

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2015

JIŘÍ DOSTÁL



Moderní trendy v technologii kovoobrábění

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. et Ing. Petr Dostál, PhD.

Vypracoval:
Dostál Jiří

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma **Moderní trendy v technologii kovoobrábění** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. et Ing. Petr Dostálovi, Phd. za odborné vedení a cenné rady k mé bakalářské práci. Také děkuji mé rodině, mým přátelům a přítelkyni za veškerou podporu po celou dobu mého studia.

ABSTRAKT

V práci je řešena problematika v obráběcích technologiích a automatizacích výroby. Nejprve jsou uvedené některé metody třískového a beztřískového obrábění, popsána jejich podstata a princip. Dále je pozornost věnována řezným materiálům jejich základnímu dělení a očekávanému vývoji. V další části je uvedeno dělení obráběcích center a jejich zastoupení na současném trhu. Pozornost je také věnována robotizaci a jejím uplatnění v strojírenském průmyslu. Za moderní a perspektivní technologii s očekávaným vývojem se jeví beztřísková metoda laserového obrábění, která je zde popsána.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obrábění, řezný materiál, CNC, robot, laser, trendy

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the issue of metal cutting and automation of manufacturing processes. The first part is a presentation of some of the theories and methods of cutting and non-cutting operations. The basis and principles are described. Following part focuses on cutting materials, its basic division and expected progress. Next part describes distribution of machining centres and the market presence. The attention is also focused on robotization and its use in engineering industry. The most perspective and modern technology appears to be the non-cutting operation, which is described in this thesis.

KEYWORDS

Cutting, cutting material, CNC, robot, laser, trends

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	TŘÍSKOVÉ METODY OBRÁBĚNÍ	10
3.1	Soustružení	10
3.2	Frézování	10
3.3	Vrtání.....	11
3.4	Protahování a protlačování	11
4	BEZTŘÍSKOVÉ METODY OBRÁBĚNÍ	13
4.1	Obrábění ultrazvukem	14
4.2	Obrábění vodním paprskem.....	14
4.3	Elektrochemické obrábění	15
4.4	Obrábění laserem	16
5	NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	18
5.1	Nástrojové oceli	18
5.1.1	Nelegované oceli.....	19
5.1.2	Legované oceli.....	19
5.2	Rychlořezné oceli.....	19
5.3	Slinuté karbidy	20
5.4	Cermety	20
5.5	Řezná keramika.....	21
5.6	Supertvrdé řezné materiály	22
6	OČEKÁVANÝ VÝVOJ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	23
6.1	Moderní povlakovací metody	24
6.1.1	PVD metoda.....	24
6.1.2	CVD metoda	25
6.2	Současný stav a další vývoj povlaků.....	26
6.2.1	Plazmaticky aktivovaná CVD metoda	26
6.2.2	Multivrstvé povlaky	27
6.2.3	Diamantové povlaky	28
7	CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	29
7.1	Obráběcí centra CNC	29
7.2	Univerzální obráběcí centra	29

7.3	Současná obráběcí centra na trhu	30
7.3.1	Multifunkční pětiosá frézovací obráběcí centra.....	30
7.3.2	Horizontální obráběcí centra.....	31
7.3.3	Portálová obráběcí centra	31
7.3.4	Multifunkční obráběcí centra.....	32
7.4	Výrobní technologie HSC	33
7.4.1	Řezné materiály pro HSC	33
7.4.2	Řezné podmínky	33
7.4.3	Výhody metody HSC	35
8	AUTOMATIZACE A TRENDY VÝVOJE	36
8.1	Trendy vývoje automatizace	36
8.1.1	Robotizace	37
8.1.2	Robotizovaná obráběcí pracoviště	39
9	SOUČASNÉ TRENDY V OBRÁBĚNÍ LASEREM.....	42
9.1	Obrábění laserem pomocí robotů	44
9.2	Výhody laserových robotických systémů oproti mechanickému řešení	45
	ZÁVĚR	47
	POUŽITÁ LITERATURA.....	48
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	51
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	53

1 ÚVOD

Obrábění je technologický proces, při kterém se dosahuje určitého tvaru obrobku odebíráním materiálu různými nástroji a metodami.

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem jsou příslušné obrobené plochy (Kocman, 2011).

V dnešní době je kladen velký důraz na přesnost a hlavně produktivnost obráběcích strojů. Podstatná část vývoje třískového obrábění se datuje až do období průmyslové revoluce. Nejvíce významný rozvoj v tomto odvětví však nastal až ve 20. století a i nyní další vývoj i výzkum nezpomaluje. V průběhu 20. století začaly do třískového obrábění také významně vstupovat prvky řízení a automatizace.

Jedno z nejdůležitějších období však přišlo až v době, kdy byly řídicí systémy založeny na bázi CNC s multiprocesorovými počítačovými strukturami.

Dnes se vývoj zaměřuje na nové generace obráběcích center. Je snahou vytvářet multifunkční stroje, které jsou schopny výrobek zhotovit za pomoci co nejméně pracovních operací, také se stále více prosazují beztřískové metody obrábění.

Automatizace procesů, je jedním z faktorů, které snižují vlastní náklady a v současné době se dostává stále více do popředí i vlivem obecného nedostatku kvalifikovaných pracovních sil. Prvotním záměrem, vedoucím až ke vzniku robotů, bylo postupné osvobození člověka od jednotvárné, monotónní práce a náhrada lidské práce funkcí mechanismů ve zdraví škodlivém nebo jinak nebezpečném či pro člověka nedostupném prostředí. Úspěšným věkem nasazování průmyslových robotů je možné považovat již období okolo roku 1985, kdy docházelo k širšímu zavádění robotů do velkosériové výroby, obzvláště v oblasti automobilového a elektrotechnického průmyslu. Až do počátku devadesátých let minulého století se počty instalovaných robotů za každé tři roky přibližně zdvojnásobily (mmspektrum.com).

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce na téma „Moderní trendy v technologii kovoobrábění“ je vytvořit přehled a popsat princip vybraných metod třískového a beztřískového obrábění, které se nejvíce používají. Práce se zabývá problematikou nástrojových materiálů, dále očekávaným vývojem nových řešení v oblasti materiálů. V práci je uvedeno základní rozdělení obráběcích CNC strojů se současnou nabídkou na trhu, obzvláště moderních obráběcích center. Další část práce se zabývá budoucím vývojem automatizace a robotizací, která se čím dál více uplatňuje. Pozornost je věnována také robotickému laserovému obrábění, které je v současnosti velmi perspektivní beztřísková metoda obrábění.

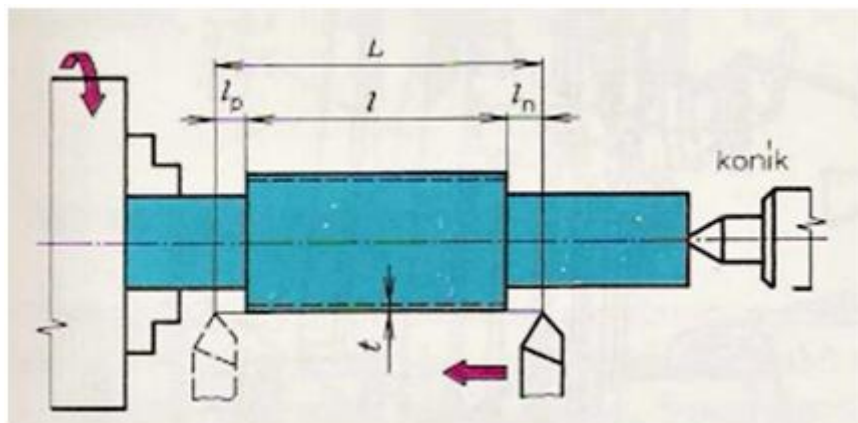
3 TŘÍSKOVÉ METODY OBRÁBĚNÍ

Mezi základní třískové metody obrábění břítu patří soustružení, frézování, vrtání, protahování, protlačování.

3.1 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, při níž se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění.

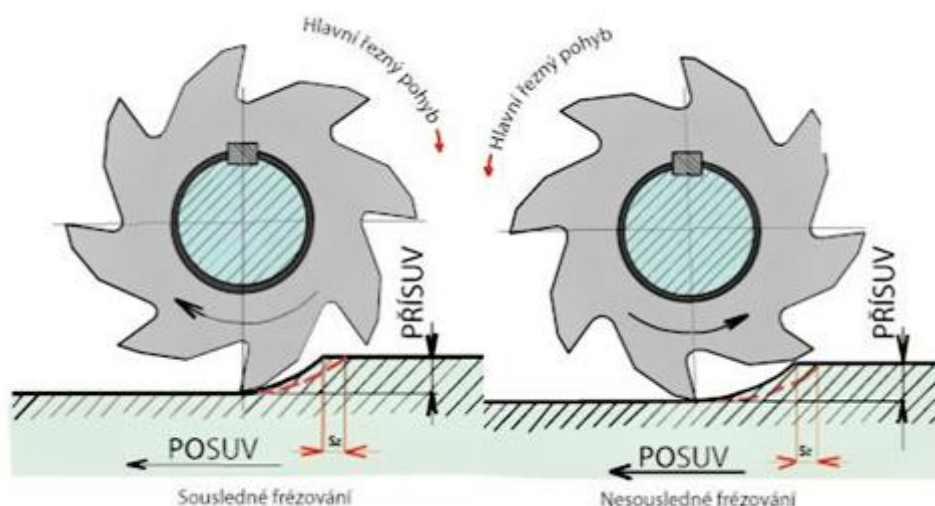
Hlavní pohyb je rotační pohyb obrobku, a rychlost hlavního pohybu je současně řeznou rychlostí v_c . Řezná rychlost závisí na vlastnostech obráběného materiálu, řezných vlastnostech materiálu nástroje, jmenovitém průřezu třísky a trvanlivosti břítu. Posuvový pohyb je přímočarý, vykonává ho obvykle nástroj. Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici, při soustružení rotační plochy po obecné prostorové křivce (Kocman, 2011).



Obr. 1 Podstata soustružení (sps-ko.cz)

3.2 Frézování

Metoda, při níž je materiál odebrán břity otáčejícího se nástroje. Posuv koná součást ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Rozlišujeme sousledné a nesousledné frézování (Kocman, 2011).

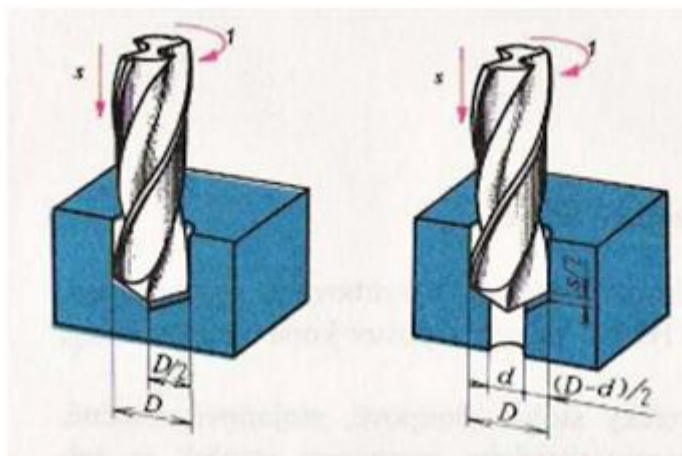


Obr. 2 Sousledné frézování a nesousledné frézování (strojka.opava.cz)

Sousledné frézování je smysl rotace proti směru posuvu obrobku. Nesousledné frézování je smysl rotace ve směru posuvu obrobku.

3.3 Vrtání

Je výrobní metoda, kterou se vytváří nebo zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho nástroj, méně často obrobek. Osa vrtáku je obvykle kolmá k ploše, ve které vstupuje vrták do obrobku (Kocman, 2011).

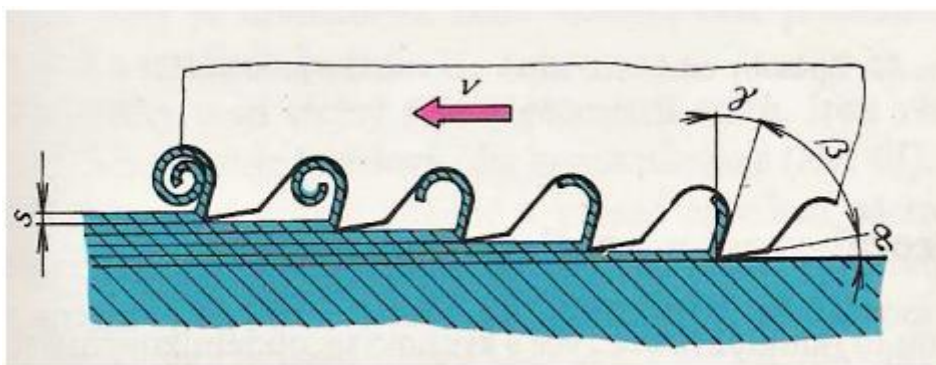


Obr. 3 Vrtání (sps-ko.cz)

3.4 Protahování a protlačování

Je dokončovací obráběcí proces, při kterém se vysoce produktivním způsobem obrábí tvarové díry a to vnitřní nebo vnější. Protahování a protlačování od sebe liší jen konstrukcí nástroje, způsobem jeho upnutí a velikostí úběru materiálu.

Podstatou je postupný záběr jednotlivých po sobě jdoucích zubů do obrobku. Obrobek zpravidla stojí a nástroj se pohybuje řeznou rychlostí v_c (Kocman, 2011).



Obr. 4 Podstata protahování (sps-ko.cz)

4 BEZTRŽÍSKOVÉ METODY OBRÁBĚNÍ

Nekonvenčních metody obrábění se využívají především pro materiály, které jsou běžným mechanickým způsobem velice těžko obrobitelné nebo jsou neobrobitelné.

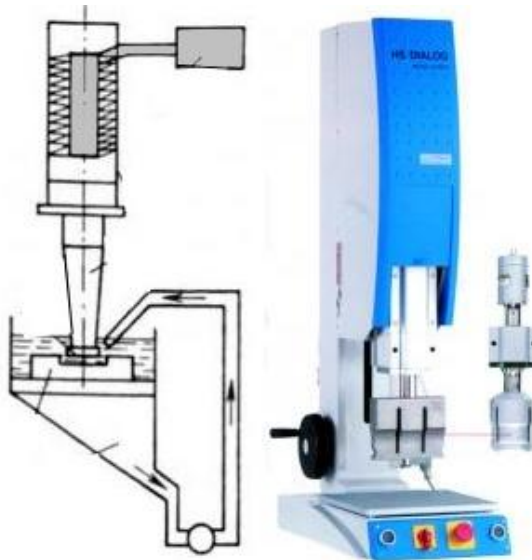
Mezi tyto materiály patří např. kompozitní materiály s kovovou maticí, monolitické a kompozitní keramické materiály, některé polymery apod. Problémy které vznikají při obrábění těchto materiálů, jsou způsobeny jejich vysokou tvrdostí, křehkostí, žárupevností a chemickou reaktivitou s řezným nástrojem apod. (*DSSM-dělení, spojování a svařování materiálů, 2000*).

Tabulka 1 - Rozdělení nekonvenčních metod (Maňková, 2000)

Mechanické procesy	Obrábění ultrazvukem
	Obrábění proudem brusiva
	Obrábění vodním paprskem
Chemické procesy	Chemické obrábění
	Fotochemické obrábění
Elektrochemické procesy	Elektrochemické obrábění
	Elektrochemické broušení
Elektroteplené procesy	Elektrojiskrové obrábění
	Obrábění laserem
	Obrábění paprskem elektronů

4.1 Obrábění ultrazvukem

Obrábění ultrazvukem je proces, ve kterém se využívá ultrazvukových vln s frekvencí okolo 20kHz na úběr materiálu rozrušováním povrchu nárazovým účinkem rozkmitaného brusiva.



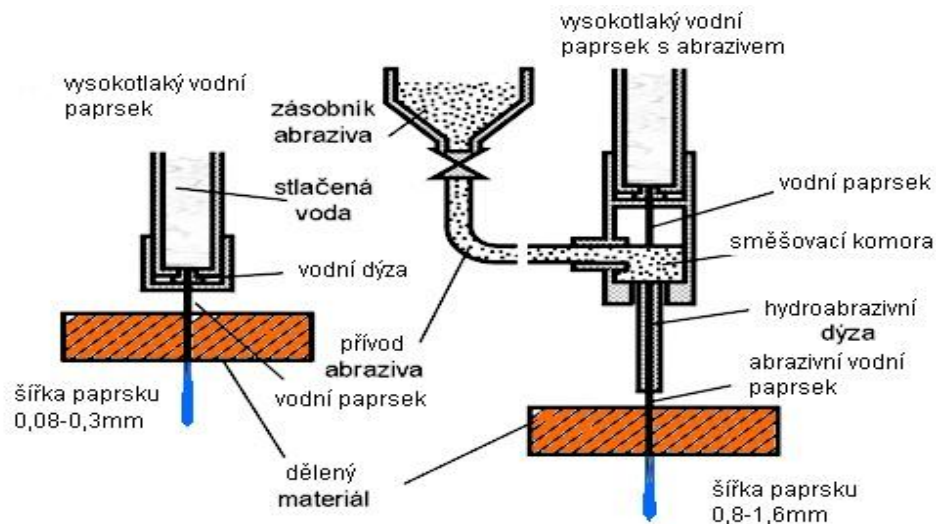
Obr. 5 Zařízení pro obrábění ultrazvukem (mmspektrum.com)

- **Ultrazvukové obrábění** - technologie ultrazvukového obrábění s použitím brusné suspenze a nerotujícího nástroje.
- **Rotační ultrazvukové obrábění** - ultrazvukové obrábění rotačním nástrojem bez použití abrazivní suspenze (Maňková, 2000).

4.2 Obrábění vodním paprskem

Pomocí tlakové pumpy je dodáno vodnímu paprsku vysoký tlak 300-450 MPa, který prochází přes dýzu o průměru 0,08 – 2 mm.

Rychlost vodního paprsku dosahuje až dvojnásobku rychlosti zvuku. Dosahuje se vysoké koncentrace paprsku na malé ploše.



Obr. 6 Vysokotlaký vodní paprsek (sps-ko.cz)

Výhody:

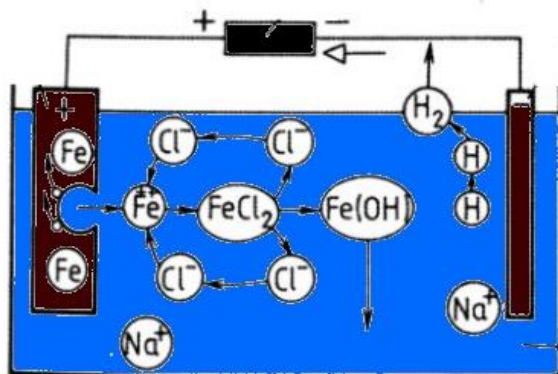
- Řez bez tepelného ovlivnění
- Řezání těžko obrobitelných
- Vysoká řezná rychlost
- Malé ztráty průřezu
- Možnost řezání v různých směrech (Maňková, 2000)

4.3 Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění je beztržiskové řízené obrábění elektricky vodivých materiálů, kde se využívá fyzikálního jevu, elektrolýzy.

Obrobek tedy anoda je ponořen do elektrolytu a dochází na něm k reakci, při níž se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu na povrchu anody a postupně rozrušují (ubírají) kov z anody. Anoda kopíruje tvar nástrojové elektrody (katody). Úběr materiálu je závislý na minimální mezeře mezi elektrodami dále na jejím udržení na stále stejné velikosti (cca 0,05 až 1 mm), na teplotě, rychlosti proudění a složení elektrolytu (mmspektrum.com).

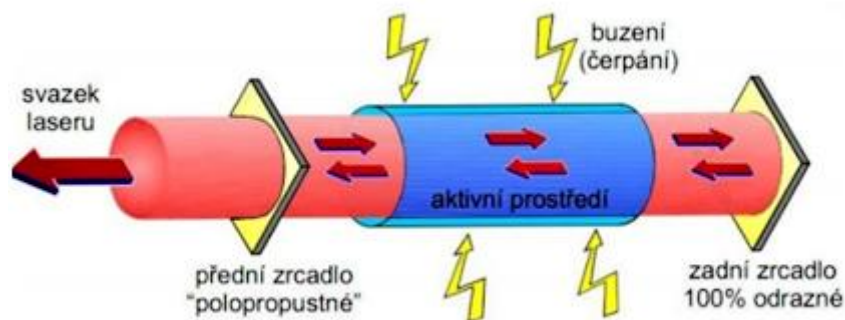
Charakteristické pro tento způsob obrábění je, že opotřebení nástrojové elektrody je nepatrné. Nedochozí k výrazné změně tvaru nástrojové elektrody (Maňková, 2000).



Obr. 7 Princip elektrochemického obrábění (mmspektrum.com)

4.4 Obrábění laserem

Laser je záření o stejné vlnové délce a frekvence. Principem laseru je soustředění vysoké plošné hustoty energie do malého bodu. Laser je zařízení, které je schopno přeměňovat energii na laserové světlo. Energie může být dodávána různými způsoby, např. opticky, chemicky, elektricky atd. Vzhled laserů bývá velmi různorodý (techno-mat.cz).



Obr. 8 Princip laseru (techno-mat.cz)

Druhy laserů:

- Pevnotlaké – zde je aktivním prostředím pevná látka (vláknové, diskový laser),
- Plynové - aktivní prostředím bývá plyn buzený chemickou reakcí nebo elektrickým výbojem (CO₂ , hélium - neonový),
- Kapalinové – zde jsou aktivním prostředím roztoky různých organických barviv (rhodamin),
- Polovodičové - aktivním prostředím bývá materiál, ve kterém jsou nerovnovážné elektrony

Výhody laserového obrábění:

- laserový paprsek se nerozebíhá, lze jej soustředit do jednoho bodu
- lze používat v různých oblastech průmyslu pro obrábění širokého spektra materiálů, jako jsou např. kalené materiály, vysokopevnostní oceli, diamant, konstrukční keramika, slitiny titanu a niklu, sklo, dřevo, kůže apod.

Nevýhody laserového obrábění:

- riziko poškození sítnice a zraku, tržné rány, nebezpečí požáru, popáleniny
- tepelné ovlivnění materiálu, vysoká pořizovací cena a u některých laserů vysoké provozní náklady (techno-mat.cz)

5 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

K základním požadavkům na nástrojový materiál patří jeho tvrdost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, pevnost v ohybu a houževnatost. Tyto vlastnosti by měl materiál splňovat při vyšších a vysokých teplotách po dostatečně dlouhou dobu. Jedná se především o požadavek vysoké řezivosti a tím i vysokého řezného výkonu (Kocman, 2011).

Obecně se užívá těchto nástrojových materiálů:

- Nástrojové oceli
- Rychlořezné oceli
- Stelity
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Keramické nástrojové materiály
- Polykrystalický kubický nitrid bóru
- Polykrystalický diamant
- Přírodní diamant

V aplikaci na NC obráběcí stroje a centra se v současné době používají nejčastěji nástroje s vyměnitelnými destičkami ze slinutého karbidu, včetně povlakovaných destiček, a to v rozsahu cca 80% a ve zbývajícím rozsahu nástrojů zejména rychlořezné oceli. Použitelnost nástrojů na NC obráběcích strojích je podmíněna jejich vysokou kvalitou a stabilitou parametrů čehož se dosahuje, volbou vhodného druhu materiálu řezné části nástroje, volbou optimálních řezných parametrů a výrobou a údržbou těchto strojů (Kocman, 2004).

5.1 Nástrojové oceli

Na nástroje jsou kladeny různé požadavky. Některé musí být vysoce tvrdé a pevné jiné houževnaté. U všech nástrojů je kladen důraz na odolnost proti adhezivnímu a abrazivnímu opotřebení, u některých i za vyšších teplot. Nástrojové oceli musí mít co nejnižší obsah vměstků a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici. Tím se sníží praskání nástrojů při kalení nebo vyštípování břitu. Nástrojové oceli jsou zařazeny v 19. třídě (Humár, 2008).

5.1.1 Nelegované oceli

U nelegovaných ocelí má největší vliv obsah uhlíku. V dnešní době však ztrácejí význam a jsou nahrazovány především legovanými oceli. Nelegované oceli snášejí teplotu bříty do 230 °C a řezné rychlosti do 15 m.min⁻¹ (Kocman, 2011).

Tabulka 2 - Chemické složení oceli 19 222 (Kocman, 2011)

Chemické složení	1,0 – 1,2 % C	0,2 – 0,4 % Mn	0,15 – 0,35 % Si	0,3 % P 0,35 % S	0,2 % Cr 0,25 % Ni
------------------	------------------	-------------------	---------------------	---------------------	-----------------------

5.1.2 Legované oceli

Hlavními legujícími prvky těchto ocelí jsou karbidotvorné prvky Cr, V, W, Mo, které vytvářejí tvrdé a až do vysokých teplot stálé karbidy. Další legující prvky Ni, Si, Co nejsou karbidotvorné.

Oproti nelegovaným ocelím jsou tyto oceli zejména charakteristické větší prokalitelností a zvýšenou odolností proti popouštění, avšak jsou náročnější na tepelné zpracování. Nástroje z legovaných nástrojových ocelí snášejí teplotu bříty 250 až 350°C a řeznou rychlost 15 až 25 m.min⁻¹ (Kocman, 2011).

Tabulka 3 - Chemické složení oceli 19 712 (Kocman, 2011)

Chemické složení	1,15 – 1,30 % C	0,40 – 0,70 % Mn	0,15 – 0,35 % Si	0,030 % P
	0,035 % S	1,45 – 1,80 % Cr	0,35 % Ni	1,20 – 1,60 % W

5.2 Rychlořezné oceli

Jedná se o samostatnou skupinu legovaných ocelí, a to pro své zcela specifické vlastnosti a využitelnost, zejména pro vysoce výkonné řezné nástroje. Obsahují karbidotvorné prvky jako jsou W, Cr, V Mo a nekarbidotvorný Co. Uhlíku obsahují zpravidla jen 1%. Jsou vhodné na obrábění ocelí, ocelí na odlitky o vysoké pevnosti a tvrdosti a těžkoobrobitelných materiálů.

Rychlořezné oceli se vyznačují střední odolností proti opotřebení a vysokou lomovou pevností, proto mají široké pole uplatnění. Nejčastěji se používají pro tvarové nástroje, výstružníky, závitníky, frézy menších rozměrů. Důležitým předpokladem optimálního využití nástrojů z rychlořezných ocelí je použití vhodného řezného prostředí.

Nástroje z rychlořezných ocelí snáší teplotu břitu 500 – 700 °C a mohou být využity pro řeznou rychlost 25 – 50 m.min⁻¹ (Kocman, 2011).

Tabulka 4 - Chemické složení oceli 19 858 (Kocman, 2011)

Chemické složení	1,30 – 1,45 % C	0,45 % Mn	0,40 % Si	0,035 % P
	4,00 – 4,80 % Cr	0,50 % Mo	11,00 – 13,00 % W	4,50 – 5,50 % Co

5.3 Slinuté karbidy

Jsou produktem práškové metalurgie a vyrábí se z karbidů a kovového pojiva. Mezi nejdůležitější patří karbid wolframu WC, karbid titanu TiC a karbid tantalu TaC. Jako pojivo se používá kobalt Co (Kocman, 2011).

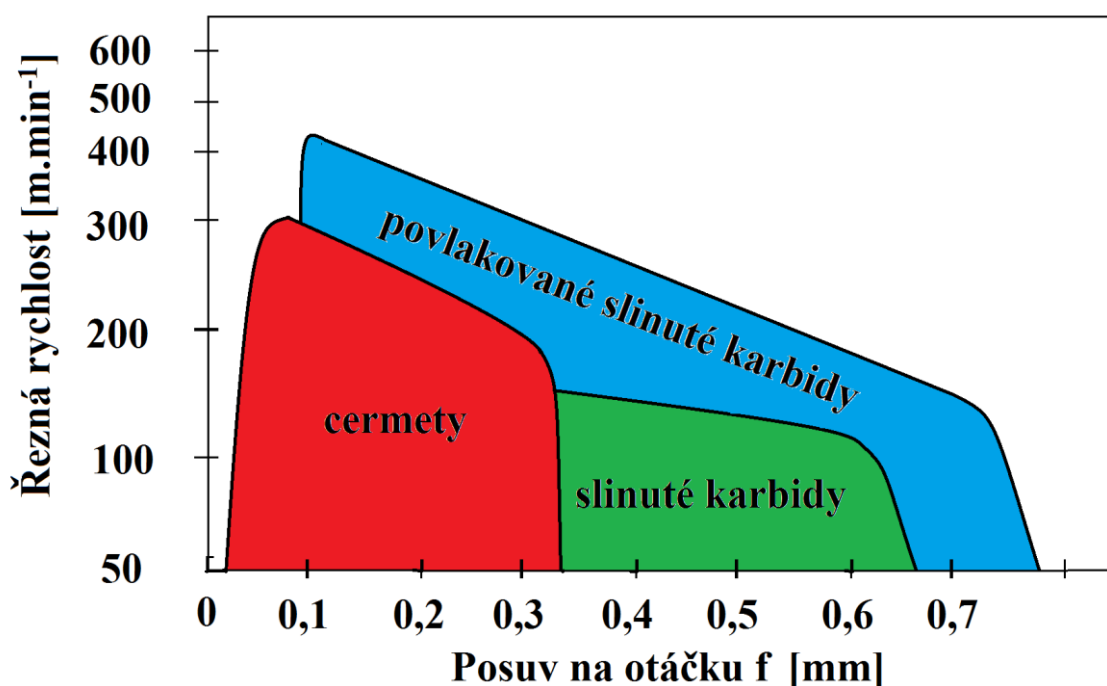
Rozlišujeme nepovlakované slinuté karbidy a povlakované slinuté karbidy. Výroba slinutých karbidů představuje typickou metodu oboru, nazývaného prášková metalurgie, který se zabývá přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících kovů, jejich mísením, lisováním směsi a slinování výlisků.

Podstatou výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který vyniká vysokou pevností (Mattson, 2010).

5.4 Cermety

Jedná se o materiál, jehož mechanické vlastnosti vykazují výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Jedná se vlastně o slinuté karbidy s tvrdou fází tvořenou zejména TiC + TiN. Oproti slinutým karbidům mají vysokou odolnost proti adhezi a nízkou náchylnost k reakci s obráběným materiálem a proto jsou velmi rozšířené hlavně pro dokončovací operace obrábění.

Charakteristickou vlastností cermetů je nízká měrná hmotnost, která se pohybuje v rozmezí $5,6 - 7,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Ve srovnání se slinutými karbidy jsou tyto hodnoty zhruba poloviční a jsou dány zejména tím, že cermety neobsahují v převážné většině těžký karbid wolframu. Jejich nevýhodou je nízká houževnatost, která je sice pořád zvyšována ale nedosahuje hodnot jako u slinutých karbidů (Mattson, 2010).



Obr. 9 Oblasti základních řezných podmínek při soustružení (Zdroj autor)

Tvrdość cermetů je přibližně srovnatelná se slinutými karbidy, houževnatost je nižší. Pevnost slinutých karbidů je o 15 – 20 % vyšší než u cermetů. Odolnost proti tepleným šokům je u cermetů nižší, a proto je omezeno jejich použití při přívodu řezné kapaliny (Kocman, 2011).

5.5 Řezná keramika

Keramické materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za tepla a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují vysokou trvanlivost břítu, snášejí vysokou teplotu na břítu (až 1200°C) a mohou být použity při řezných rychlostech 300 až 1600 m.min^{-1} .

Řezná keramika je velmi křehká, má nízkou tepelnou vodivost. Vyrábí se ve tvaru destiček, které jsou mechanicky upínané na řeznou část nástroje a jsou vyměnitelné (Kocman, 2011).

Další výhody jsou nízká měrná hmotnost, dostupnost, odolnost proti opotřebení a působení vysokých teplot, poměrně nízká cena. Rozlišujeme oxidovou keramiku a nitridovou keramiku. Hlavními materiály pro výrobu řezných keramik jsou především oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbidy TiC , TiN a nitrid Si_3N_4 . Jde o chemicky velmi stabilní látky, s vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám (Mattson, 2010).

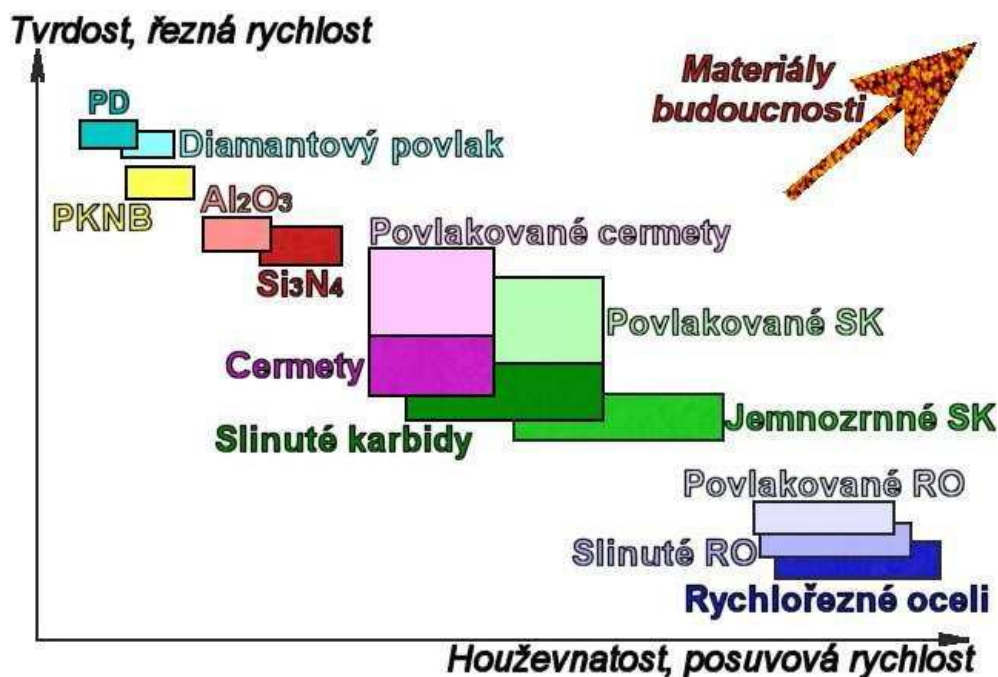
5.6 Supertvrde řezné materiály

Mezi tyto materiály v současné době patří polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant. Tyto materiály představují nejtvrdejší řezné materiály, proto se označují jako supertvrde. V praxi jsou aplikovány jako diamantové prášky, prášky kubického nitridu bóru, brousící kotouče obsahují tyto komponenty, diamantové brousící pasty, řezné nástroje osazené segmenty. Nevýhodou těchto materiálů je vysoká pořizovací cena (Kocman, 2011).

6 OČEKÁVANÝ VÝVOJ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ

Další vývoj řezných materiálů je ovlivňován snahou o jeho široké použití a výzkumem nových obráběných materiálů. Požadavky na řezné materiály kladou zejména obráběné materiály s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností (Kocman, 2004).

Vývoj nových řezných materiálů s vyšší odolností proti opotřebení a vydrolování při vyšší řezné rychlosti a posuvové rychlosti je problém, který nikdy nekončí. Zdá se, že v současné době je málo pravděpodobné, že bude objevena nějaká úplně nová tvrdá látka a využitelná pro řezné nástroje. Avšak další intenzivní výzkumné úsilí může jistě přinést významný pokrok ve zlepšení vlastností již existujících materiálů. Lze očekávat rovnoměrnější struktury bez defektů. Nové technologie povrchových úprav přináší další zlepšení odolnosti materiálů proti opotřebení. Velký význam pro vývoj má též nárůst řezného výkonu a sním spojený nárůst úběru materiálu v důsledku vyšších posuvových a řezných rychlostí (Humár, 2008).



Obr. 10 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky (Humár, 2008)

Nejpoužívanějším řezným materiálem zůstanou nejspíš i nadále povlakované slinuté karbidy s tím, že bude snaha především zdokonalit proces slinování a povlakování. U keramických materiálů není rovněž vývoj ukončen např. u kombinace keramiky a různých výstužných vláken. Možnosti dalšího vývoje jsou u nitridové keramiky, ale

i u cermetů, které jsou vhodné k obrábění při malých úběrech a vysokých řezných rychlostech (Kocman, 2004).

6.1 Moderní povlakovací metody

Současné moderní povlakovací metody jsou velice významné v průmyslové praxi. Pro většinu materiálů a operací je použití otěruvzdorných a velmi tvrdých povlaků nezbytností, dále také vedou k vyšší efektivnosti a produktivitě.

Pro povlakování břitových destiček řezných nástrojů existují dvě metody. Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) a metoda PVD (Physical Vapour Deposition) (mmspektrum.com).

6.1.1 PVD metoda

PVD metoda je technologická příprava zhruba 2 μm silných vrstev, které vynikají svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jsou vysoce tvrdé, odolné vůči otěru a vysokým teplotám (550°C, ale i 750°C a více), odolné proti korozi a kyselinám, navíc se vyznačují nízkým třením, jsou cestou ke zvýšení produktivity.

Takto povlakované nástroje jsou schopny vyšších řezných rychlostí, mají mnohem větší životnost. Také jsou schopny pracovat v podmínkách, ve kterých nástroje bez povlaku nemohou pracovat např. při obrábění některých těžkoobrobitelných materiálů.

Díky menšímu počtu přebroušení a menšímu úběru materiálu, šetří náklady na pořízení dalších nástrojů. Přináší také ekonomický přínos, díky lepšímu využití strojů a nižší spotřebou elektrické energie zapříčiněno nižším řezným odporem. Avšak vyšší požadovaný výkon přináší vyšší nároky na přípravu (pvd.cz).



Obr. 11 Průřez povlakem (pvd.cz)

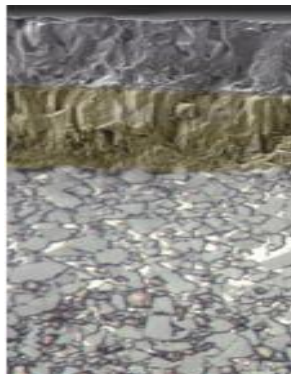
6.1.2 CVD metoda

CVD metoda je určena pro výrobu povlaků, které vykazují nízké pnutí díky tepelně aktivovaným chemickým reakcím. Materiál na povlak je dodáván do povlakovací komory pomocí par příslušného prekurzoru (pracovního plynu). Tyto páry se rozkládají nebo reagují s dalšími pracovními plyny a vytvářejí povlak na základním materiálu. Prekurzory jsou přiváděny do reakční zóny a vedlejší produkty jsou odváděny pryč. Tyto procesy lze provádět za atmosférického tlaku nebo ve vakuu.

CVD metoda se používá k nanášení 5-12, v některých případech až 20 μm silných povlaků. Mezi používané materiály patří TiC, TiCN, TiN. Nanáší se jako jednoduché nebo multivrstvé povlaky na obráběcí břitové destičky nebo mechanické díly, které podléhají korozivnímu prostředí.

Základními materiály k povlakování mohou být karbidy wolframu, vysokoteplotní slitiny niklu, nástrojové oceli nebo keramika. Zušlechtnuté nástrojové oceli potřebují po povlakování opětovné tepelné zpracování, z důvodu dosažení požadované tvrdosti. Výhody této metody jsou:

- Nízké pnutí
- Vynikající adheze povlaku v důsledku vzniku difuzní vazby
- Vysoká nosnost
- Vynikající jednotnost povlaku, nezávisle na geometrii dílu
- Možnost povlakovat složité tvary, včetně některých vnitřních průměrů (ionbond.cz)



Obr. 12 CVD povlak (*sandvik.coromant.com*)

6.2 Současný stav a další vývoj povlaků

Na přelomu 80. a 90. let byl výrazný nárůst břitových destiček s vícevrstevnými povlaky a také nárůst počtu povlaků vyrobených pomocí jiných metod než byla CVD. Zřejmý posun k metodám CVD a PVD, byl způsoben výbornými vlastnostmi vyrobených povlaků těmito metodami.

Tyto trendy nejen přetrvaly až do současnosti, ale i v závislosti na zdokonalování současných metod a vývoje nových povlakovacích metod jsou neustále zesilovány. V souladu s vývojem na konci 80. let se v současné době u vyměnitelných břitových destiček nejvíce používají povlaky čtvrté a třetí generace. K dřívějším materiálům pro jednotlivé vrstvy jako jsou TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃, přibyly nové jako např. Al₂O₃+ZrO₂, AlTiN, B₄C, CrC, CrN, HfC, HfN, MgO, SiO₂, TaC, TaN, TaCN, TiC+TiB₂, (Ti-Cr)CN, TiAlN, TiAlSiN, TiO₂, Ti₂N, TiN/NbN, TiN/TaN, TiZrN, Y₂Z₃, ZrC, ZrN, avšak některé z nich se ještě nedostaly do sériové výroby.

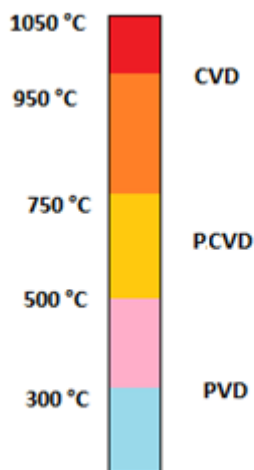
Velikou roli u zvyšování výkonu řezného nástroje hraje i tzv. lubrikační povlakovaná vrstva, např. MoS₂, která je vytvořena metodou PVD. Její nejvýznamnější funkcí je snížit tření mezi třískou a čelem nástroje, dochází k nižšímu tepelnému zatížení nástroje a ke zvýšení jeho trvanlivosti. Obrovský zájem výrobců se také soustřeďuje na sledování a vývoj vlastností povlaků z polykrystalického diamantu (mmspektrum.com).

6.2.1 Plazmaticky aktivovaná CVD metoda

Zásadní změnou v technologii vytvoření tenkých otěruvzdorných vrstev přinesla tzv. plazmaticky aktivovaná CVD metoda (označení PCVD metoda). Tato metoda se od klasické CVD metody liší nižšími pracovními teplotami (běžně 600 °C), zatímco se nemění její princip, to je vytvoření povlaku z plynné fáze.

PCVD metoda je založena na zvětšení energie plynné atmosféry v povlakovací komoře, za pomoci její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Takto aktivovaná plazma je schopna snížit teplotu potřebnou pro ukládání povlaku na povrchu substrátu. Plazma lze vytvořit za pomoci elektrického napájecího zdroje. U elektrického napájení se považuje nejvýhodnější pulzní metoda, u které je vysoké stejnosměrné napětí přiváděno na katodu ve formě řízených pulzů. Tyto pulzy jsou schopny zapálit plazmu a díky řízení jejich délky lze použít právě takové napětí, které vytvoří povlak s požadovanými

parametry a přitom nezpůsobuje ohřev substrátu. Pomocí PCVD metody byly vytvořeny povlaky např. povlaky TiN, HV a TiCN (mmspektrum.com).



Obr. 13 Použité teploty různých metod povlakování (Zdroj autor)

6.2.2 Multivrstvé povlaky

Veliké trvanlivosti a s ní spojených vysokých úběrů obráběného materiálu se dosahuje břitovými destičkami ze slinutých karbidů s multivrstvémi povlaky. Tyto povlaky jsou založeny na principu střídání dvou typů vrstev s jinými fyzikálními vlastnostmi, přitom tloušťky vrstev jsou velice malé.

Výsledné fyzikální vlastnosti multivrstvého povlaku jsou výrazně jiné od vlastností homogenní monovrstvy, která má stejné průměrné složení. Multivrstvé povlaky jsou schopny dosahovat vysoké tvrdosti a zvyšuje se také trvanlivost povlaku oproti monolitnímu. Takovéto povlaky vykazují vynikající řezné vlastnosti ve srovnání s monolitními povlaky vytvořené pomocí metody PVD nebo CVD (mmspektrum.com).



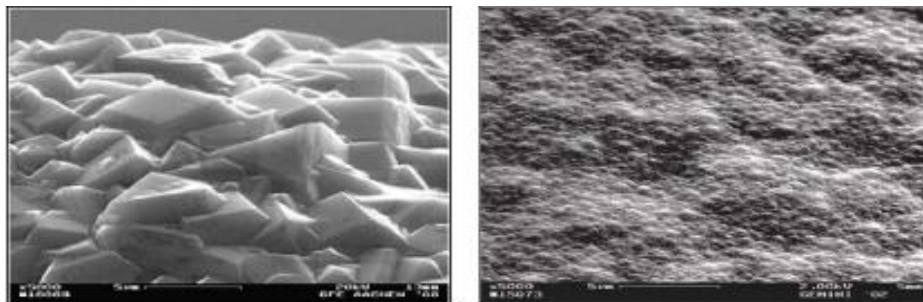
Obr. 14 Multivrstvý PVD povlak (pramet.cz)

6.2.3 Diamantové povlaky

Břítové destičky ze slinutých karbidů s povlakem s polykrystalického diamantu slouží jako alternativa destiček s připájenými roubíky. Mezi výhody těchto destiček patří vyšší rozsah výroby, pružná změna, nízká výrobní cena.

Diamantový povlak má velice malý součinitel tření, např. menší než má teflon. To se projevuje zvýšením řezného výkonu nástroje, dále je jeho tepelná vodivost vyšší než tepelná vodivost mědi. Takovéto destičky mají vyšší počet využitelných břitů oproti klasickým destičkám s roubíkem, který je připájen na jedné špičce destičky. Největší nedostatky diamantových povlaků jsou nízká houževnatost. Diamantový povlak vytvořený metodou CVD je velice křehký. Tyto destičky nejsou schopny odolávat mechanickým šokům, tudíž nejsou vhodné pro přerušované řezy.

Díky nerovnoměrnému rozložení kobaltu v podkladovém slinutém karbidu nelze předvídat řezné vlastnosti a výkony, ale i přesto mají ve srovnání s nepovlakovanými destičkami 10krát - 50krát vyšší trvanlivost. Díky většímu počtu břitů je i jejich životnost mnohem delší (mmspektrum.com).



Obr. 15 Diamantové povlaky firmy CemeCon

7 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Oblast vývoje výrobních strojů ve strojírenství je v současnosti z velké části dán použitím výpočetní techniky. Automatizace řízení strojů při použití počítačem a příslušných softwarů zvyšuje zásadním způsobem jejich technickou hodnotu tím, že provádí přesně, rychle a spolehlivě opakované činnosti, tedy zvyšuje produktivitu práce. CNC stroje dnes pokrývají obrovský rozsah různých technologií obrábění. CNC obráběcí centrum je v podstatě jeden stroj, který obsahuje rozličné technologie výroby (Štulpa, 2006).

7.1 Obráběcí centra CNC

Tabulka 5 - Třídění obráběcích strojů

Obráběcí centra					
Obráběcí centra pro rotační obrobky			Obráběcí centra pro skříňové obrobky		
broušení rotačních ploch	soustružení	frézování a vrtání		vyvrtávání	broušení rovinných ploch
Jednoprofesní stroje					
CNC brusky na rotačních ploch	CNC soustruhy	CNC frézky	CNC Vrtačky	CNC vyvrtávačky	CNC brusky rovinné

V tabulce je znázorněno třídění obráběcích strojů, původně jednoprofesních tříděných dle technologie obrábění. V současnosti podniky již nekupují jednoprofesní CNC stroje. V dnešní době je kladen důraz na ekonomiku provozu. Již při vývoji stroje se berou v úvahu ekonomické požadavky, které vyvolávají technologické požadavky a vedou ke konstrukci, koncepci stroje s progresivní výrobní technologií HSC (Štulpa, 2006).

7.2 Univerzální obráběcí centra

V současné době se začíná prosazovat nový směr ve vývoji obráběcích center se širokou univerzálností. Například, univerzální obráběcí centra, které jsou schopné komplexně opracovat rotační i skříňové prvky.

Výhody univerzálních obráběcích center:

- Umožnění opracování složitých součástí s rotačními a skříňovanými tvary, které se doposud musely vyrábět minimálně na dvou strojích, na jedno upnutí, a tím se zkrátí doba výroby a zlepší se přesnost výroby
- Použití jednoho stroje namísto dvou vede k výrazným úsporám v zřizovacích nákladech na výrobní zařízení a k úspoře půdorysných ploch v hale
- Při výrobě rotačních tvarů je možné při těchto strojích používat kombinovanou technologii hrubování frézováním a dokončování soustružením, která je v některých případech rychlejší a energeticky méně náročnější. Také se zmenší objem dlouhých soustružnických třísek, s kterými se těžko manipuluje (Vasilko, 2006).

7.3 Současná obráběcí centra na trhu

7.3.1 Multifunkční pětiosá frézovací obráběcí centra.

Trend produktivní výroby spěje k velkému využití těchto strojů. Stroje jsou určeny pro dílce, které je nutno jak frézovat v pěti osách, tak i soustružit a i výkonným způsobem frézovat, jedná se tedy jak o rotační dílce, tak i o dílce nerotační. Využití těchto strojů je tak velmi rozmanité a nachází se napříč různými segmenty průmyslu, kde hlavní těžiště spočívá v energetickém, těžebním, leteckém a dopravním průmyslu. Nemalé využití těchto strojů je i v segmentu nástrojářen (kovosvit.cz).



Obr. 16 Pětiosé obráběcí centrum (kovosvit.cz)

7.3.2 Horizontální obráběcí centra

Horizontální obráběcí centra jsou moderní výkonná vyvrtávací a frézovací 3-osá paletová centra umožňující obrábění středně velkých a velkých obrobků, vysokoproduktivní a přesné vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a přímé řezání závitů (cnc-inaxes.cz).



Obr. 17 Horizontální obráběcí centrum (tajmac-zps.cz)

7.3.3 Portálová obráběcí centra

Portálová obráběcí centra jsou univerzální frézovací stroje schopny vysoce přesně a produktivně obrábět vodorovné, svislé i tvarové plochy od malých až po velice objemné a hmotné obrobky. Mezi typické obrobky patří rozměrné formy, zápustky, svařence odlitky různých materiálů, také je centrum možné využít i na obrábění několika menších různých dílců, které jsou rozmístěny v pracovním prostoru. Tyto stroje vynikají extrémně tuhou a dynamickou stálostí konstrukce. Přestože jsou pohybované hmoty, jako příčník a smykadlo, velice masivní, stroje mají výborné akcelerační schopnosti a jsou schopny vysokých posuvů. Jejich produktivitu podtrhuje automatická výměna nástrojů s možností vnitřního chlazení a jiné příslušenství rozsáhlého výběru (cnc-inaxes.cz).



Obr. 18 Portálové obráběcí centrum (kovosvit.cz)

7.3.4 Multifunkční obráběcí centra

Představují originální řešení nové generace multiprofesního obráběcího centra. Jsou určeny pro komplexní obrábění rozměrných, tvarově a technologicky náročných, těžko obrobitelných dílců a vysokou hmotností a z velmi rozdílných materiálů, které vyžadují kombinaci technologických operací z oblasti výkonového frézování a soustružení, případně broušení. Soustružnické a frézovací obráběcí centrum má v základním provedení čtyři řízené osy: osu X (podélný pojezd příčnicku), osu Y (příčný pojezd saní), osu Z (svislý pojezd smykadla) a osu C (rotační osa upínací desky). Otočná frézovací hlava s kývavým pohybem v ose B rozšiřuje počet řízených os na 5. Stroje mohou být v 3, 4, 5osém provedení řízených os (tajmac-zps.cz).



Obr. 19 Multifunkční obráběcí centrum (tajmac-zps.cz)

7.4 Výrobní technologie HSC

Zahrnuje vysokorychlostní obrábění a také tzv. suché a tvrdé obrábění. Obecně stále platí – efektivní řezání kovu nastává tehdy, když si řezný materiál udrží v řezném prostředí výraznou převahu tvrdosti oproti obráběnému materiálu.

Při konvenčním obrábění nastává v rovině stříhu zpevnění, ztvrdnutí třísky oproti původnímu materiálu. V podmínkách HSC se sníží kontaktní zóny a při vysokých rychlostech tříska nestihne předat teplo, naprostá většina tepla odchází s třískou. Nástroje mají vysokou kvalitu řezné hrany, důmyslné povlakování, které vzdoruje abrazivnosti a vytváří tepelnou izolaci (Štulpa, 2006).

Rozdíl mezi konvenčním a vysokorychlostním obráběním se výrazně projevuje v tvorbě třísky. Oddělování třísky bývá velice složitý proces, jeho průběh je závislý na hodně činitelích. Nejvíce na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, dále na závislosti na podmínkách plastické deformace. Je-li prakticky veškeré vzniklé teplo při obrábění odvedeno třískou, minimalizuje se vliv energetického působení na vlastnosti povrchové vrstvy a vznik nežádoucích pnutí po obrábění. Tato pnutí jsou často spojená s fázovými přeměnami a jsou vyvolána především plastickou deformací povrchové vrstvy za působení teploty řezání (mmspektrum.com).

7.4.1 Řezné materiály pro HSC

Řezné materiály, aby vzdorovaly možnosti náhlého lomu následkem mechanických a tepelných šoků a omezilo se opotřebení, musí mít vysokou houževnatost, vysokou tvrdost povrchu, vysokou odolnost proti chemickému působení (Štulpa, 2006).

Novodobé řezné materiály umožňují vysokorychlostní obrábění:

- ocelí – cermety
- litiny – keramikou
- neželezné materiály – polykrystalickými diamanty
- litiny a kalené oceli – kubickým nitridem bóru

7.4.2 Řezné podmínky

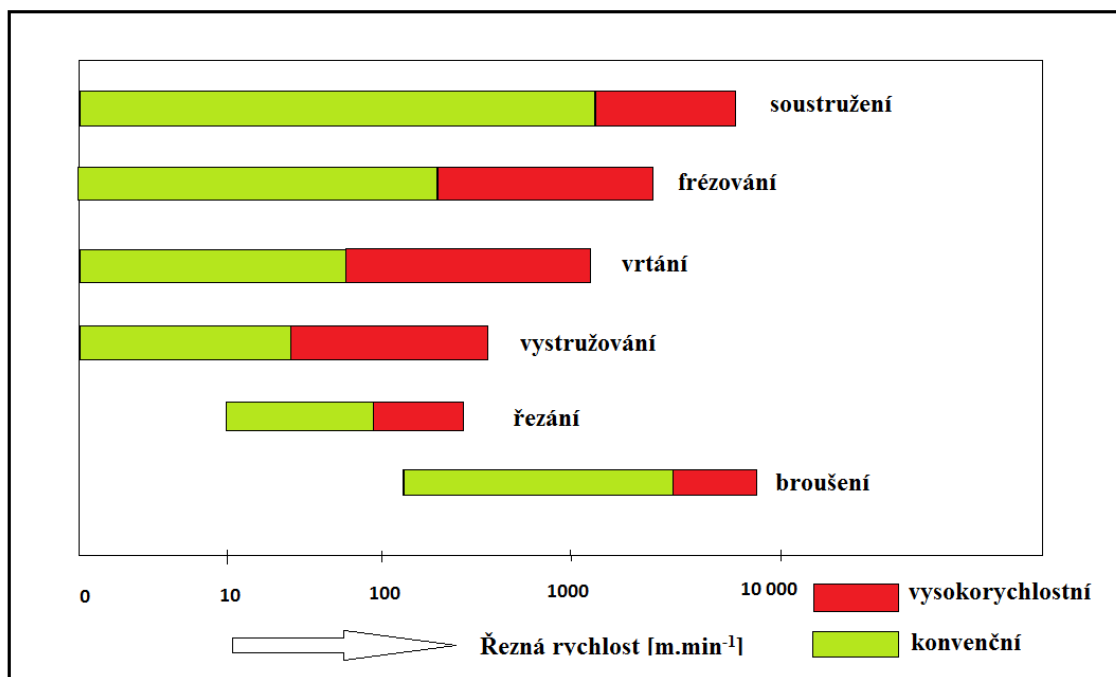
Prinášejí významné snížení výrobní doby až o 90 % a snížení nákladů až o 50 %. Je zde snaha docílit zvýšení výkonu, kvality obráběného povrchu i životnost nástroje vyššími otáčkami a posuvy při snížené hloubce třísky, nižších řezných silách a snížené teplotě obrobku (Štulpa, 2006).

Tabulka 6 - Oblasti HSC obrábění pro vybrané druhy materiálů (Kocman, 2004)

Materiál	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]
Ocel	800-1100
Slitiny Ti	150-1000
Slitiny Ni	160-280
Litina	900-1600
Slitina Al	3000-6000
Plasty zpevněné vlákny	2800-8000
Bronz, mosaz	1100-3000

Tabulka 7 - Oblasti HSC obrábění podle metody obrábění (Kocman, 2004)

Metoda obrábění	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]
Soustružení	800-8000
Vrtání	100-1100
Frézování	560-6000
Protahování	12-70
Vytružování	10-250
Řezání	70-200



Obr. 20 Porovnání řezných rychlostí (Zdroj autor)

7.4.3 Výhody metody HSC

- dosažení vysoké kvality obráběného povrchu
- zvýšení objemu odebraného materiálu při některých operacích [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$], zvýšení řezné rychlosti, zvýšení posuvové rychlosti
- vlivem sníženého přechování třísky se sníží řezné síly cca o 1/3
- kvůli vysoké řezné rychlosti je vzniklé teplo převážně odvedeno třískami, proto se výrazně sníží tepelné zatížení nástroje a obrobku;
- lze aplikovat obrábění bez chlazení, tudíž odpadají náklady na chladicí kapaliny a jejich likvidaci (mmspektrum.com).

8 AUTOMATIZACE A TRENDY VÝVOJE

Automatizace představuje významný prostředek pro zvýšení produktivity, jakosti a konkurenční schopnosti výroby a služeb. Protože se výrobní stroje stávaly složitějšími, bylo nutno hledat taková řešení, která by umožňovala automatizovat složité řídicí funkce. Nástup mikroprocesorů počátkem 80. let umožnil, aby řada zařízení využila pro svoje automatické řízení přímo zabudovaného mikroprocesoru. Mikroprocesor tak představoval prostředek pro realizaci pružné automatizace, kdy ke změně automatizovaných funkcí stačila rychlá výměna řídicího programu. Tento princip je základem současných programovatelných automatů, CNC řídicích systémů pro obráběcí výrobní stroje apod. (Lacko, 2000).

Při automatizaci produkce je cílem vyčlenění člověka z výrobního procesu přenesením řídicích a regulačních funkcí na samotné výrobní zařízení. Při zavádění automatizace do výrobního procesu je nutno splnit předpoklady:

- Vysoká úroveň mechanizace
- Dokonalé poznání výrobního procesu
- Dokonalá měřicí technika
- Dostupnost a přesnost automatizačních prostředků

Podle stupně automatizace je možno výrobní stroje rozdělit do následujících kategorií:

- Konveční stroje – běžné stroje s ručním ovládním bez automatizace nebo s částečnou automatizací (univerzální soustruhy, frézky, vrtačky apod.).
- Číslicově řízené stroje – řízení je prováděno automaticky (obráběcí centra, bezobslužné obráběcí stroje a z nich vytvořené pružné výrobní systémy CNC)
- Automaty – pracovní cyklus takového stroje probíhá automaticky prakticky bez zásahu obsluhy
- Výrobní linky – jedná se o sestavení více pracovních jednotek buď kolem otočného stolu, nebo podélně (Altintas, 2012)

8.1 Trendy vývoje automatizace

Automatizace je dynamickým oborem, který se velmi rychle vyvíjí, takže stanovit trendy jejího rozvoje je velmi obtížné. V dnešní době má stále větší vliv mikroelektrotechnika, která umožňuje další zmenšování rozměrů a spotřeby el. energie automatizačních prostředků. Dále výrazné zvýšení počtu a složitosti programovatelných funkcí automa-

tizačních prostředků, zvýšení spolehlivosti pomocí diagnostických funkcí, snížení ceny automatizačních prostředků, zkrácení doby návrhu a zavádění automatizace.

Vývoj moderních výrobních koncepcí zápasí s problémy, které doprovází kusovou a malosériovou výrobu jsou to vysoké náklady na vybavení, dlouhé vedlejší časy, nízké využití výrobního zařízení a dlouhé průběžné doby.

Rozvoj pružné automatizace umožnil automatizaci výrobního procesu i při výrobě malého počtu kusů a tím i pohotově měnit výrobní sortiment. Dnešní vývoj směřuje k závodu s rozsáhlou počítačovou integrací většiny druhů činností. Předpokládá se, že všechny hlavní i vedlejší funkce výrobního procesu budou řízeny počítačem v integraci s různými stupni optimalizačního samopřizpůsobování (Oplatek, Lacko, 2000).

Současný trend směřuje k rozvoji robotiky, založený na výraznějším vstupu mechatroniky a biorobotiky, přináší nové přístupy k efektivnějším řešením robotických systémů, jako i možnosti vytvářet robotické systémy s generačně novými vlastnostmi a parametry. Vývoj je určován pokrokem v mikroelektronice, informační technice a dále významně roste význam softwaru. Pro měnící se pracovní úkony s použitím nástrojů a následnou manipulací s obrobkem je nutná velká pružnost. Ta se dosahuje konstrukčními opatřeními předřazenou simulací. V současnosti řízení disponuje uživatelsky příznivou programovatelností a obsluhovatelností (Vasilko, 2006).

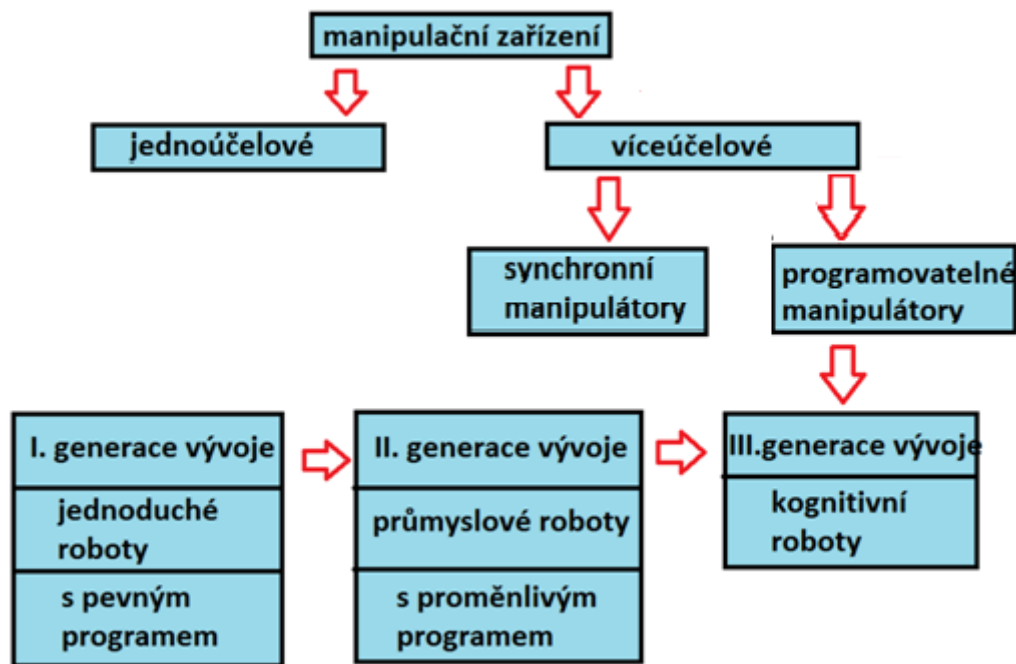
8.1.1 Robotizace

Automatický provoz výrobních strojů, zařízení, systémů si nelze představit bez automatické manipulace, která automatickou činnost technologických prostředků ve většině případů přímo podmiňuje. Symbolem automatizace je v posledních letech průmyslový robot. První konstrukce robotů, které blíže souvisí s dnešními představami o jejich podobě, vznikaly po roce 1954. Výraznější zájem o automatizaci diskretních procesů byl vyvolán až na počátku sedmdesátých let významnými změnami v technologii a v koncepcích výrobních strojů. Vývoj výrobních strojů je již dlouhou dobu doprovázen vývojem manipulačních zařízení (sps-ko.cz).

Robot představuje zařízení, které splňuje určité vlastnosti. Jsou to manipulační schopnost, univerzálnost, vnímání pomocí čidel a autonomnost tj. schopnost vykonávat automaticky složitou posloupnost úkolů podle programu.

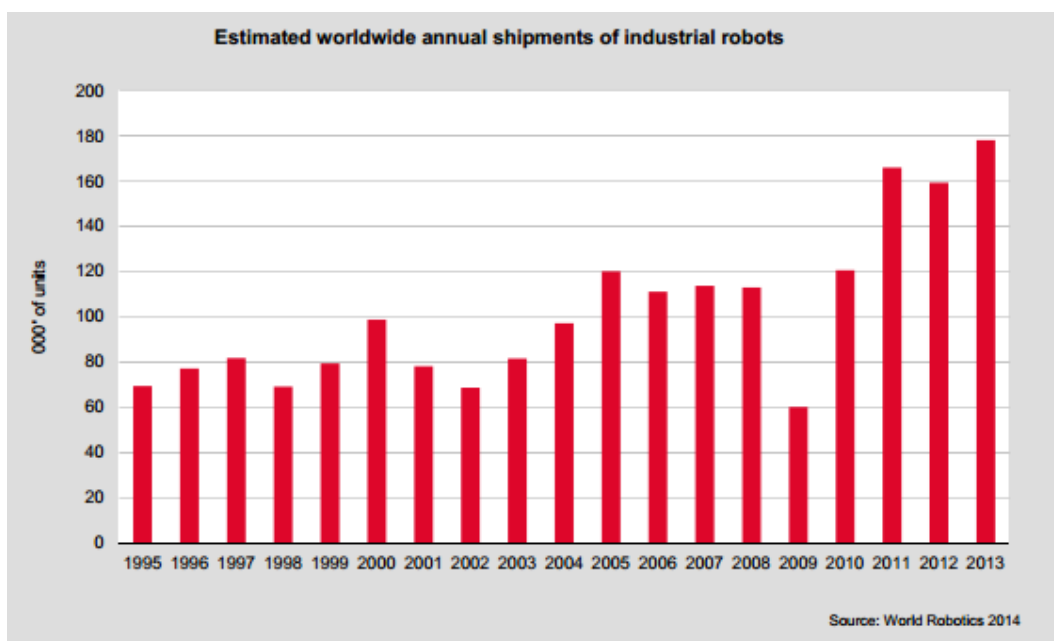
Generace průmyslových robotů:

- I. Generace - jsou roboti s programovým řízením, jednodušší a univerzálnější
- II. Generace – roboti vybavení vnímáním, mají vyšší počet sensorů optických, hmatových apod.
- III. Generace – inteligentní roboti, liší se složitostí a objemem řídicího systému. Mají schopnost adaptace a učení (Altintas, 2012)



Obr. 21 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů (Zdroj autor)

V dnešní době je automatizace prostředkem k dosažení nových efektů snad všech aktivit člověka a manipulátory a roboty pronikly již skoro do všech oborů. Objevují se na automatech v kosmu či na ponorkách pod vodou (sps-ko.cz).



Obr. 22 Celosvětová dodávka průmyslových robotů v posledních letech

(worldrobotics.org)

Vysoká poptávka ve světě, vedoucí k sériové výrobě velmi kvalitních robotů, vede v posledních letech ke snižování jejich cen a snadné dostupnosti, díky čemuž pronikají i do oblastí, kde bychom je dříve ani nečekali.



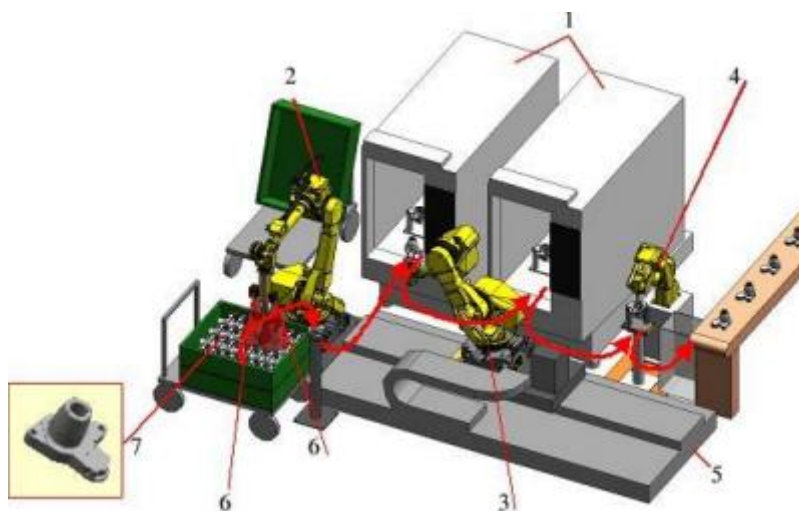
Obr. 23 Robot firmy Fanuc (fanuc.cz)

Robot je umístěn tak, aby dobře obsluhoval jednotlivé prvky výroby, které se nachází v jeho pracovním prostoru.

8.1.2 Robotizovaná obráběcí pracoviště

Požadavky na plnou automatizaci výroby a následnou kontrolu dílů pro různé druhy průmyslu stál za zřízením robotického pracoviště. Robotické pracoviště je soustava, která vznikla použitím a zakomponováním robotů do výrobních procesů v různých průmyslových odvětvích. Jedná se o účelovou skupinu technologických zařízení a prů-

myslových robotů, která vykonává podle programu požadované operace opakovaně. Takováto pracoviště jsou ve své podstatě jedinečné a musí se přihlížet ke specifikacím samotné výroby. V současné době jsou výrobní stroje už přizpůsobeny pro obsluhu pomocí průmyslového robota nebo manipulátora.



Obr. 24 Inteligentní robotizovaný systém obrábění (Vasilko, 2006)



Obr. 25 Uspořádání robotického pracoviště (mmspektrum.com)

Z obrázku je zřejmé, že větší robot je umístěn tak aby mohl obsluhovat obráběcí centrum. Uprostřed mezi roboty je předávací matrice, těsně téměř v zákrytu za menším robotem je patrná jednotka pro měření polotovarů.

Robot Fanuc je schopen vybírat přísavkou výkovky ze zásobníku, provádět kontrolu výšky a umístit je do matrice pro dalšího robota, jenž provede vlastní obsluhu obráběcího centra. Pro vybírání polotovarů ze zásobníku je první robot vybaven průmyslovou kamerou a technologií rozpoznávání obrazu s detekcí polohy. Půdorysná plocha zásob-

níku je pro tento účel z důvodu rozlišení kamery rozvržena na 4 segmenty, robot je postupně fotografuje a identifikuje rozmístění polotovarů. Pomocí přísavky je schopen jeden z dílů vyjmout a položit jej na zvláštní podložku (mmspektrum.com).

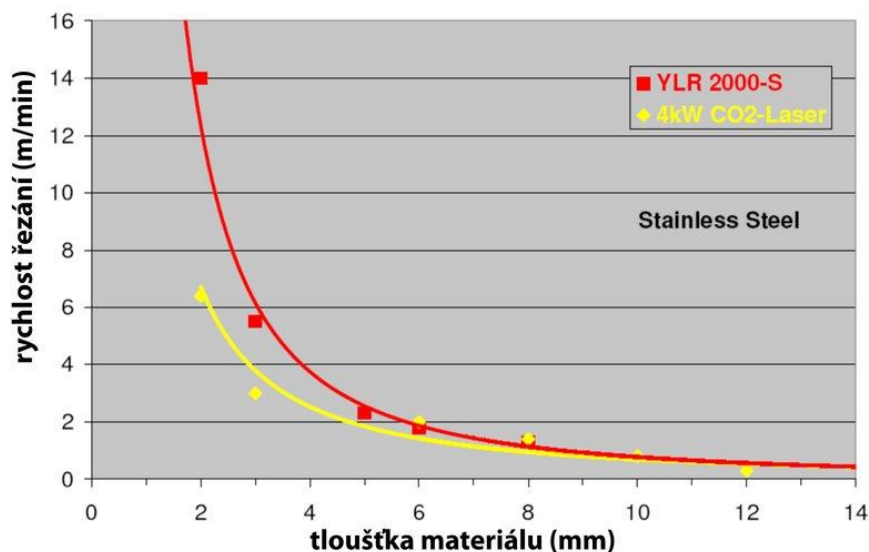
9 SOUČASNÉ TRENDY V OBRÁBĚNÍ LASEREM

Nové potenciály při obrábění materiálů laserem se vyskytují na dnešním trhu s výkonnými a přesnými laserovými roboty. Koncepce a technika u těchto robotů umožňuje použití vláknových a CO₂, diodových laserů.



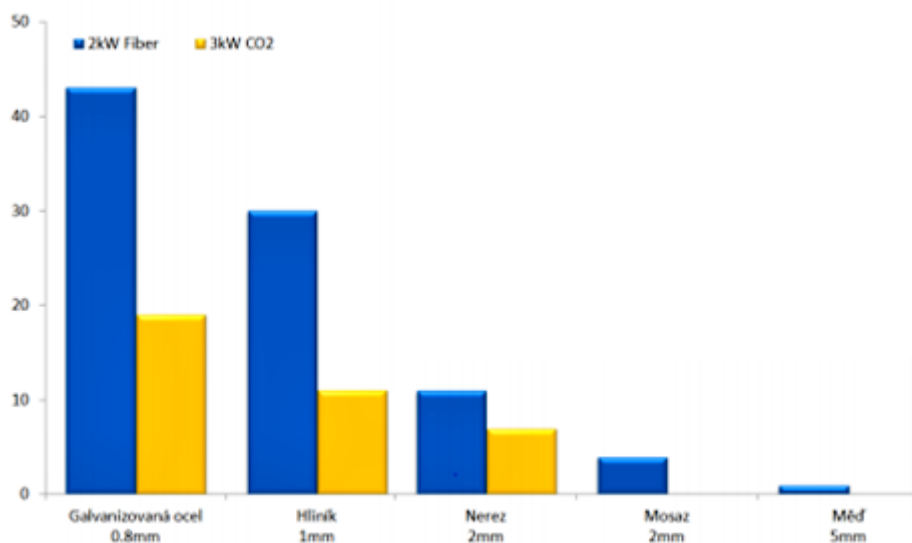
Obr. 26 Laser při řezném procesu (mmspektrum.com)

Kvůli vývoji nových materiálů, např. kombinovaných vláknitých kompozitů a speciálních ocelí, a na základě větších úkolů, které jsou zadávány v oblasti jakosti, jsou na technologii laserového řezání kladeny stále nové požadavky. Dnes je vedení paprsku laseru integrovaný přímo do ramene robotu, což umožňuje rychlé a flexibilní 3D obrábění s vysokou kvalitou. Mezi výhody u řezání laserem bezesporu patří to, že nevznikají žádné třísky, ani nedochází ke znečištění konstrukčního dílu. Dále nevznikají žádné reakční síly působící na zařízení ani na konstrukční díl (mmspektrum.com).



Obr. 27 Porovnání výkonnosti vláknového a CO₂ laseru (lao.cz)

Z obrázku je zřejmé, že v posledních letech dochází k náhradě CO₂ laserů vláknovými lasery. Pro srovnání je na obrázku níže uvedeno porovnání řezných rychlostí při řezání nerez. Z obrázku je vidět, že u tenčích materiálů je řezná rychlost vláknových laserů podstatně vyšší a to i s polovičním výkonem laseru (lao.cz).

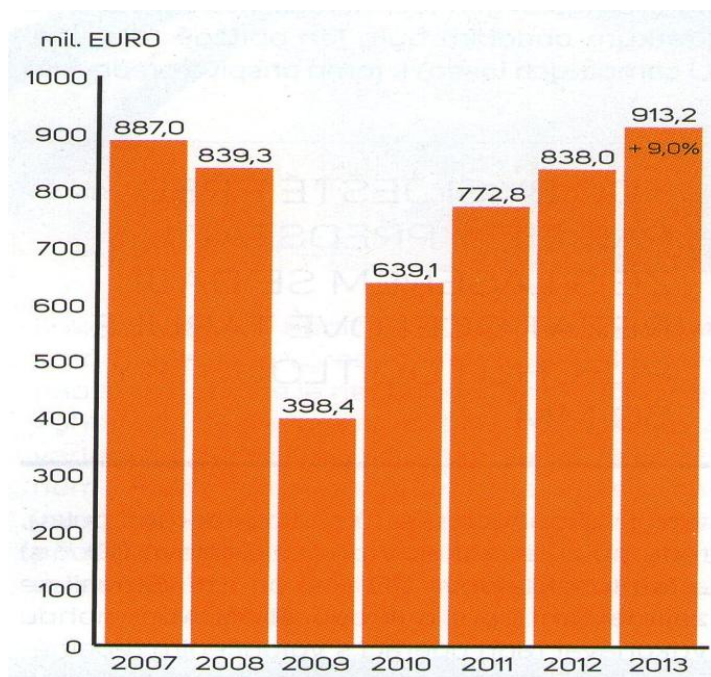


Obr. 28 Porovnání řezání CO₂ laserů s vláknovými lasery (lao.cz)

Vláknové lasery jsou schopny mnohem vyšší výrobní rychlosti než CO₂ lasery a než řezání vodním paprskem nebo plazmové řezací technologie. V současné době představují ideální řešení pro řezání jak silných, ale i tenkých plátů.

9.1 Obrábění laserem pomocí robotů

Na současném trhu jsou k dispozici kompletní laserové systémy pro obrábění materiálů. Robotová kinematika zahrnuje oblasti počínající různými roboty se sklápěcím ramenem přes hybridní roboty až po vysoce přesné laserové portály. Vedení laserového paprsku integrované do ramene robota laserovému systému umožňuje napojení nejrůznějších laserových zdrojů. Proto poskytuje vysokou flexibilitu při obrábění 2D a 3D konstrukčních dílů. Laserová technologie nachází stále větší použití ve všech důležitých odvětvích.



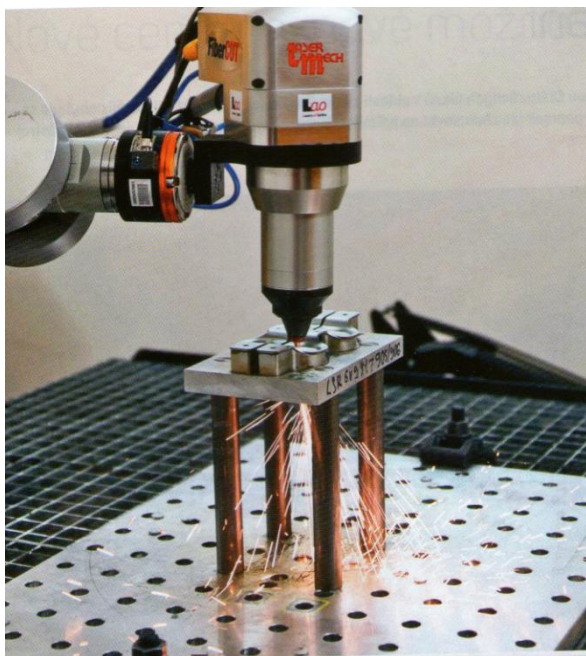
Obr. 29 Nárůst obrátu na světovém trhu laserových systémů okolo 10% (Technik, 2014)

Spojení průmyslového laseru se špičkovými robotickými rameny a dopravníkovými linkami přináší revoluci v oblasti průmyslového zpracování materiálu. Dnešní laserové robotické systémy jsou schopny řezat, vrtat, značit, svářet a gravírovat s mnohem větší přesností, opakovatelností a rychlostí než dosavadní klasické mechanické metody. Laserové robotické systémy jsou schopny bezkontaktního opracování, efektivněji využívají elektrickou energii a mají nižší nároky na údržbu (lao.cz).

Vývoj a výzkum v oblasti laserů s ultrakrátkými pulzy otevírá i příležitost pro větší možnost využívání optimálních frekvencí laserů vzhledem k žádané technologii i vlastnostem materiálu. Tím dochází k možnostem zpracovávat nové materiály nebo materiály, které nebyly doposud možné vůbec nebo jen velmi obtížně laserem zpracovávat.

Například případ mědi a jejích slitin, která dlouhodobě stála mimo využití laserových technologií. Svoje limity, i když z jiného důvodu, má i zpracování oceli. V současnosti se laserem dají řezat ocelové tabule plechu až do tloušťky 50 mm, zatímco dlouhou dobu bylo možné řezat pouze do 25 mm (Technik, 2014).

Kvůli používání vláknových laserů se prostorové řezání stává daleko jednodušším. Laserová řezací hlava je umístěna na přírubě poslední osy robota. Laserový paprsek je přiveden do místa řezání optickým vláknem, což integraci laseru na robota velmi zjednodušuje. V oblasti vyřezávání přesných otvorů ve 3D je možné umístit řezací hlavu do autonomního souřadnicového X-Y polohovačla, které pak při zastavení robota v příslušné poloze zajišťuje vyřezání přesných otvorů (lao.cz).



Obr. 30 3D robotické řezání a obrábění kovů vláknovým laserem (Technik, 2014)

9.2 Výhody laserových robotických systémů oproti mechanickému řezání

Úběr materiálu pomocí laseru sebou nese značné výhody oproti mechanickému úběru

- Rychlá návratnost technologie
- Nízká „zmetkovitost“ – díky možnosti monitoringu celého procesu
- Bezpečnost procesu – uzavřená buňka
- Jedinečnost nastaveného procesu - vždy na zadání zákazníka
- Vysoká přesnost - přesnější trajektorie pohybu (0,02 - 0,07 mm) oproti mechanickému zpracování

- Konstrukční svoboda - Vyšší flexibilita
- Větší výkonnost
- Bezprašnost – v případě opracování plastů
- Bezkontaktnost – snižuje potřebu investic do upínacích a polohovacích systémů
- Ekonomický provoz – snížené náklady na nástroje a materiály
- Odpadá nutnost dočištění výrobku – šetření času a nákladů
- Vysoká spolehlivost celého procesu
- Vysoká životnost zařízení ve srovnání s dostupnými technologiemi (lao.cz)

Řezání a dělení laserem je nerozšířenější laserovou technologií a patří v současné době k nejefektivnějším technologiím s možností použití pro širokou škálu materiálů. Tloušťka zpracovávaného materiálu může být od 0,1 mm až po 50 mm.



Obr. 31 Detail řezu vláknového laseru (lao.cz)

Výhody řezání laserem:

- malá šířka řezu
- vysoká rychlost řezu = vysoká produktivita
- velká přesnost řezu = možnost řezat složité tvary
- vysoká kvalita řezu = hladký povrch řezu = odpadá nutnost dalšího opracování

Aplikovatelné na materiály:

- kovové - ocel, měď, hliník, bronz, stříbro, mosaz
- nekovové - plast, guma, akrylát, papír, dřevo, překližka, korek, textil, kůže, pryž, kevlar a další.

ZÁVĚR

Se zvyšujícími se nároky na efektivitu, rychlost a kvalitu obrábění dochází k neustálému pokroku obráběcí technologie, ale i automatizačních systémů a v poslední době zejména průmyslových robotů. Se vznikem nových materiálů, například některých kompozitů, se neustále kladou požadavky na zdokonalování obráběcích technologií nebo vzniku nových řešení.

V problematice řezných materiálů a nástrojů je nutno provádět výzkum, bez kterého výrobce jen těžko najde uplatnění. Vývoj nových řezných materiálů a inovace současných druhů je jeden ze základních předpokladů výrobců uspět na trhu. V současnosti se považuje za perspektivní vývoj povlaků (PVD,CVD) povlakovacích metod. Také vyšší trvanlivosti a úběru materiálu je dosahováno pomocí břitových destiček s multivrstvými povlaky. Vývoj v oblasti řezných materiálů přináší zvyšování řezných rychlostí tudíž zkracování výrobního času, dochází ke zvyšování výkonnosti, což způsobuje i větší konkurenceschopnost výrobce na trhu.

Cílem každého podniku je vyrábět v co nejvyšší kvalitě a kvantitě za co možná nejkratší čas s ohledem na nízké náklady spojené s výrobou. To je důvod, proč se v posledních desetiletích klade důraz na rozvoj automatizace a robotizace v obráběcím průmyslu. V současné době se stále více uplatňují ve strojírenském průmyslu průmysloví roboti. Roboti často nahrazují lidského pracovníka v monotónních a namáhavých pracích. Avšak jeden z největších přínosů je z hlediska ekonomického provozu podniku. Dnes i malé podniky stále více začleňují průmyslové roboty do své výroby. V obrábění není zatím možné zcela nahradit lidský faktor strojem v bezprostřední výrobě, proto by měla volba automatizačních prvků a průmyslových robotů být volena s ohledem na využitelnost stroje. Z kapitoly o automatizaci je zřejmé, že robotizace zastává rok od roku větší uplatnění prakticky ve všech odvětvích.

Bakalářská práce poskytuje ucelený přehled vybraných metod třískového a beztržiskového obrábění. V práci jsou uvedena a popsána vybraná moderní obráběcí centra, která jsou dostupná na trhu. V závěru práce je přiblížena moderní robotizovaná laserová technologie obrábění, která se v současnosti jeví jako jedna z technologií budoucnosti. Ve srovnání s mechanickým způsobem obrábění přináší mnoho výhod, které vedou spolu s robotizací k zefektivnění výroby.

POUŽITÁ LITERATURA

ALTINTAS, Yusuf. *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2012, xii, 366 s. ISBN 9780521172479.

Automatizace a robotizace. In: [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <<http://www.sps-ko.cz>>

CNC obráběcí stroje INAXES [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <<http://www.cnc-inaxes.cz>>

DSSM-dělení, spojování a svařování materiálů. 2000-, Image Interiér Praha: s.r.o, 2000, č. 10. ISSN 1214-7990.

HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Ionbond. [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <<http://www.ionbond.cz>>

Katalog Pramet. In: [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <<http://katalog.mav.cz>>

KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 227 s. ISBN 8021425628.

KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222.

KOVOSVIT [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <<http://www.kovosvit.cz>>

LACKO, Branislav. *Automatizace a automatizační technika*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000, x, 97 s. ISBN 8072262467.

Lao laser a technika. [online]. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <<http://www.lao.cz>>

MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progressívne technológie: Advanced methods of material removal*. 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, viii, 275 s. ISBN 8070994304.

MATTSON, Mike. *CNC programming: principles and applications*. 1 ed. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning, c2010, xv, 405 p. ISBN 14-180-6099-2.

MM Průmyslové spektrum. [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com>>

OPLATEK, František. *Automatizace a automatizační technika*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000, ix, 166 s. ISBN 8072262491.

PVD otěruvzdorné vrstvy. [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <<http://www.pvd.cz>>

SandvikCoromant. [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <<http://www.sandvik.coromant.com>>

Speciální metody obrábění. In: [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <<http://www.techno-mat.cz>>

Střední průmyslová škola strojírenská. [online]. [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <<http://www.sps-ko.cz>>

Střední škola průmyslová a umělecká. [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <<http://www.strojka.opava.cz>>

ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 8073002078.

TAJMAC-ZPS [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <<http://www.tajmac-zps.cz>>

Technik: měsíčník Hospodářských novin. Economia, a. s.: Praha, 2014. ISSN 1210-616X.

VASILKO, Karol. *Top trendy v obrábění: [průručka]*. Žilina: Media/St, 2006, 214 s. ISBN 8096895427.

Worldrobotics [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <<http://www.worldrobotics.org>>

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky

Obr. 1 Podstata soustružení	10
Obr. 2 Sousedné frézování a nesousedné frézování	11
Obr. 3 Vrtání	11
Obr. 4 Podstata protahování	12
Obr. 5 Zařízení pro obrábění ultrazvukem	14
Obr. 6 Vysokotlaký vodní paprsek	15
Obr. 7 Princip elektrochemického obrábění	16
Obr. 8 Princip laseru.....	16
Obr. 10 Oblasti základních řezných podmínek při soustružení	21
Obr. 11 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu	23
Obr. 12 Průřez povlakem.....	24
Obr. 13 CVD povlak	25
Obr. 14 Použité teploty různých metod povlakování	27
Obr. 15 Multivrstvý PVD povlak	27
Obr. 16 Diamantové povlaky firmy CemeCon.....	28
Obr. 20 Pětiosé obráběcí centrum	30
Obr. 21 Horizontální obráběcí centrum.....	31
Obr. 22 Portálové obráběcí centrum	32
Obr. 23 Multifunkční obráběcí centrum.....	32
Obr. 25 Porovnání řezných rychlostí	34
Obr. 26 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů	38
Obr. 27 Celosvětová dodávka průmyslových robotů v posledních letech	39
Obr. 28 Robot firmy Fanuc.....	39
Obr. 29 Inteligentní robotizovaný systém obrábění	40
Obr. 30 Uspořádání robotického pracoviště	40
Obr. 31 Laser při řezném procesu.....	42
Obr. 32 Porovnání výkonnosti vláknového a CO ₂ laseru	43
Obr. 33 Porovnání řezání CO ₂ laserů s vláknovými lasery	43
Obr. 34 Nárůst obrátu na světovém trhu laserových systémů okolo 10%.....	44
Obr. 35 3D robotické řezání a obrábění kovů vláknovým laserem.....	45

Obr. 36 Detail řezu vláknového laseru	46
---	----

Tabulky

Tabulka 1 - Rozdělení nekonvenčních metod.....	13
Tabulka 2 - Chemické složení oceli 19 222.....	19
Tabulka 3 - Chemické složení oceli 19 712.....	19
Tabulka 4 - Chemické složení oceli 19 858.....	20
Tabulka 5 - Třídění obráběcích strojů	29
Tabulka 6 - Oblasti HSC obrábění pro vybrané druhy materiálů	34
Tabulka 7 - Oblasti HSC obrábění podle metody obrábění.....	34

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	Řezná rychlost
NC	Numeric control - číslicově řízený
CVD	Chemical Vapour Deposition - chemické napařování
PVD	Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování
PCVD	Plazmaticky aktivovaná CVD metoda
CNC	Computer numeric control – počítačově řízený
HSC	High speed cutting – vysokorychlostní obrábění