

6.3 STROJE PRO NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Tato komodita zažívá v posledních letech obrovský rozmach v různých odvětvích průmyslového využití. Úběr materiálu je u těchto strojů založen na jiném principu než třískovém obrábění.

S rostoucími požadavky na vysoký výkon obrábění, ekologickou šetrnost při obrábění materiálů a vysoké pevnosti (nikl, titan, jejich slitiny, kompozity, ...) se dostávají do popředí nekonvenční technologie obrábění. Tyto nekonvenční technologie obrábění se uplatňují nejvíce tam, kde jsou klasické metody obrábění málo výkonné nebo nevhodné. K obrábění materiálu je využíváno nejrozličnějších fyzikálních nebo chemických principů (obr. 6.3.1).

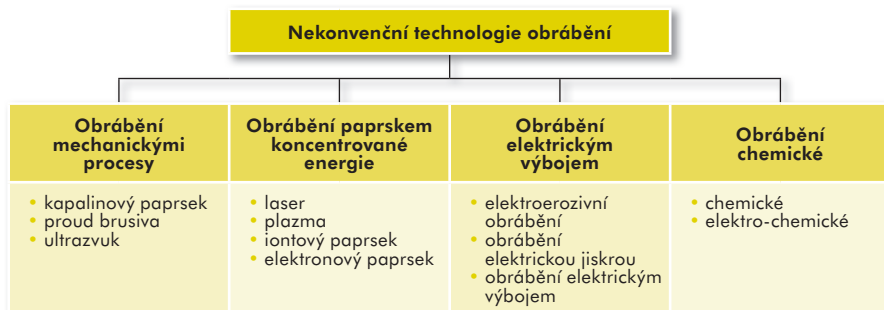
Stroje pro obrábění vodním paprskem

Historie využití vodního paprsku pro řezání sahá do 30. let 20. století, kdy byl používán pro řezání kamene a uhlí. Technologie byla následně vylepšena přidáním abraziva do vodního paprsku – vznikl vysokorychlostní kapalinový paprsek s přísadou abrazivních látek (Abrasive Water Jet – AWJ). Vysoká rychlost vytékajícího proudu vody s příměsí abrazivních látek umožňuje ekonomicky a ekologicky obrábět v podstatě všechny materiály používané v průmyslu. Je možné obrábět dřevo, papír, plasty, kovy a jejich slitiny, tvrdokovy, kompozity, kámen a další. Vodní paprsek můžeme dělit podle použité kapaliny, velikosti tlaku nebo použitého abraziva.

Řezání čistým vodním paprskem (WJM) je vhodné pro mimořádně detailní geometrie, zejména u měkčích materiálů (plasty, korek, dřevo, pryž). Vodní paprsek s abrazivem (AWJ, obr. 6.3.2) je schopen řezat kámen, kovy, sklo a další. Jako abrazivo se většinou používá granátový písek nebo olivín.

Hlavními výhodami vodního paprsku je řez bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu. Díky tomu nedochází k fyzikálním, chemickým ani mechanickým změnám. Obrobek je následně snadno obrobitelný. Vodní paprsek minimálně působí silově na řezaný materiál, nedochází ke vzniku mikrotrhlin. Je možno dělit většinu materiálů při velkém rozsahu tloušťek. Tato technologie umožňuje ponechat mezery mezi výrobky jen 3 mm – malý prořez materiálu. Při řezném procesu nevznikají žádné závadné zplodiny. Spotřeba vody je relativně nízká (závisí na velikosti trysky a tlaku). Z odpadní vody se vyloučí nečistoty při se-

Princip řezání vodním paprskem je na obrázku 6.3.3. Mezi hlavní komponenty zařízení pro řezání vodním paprskem patří



Obr. 6.3.1: Principy obrábění nekonvenční technologií

dimentaci. Jako abrazivo se používají netoxické látky, které mohou být recyklovány pro další použití.

Hlavní nevýhodou je nevyhnutelný kontakt s vodou a abrazivním materiálem. Dále je to omezení vzhledem k výrobě velmi malých dílů. Při horších kvalitativních stupních řezu dochází u silnějších materiálů k deformaci kontury řezu na spodní hraně vlivem výběhu paprsku.

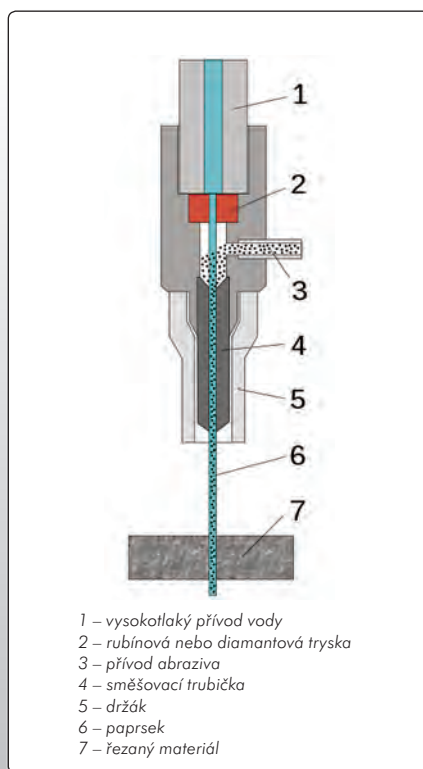
vysokotlaké vodní čerpadlo, multiplikátor, vysokotlaký systém trubek, akumulátor tlaku, filtry, dvoucestný přepouštěcí ventil, řezací hlavice, posuvy v jednotlivých osách, nádoba na zachytávání vody a nečistot, opěrný rošt, úprava vody.

Zařízení pracují s tlakem vody od 60 MPa do 400 MPa při rychlosti vodního paprsku 600–900 m.s⁻¹. Spotřeba vody závisí na řezných parametrech. Velikost úběru materiálu a kvalita opracovaného povrchu je ovlivňována mnoha faktory. Rychlost řezného procesu ovlivňuje hlavně tlak vody, průměr trysky a rychlost proudění. Povrch opracované plochy ovlivňuje vzdálenost mezi obrobkem a tryskou, druh a velikost abraziva. Kvalitativní stupně řezu jsou uvedeny na obrázku 6.3.4. Stupeň kvality řezných ploch a jejich charakter je uveden v tabulce 6.3.1.

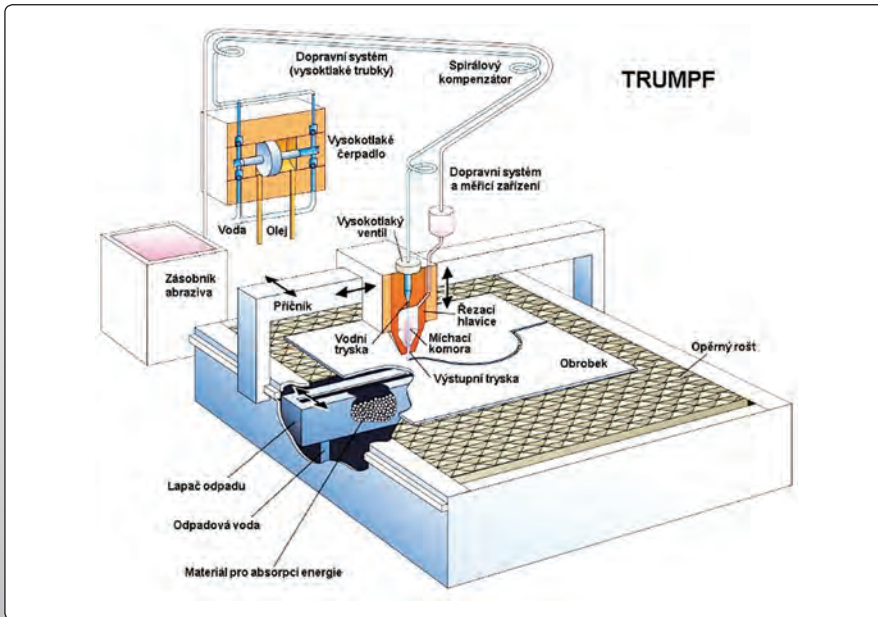
Vzdálenost trysky od povrchu je dalším z faktorů ovlivňujících kvalitu opracovaného povrchu. Pokud je tryska příliš blízko povrchu, může hrozit uražení trysky v případě, že se řezá vlnitý materiál a nepoužívá se výškový senzor. Pokud je tryska příliš daleko od povrchu, dochází k rozptýlení vodního paprsku s abrazivem a tím ke znehodnocení povrchu hran řezaných částí.

Vzdálenost trysky a obrobku při řezání WJM se pohybuje v rozmezí 2–70 mm. Při řezání AWJ se tato vzdálenost pohybuje v rozmezí 2–10 mm [Řasa 2001]. Přesnost je standardně ±0,2 mm.m⁻¹.

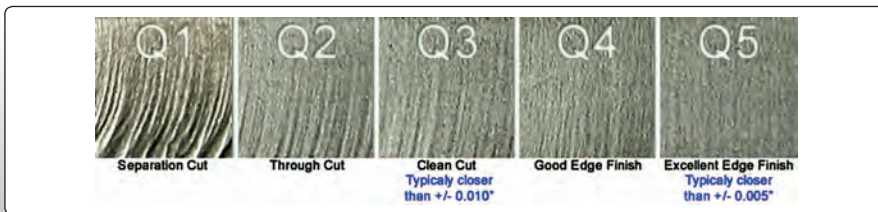
Při řezání vodním paprskem vzniká většinou řezná mezera s úkosem 1–1,5°. Tvary řezné mezery jsou na obrázku 6.3.5. Při velmi pomalém řezu nebo při řezu v měkkém materiálu stihne paprsek „probrousit“ svou



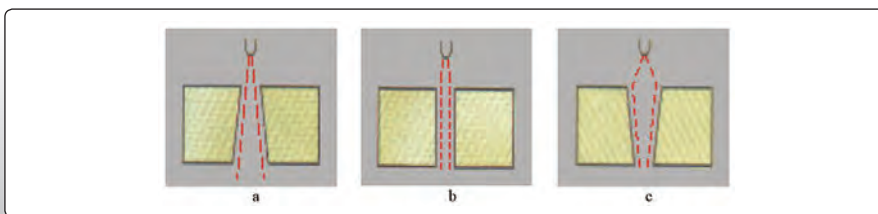
Obr. 6.3.2: Princip řezání vodním paprskem s abrazivem [www-1]



Obr. 6.3.3: Princip řezání vodním paprskem [Humár 2005]



Obr. 6.3.4: Kvalitativní stupně řezu [www-1]



Obr. 6.3.5: Tvar řezné mezery [www-2]

přirozenou kuželovitou stopu, viz obr. 6.3.5a. Při optimální rovnováze mezi rychlostí řezu, odolností a tloušťkou materiálu je paprsek udržen po celou dobu průchodu materiálem ve válcovitém tvaru a úkos nevzniká, viz obr. 6.3.5b. Při velmi rychlém řezu nebo řezu v odolnějším materiálu nestihne paprsek „probrousit“ materiál ani ve svém vstupním průměru a řez se směrem dolů uzavírá, viz obr. 6.3.5c [www-2].

Příklady z praxe

Na obrázku 6.3.6 je stroj pro řezání vodním paprskem schopný řezat ve 3D. Pro řezání ve 3D se využívá technologie Dynamic Waterjet XD s aktivním řízením tolerance. To přináší možnost rychlejšího a přesnějšího řezání součástí oproti standardnímu řezání vodním paprskem. Rychlost řezání je až $25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Stroj má řídicí systém Siemens 5 Axis CNC. Přesnost stroje udává výrobce $\pm 0,127 \text{ mm}$, opakovatelnost $\pm 0,0762 \text{ mm}$. Technologie Dynamic Waterjet XD pomocí malého kloubu automaticky naklání rezačí hlavu v libovolném směru až o 60° . Nedochází tak ke zpoždění vodního paprsku a chybě úkosu drážky. Výsledkem jsou minimální tolerance a maximální řezné rychlosti. Maximální čisté délky řezu: osa X – 4 000 mm, osa Y – 14 000 mm, osa Z – 305 mm [www-3].

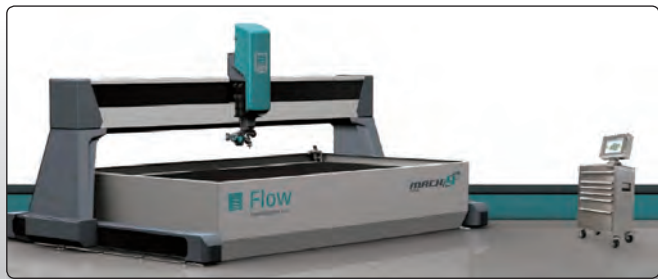
Na obrázku 6.3.7 je stroj pro řezání vodním paprskem taktéž ve 3D. Tento stroj je schopen pomocí samopohování dotykovou sondou udržovat konstantní vzdálenost trysky od povrchu během interpolace až do natočení $\pm 69^\circ$ (obr. 6.3.8). Rychlost řezání je až $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,05 \text{ mm}$, opakovatelnost $\pm 0,005 \text{ mm}$, přesnost osy A, C $\pm 0,01^\circ$, opakovatelnost osy A, C $90^\circ \cdot \text{s}^{-1}$. Stroj je vybaven antikolizním systémem. Maximální čisté délky

Kvalitativní stupeň	Základní charakteristika	Drsnost Ra^* v horní koutěře	Drsnost Ra^* ve spodní koutěře	Tvarová přesnost mm^* v horní koutěře	Tvarová přesnost mm^* ve spodní koutěře	Úkos
Q5	Nejllepší řez	pod 3,2	cca 3,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	Většinou mírný podřez
Q4	Kvalitní řez	cca 3,2	cca 6,3	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	Většinou minimální
Q3	Střední řez	cca 4,0	do 12,5	$\pm 0,15$	Podle typu a síly materiálu	Podle typu a síly materiálu
Q2	Hluboký řez	cca 4,0	do 25	$\pm 0,2$	Podle typu a síly materiálu	Podle typu a síly materiálu
Q1	Dělicí řez	4,0 – 6,3	do 40	$\pm 0,2$	Výrazně nepřesné	Výrazný úkos do+

(*) Hodnoty jsou pouze orientační a podle typu materiálu se mohou lišit

Tab. 6.3.1: Stupeň kvality řezných ploch

6.3 STROJE PRO NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ



Obr. 6.3.6: Stroj pro řezání vodním paprskem – řada Mach 4 [Flow]



Obr. 6.3.7: Stroj pro řezání vodním paprskem – řada Evolution X5 [WaterJet]

řezu: osa X – 3 350 mm, osa Y – 6 100 mm, osa Z – 300 mm.

Stroje pro obrábění laserem

K prvnímu průmyslovému využití laserové technologie došlo v roce 1965. Firma Western Electric Company postavila funkční laser pro vrtání diamantových raznic. Ve Velké Británii bylo v roce 1967 uvedeno do provozu laserové zařízení pro řezání ocelových plechů s použitím kyslíku jako asistenčního plynu. Poté následovala zařízení pro řezání nekovových materiálů. K masivnějšímu průmyslovému rozšíření laserového řezání pomocí CO₂ začalo docházet v sedmdesátých letech minulého století [Kořán 2012].

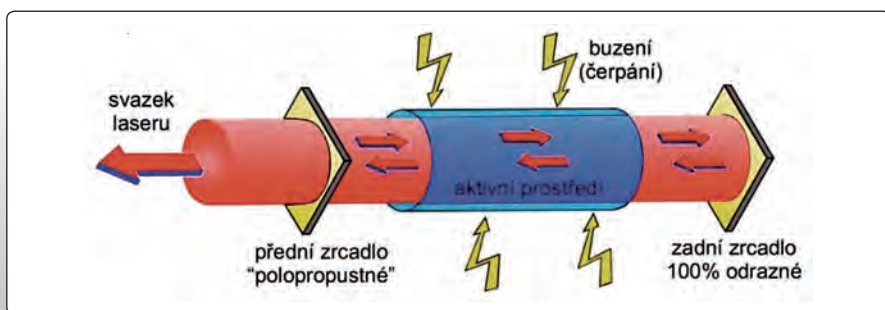


Obr. 6.3.8: Řezací hlava [WaterJet]

lekuly (CO₂ laser) nebo jejich směsi v plyné fázi. Plynové lasery pracují nejčastěji v kontinuálním režimu. Existují také pulzní lasery. Jejich nespornou výhodou je jejich vysoká účinnost (CO₂ cca 40 %). Nevýhodou těchto laserů je malý výkon, který lze získat z jednotky objemu aktivního prostředí. Z toho plyne, že výkonné plynové lasery jsou značně rozměrné. CO₂ lasery se používají v řezacích aplikacích.

Pevnolátkové lasery – zde je aktivním prostředím pevná látka, obvykle monokrystal. Buzení je většinou optické (výbojky nebo laserové diody). Nejrozšířenějším a nejlépe zvládnutým pevnolátkovým laserem je laser označovaný Nd:YAG (obr. 6.3.12). Aktivním prostředím je u něj neodmýsl dopovaný yttrium aluminium granát. Uplatnění našel v průmyslu, medicíně a vědě. Pevnolátkové lasery jsou schopné pracovat ve všech možných režimech a jsou velmi flexibilní. Jejich velká výhoda spočívá v robustnosti, stabilitě a malé náročnosti na údržbu.

Vláknové lasery – zde je aktivním prostředím optické vlákno dopované atomy erbia (Er) nebo ytterbia (Yr). Buzení je pomocí laserových diod. Jejich záření je přivedeno do aktivního vlákna optickým vláknem. Jedná se o tzv. vláknovou architekturu a laser díky tomu neobsahuje žádné optomechanické prvky (zrcadla atd.). Vláknové lasery můžeme dělit podle pracovního režimu na kontinuální (CW), pulzní nebo kvazipulzní (QCW). Nejvýznamnější výhodou je jednoduchost celého laseru, díky tomu, že celý laser tvoří optické vlákno. Robustnost a modularita je u tohoto typu unikátní. Laser je tvořen laserovými moduly, které můžeme spojit a díky tomu zvedat výkon (až 80 kW). Účinnost mají až 35 %, životnost až 100 000 hodin. Mají nejnižší provozní náklady ze všech.



Obr. 6.3.9: Schéma laseru [Novák 2012]

Schéma obecného principu laseru je na obrázku 6.3.9. Základem každého laseru je aktivní prostředí, které je buzeno (elektricky, opticky, ...). Buzením je dodávána energie do laseru, která je pak pomocí procesu stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. K tomu je třeba vytvořit tzv. optický rezonátor, který je většinou tvořen odraznými zrcadly. Laserový svazek je kolimovaný (nerozbíhá se), monochromatický (jednobarevný, generované fotony mají stejnou frekvenci, resp. vlnovou

délku), koherentní (generované fotony jsou ve stejné časové i prostorové fázi) [Novák 2012]. Princip řezání laserem je na obrázku 6.3.10.

Lasery se nejčastěji rozdělují podle typu aktivního prostředí.

Plynové lasery – zde je aktivním prostředím plyn, který lze budít například elektricky, opticky, radiofrekvenčními vlnami atd. Aktivní prostředí plynových laserů tvoří atomy (He-Ne laser), ionty (Ar laser), mo-