

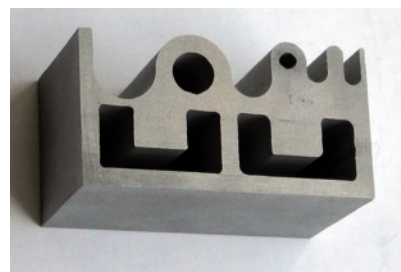
# NEJDE TO UŘÍZNOUT DIAMANTEM? ZKUSTE TO VODOU!

FJFI – KATEDRA INŽENÝRSTVÍ PEVNÝCH LÁTEK

Při výuce studentů v kurzech zaměřených na automatizaci a řízení experimentu jsou na katedře uplatňovány poznatky a zkušenosti nejen z vědecké, ale i z průmyslové praxe.

Součástí výuky na katedře inženýrství pevných látek je i kurs zaměřený na řízení experimentů. Studenti dnes rádi zpracovávají data na počítačích a používají při tom nejmodernější programové systémy. Samotné pořízení experimentálních dat často zůstává v pozadí jejich zájmu. Přitom je tato problematika nejen stěžejní pro další zpracování, ale dokáže být i velmi zajímavou disciplínou, ve které se setkává jak porozumění fyzikálním procesům, tak i technická tvořivost.

Ve snaze přiblížit tuto problematiku studentům máme na katedře labo-



Výstupní strana řezu systémem AREM PRO. Materiál Al tloušťka 40mm

ratoř řízení experimentu. Pochopitelně se podílí na automatizaci experimentů na katedře. Zkušenosti se však získávají i jinde v rámci jak vědecké, tak i komerční spolupráce. Příkladem může být i vývoj vlastního systému pro CNC stroje, který byl postupně

aplikován na soustruhy, frézky, nábytkářská obráběcí centra a v poslední době i na stroje pro řezání vodním paprskem. Tato technologie je zvláště právně tím, že se v ní setkává jak technika, tak i poměrně zajímavá fyzika chování vysokotlakého paprsku v materiálu.

## Vysokotlaký paprsek

Uspořádání stroje pro řezání vodním paprskem je ve stručnosti následující. Vysokotlaké čerpadlo připravuje vodu o tlaku typicky 4000 Barů. Ta je přiváděna soustavou trubek k trysce o průměru od cca 0.1 mm do 0.5 mm. Z trysky proudí paprsek rychlostí okolo 1000 m/s. Pro zvýšení účinnosti prochází paprsek směšovací tryskou, kde se do vody přimíchává abrazivní materiál. Na výstupu směšovací trysky máme tedy „vysokotlaký abrazivní paprsek“. Kinetická energie směsi vody a abraziva dopadá na materiál a odtrhává jeho jednotlivé částičky.

Tento princip předurčuje vysokotlaký paprsek k široké škále použití. Neexistuje materiál, který by paprsku odolal. Omezení však přináší praktické aspekty. Některé materiály nesnesou styk s vodou, jiné se třísťí v důsledku vznikajících vibrací, některé kompozitní materiály se separují atd.

I tak zůstává překvapivě široké pole použití. Vodou bez abraziva se dělí měkké materiály jako například textilie, pěny (polystyren, polyuretan, molitan), minerální vaty, měkké gumy ale i potraviny jako třeba zmrzlé ryby. Abrazivní paprsek se používá na kovy, kámen, sklo, plasty a mnoho dalších materiálů.

Použitelnost paprsku z hlediska tloušťky materiálu také dovede překvapit. Viděl jsem na vlastní oči řez ocelí tloušťky 300 mm. Pravda je, že v takovém případě je pohyb řezací hlavy velmi pomalý.

Technologie vysokotlakého vodního paprsku je montována na CNC stůl, který umožňuje přesný pohyb řezací hlavy (typická přesnost polohování je 0.05 mm) a to v osách XY, XYZ, ale také i s možností natáčení hlavy, například kolem os rovnoběžných s osami X (osa A) a Y (osa B) tedy systém s osami XYZAB.

## Vodní paprsek nástrojem obrábění, ne jen dělení

Vlastnosti vodního paprsku a jeho použití jsou známy již dlouho. Technologie byla využívána hlavně jako metoda dělení materiálu. Tedy jako metoda ne příliš přesná. V mnoha případech produkt řezu paprskem bohatě vyhoví požadavkům (pěny atd.). Pokud se však dělí například kovy, bývá velmi časté, že oddělený kus je použit jako polotovár pro další obrábění. Obor se neustále vyvíjí. Rostou požadavky na kvalitu a ekonomičnost procesu ve všech směrech. A tak nepřekvapí, že jedním z požadavků je, aby se výrobek již obrábět nemusel nebo se musel obrábět jen minimálně. Tedy aby se vodní paprsek stal nástrojem obrábění a ne jen dělení.

Jaké jsou vlastně zdroje nepřesností výrobku v procesu řezu vodním paprskem?

Z principu vyplývá, že paprsek v průběhu pronikání do materiálu ztrácí energii. Tato ztráta energie se projevuje třemi způsoby:

1. Zhoršování kvality povrchu řezu.
2. Prohnutí paprsku ve směru pohybu.
3. Změna průměru paprsku.

## Kvalita povrchu

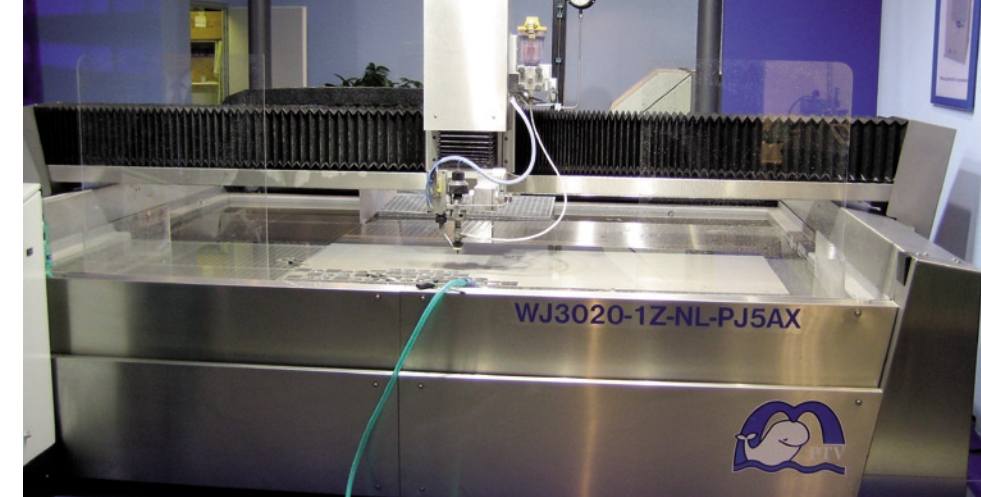
Za jinak konstantních řezných podmínek (tlak, konfigurace trysek, množství a typ abraziva, vlastnosti a tloušťka materiálu) závisí kvalita povrchu řezu na rychlosti pohybu řezací hlavy. Pohybujeme-li se pomalu, paprsek má dost času obrušovat částičky materiálu v celé hloubce řezu. Z jeho energie je spotřebována jen malá část. Pohybujeme-li se rychle, energie paprsku je z velké části spotřebována a v dolní části řezu již jen s malou rezervou stačí na odebrání materiálu. Paprsek je náchylný na změny směru vlivem sebe-menších fluktuací, povrch je hrubý.

## Prohnutí paprsku

Paprsek vlivem kontaktu s materiálem mění svůj směr. Je odrážen proti směru pohybu. Tento efekt dramaticky roste s tloušťkou materiálu. Při přímočarém směru pohybu řezné hlavy toto zpoždování bodu výstupu paprsku za bodem vstupu nepředstavuje problém. Situace se však radikálně mění, jakmile měníme směr pohybu. Ve vnitřních rozích se objevují deformace, které uživatelé popisují jako „podřezy“ nebo „zášlehy“. U silnějších materiálů jde o deformace, které mohou být v řádech milimetrů.

## Změna průměru paprsku

Pokud sledujeme tvar paprsku, opouštějícího směšovací trysku, pozorujeme jeho přirozenou divergenci. Vytváří kužel s hrotem nahoře. Čím lepší je kvalita trysek, tím menší je divergence paprsku. Pokud bychom tedy nechali paprsek procházet materiálem dostatečně dlouho, vytvoří se v něm otvor tvaru zmíněného kužele. Pokud však paprskem pohybujeme, je odrážen stěnami materiálu a tímto efektem je fokusován. Teoreticky při



Řezací stůl XYZAB firmy PTV spol. s r. o.

určité rychlosti, kdy právě dochází k proříznutí materiálu, je jeho průměr na výstupu nulový. V závislosti na rychlosti pohybu tedy mění průměr výstupu paprsku. Tento efekt způsobuje chybu svislosti stěn řezu, případně „vymletí“ míst, kde jsme se s rychlostí dostali do oblasti, kdy paprsek diverguje. Změna průměru paprsku generuje rozdíl rozměru výrobku mezi vstupní a výstupní stranou typicky kolem 0.3 mm

Bylo by možné ještě pokračovat při výčtu situací, které věc komplikují. Z uvedeného je však již dostatečně patrné, že hledání co nejlepší strategie řezu je věcí kompromisů. Pokud máme k dispozici mechaniku řezacího stolu, mající k dispozici pouze pohyb v osách X a Y, je jediným prostředkem k potlačení popsaných chyb volba rychlosti v jednotlivých částech řezu. Pokud máme k dispozici ještě naklápění trysky, jako je to u stolu na obrázku nahoře, je možné zpoždování paprsku i zužování paprsku do značné míry kompenzovat.

K problematice plánování rychlosti lze přistupovat v zásadě dvěma způsoby.

1. Řešit volbu rychlostí v době návrhu výrobku na CAD/CAM systému. Řezací stůl pak jen vykonává pohyby podle jeho návrhu. Veškerá příprava se tedy provádí „v kanceláři“. Tam musí být známy veškeré detaily nastavení řezacího procesu.
2. V „kanceláři“ provést pouze návrh tvaru a veškeré plánování procesu řezu ponechat na řídicím systému stroje. Tomu se sdělí typ materiálu,

jeho tloušťka, nastavení technologie a požadavky na kvalitu řezu.

## Systém AREM PRO

Ve spolupráci s firmou PTV spol. s r. o. autor článku s kolegy vyvinul řídicí systém AREM PRO – Cnc886, který na základě modelu chování paprsku v materiálu plánuje rychlosti řezu a naklopení řezací trysky (obrázek vlevo). Je ukázkou vzorku, ve kterém se nachází většina kritických situací. Jsou zde vnitřní ostré rohy, vnější i vnitřní rádiusy různých průměrů. Měření rozměrů ukazuje shodu mezi vstupní a výstupní stranou do 0.05 mm (eliminace zúžení paprsku). Využití náklonu trysky ve směru pohybu vylepšuje chování ve vnitřních rozích a do značné míry eliminuje deformace způsobené zpožděním výstupu paprsku. Výsledků bylo dosaženo bez nárůstu celkové doby řezu.

Podle informací z firmy PTV spol. s r. o. existují ve světě jen dva další výrobci (FLOW, OMAX), kteří disponují řídicím systémem s kompenzací zúžení. Kládeme si za čest jim systémem AREM PRO – Cnc886 konkurovat.

Systém byl v současné době nasazen na cca 150 strojích. Je dále rozvíjen, protože požadavky stále rostou a doufáme, že tak přispějeme k dobrému jménu českých výrobků ve světě.

Ing. Pavel Jiroušek, CSc., KIPL FJFI  
Ve spolupráci s AREM PRO, s. r. o.  
a PTV spol. s r. o.  
Foto: autor