [Citace: 12. 04. 2012.] <http://www.akhurstcnc.com/schunkarticle.htm>.
14. ERWIN JUNKER GRINDING TECHNOLOGY a.s. Junker Lean Selection. *Junker - partner for precision*. [Online] 2012. [Citace: 15. 04. 2012.] <http://www.junker.cz/cz/loesungen/schleifmaschinen/lean-selection.php>.

15. CNCCookbook. 2.5D to Brushless DC Motor. *CNCCookbook Software and Information for Machinists*. [Online] 2010. [Citace: 20. 04. 2012.]
<http://www.cnccookbook.com/MTCNCDict25DtoB.htm>.
16. TUMLIKOVO.CZ. Geometrie břitů vrtáků. *tumliKOVO - Metal Cutting Technologies*. [Online] 5. 11. 2012. [Citace: 21. 04. 2012.] <http://www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-vrtaku/>.
17. NUM AG. Numroto High tech applications. *numroto Total solution for tool grinding*. [Online] 5. 12. 2011. [Citace: 10. 04. 2012.] http://gallery.numroto.com/Index_E.htm.
18. VTN - SERVIS, s.r.o. Diamantové brusné kotouče. *VTN - Servis, s.r.o.* [Online] 2012. [Citace: 15. 04. 2012.] <http://www.vtn.cz/brusne-nastroje-diamantove/>.
19. TUMLIKOVO.CZ. Základní rozdělení brusných kotoučů k ostření nástrojů. *tumliKOVO - Metal Cutting Technologies*. [Online] 20. 11. 2011. [Citace: 15. 04. 2012.]
<http://www.tumlikovo.cz/zakladni-rozdeleni-brusnych-kotoucu-k-ostreni-nastroju/>.
20. E. ZOLLER GmbH & Co. KG. Zoller »genius«. *Zoller measure fascination*. [Online] 2012. [Citace: 16. 04. 2012.]
<http://www.zoller.info/en/products/inspection%20&%20measuring/universal%20tool%20measuring%20machine/%C2%BBgenius%C2%AB>.
21. MITUTOYO ČESKO s.r.o. Mitutoyo katalog. *Mitutoyo Česko s.r.o.* [Online] 2009. [Citace: 20. 04. 2012.] <http://www.mitutoyo.cz/cz/katalog.htm>.
22. SK TECHNIK - Mgr. MACHÁČEK J. Automatická kalibrace brousicích center. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 17. 05. 2006. [Citace: 15. 04. 2012.]
<http://www.mmspektrum.com/clanek/automaticka-kalibrace-brousicich-center.html>.
23. WESTERN INDUSTRIAL APPLICATION. DE-BURRING, EDGE HONING & POLISHING MACHINES. *Western Industrial Applications PVT. Ltd.* [Online] 2007. [Citace: 29. 04. 2012.] <http://www.wiainfo.net/Otec.html>.
24. RNDr. ŠÍMA, M., JANKŮ, R. Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 25. 4. 2007. [Citace: 13. 04. 2012.]
<http://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-pred-pvd-povlaky.html>.
25. TUMLIKOVO.CZ. Orovnávání brusných keramických kotoučů. *TumliKOVO - Metal Cutting Technologies*. [Online] 5. 1. 2011. [Citace: 15. 04. 2012.]
<http://www.tumlikovo.cz/orovnavani-brusnych-keramickych-kotoucu/>.
26. HAIMER GmbH. Tool Dynamic 2002 Economic. *Haimer GmbH*. [Online] [Citace: 15. 04. 2012.] <http://www.haimer.de/english/wucht-tooldynamic-economic.php>.
27. RNDr. HOLUBÁŘ, P. Moderní PVD povlakovací centrum. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 1. 9. 2012. [Citace: 21. 04. 2012.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-pvd-povlakovaci-centrum.html>.
28. ROTANA a.s. - Ing. VEJROSTA, J. Proces ostření nástrojů. *Propagační prezentace Rotana a.s. Velké Meziříčí : Rotana a.s., 2011.*
29. TUMLIKOVO.CZ. Oblasti použití slinutých karbidů. *tumliKOVO Metal Cutting Technologies*. [Online] 12. 10. 2011. [Citace: 13. 04. 2012.]
<http://www.tumlikovo.cz/oblasti-pouziti-slinutych-karbidu/>.
30. HLUCHÝ, M., HANĚK, V. *Strojírenská technologie 2, 2. díl - Koroze, základy obrábění, výrobní postupy, 2. vydání*. Praha : Scientia, 2001. ISBN: 80-7183-245-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	[-]	Computer Aided Design
CNC	[-]	Computer Numerical Control
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition (Chemické napařování povlaku)
HRA	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSS	[-]	High Speed Cutting (Rychlořezná ocel)
NbC	[-]	Karbid niobu
PM	[-]	Powder metalurgy (Práškové oceli)
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition (Fyzikální napařování povlaku)
SK	[-]	slinutý karbid
TaC	[-]	Karbid tantalu
TiC	[-]	Karbid titanu
WC	[-]	Karbid wolframu

Symbol	Jednotka	Popis
Ra	[μ m]	střední aritmetická hodnota drsnosti

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Oblasti použití slinutých karbidů (SK) [29]
Příloha 2 Popis nástrojových úhlů pro soustružnický nůž [16]
Příloha 3 Základní rozdělení brusných kotoučů [19]
Příloha 4 Výběr z nabídkového listu CNC brusky Saacke UW I G [1]

PŘÍLOHA 1 (1/2)

Oblasti použití slinutých karbidů (SK) [29].

Tab. 0.1 Oblasti použití SK.

F2 P 01.3	Je nejtvrdší, velmi vzdorný proti oteru, avšak zároveň velmi křehký. Používá se jen pro nejjemnější soustružení a vyvrtávání oceli a lité oceli nepřerušovaným řezem při vysokých řezných rychlostech přes 200 m.min ⁻¹ a při nejmenších posuvech a malých hloubkách řezu. Není vhodný pro frézování.
F1 P 01.4	Je určen především pro jemné soustružení a vyvrtávání oceli a lité oceli při velkých řezných rychlostech a posuvech asi do 0,15 mm.ot ⁻¹ při nepřerušovaném řezu. Je velmi náchylný k praskání při pájení a broušení, neboť je velmi málo odolný proti teplotním rázům. Pro frézování se použije jen výjimečně.
S1 P 10	Je méně oteruvzdorný, ale houževnatější než druhy F2 a F1. Je určen hlavně k obrábění oceli a lité oceli při posuvu do 0,6 mm.ot ⁻¹ . Není vhodný pro velké úběry třísek a pro přerušovaný řez. Řezné rychlosti musí být nižší než při použití F1. Hodí se především pro dokončování, popř. polohrubování při soustružení, frézování a kopírování.
S1.1 P 10	Doporučuje se především pro soustružení závitů na poloautomatech a automatech při řezných rychlostech 80 až 120 m.min ⁻¹ podle druhu obráběné oceli bez kůry a vměstků.
S2 P 20	Používá se na polohrubování oceli, lité oceli a temperované litiny pro posuvy až do 1 mm/ot, avšak při řezných rychlostech asi o 30 % menších než při použití S1. Lze ho použít i pro nestejnou hloubku řezu a pro přerušovaný řez při malé hloubce řezu. Je velmi vhodný pro kopírování, pro frézování na čisto, pro vrtání hlubokých děr, na záhlubníky, frézy atd.
S3 P 30	Je určen pro hrubování oceli, lité oceli a temperované litiny při větších průřezech třísky i při přerušovaném řezu. Je vhodný pro soustružení, frézování a hoblování. Řezné rychlosti musí být asi o 45 % menší než u S1, posuv až 2 mm.ot ⁻¹ .
S4 P 40	Je vhodný k hrubování ocelových výkovek a odlitků při přerušovaném řezu i při nečistém povrchu. Řezné rychlosti se doporučují asi o 55 % menší než u S1, posuvy do 3 až 4 mm.ot ⁻¹ . Používá se pro soustružení, frézování, hoblování, obrábění a částečně pro práce na automatech.
S5 P 50	Svámi vlastnostmi vyplňuje mezeru mezi slinutými karbidy a rychlořeznou ocelí. Je určen k velmi těžkému hrubování soustružením, frézováním a hoblováním ocelí nízké pevnosti, nerezavějících a 4áruvzdorných ocelí. Řezné rychlosti se volí asi o 70 % menší než u S1 a posuvy 4 mm.ot ⁻¹ i více.
S6 P 50	Nejhouževnatější druh této skupiny pro nejtěžší řezné podmínky, především pro hoblování při malých řezných rychlostech a velkých průřezech třísky.
U1 M 10	Je určen pro dokončovací soustružení a frézování oceli, lité oceli a temperované litiny nepřerušovaným řezem za předpokladu drobné třísky. Je vhodný pro obrábění na automatech. Může se použít pro soustružení a frézování šedé litiny, pro soustružení kalené oceli a pro obrábění hliníkových slitin a velkým obsahem křemíku.
U2 M 20	Doporučuje se pro dokončování i hrubování oceli, lité oceli, temperované litiny a odlitků s pískem i vměstky a k obrábění nejtěžších obrobitelných materiálů, kde nevyhovuje U1. Je vhodný pro soustružení, frézování i hoblování legovaných ocelí a litiny při malých průřezích třísky a menších řezných rychlostech.
U3 M 30	Je určen pro hoblování a hrubé frézování těžkoobrobitelných materiálů. Vhodný pro upichování na automatech, pro obrábění ocelí malé pevnosti (cementační a automatové oceli). Může se použít jako náhrada za S4 a S5 pro obrábění přerušovaným řezem nebo při nečistém a nerovném povrchu.

PŘÍLOHA 1 (2/2)

H3 K 01	Používá se pro jemné soustružení, frézování a vrtání šedé litiny, hliníkových slitin s velkým obsahem křemíku, kompozic, plastických hmot, tvrzeného papíru a azbestových materiálů. Je vhodný pro soustružení kalené oceli tvrdosti přes 50 HRC a tvrzené litiny přes 80 HSH s čistým povrchem nepřerušovaným řezem.
H2 K 05	Používá se jako H3. Je vhodný pro soustružení kalené oceli tvrdosti do 50 HEC a tvrzené litiny do 80 HRC s čistým povrchem nepřerušovaným řezem. Doporučuje se pro obrábění na automatech.
H1 K 10	Je určen k obrábění litiny tvrdosti přes 200 HB, ledované oceli pevnosti přes 140 kp/mm ² , kalené oceli tvrdosti přes 50 HRC, temperované litiny, slitin mědi a křemíkových slitin hliníku, lisovaných a plastických hmot. Nehodí se k obrábění nečistých a nerovných ploch.
G1 K 20	Doporučuje se pro obrábění litiny tvrdosti do 220 HB, neželezných kovů, plastických hmot, pro vrtání hlubokých děr do šedé litiny, nerezavějících a žárovzdorných ocelí. Lze jím obrábět nerovné a nečisté povrchy a snese i přerušovaný řez.
G1.1 K 30	Je určen pro soustružení, frézování a hoblování šedé litiny tvrdosti do 180 HB a ocelí pevnosti do 50 kp/mm ³ , pro obrábění barevných kovů, hliníku, zinku, plastických hmot, dřeva atd. Je vhodný pro přerušovaný řez při větších průřezech třísky a malých řezných rychlostech i pro nečistý povrch a proměnlivou hloubku řezu.
G2 K 40	Používá se pro soustružení, frézování a hoblování všech druhů dřeva, lisovaných a plastických materiálů, barevných kovů, hliníku a zinku. Umožňuje obrábění přerušovaným řezem a nečistých povrchů při větších průřezech třísky a malých řezných rychlostech.
G3 K 50	Doporučuje se na velmi jemné obrábění litiny a uhlíkových elektrod, na vrtací korunky pro vrtání hornin, k výrobě raznic a dílů střížných nástrojů.
G4 G5	Slouží pro výrobu zápustek na lisování hlav šroubů a nýtů za studena a na součásti namáhané kromě otěru i ohybem.

PŘÍLOHA 2 (1/2)

Popis nástrojových úhlů pro soustružnický nůž [16].

Nástrojové úhly orientace ostří

Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r - úhel v nástrojové základní rovině \mathbf{P}_r , mezi nástrojovou rovinou ostří \mathbf{P}_s a nástrojovou boční rovinou \mathbf{P}_f . Úhel κ_r je měřený od té části \mathbf{P}_f , která obsahuje směr posuvu, směrem k hlavnímu ostří.

Nástrojový doplňkový úhel nastavení hlavního ostří ψ_r - úhel v nástrojové základní rovině \mathbf{P}_r , mezi nástrojovou rovinou ostří \mathbf{P}_s a nástrojovou zadní rovinou \mathbf{P}_p . Nástrojový úhel ψ_r je vždy ostrý a jeho znaménko je odvozené ze vztahu $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$.

Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří κ'_r - úhel v nástrojové rovině \mathbf{P}_r mezi nástrojovou rovinou vedlejšího ostří \mathbf{P}'_s a nástrojovou boční rovinou \mathbf{P}_f .

Nástrojový úhel sklonu ostří λ_s - úhel v nástrojové rovině ostří \mathbf{P}_s , mezi ostřím \mathbf{S} a nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r . Úhel λ_s může nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot.

Nástrojový úhel špičky ε_r - úhel v nástrojové základní rovině \mathbf{P}_r , mezi nástrojovou rovinou ostří \mathbf{P}_s a nástrojovou rovinou vedlejšího ostří \mathbf{P}'_s . Obecně platí : $\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ$.

Nástrojové úhly čela

Nástrojový normální úhel čela γ_n - úhel mezi nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r a čelem \mathbf{A}_γ , měřený v nástrojové normální rovině ostří \mathbf{P}_n .

Nástrojový boční úhel čela γ_f - úhel mezi nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r a čelem \mathbf{A}_γ , měřený v nástrojové boční rovině \mathbf{P}_f .

Nástrojový zadní úhel čela γ_p - úhel mezi nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r a čelem \mathbf{A}_γ , měřený v nástrojové zadní rovině \mathbf{P}_p .

Nástrojový ortogonální úhel čela γ_o - úhel mezi nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r a čelem \mathbf{A}_γ , měřený v nástrojové ortogonální rovině \mathbf{P}_o .

Nástrojový úhel největšího spádu čela γ_g - úhel mezi nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r a čelem \mathbf{A}_γ , měřený v nástrojové rovině největšího spádu čela \mathbf{P}_g ; je to maximální úhel mezi čelem \mathbf{A}_γ a nástrojovou základní rovinou \mathbf{P}_r .

Nástrojový úhel polohy roviny největšího spádu čela δ_r - úhel mezi nástrojovou boční rovinou \mathbf{P}_f a nástrojovou rovinou největšího spádu čela \mathbf{P}_g , měřený v nástrojové základní rovině \mathbf{P}_r .

Poznámka: Nástrojové úhly čela $\gamma_n, \gamma_f, \gamma_p, \gamma_o, \gamma_g$ mohou nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot.

Nástrojové úhly břitu

Nástrojový normální úhel břitu β_n - úhel mezi čelem \mathbf{A}_γ a hřbetem \mathbf{A}_α , měřený v nástrojové normální rovině \mathbf{P}_n .

Nástrojový boční úhel břitu β_f - úhel mezi čelem \mathbf{A}_γ a hřbetem \mathbf{A}_α , měřený v nástrojové boční rovině \mathbf{P}_f .

Nástrojový zadní úhel břitu β_p - úhel mezi čelem \mathbf{A}_γ a hřbetem \mathbf{A}_α , měřený v nástrojové zadní rovině \mathbf{P}_p .

Nástrojový ortogonální úhel břitu β_o - úhel mezi čelem \mathbf{A}_γ a hřbetem \mathbf{A}_α , měřený v nástrojové ortogonální rovině \mathbf{P}_o .

Nástrojové úhly hřbetu

PŘÍLOHA 2 (1/2)

Nástrojový normální úhel hřbetu α_n - úhel mezi hřbetem A_α a nástrojovou rovinou ostří P_s měřený v nástrojové normální rovině ostří P_n .

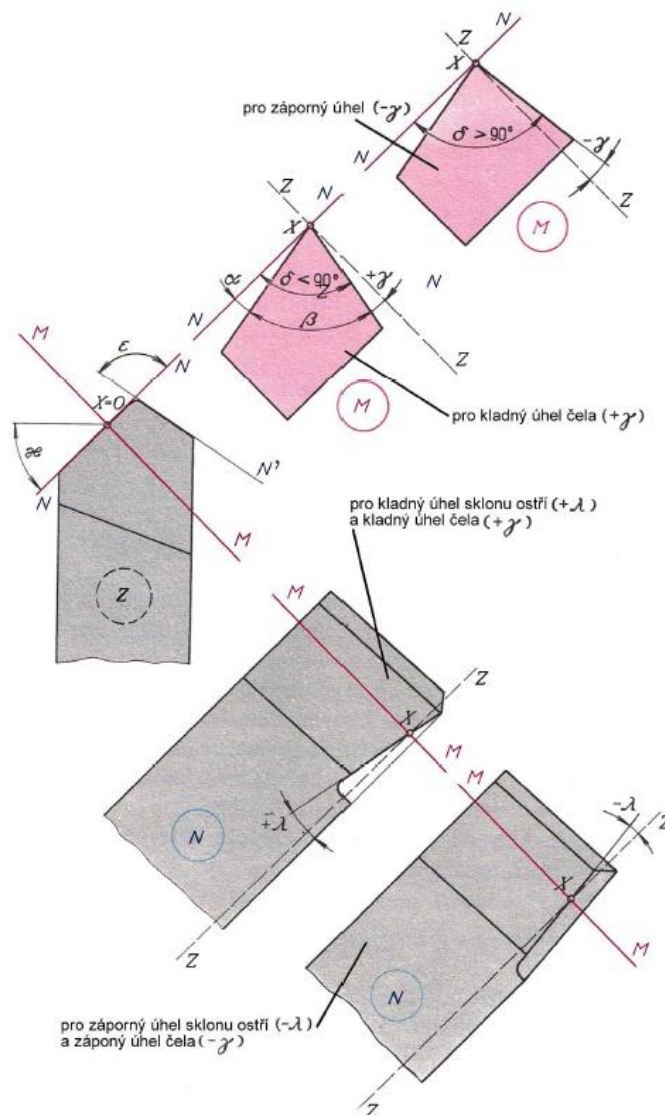
Nástrojový boční úhel hřbetu α_f - úhel mezi hřbetem A_α a nástrojovou rovinou ostří P_s , měřený v nástrojové boční rovině P_f .

Nástrojový zadní úhel hřbetu α_p - úhel mezi hřbetem A_α a nástrojovou rovinou ostří P_s , měřený v nástrojové zadní rovině P_p .

Nástrojový ortogonální úhel hřbetu α_o - úhel mezi hřbetem A_α a nástrojovou rovinou ostří P_s , měřený v nástrojové ortogonální rovině P_o .

Nástrojový úhel největšího spádu hřbetu α_b - úhel mezi hřbetem A_α a nástrojovou rovinou ostří P_s měřený v nástrojové rovině největšího spádu hřbetu P_b .

Nástrojový úhel polohy roviny největšího spádu hřbetu Θ_r - úhel mezi nástrojovou boční rovinou P_f a nástrojovou rovinou největšího spádu hřbetu, měřený v nástrojové základní rovině P_r .



Obr. 0.1 Nástrojové úhly soustružnického nože. [30]

PŘÍLOHA 3

Základní rozdělení brusných kotoučů [19].

Tvar č.	Náčrt	Název	Odpovídá ČSN
1		rovný	22 4515, 22 4518
2		prstencový	22 4530
3		oboustranně zkosený	
4		jednostranně zkosený	22 4560
5		jednostranně vybraný	22 4520, 22 4521, 22 4524
6		hrncový	22 4550, 22 4551
7		oboustranně vybraný	22 4524
8		miskovitý	22 4552
9		talířový	22 4580
10		talířový plochý	
11		rovný s vydutým středem	
12		rovný s jednostranným šikmým vybráním	
13		rovný s oboustranným šikmým vybráním	
14		na třmenové kalibry	22 4570
15		rovný s vybráním a úkosem na jedné nebo obou stranách	22 4522
16		brusná tělíska	22 4610 až 22 4619

PŘÍLOHA 4 (1/3)

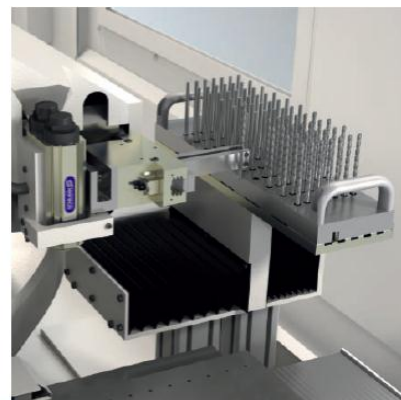
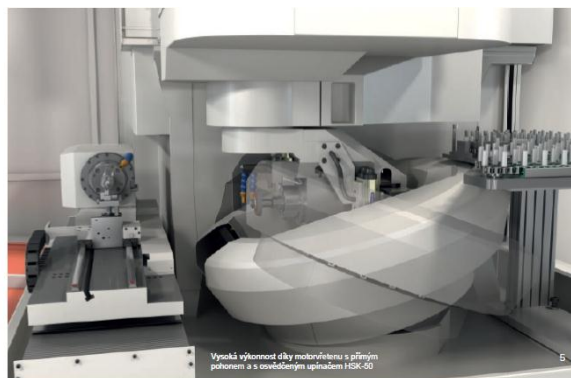
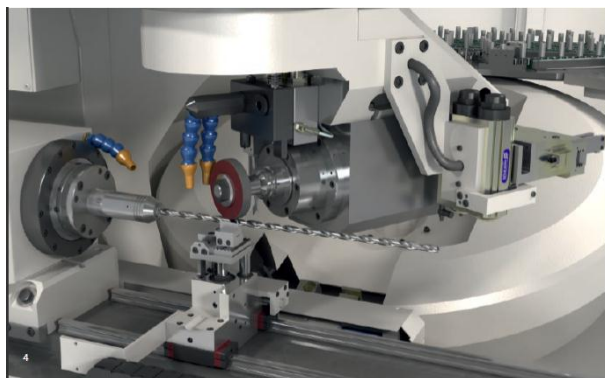
Výběr z nabídkového listu CNC brusky Saacke UW I G [1].



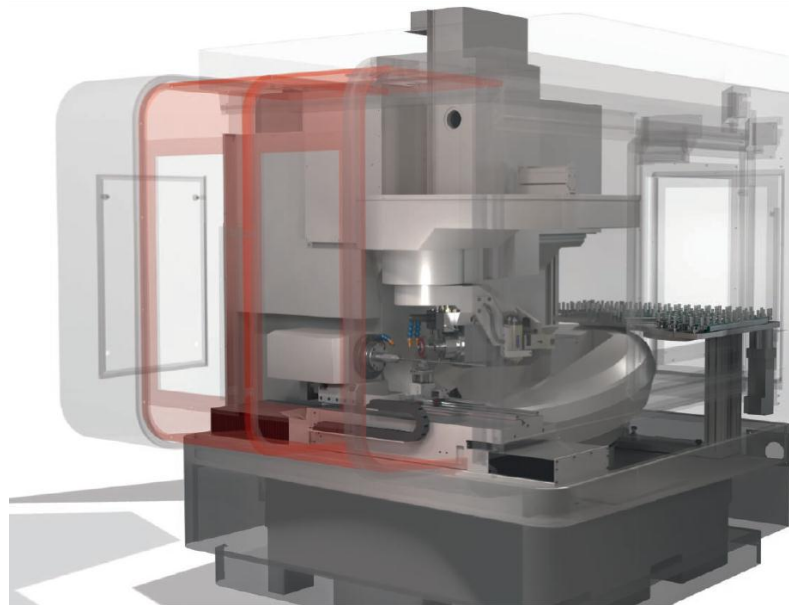
CNC broušící centrum Model UW I G

Kompletní výroba nástrojů do délky až 630 mm

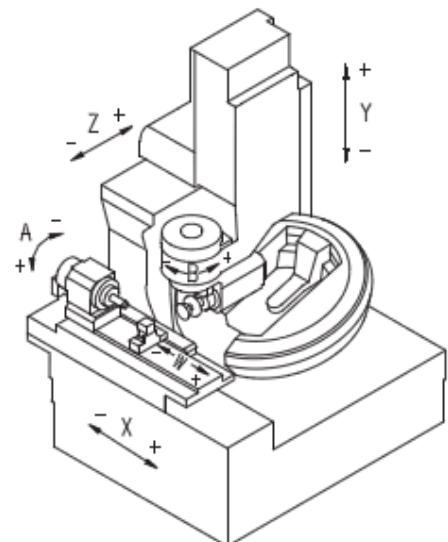
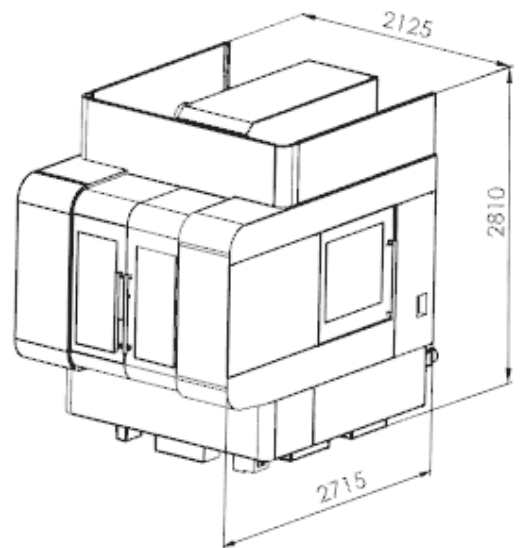
630 mm je “nový rozměr” v procesu broušení, protože až do této délky lze nyní nástroje kompletně obrobit. V prodeji je inovativní koncept nového broušícího centra SAACKE UW I G. Vynikající výkony jsou výsledkem nasazení brusného vřetene s výkonem až 36 kW, extrémně rychlého měniče brusných kotoučů (až pro 12 kotoučů) a CNC řízené lunety. Maximální flexibility dosahuje broušící centrum použitím řetězového zásobníku, v němž lze libovolně umístit až 160 obrobků a kleštin. Uvedením tohoto nového broušícího centra na trh se otevírají zcela nové možnosti pro broušení nástrojů ještě větších rozměrů, a to s vysokou produktivitou a nízkými náklady.



PŘÍLOHA 4 (2/3)



Data o nástroji	
Max. průměr	300 mm
Max. délka při kompletním opracování	
od přední hrany nosiče obrobku	430 mm (volitelně 630 mm)
délka obrobku mezi hroty	480 mm (volitelně 550 mm)
Výška hrotů	195 mm
Brusná dráha, osa X	
Podélná dráha	560 mm (volitelně 760 mm)
Rychlost posuvu	0 – 30 m/min
Užitná plocha stolu pro koník a lunetu	975 x 200 mm
Příčné saně, osa Z	
Příčná dráha	770 mm
Rychlost posuvu	0 – 30 m/min
Vertikální dráha, osa Y	
Zdvih	320 mm
Rychlost posuvu	0 – 20 m/min
Brousící vřeteník, osa B	
Otočný v horizontální rovině	270°
Motor-vřeteno	Ø 170 mm
Rychloupínací systém brusných kotoučů	HSK-C / E50
Plynule regulovatelné otáčky	2.000 – 12.000 ot./min (volitelně 18.000 ot./min)
Max. průměr brusného kotouče	Ø 200 mm
Zásobník brusných kotoučů	
Počet míst v zásobníku	6 (volitelně 12)
Nosič obrobku s přímým pohonem, osa A	
Upínání	čelní dosedací plocha (ISO 50)
Otvor upínacího pouzdra	Ø 32
Otvor upínacího pouzdra při autom. upínání	Ø 30
Přesnost dělení	+/- 15"
Max. počet otáček	600 ot./min (volitelně 1.000 ot./min)
Rozlišení	
Osy X, Y a Z	0,0001 mm
Osy B a A	0,0001 °
Jmenovité výkony pohonů	
Max. výkon brusného vřetene	26 kW (volitelně 36 kW)
Podélná dráha, osa X	4 kW
Nosič obrobku, osa A	3 kW
Příčné saně, osa Z	4 kW
Vertikální saně, osa Y	7 kW
Brousící vřeteník, osa B	3 kW
Hmotnost	7.600 kg



PŘÍLOHA 4 (3/3)

Přehled výhod:

- Osvědčená 5- popř. 6-osá kinematika
- Vysoká přesnost díky umístění brusného kotouče do středu otáčení brousícího vřeteníku.
- Produktivní, kapalinou chlazené vřetení s výkonem až 36 kW
- Vysoká flexibilita zajištěná dvanáctimístným zásobníkem brusných kotoučů
- Univerzální systémy zakládání obrobků
- Kompatibilní se stávajícími brousícími centry
- Extrémně vysoká produktivita
- Dobrá přístupnost při upínání a seřizování
- Nosič obrobků s čelní dosedací plochou a ISO 50 pro přesné polohování v řádu μm .
- Možné kompletní broušení nástrojů délky až 630 mm



NUMROTOplus® Software

- Díky flexibilnímu a mnohostrannému programu NUMROTOplus® lze programovat speciální nástroje v nejkratším možném čase
- Výjimečná rozmanitost programování s databankami pro obrobky, technologie a sady brusných kotoučů
- Bezproblémová aktualizace programu po celou dobu životnosti stroje
- 3D kontrola kolize a simulace stroje
- Jistota inovace díky aktualizaci programu na běžných PC



Válcové a kuželové frézy



Tvarové frézy



Nástroje na obrábění dřeva



Vrtáky a stupňovité vrtáky



Dělové vrtáky



Obrázeční kolečka



Kotoučové frézy



Technické frézy



Závitníky