

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav základního zpracování dřeva

Nekonvenční metody obrábění dřeva

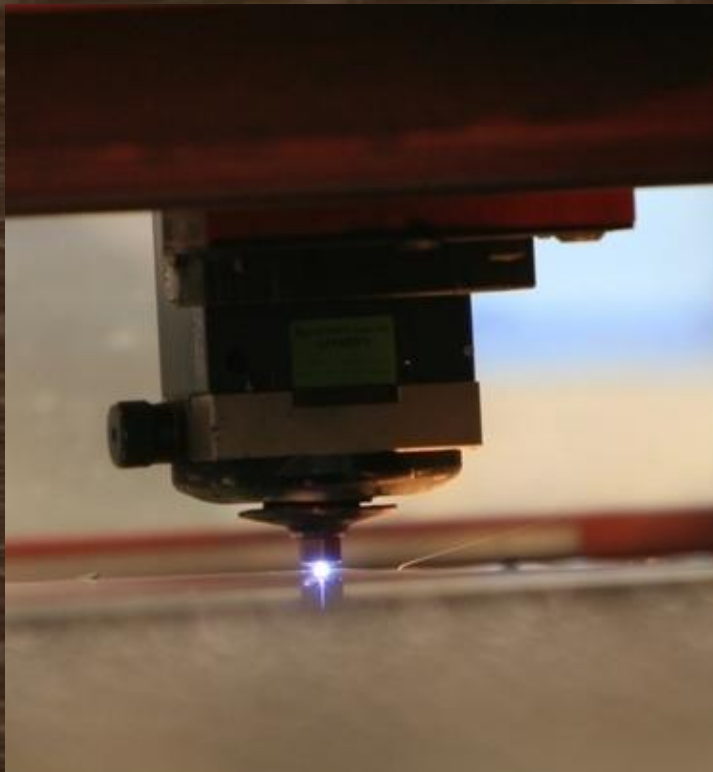
Teorie obrábění materiálů

Brno, duben 2012

Ing. Vít Novák Ph.D.

Rozdělení metod

- **Laserem**



- **Vodním paprskem**

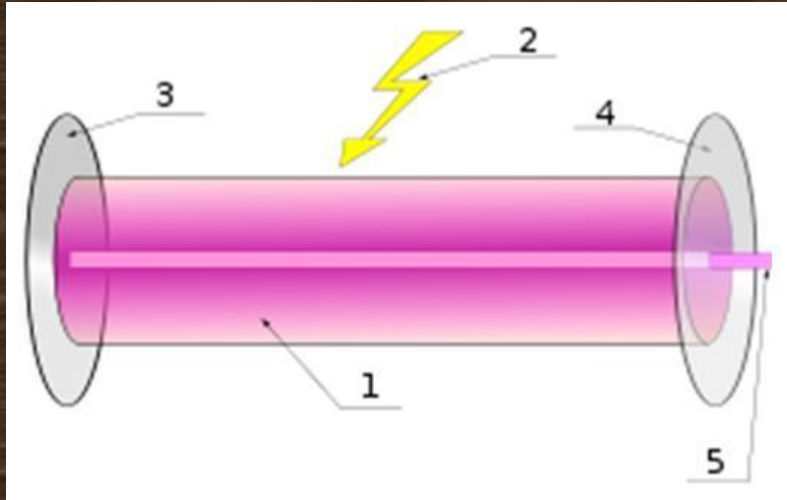


Řezání laserem

Laser

- Laser (**Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**) je optický zdroj vysoce monochromatického svazku zářivé energie.
- Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku; na rozdíl od světla přirozených zdrojů je koherentní a monochromatické, z toho tedy vyplývá že laser je optický zdroj emitující fotony v koherentní paprsek. Princip laseru využívá zákonů kvantové mechaniky a termodynamiky.
- který je možno soustředit na velmi malou plochu a tak dosáhnout vysokých hustot energie. Při dopadu svazku se materiál zahřeje na teplotu dostatečnou k tomu, aby se odpařil nebo narušil do té míry, že ho lze z místa řezu odstranit např. ofukováním.
- Princip laseru fyzikálně popsal už v roce **1917 Albert Einstein**, ale první laser vznikl až v roce **1960**

Laser



Konstrukce Laseru:

1. Aktivní prostředí
 2. Zdroj záření
 3. Odrazné zrcadlo
 4. Polopropustné zrcadlo
 5. Laserový paprsek
- rezonátory (3,4)*

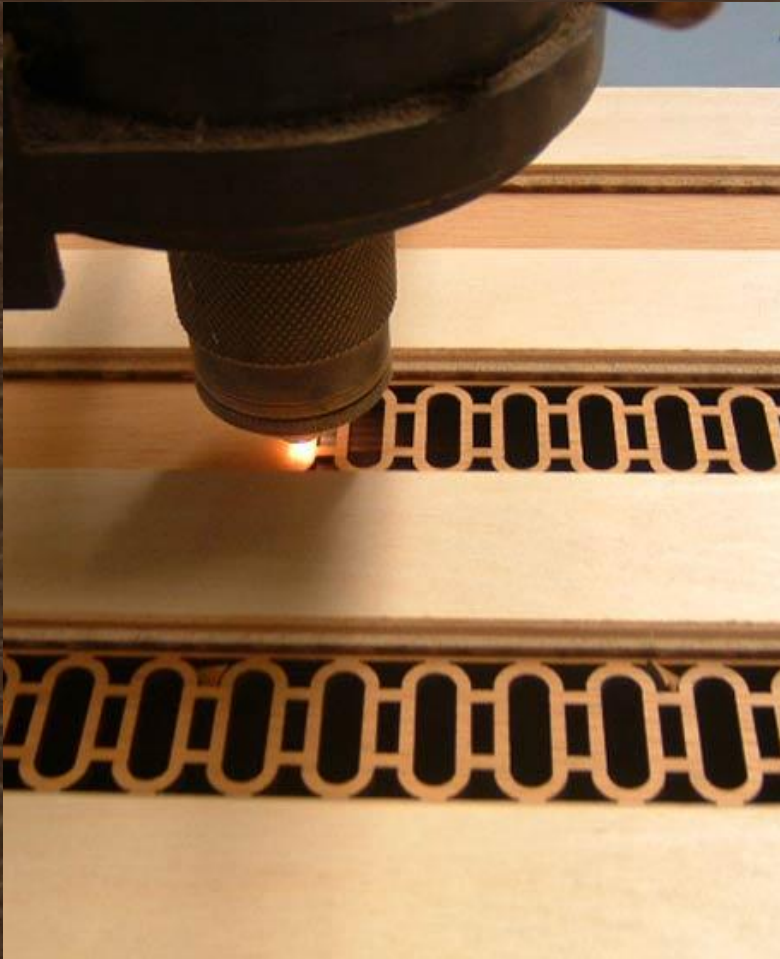
Zdrojem energie, který může představovat např. výbojka, je do aktivního média dodávána ("pumpována") energie. Ta energeticky vybudí elektrony aktivního prostředí ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny, dojde k tzv. excitaci. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverze populace.

Laser

Při opětovém přestupu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření (emisi) kvanty energie ve formě fotonů. Tyto fotony následně interagují s dalšími elektrony inverzní populace, čímž spouštějí tzv. stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází, i u nich.

Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného například zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný světelný paprsek pak opouští tělo laseru průchodem skrze polopropustné zrcadlo.

Laser



Laser - základní informace

Základní informace

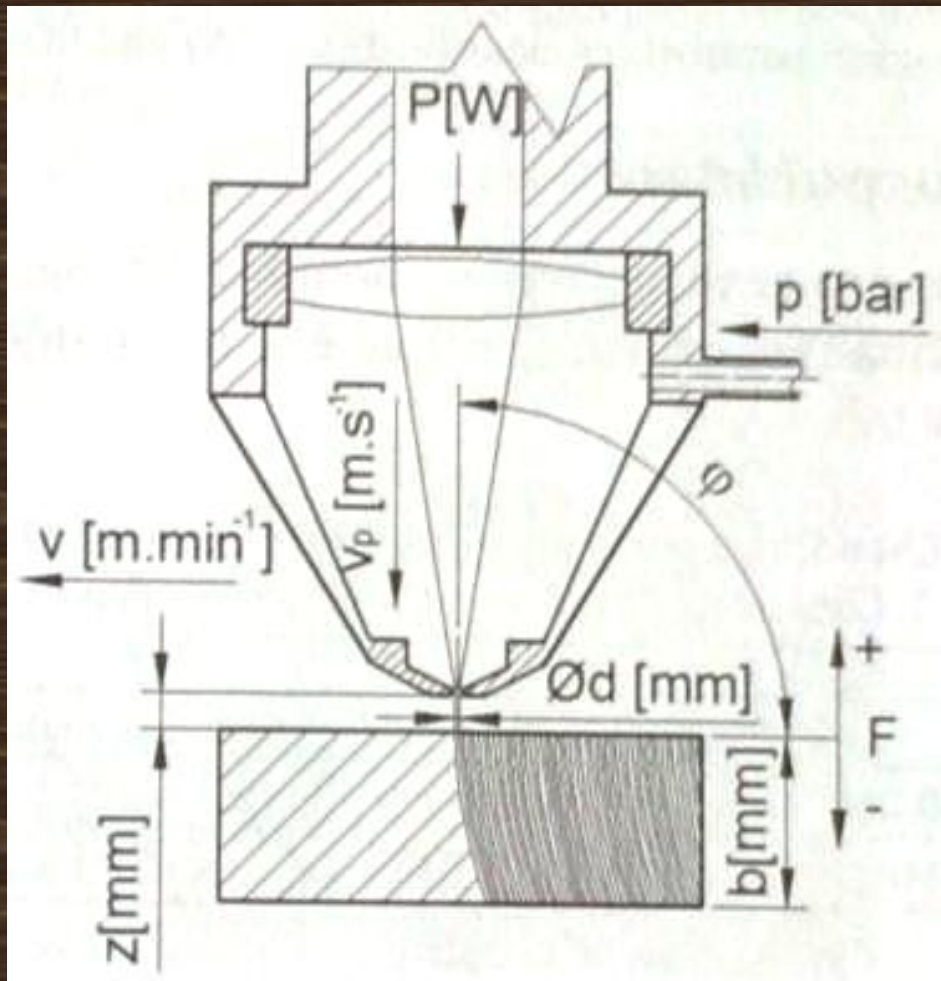
- energie potřebná k natavení nebo odpaření dřeva $2000 - 4000 \text{ J.cm}^{-3}$
- výkony $20 - 10.000 \text{ W}$
- ofukování – chladí, brání hoření okolí, čistí
- čím kratší působení záření, tím méně se poškozuje okolní materiál \Rightarrow vhodné vysoké výkony
- úzká řezná spára
- vhodné pro abrazivní materiály
- mnohem vyšší spotřeba energie než u konvenčních metod
- odpadá však chod naprázdno, ostření a výměna nástrojů, manipulace s odpadem
- nižší hladina hluku
- lze vyřezávat komplikované tvary

Vlastnosti laserů

Vlastnosti

- na příčný řez potřeba více energie než na podélný
- kvalita řezu – u překližek a DV materiálů velmi dobrá, u rostlého dřeva srovnatelná s frézovaným povrchem
- se zvyšujícím se posuvem se drsnost podstatně snižuje
- (zvýšení posuvu o 65% \Rightarrow snížení drsnosti o 45%)
- při větších výškách – zvlnění ve spodní části řezu
- odlišný úběr u letního a jarního dřeva
- zabarvení plochy řezu
- rozšiřování řezné spáry směrem do hloubky
- nemá podstatný vliv na změnu vlastností dřeva

Řezy laserů



Použití laserů

Díky vysoké koherenci a monochromatickosti laserového paprsku lze laserovým paprskem soustředit na malé ploše velké množství energie.

Toho se využívá v průmyslu pro řezání a vrtání materiálů.

Faktory ovlivňující kvalitu řezu

Faktor	Průběh	Řezná rychlost	Kvalita řezu	Hloubka řezu	Šířka řezné spáry
Výkon	↑	↑	↑	↑	↑
Ohnisková vzdálenost	↓	↑		↑	↓
Vzdálenost čočky a trysky od materiálu	↑	↓			↑
Průměr trysky	↑	↑			↑
Tlak plynu	↑	↓	↑		
Rychlost posuvu	↑		↑	↓	↓
Nehomogenita dřeva	↑				↑
Hustota	↑				↓
Vlhkost	↑	↑	↑		

Přednosti a omezení

Přednosti

- ekologičnost (hlučnost, prašnost)
- snížení namáhavé práce
- vyšší ekonomičnost a zefektivnění určitých druhů výrob (vyřezávání)
- možnost křivkového řezu a vnoření bez předvrtávání
- zvýšení přesnosti

Omezení

- nižší produktivita podélného rozřezávání než mechanickými pilami
- zabarvení povrchu (v některých případech je závadou)
- vysoké pořizovací náklady
- vysoké energetické náklady



PROFILE PLUS 3015

CNC laserový řezací stroj

Technické parametry

- Pracovní plocha: 3 000 x 1 500 mm
- Maximální přejezdová rychlost
os X a Y: 50 000mm/min
osy Z: 10 000mm/min
- Zrychlení: 0,5G
- Maximální řezací rychlost:
 - 30 000 mm/min – papír
 - do 9 000 mm/min – ocel
- Polohovací přesnost os X-Y-Z: +/- 0,05 mm
- Opakovaná přesnost polohování: +/- 0,02 mm
- Požadavky na okolní prostředí stroje: teplota 5 C – 40 C vlhkost do 90% vibrace – bez vibrací
- Celková plocha potřebná k instalaci technologie: 8 000 x 5 000 mm



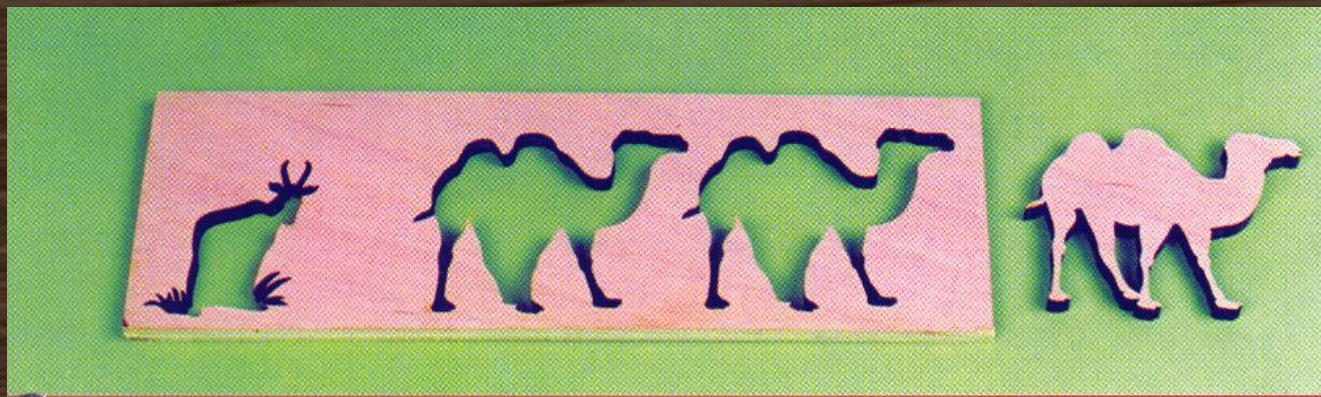
Stroj MICROLAS

Technické parametry

- Řezaná tloušťka: je uvedená v parametrech laserového zdroje
- Rychlost polohování: 60 000 mm / min v jedné ose
- Přesnost polohování: 0,05 mm



Ukázky výrobků



Ukázky výrobků



Ukázky výrobků



Možnosti použití laseru



Ukázky 3D gravírování



Řezání vodním paprskem

Historie

- Historie využití vodního paprsku pro řezání sahá do 50. let 20. století. Tehdy se začalo experimentovat s využitím síly vodního paprsku při řezání dřeva. Technologie byla vylepšena v 70. letech, kdy se při řezání začalo používat přidávání abraziva.
- Řezání vodním paprskem patří mezi nejmodernější, nejšetrnější a nejuniverzálnější technologické procesy **řezání za studena** při obrábění nejrůznějších materiálů. Kromě **řezání čistou vodou** se v průmyslové výrobě již dávno prosadilo i **řezání abrazivním paprskem**. Do abrazivního vodního paprsku se přitom přidává abrazivní písek. Tato technologie umožňuje velice přesný řez prakticky u každého materiálu bez tepelných vlivů.

Metody dělení materiálu vysokotlakým vodním paprskem

Z hlediska použitého pracovního média při technologii dělení materiálu vysokotlakým vodním paprskem se rozlišují dvě základní metody:

- **WJM – *Water Jet Machining*** – *čistý vodní paprsek nebo tzv. hydrodynamické obrábění.*
- **AWJ – *Abrasive Waterjet Machining*** – *obrábění abrazivním vodním paprskem.*
- Princip řezání vodním paprskem spočívá v mechanickém odebrání materiálu, jako reakce na dopad úzkého proudu vody s vysokou dopadovou rychlostí a vysokou měrnou kinetickou energií. Pokud je použito abrazivo, mechanický vliv na řezaný materiál se znásobí.
- Vzhledem k širšímu uplatnění procesu abrazivního vodního paprsku (AWJ) v praxi, jsou poznatky zde prezentované vztahované především k této technologii.

Řezání vodním paprskem

- Podstatou dělení materiálů je obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Tento proces je v podstatě stejný jako vodní eroze ale značně zrychlený a soustředěný do jednoho místa.
- Řezání probíhá nejčastěji na CNC řízených stolech. Pracovní tlak vody obstarají speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem a průtokem vody (pracovní tlak 2000 - 6200 Bar). Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací tryskou. Pro zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Vhodnou abrazivní příměsí je přírodní olivín nebo přírodní granát – volba závisí na tvrdosti děleného materiálu.
- Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Je možné tedy provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace.

TRUMPF

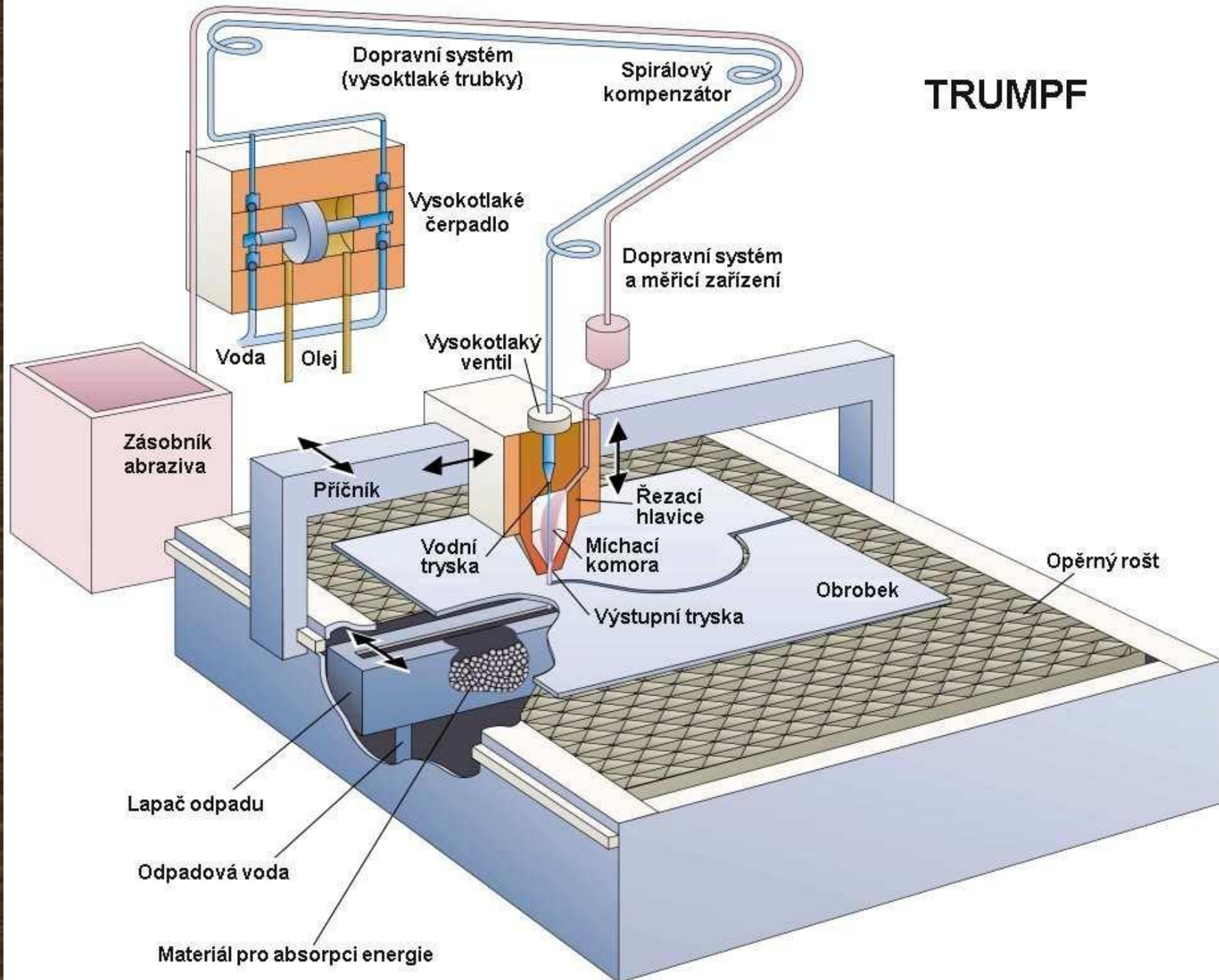


Schéma zařízení pro řezání vodní tryskou

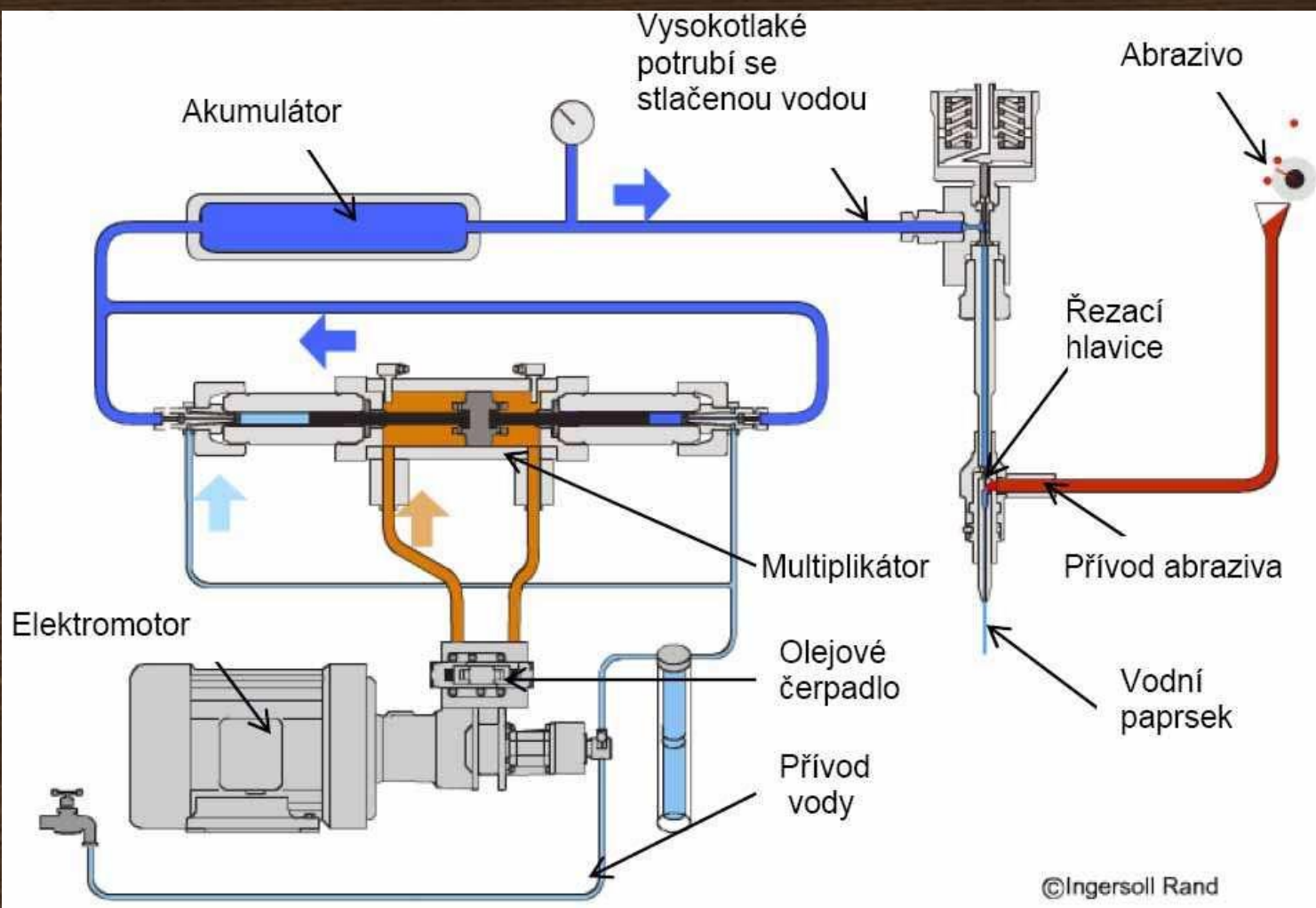
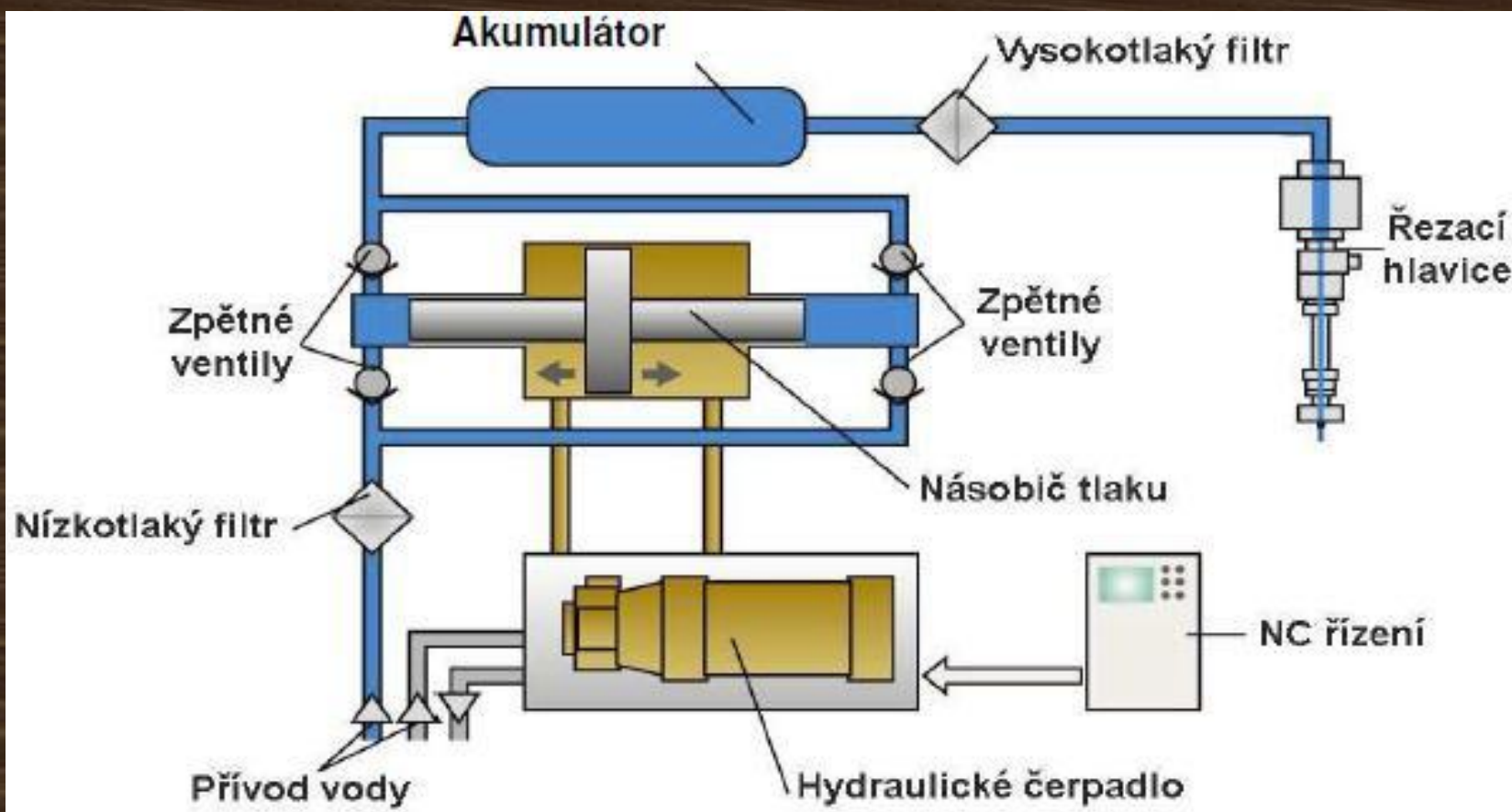
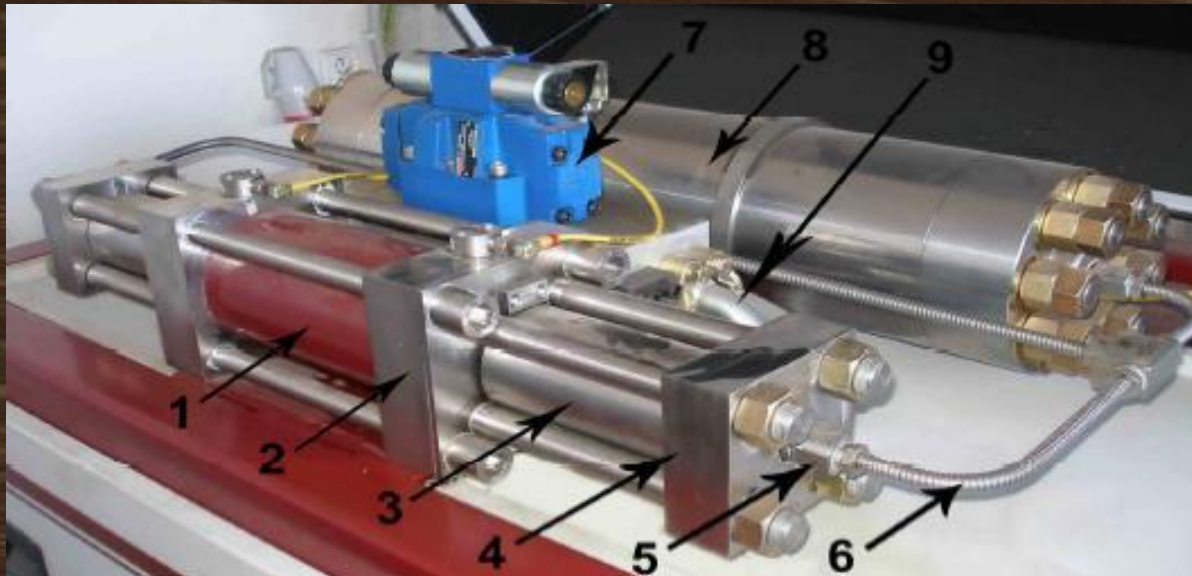


Schéma vysokotlaké vodní pumpy



Multiplikátor

Multiplikátor je násobitel či zesilovač
v tomto případě hydraulického tlaku pracovní kapaliny - vody



1. nízkotlaký válec,
2. hydraulická hlava
3. vysokotlaký válec
4. vysokotlaká hlava
5. zpětný ventil

6. vysokotlaké potrubí
7. rozvaděč
8. akumulátor
9. rozvod nízkotlakého oleje

Hydraulický pohon



Tryska

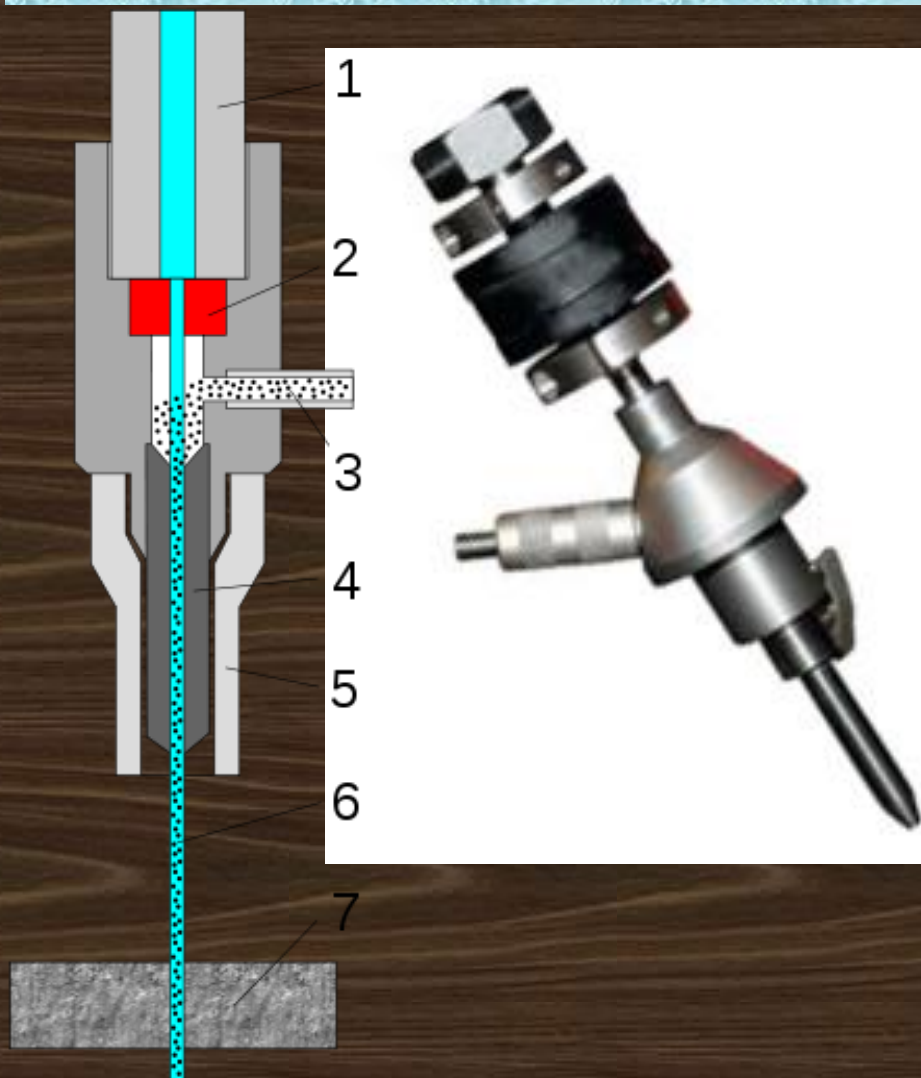


Schéma:

1 - vysokotlaký přívod vody
2 – rubínová či diamantová
tryska (detail vpravo dole)

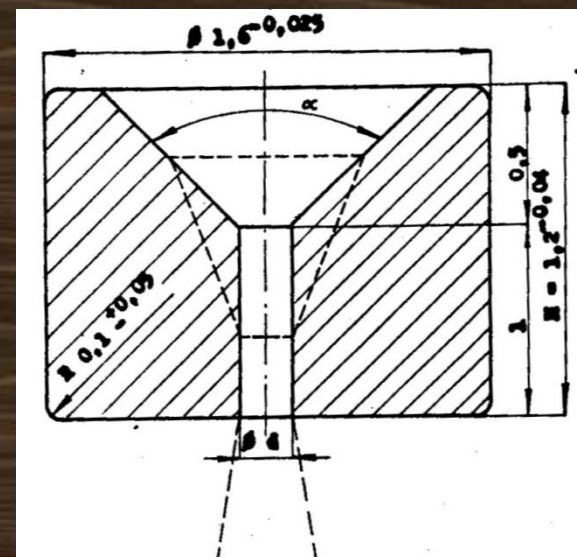
3 - abrazivo

4 - směšovací trubička

5 - držák

6 - paprsek

7 - materiál



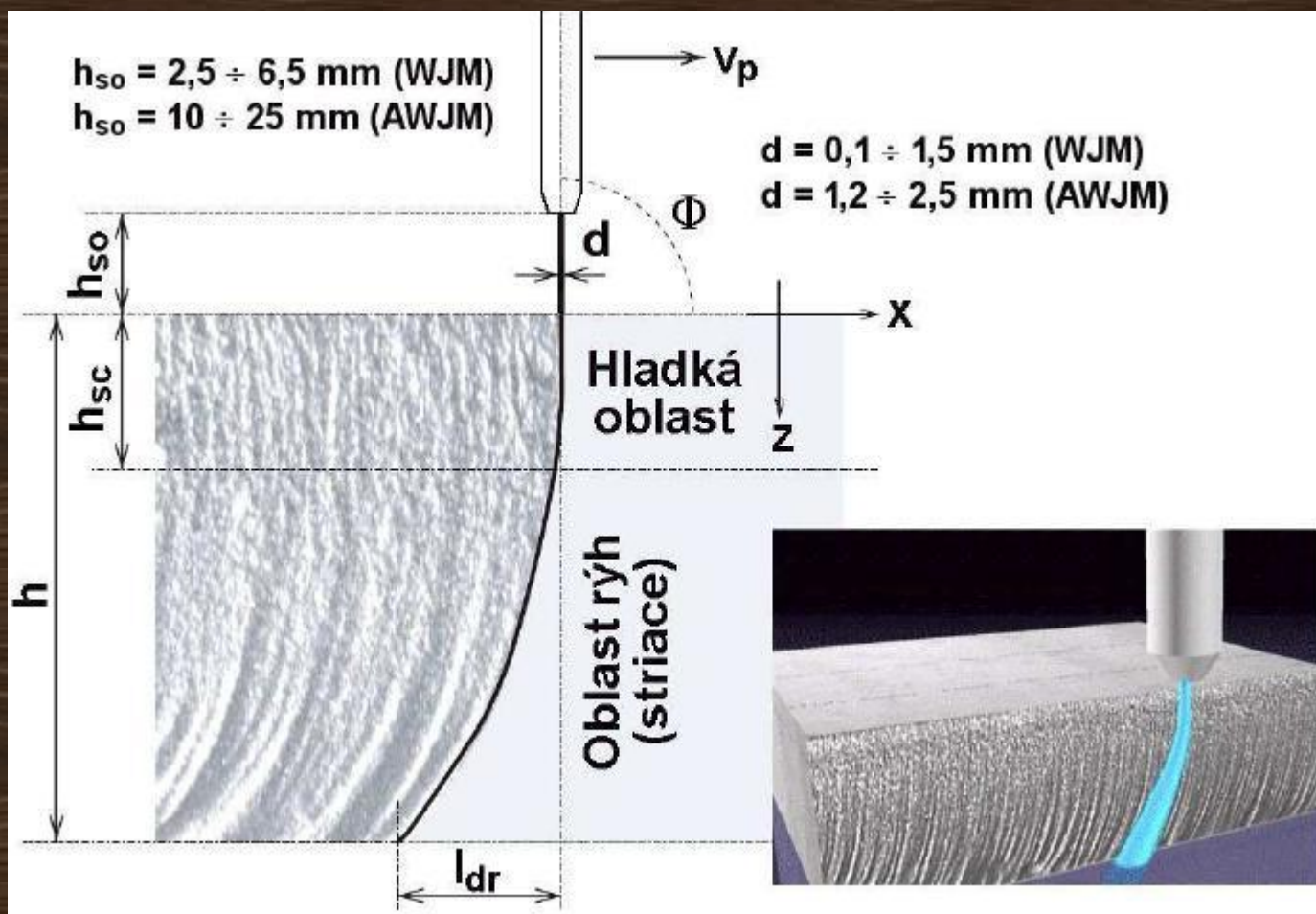
Problematika kvality povrchu v místě řezu

Donedávna byly z hlavních nevýhod řezání vysokotlakým (čistým i hydroabrazivním) paprskem vody chyba úkosu a doběh paprsku.

Při procesu řezání ztrácí paprsek energii, proto se směrem od řezací trysky řezná spára zužuje. Vyšší řezná rychlost má za příčinu užší řeznou spáru na výstupní hraně řezaného materiálu. Naopak nižší rychlost posuvu způsobí paralelnost řezných hran, což v důsledku znamená vyšší přesnost, ale i vyšší náklady (výroba se prodraží).

V důsledku pohybu řezací hlavy vůči materiálu dochází ke zpomalování paprsku vlivem brzdění o vytvořené molekuly obrobku a takzvanému efektu váznutí paprsku.

Váznutí paprsku



Problematika kvality povrchu v místě řezu

Staršími systémy nebylo možné tento efekt zcela eliminovat. Avšak omezení tohoto efektu je dosahováno snižováním rychlosti řezání což prodlužuje proces řezání.

Nové systémy vyřezávání tvarů odstraňují však i tyto nedostatky a posouvají tak technologii WJM a AWJ o další krok kupředu. Mezi tyto systémy patří především systém vyřezávání tvarů Dynamic Waterjet společnosti FLOW (USA) a systém ProgressJet firmy PTV (Česko).

Základním principem řešení této problematiky je vhodné naklánění obráběcí hlavy vůči obrobku, což eliminuje vznik nerovností a také využití vyšších rychlostí, aniž by došlo ke zkosení či jiným nežádoucím jevům v místě řezu.

Princip funkce řezání vodním paprskem

- přeměna tlakové energie media (tlaky až 400 MPa) na energii kinetikou s rychlostí cca 900 m.s⁻¹.

Vodní paprsek působí na obráběnou plochu silou:

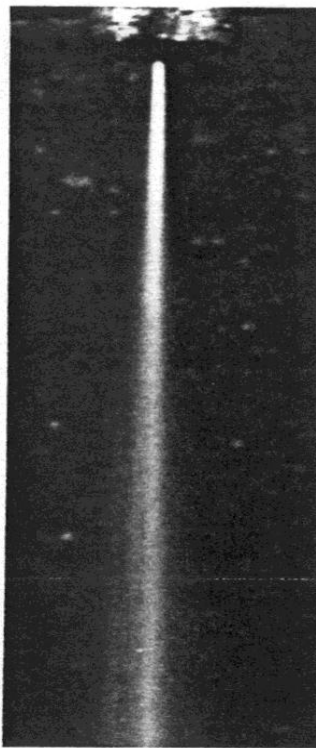
$$F = \rho \cdot Q \cdot v \quad \text{[N]}$$

- ρ ... hustota kapaliny [kg.m⁻³]
- Q ... množství kapaliny [m³.s⁻¹]
- v ... rychlost kapaliny [m.s⁻¹]

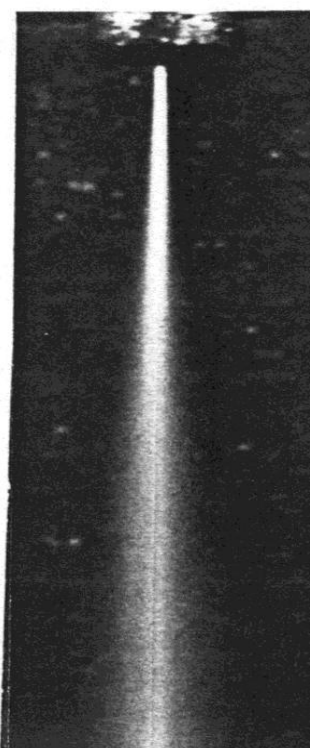
Tvar vodního paprsku v závislosti na tlaku



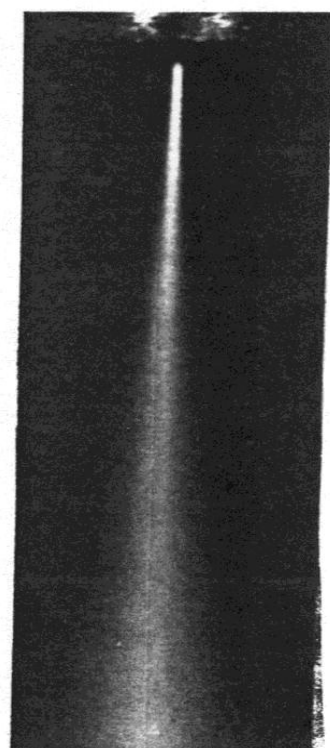
50 MPa



100 MPa



200 MPa



350 MPa

Dvě fáze při řezání vodním paprskem

Průnik povrchovou vrstvou obrobku

– výsledek mezního napětí v bodě dopadu.

Závisí na

- vlastnostech obrobku
- hustotě energie paprsku v místě dopadu
- celkovém objemu paprsku.

Druhotný průnik (prohlubování řezné spáry)

– je v přímém poměru k celkové energii
na délkovou jednotku paprsku

Činitelé ovlivňující proces řezání

- materiál obrobku
- poměr d / D čím je nižší, tím větší koherence paprsku
- poměr l / D (2,5 – 4 optimální z hlediska koherence)
- teplota kapaliny – vysoký tlak \Rightarrow ohřev až 90 C \Rightarrow změna viskozity \Rightarrow nižší účinnost
- drsnost povrchu trysky – velká drsnost způsobuje turbulence a snižuje účinnost
- průměr trysky (větší průměr \Rightarrow větší odlomy)
- rychlost posuvu – podstatně snižuje hloubku řezu
- **směr vláken** – velmi podstatný (nejlépe podélný pak tangenciální pak radiální)
- **vlhkost** dřeva – u vlhkého vyšší hloubka řezu
- **hustota** dřeva – snižuje hloubku řezu

Činitele ovlivňující proces řezání

- tvar paprsku (musí zůstat souvislý, rozptýlený je méně účinný) závisí na : rychlosti, vlastnostech kapaliny, geometrii trysky
- hydraulický tvar trysky – tenčí paprsek (průměr trysky) \Rightarrow menší rozptyl \Rightarrow větší koncentrace energie \Rightarrow hlubší průnik
- vliv přísad (polymery) – podstatný vliv (o 30 – 50% větší hl. řezu)
- abrazivní přísady – zvýšení řezné rychlosti a podstatně i řezné výšky
- vzdálenost trysky od obrobku – pro hloubku řezu do určité meze nepodstatná, ale podstatná pro šířku řezné spáry
- tlak p kapaliny před tryskou – zvyšuje hloubku řezu h mocninou funkcí: do $p = 200\text{MPa}$, poté již lineárně až po inflexní bod, s dalším zvyšováním tlaku se zvyšuje jeho nestabilita a rozptyl

Přednosti a omezení

Přednosti

- úspora pracovních sil
- zlepšení pracovního prostředí (prašnost, hluchost cca 65 dB)
- úspora materiálu (tenká spára)
- dobrá přesnost a kvalita povrchu
- odpadá chod naprázdno
- úspora pracovních ploch (výkonná část může být umístěna mimo)
- možnost křivkových řezů
- možnost řezání různých druhů materiálů včetně abrazivních
- odpadají drahé nástroje
- eliminace některých následujících operací

Přednosti a omezení

Omezení

- vysoké pořizovací náklady
- zvlhčení obrobku
- nutná úprava řezné kapaliny
- u rostlého dřeva není tak výkonné jako konvenční metody (obzvláště u větších výšek řezu)
- nevhodné pro přímé řezy dřeva velkých výšek (nad 30mm)
- velké provozní náklady

Abrazivo

Druh abraziva je významný technologický parametr, na kterém velkou měrou závisí efektivita obráběcího procesu. Mezi nejvýznamnější kritérium abraziva, které je sledováno, patří řezivost.

Dalšími sledovanými parametry abraziva jsou:

- o **zrnitost**
- o **tvrdost**
- o **pevnost.**

Řezivost:

Je zajištěna krystalickou strukturou abraziva. Kubické krystalové mřížky dodávají abrazivu vlastnost netupit se. Díky této struktuře při sražení řezné hrany se zpravidla vytvoří několik hran nových. Využitím této skutečnosti lze již použité abrazivo recyklovat a znovu je zavést do výroby. Parametry recyklovaného abraziva jsou však po procesu recyklace pozměněny.

Abrazivo

Zrnitost:

Abrazivo se dodává v různých zrnitostech. Zrnitost se udává v jednotkách MESH (počet ok síta na čtverečný palec).

- jemná zrnitost 100 a 150
- střední zrnitost 60 a 80
- hrubá zrnitost 16 a 36

Velikost zrna se pohybuje od 0,2 mm do 0,4 mm. Tedy čím menší je zrno, tím má řez nižší drsnost R_a , ale pak celý řezný proces i nižší rychlost řezání v_p .

Závislost hloubky řezu na intenzitě toku abraziva při použití různých zrnitostí

Abrazivo

Tvrdost:

Použitím vhodného abrazivního materiálu o optimální tvrdosti, se zvyšuje maximální efektivita technologií využívajících abrazivo. Pro využití ve strojírenství se používají především křemičitá abraziva nebo polodrahokamová abraziva (olivín, granát).



Mezi nejrozšířenější druhy abraziva patří: indický granát, australský granát, ruský a čínský granát, olivín, křemičité prášky a oxidy hliníku.

Abrazivo - granát GMA

granát GMA - abrazivní materiál australského původu

Díky své jedinečné tvrdosti a pevnosti zrn zaručuje nejvyšší produktivitu a perfektní kvalitu řezu. Vysoce přesné třídění zaručuje 100% efektivitu bez prachu a nadměrných zrn, a tím také trvale optimální řezné podmínky a stabilní přísun abraziva bez ucpávání abrazivní trysky. Tím je zaručena nejvyšší efektivita výroby a nejnižší výrobní náklady po celou dobu řezání.

Abrazivní materiál je vhodný pro všechny aplikace řezání, včetně:

- uhlíkové oceli
- mědi
- žuly
- hliníku
- gumy
- skla
- korozivzdorné oceli
- mramoru
- dřeva
- a dalších materiálů

Abrazivo - granát GMA

Chemické složení

SiO ₂	36%
Al ₂ O ₃	20%
FeO	30%
Fe ₂ O ₃	2%
TiO ₂	1%
MnO	1%
CaO	2%
MgO	6%

Minerální složení

Granát	97 - 98 %
Ilmenit	1 - 2 %
Zirkon	< 0,2 %
Křemen	< 0,5 %
Ostatní	< 0,25 %

Fyzikální charakteristika:

Sypná hmotnost	2,38 t/m ³
Měrná hmotnost	4,10
Tvrdost (dle Mohra)	7,50 - 8,0
Bod tavení	1250 C
Tvar přírodních zrn	kubický

CNC stroj AQUACUT



STROJ

firmy TCI cutting



1 a 2 osé stroje firmy **BIII**



Zdroje informací

www.ptv.cz Český výrobce

<http://flowwaterjet.com>

<http://tcicutting.com>

<http://jetedge.com>

<http://www.modernmachinerycompany.com>

<http://www.woodlaserengraver.com>

<http://cncengravingmachine.net>

<http://www.cmslaser.com>

<http://www.kernlasers.com>

<http://www.pkit.cz>

VIDEO – LASER JET

<http://www.youtube.com/watch?v=FaTfHiP3PNg&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=wi4dKAseDCg&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&feature=endscreen&v=2P7oK8UM9V8>

http://www.youtube.com/watch?v=z4A_zRPVjxc&feature=related

http://www.youtube.com/watch?v=vuhvl5Na_zo&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=xGpkgTVVjcY&feature=related>

VIDEO - WATER JET

<http://www.youtube.com/watch?v=W5-atvt8OEq>

<http://www.youtube.com/watch?v=TAdyOwo7SRk>

<http://www.youtube.com/watch?v=W5-atvt8OEq>

<http://www.youtube.com/watch?v=TrCO6YgFdrM>

http://www.youtube.com/watch?v=2jm4_HikMqk&feature=endscreen&NR=1

Pokud při dalším studiu tématu narazíte na informace, videa, nebo jiné zajímavosti z této oblasti můžete mi prosím poslat link či další podrobnosti na email vít.novak@mendelu.cz Děkuji.

Děkuji za pozornost
