

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



**-TECHNICKÁ FAKULTA-**  
**- KATEDRA MATERIÁLU A STROJÍRENSKÉ  
TECHNOLOGIE -**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

## **MODERNÍ METODY DĚLENÍ MATERIÁLU**

**VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE: Prof. Ing. Milan Brožek, Csc.**

**©VYPRACOVAL: Pavel KAŠE**

**PRAHA 2014**

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Kaše Pavel

Zemědělská technika

Název práce

**Moderní metody dělení materiálu.**

Anglický název

**Modern methods of material division.**

---

## **Cíle práce**

- shromáždit literární poznatky o moderních metodách dělení materiálu.

## **Metodika**

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

## **Osnova práce**

1. Úvod.
2. Cíl práce a metodika.
3. Metody dělení materiálu, jejich výhody a nevýhody, použití v praxi.
4. Závěr.
5. Seznam literatury.
6. Přílohy.

## Rozsah textové části

30 - 40 stran

## Klíčová slova

- dělení materiálu, tepelné dělení, dělení laserem, dělení plazmou, dělení vodou

---

## Doporučené zdroje informací

ABA: Sedmiosé drátové řezání. Technik, 17, 2009, č. 5. s. 48-50.

BEREZIN, A. F.: Svarka i rezka vzryvom. Moskva, NIIMAS 1965. 30 s.

KUNCIPÁL, J. - PILOUS, V. - DUNOVSKÝ, J.: Nové směry ve svařování. Praha, SNTL 1984.

MINAŘÍK, V.: Tepelné dělení materiálu. Praha, ČVUT 1993. 50 s.

STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals 1983.

VLASTNÍK, J.: Dělení materiálu paprskem kapaliny. Kandidátská disertace. Praha, ČVUT 1983. 125 s.

WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.

AWAC, spol. s r. o., systémy dělení materiálu [online]. Dostupné z [www: http://www.awac.cz](http://www.awac.cz)

Laser – Tech, řezání laserem [online]. Dostupné z [www: http://www.laser-tech.cz/rezani-laserem/](http://www.laser-tech.cz/rezani-laserem/)

Časopisy: Manufacturing technology, MM průmyslové spektrum, Strojárstvo - Strojírenství, Strojírenská technologie,

Technický týdeník, Technik, Zvářenie - Svařování

Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace

---

## Vedoucí práce

Brožek Milan, prof. Ing., CSc.

## Termín zadání

listopad 2012

## Termín odevzdání

duben 2014

Elektronicky schváleno dne 5.3.2014

**prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5.3.2014

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

---

## Čestné prohlášení

Já **Pavel Kaše** zde čestně prohlašuji že, jsem sám vytvořil bakalářskou práci na téma moderní metody dělení materiálu. Tato práce je vypracována z několika odborných knih a článků, je zde použita i firemní literatura a internetové stránky, které jsou uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne:.....

Podpis:

## **Poděkování**

Poděkování patří panu Prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc z technické fakulty - katedry materiálu a strojírenské technologie, jenž mi poskytl materiály, ze kterých jsem čerpal při psaní této bakalářské práce.

# MODERNÍ METODY DĚLENÍ MATERIÁLU

## MODERN METHODS OF CUTTING MATERIAL

### **Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá dělením materiálu. Metodami od dělení plechů nůžkami až po řezání materiálu vodním paprskem. Tyto metody jsou zde popsány, od jejich historie, použití a využití v praxi. Následně na konci této práce je zhodnocení, kde jsou uvedeny výhody a nevýhody těchto metod a jejich zhodnocení.

### **Klíčová slova:**

nůžky, pily, plamenová technologie, plazma, laser, vysokoenergetický kapalinový paprsek

### **Annotation:**

This thesis deals with methods of dividing the material from the cutting of sheet metal shears to cut the material by water jet. These methods are described, from their history, uses and applications in practice. Then at the end of this work is to evaluate where the advantages and disadvantages of these methods and their evaluation.

### **Key words:**

scissors, saws, flame technology, plasma, laser, high-energy liquid jet

# MODERNÍ METODY DĚLENÍ MATERIÁLU

## Úvod BP

Sovětský geofyzik Ferman kdysi řekl: „ *nové metody mají ve vědě mnohem větší význam než nové objevy*“. Toto tvrzení se uplatní nejenom ve vědě, ale i v technologii a ve výrobě produktů. Použití náradí a nástrojů odlišuje člověka od ostatních živočichů a jeho způsob výroby dokazuje nadřazenost a vyspělost lidské společnosti. Hovoříme-li o vědeckotechnické revoluci, musíme brát v potaz, že hlavní složkou revoluce je právě revoluce v metodách výroby a v technologii. [7]

Už první lidé si dokázali rozdělit kus masa, dřeva a podobně. Také se potřebovali i nějak bránit, bojovat. Prvním nástrojem k dělení materiálu byl pravděpodobně nůž, který byl vyroben z ostrého kamene, v pozdějších dobách ze železa. Bohužel v dřívějších dobách a i dnes se vytvářejí nástroje, které měly účel získávání majetku, tím vznikaly války. Především vojenská mašinerie se zasloužila o rozvoj výroby, stoupala poptávka po zbraních. Proto se vyvíjely stroje k urychlení a zjednodušení práce. Díky potřebám člověka jeho způsobu žití a novým objevům vznikaly nové technologie a nové druhy materiálu. Člověk se rozvíjel, toužil po létání, objevování podmořských hlubin a zkoumání země jako takové. Potřeby se navyšovaly a nároky na materiál, jeho řezání a opracování rostly exponenciální řadou.

Dělení materiálu je jednou z důležitých částí výroby. Zde je rozděleno od nůžek, pily, řezání plamenem, plazmou, laserem až po vodní paprsek. Pro větší výkonové síly se používají hydrauliky, příkladem jsou hydraulické nůžky, kde se materiál oddělí stříhem. Díky novým materiálům se stroje stále vylepšují, navyšuje se jejich životnost i jejich využitelnost v praxi. Metody dělení jsou zde popsány a vysvětleny na principu použití.

# 1. Dělení materiálu nůžkami

## Princip

Nůžky najdou uplatnění ve všech zámečnických, klempířských, údržbářských, auto-opravárenských a strojních dílnách. Stříhy mohou být pouze kolmé, při dělení pod úhlem se používá pásová pila. Tělo nůžek je vyrobeno z konstrukčního plechu tř. 11 v provedení svařenec. Pevný nůž profilový i spodní nůž na pásovou ocel jsou uchyceny v těle nůžek. Pohyblivý nůž profilový je vsazen do nožového držáku, ve kterém je šrouby připevněn i horní nůž na plochou ocel. K pracovnímu stolu nůžky přišroubujeme šrouby za držáky přivařené k základně těla. Nůžky jsou povrchově upraveny barevným nástřikem, čepy, šrouby jsou povrchově chráněny zinkováním. Přestavením čepu spojovacího lašny s nožovým držákem vymezíme stříh podle tloušťky stříhaného materiálu. [18]

## Tabulové nůžky

Existují elektro-mechanické nebo hydraulické nůžky či ruční. Střížná tloušťka plechu je od 3 do 100 mm, střížné délky od 1 350 do 6 070 mm. Slouží především k příčnému, podélnému a šikmému stříhání hladkých plechů. Technologie umožňuje stříhání žebrovaných plechů (rýha, slza) do tloušťky 5,0 mm. Těmito způsoby sortimentu lze uspokojit takřka každého zákazníka. Výbavu a konstrukční provedení strojů i řídicího systému se můžeme upravit podle individuálních potřeb zákazníka. Tabulové nůžky jsou vhodné pro dělení materiálů: měkká ocel, hliník, měď, mosaz, zinek, olovo, plasty, lehké a neželezné kovy a masivní litinové konstrukce. [19]



Obr. 1 Tabulové nůžky



## Profilové nůžky



Obr. 2 Profilové nůžky

Univerzální hydraulické nůžky určené pro děrování (vysekávání) je možné použít kromě děrovacích (vysekávacích) nástrojů pro kruhové, čtvercové, oválné a drážkové otvory, také nástroje pro otvory jiných tvarů (např. nástroje na žaluziové větrání, vysekávání okrajů trubek, radiusů, rohů plechů a jiné) dále stříhání pásoviny, profilů a kruhové a čtvercové ocele. Vyrábějí se s kapacitou 400, 450, 500, 600 a 1750 kN. Řada 450 a 600 kN má navíc vystřihování rohů, respektive přípravek pro ohýbání ploché ocele. Stroje mají jeden hydraulický válec či dva u 1750 kN poskytují obrovskou variabilitu plecho-tvářecích prací. Stroje se vyznačují mimořádnou spolehlivostí při dlouhodobém užívání. [17]

## Nůžky ruční pákové profilové



Tyto stroje se vyznačují velmi masivní, tuhou, litinovou konstrukcí a vysokou spolehlivostí. Činné části nůžek jsou vyrobeny z vysoce kvalitní nástrojové oceli a jsou kaleny. Nože na nůžkách se dají opakovaně několikrát ostřit. Ruční profilové nůžky slouží ke stříhání ploché a kruhové oceli, čtyřhranů a profilů. Pro stříhání tyčí kruhového či čtvercového profilu slouží nože profilové. Spodní nůž je využit pro stříhání ploché oceli. Nůžky jsou vybaveny přidržovačem profilů i přidržovačem pro spodní nůž. Nože jsou vyrobeny z nástrojové oceli, kaleny a broušeny. Střížná síla vyvozená na páce je přes ozubený převod přenášena na nožový držák pohybující se svisle do stříhu. [18]

Obr. 3 Ruční pákové nůžky

## 2. Dělení materiálu pilou

### Princip

Pila je nástroj nebo stroj určený k oddělování (tedy k řezání) předmětů. Základní částí je obvykle pohyblivý ozubený pilový list, jehož ostří je z rovného, úzkého, kovového plátu (pásu), který je ozubený a mechanicky odolný. Zuby narušují při jeho pohybu řezaný materiál. Každý pilový list musí mít zuby střídavě vychýlené vpravo a vlevo tak, aby pila mohla z řezu odebrat třísku, jedná se i pilový rozvod zubů (často nesprávně nazývaný slangovým slovem šraňk). Rozvod je menší a větší. Menší se používá pro příčný řez - přes vlákna, větší se používá na řez podélný - po vláknech. Je to proto, že piliny z podélného řezu jsou objemnější, místo řezu ucpávají, řezání s malým rozvodem je znatelně namáhavější.

Dále existují i kotoučové pily (okružní pily), které mají místo pilového plátu řezací kotouč, který je ozubený nebo to jsou keramické či diamantové kotouče bez ozubení. Kotoučové pily mají stejné využití jako pásové, ale mají výhodu u ručního nářadí v jejich velikosti a přenosnosti. První kotoučová pila jako obráběcí stroj byla vynalezena v Anglii roku 1780 a její ruční provedení bylo patentováno roku 1927 v USA.

### *Pásové pily na kov*

Pásová pila je určena pro kusovou a sériovou výrobu pro řezání všech běžně používaných materiálů od hliníku a jeho slitin, přes neželezné kovy, až po ocele vysoké pevnosti. Horizontální posuv pilového pásu do řezu je po lineárním vedení na sloupu. Pila je vybavena hydraulickým ovládním posuvu pilového pásu do řezu s automatickým zvedáním ramene, (který je kontrolován snímačem a je vyroben z temperovaného hliníku a je namontován na kuželíkových ložiscích), dále pak hydraulickým čerpadlem a rychloupínacím svěrákem řezaného materiálu. Upnutý materiál lze řezat pod úhly od  $-60^\circ$  až do  $+90^\circ$  zajištěného otočným svěrákem nebo natáčecím ramenem pily (dle typu).

U větších pil lze s výhodou použít chladič systém. Sestava převodovky se skládá z broušených a kalených ozubených kol, mechanického napínání pásu kontrolované koncovým spínačem, posuvu do řezu s plynulou regulací, dvojitým bezpečnostním tlačítkem pro spuštění cyklu. Pásové pily se vyznačují tuhou konstrukcí a velkým výkonem

při zachování malých rozměrů a mobility. V automatickém cyklu se doporučuje nepřesahovat  $\varnothing$  150mm. [21]

### Druhy pásových pil:

- **Manuální pásová pila**



Manuální pásová pila s kompletní manuální obsluhou, ručně ovládaný rychloupínací svěrák, manuálně vedený řez proti tlaku pružin. Výhodou je citlivé vnímání průběhu řezu zejména pro kusovou výrobu. Manuální posun materiálu. Otočení ramene pily pro úhlové řezy. [20]

*Obr. 4 Manuální pásová pila*

- **Hydraulická poloautomatická pila**



S kompletním hydraulickým ovládním. Stroj je vybaven řídicím systémem a hydraulickým agregátem, který po odstartování cyklu ovládá zavření svěráku, řez pily, výjezd do zvolené polohy a otevření svěráku. Rameno pily je do řezu tlačeno dvojčinným hydraulickým válcem s možností regulace tlaku i průtoku. Manuální posun materiálu. Otočení ramene pily pro úhlové řezy. [20]

*Obr. 5 Hydraulická poloautomatická pila*

- **Gravitační pásová pila**



Ručně ovládaný rychloupínací svěrák, řez prostřednictvím hmotnosti ramene regulován hydraulickým tlumičem a škrťícím ventilem, průběh řezu není ovlivněn lidským faktorem a vede k vyšší životnosti pásu. Obsluha odstartuje řez tlačítkem START a nastaví řeznou rychlost. Po dořiznutí se pila automaticky vypne

a obsluha manuálně zvedne rameno do výchozí polohy. Manuální posun materiálu. Otočení ramene pily pro úhlové řezy. [20]

*Obr. 6 Gravitační pásová pila*

- **Automatická pásová pila s CNC řídicím systémem**



Pomocí hydraulického agregátu jsou ovládány veškeré pracovní pohyby ramene pily, svěráků a podavače materiálu. Rameno pily je do řezu tlačeno dvoučinným hydraulickým válcem. Rychlost pracovního pohybu a síla řezu jsou regulovány. Délka i počet kusů je zadáván z ovládacího panelu. Stroj provádí potřebné výpočty a díky systému umožňuje zadání 9 programů pro rychlé nastavování délek,

*Obr. 7 Automatická pásová pila*

případně variantu automatické změny rozměru pro dělení několika přířezů z jedné tyče. Pila umožňuje volbu mezi automatickým a poloautomatickým režimem, kdy jsou veškeré pohyby ovládané nezávisle. Možnost úhlových řezů. [20]

- **Dvousloupové pásové pily pro kolmé řezy**

Konstrukce s předepjatými lineárními ložisky. Robustní stroj je určen k dělení plných



materiálů se zaměřením na řezný výkon. Hydraulický agregát ovládá veškeré pracovní funkce poloautomatické pily. Výkonnější pohon s frekvenčním měničem pro plynulé nastavení obvodové rychlosti pásu. CNC= kompletní numericky řízený automat s podavačem materiálu s možností zadání několika programů pro nastavení počtu a délek řezaných polotovarů. [20]

*Obr. 8 Dvousloupové pásové pily*

## ***Kotoučové pily***

### **Rozdělení**



kotoučové pily na dělení materiálu, jednak tzv. nízkootáčkové z rychlořezné nástrojové oceli, dále vysokootáčkové pily z rychlořezné nástrojové oceli, nízkootáčkové pily s břity ze slinutého karbidu, resp. z cermetu a konečně vysokootáčkové pily s břity ze slinutého karbidu pro suché řezání. [2]

*Obr. 9 Kotoučová pila*

### **Tělo pilového kotouče**

Základem každého pilového kotouče je tělo. V praxi se používají dva druhy materiálu, ze kterého se těla pil vyrábějí. Základním materiálem je rychlořezná wolfram-molybdenová ocel (DIN 1.3343). Pětiprocentní obsah molybdenu zde zvyšuje odolnost proti lomu, protože podporuje tvorbu velmi jemné martenzitické struktury a zlepšuje tak i řezné vlastnosti nástroje. Wolfram obsažený v množství 6,4 % vytváří mimořádně pevné karbidy, zlepšuje pevnost kotouče a zejména zvyšuje odolnost proti opotřebení při vysokých pracovních teplotách. Kromě výše uvedených prvků obsahuje tato ocel 1,9 % vanadu, který ovlivňuje jemnost zrn a spolupůsobí při vytváření pevných karbidů.

Druhým používaným materiálem je rychlořezná ocel wolfram-molybden-kobaltová (DIN 1.3243). Od oceli podle DIN 1.3343 se liší vysokým podílem kobaltu (5 %). Kobalt je prvek, který omezuje růst zrn za vysokých teplot a umožňuje tak vysoké řezné výkony při

vysokých pracovních teplotách. Tyto vlastnosti jsou předpokladem pro řezání těžko obrobitelných ocelí, zejména nerezových. [2]

### **Geometrie zubu**

Důležitým parametrem pilového kotouče je tvar a geometrie zubu. Nejčastěji používanými druhy ozubení jsou ozubení typu B a BW, která se používají pro řezání materiálů na bázi železa. Typ BW je vybaven lamači třísky - zuby jsou střídavě zkoseny v jedné třetině šířky. Tím je tříska rozlomena na dvě části, z nichž jedna činí jednu třetinu a druhá dvě třetiny šířky zubu. Tvar zubu HZ (C) umožňuje lepší rozlomení třísky. Předřezávací zub je vyšší o 0,2 mm než řezací a zlomí tak třísku na tři části, z nichž každá odpovídá jedné třetině šířky zubu. Tento tvar zamezuje ucpání prostoru pro odvod třísky, a je tudíž vhodný pro velmi velké příčné řezy. Tvar zubu BS byl vyvinut hlavně pro řezání trubek, kde se tímto provedením lamače dosahuje čistého výsledku řezání. BS lze s výhodou použít i pro řezání plných materiálů s vysokou pevností. Tím, že tyto zuby nemají zkosení jako typ BW nebo HZ, lze využít dvojnásobný počet zubů k řezání a zamezit tak nadměrnému opotřebení na bocích kotouče. Další výhodou tohoto typu je fakt, že lze zdvojnásobit počet přestřehů oproti provedení BW nebo HZ. Ozubení typu VP nemá pravidelnou rozteč mezi jednotlivými zuby. Toto provedení nachází uplatnění při speciálních aplikacích, například při řezání nepravidelných průřezů. Ozubení VP může být provedeno s tvarem zubů B, BW, HZ nebo BS a roztečí od 4 do 16 mm. Standardně jsou pily dodávány s těmito řeznými úhly: úhlem čela  $\gamma = 18^\circ$  a úhlem hřbetu  $\alpha = 12^\circ$ , což odpovídá optimálnímu kompromisu pro nejrozšířenější aplikace. [2]

### **Volba pilového kotouče**

Standardně jsou pilové kotouče dodávány v průměrech od 175 do 600 mm a v tloušťkách od 1,2 do 5 mm. Upínací otvory s průměry 32, 38, 40, 45 a 50 mm s příslušnými pomocnými otvory jsou uzpůsobeny pro všechna běžně používaná strojní zařízení. Pro praxi je důležité zvolit vhodný pilový kotouč pro konkrétní druh práce a optimální řezné podmínky. Pro správnou volbu pily je rozhodující zejména správná rozteč zubů. Jednoduché pravidlo říká, že se má zvolit nejmenší rozteč zubů, která zaručuje dobrý odvod třísky z oblasti řezání. Mezi další důležité parametry při rozhodování patří zejména

velikost řezaného průřezu, druh řezaného materiálu (plný nebo profilový) a druh použité aplikace. [2]

### ***Pily – ruční nářadí***

Zatím zde uvádím pouze stroje, které slouží pro podnik s hromadnou výrobou. Ale občas potřebujete dělit materiál i mimo pracoviště. Tomuto účelu slouží ruční nářadí, novým trendem této doby se stává aku nářadí, kde nejste odkázáni na proud ze sítě, ale na akumulátor. U toho nářadí na dělení materiálu je výhoda jeho lehkost, relativní přenosnost řezu a využití i v těžko přístupných místech ať venku nebo v místnostech. Díky mnoha značkám a výrobkům v tomto oboru nářadí, které jsou vhodné spíše pro občasné domácí práce, se budu zajímat jen jednou značkou s dlouholetou tradicí a spolehlivostí.

- **aku úhlová bruska** (označení AG 125-A22)

Maximální bezpečnost díky Hilti ATC Active Torque Control systém (ATC) v případě zaseknutí kotouče ihned odpojí motor a stroj se zastaví. Elektronická brzda zastaví kotouč do 1 vteřiny, což významně zvyšuje bezpečnost práce. [26]

#### *Použití:*

Řezání výztuží, řezání kovových trubek a profilů, řezání střešních tašek a kamenných desek [26]

#### *Přínosy a vlastnosti:*

Nejlepší ergonomie a systém bezpečnostních prvků na trhu (zastavení kotouče, ATC, automatické vypnutí). O 30 – 40% vyšší výkon a kapacita akumulátoru než konkurenční stroje. Perfektní vyvážení a nízká váha pro snazší ovladatelnost stroje a díky tomu menší únavu při práci. Je zde použit bezuhlíkový motor zajišťující delší životnost stroje (odpadá poškození komutátoru či výměna uhlíků). Speciálně navržený abrazivní kotouč pro práci s aku bruskou. K brusce je dodáván 22V, 3.3 Ah akumulátor se systémem CPC zajišťujícím vysoký výkon a dlouhou životnost [26]



Obr. 10 Úhlová bruska

- **aku okružní pila** (označení SCM 22-A)

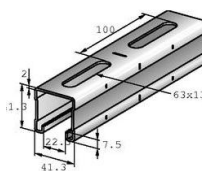
Čistý řez bez jisker s mírnými otřepy po řezu a nízkým převodem tepla od kotouče stoje do materiálu (nevznikají opálení materiálu např. u nerez). Jsou zde zabudována LED světla v přední části kotoučového krytu pro osvětlení řezané linie. [26]

*Použití:*

Rychlé řezání kovových nosníků a profilů, závitových tyčí a kovových trubek s maximální přesností přímo na stavbě. Vyřezávání otvorů do plechu pro topenáře a vzduchaře. Řezání sendvičových panelů, vlnitého plechu a kovového pletiva. Opravné řezání a zarovnávání plechů. [26]

*Přínosy a vlastnosti:*

*obr.11 nosník MQ41*



- Více než 50 řezů v nosníku MQ41 na jedno nabití akumulátoru
- Jednoduchá manipulace a snadné použití díky 4kg váze
- Rychlobrzda zastaví kotouč za méně než 0,5 sekundy
- Sběrač pilin pro čisté pracovní prostředí

[26]



*Obr. 12 Okružní pila*

*Hilti SC-C MU kotouč na ocel*

Vysoká odolnost proti opotřebení s minimálním úbytkem pro řezání až 20 mm silných ocelových plechů za studena. [26]



*Hilti SC-C MS kotouč na hliník*

Nejrobustnější kotouč vyvinutý speciálně pro řezání hliníkových profilů, solárních nosníků a dalších hliníkových materiálů. [26]



*Obr. 13 kotouče na okružní pilu*



### 3. Dělení materiálu plamenovou technologií

#### Princip

Plamenové technologie mají velmi dlouhou historii: Původní princip je stále stejný – uhlovodíky oxidují a tak uvolňují teplo. Plamenové technologie nevyžadují nákladná zařízení a energetické zdroje jsou snadno dopravitelné na místo spotřeby. Většina z těchto technologií nevyžaduje elektřinu, chladicí vodu atd. Hořák a lahev plynu je vše, co potřebujete pro většinu aplikací, jako je svařování, ohřívání, tvrdé pájení atd., v elektronice nebo v oblasti klenotnictví a drahých kamenů. Ve zpracovatelském průmyslu jsou nároky na energetický obsah plamene poněkud vyšší, a proto se přidává kyslík pro dosažení požadované teploty a intenzity plamene. [25]

V průmyslových aplikacích je dominantní plamenovou technologií kyslíko-palivové řezání jemných a nízkolegovaných ocelí. Vyřezávání plamenem je metoda, která se používá k odstranění materiálů z povrchu výrobku, např. k opravám defektů, kde je vhodné také čištění plamenem, obzvláště pro odstranění určitých povrchových vrstev jako je rez nebo barvy. [25]

Plyny používané k řezání jsou: acetylen, propan, zemní plyn nebo směs plynů (kyslík a acetylen). Použití jednoduché nebo vícehořákové hlavy z řezacího systému zajišťuje ekonomické a přesné řezání různých tloušťek plechů. [25]

Řezání plamenem spočívá v ohřátí kovu na teplotu jeho spalování v proudu čistého kyslíku při teplotách pod bodem tavení, aniž by došlo k roztavení kovu.



*Obr. 14 Řezání plamenem*

Řezání je možné jen u materiálů s následujícími vlastnostmi:

1. Materiál zahřátý na zápalnou teplotu musí hořet v kyslíkovém proudu.
2. Zápalná teplota musí být nižší než bod tavení materiálu, takže materiál shoří, dříve než se roztaví.

3. Bod tavení oxidu materiálu (struska) musí být nižší než bod tavení, aby se struska dala tlakem kyslíku vyfoukat.

### **Postup řezání**

K řezání slouží řezací hořák. Obrobek, který je třeba řezat, se nejprve předehřívá plamenem (acetylén-kyslík) na zápalnou teplotu řezaného materiálu (téměř bílý žár). Potom se přidá proud čistého kyslíku (s obsahem 99,5 %) na předehřáté místo, který způsobí spalování materiálu. Při tomto spalování vzniká teplo, které dále zahřívá místo řezu až do větší hloubky materiálu na zápalnou teplotu, a tak pokračuje hoření materiálu po celé tloušťce. Struska se vyfouká proudem kyslíku na spodní straně obrobku. Pomalým pohybem hořáku v žádaném směru vzniká úzká řezací spára. Kyslíko-acetylénový plamen se během řezání neodstavuje, protože studený, nepředehřátý povrch obrobku před místem řezu by nedosáhl spalovací teploty uvnitř obrobku. [22]

### **Řezací hořák**

Pracuje na principu tepelné a řezací trysky. Uspořádání trysek je většinou prstencové. Pomocí vodícího vozíku a při kruhových řezech se středovým zařízením se dosahuje klidného řezu za stejnoměrné vzdálenosti trysek od řezaného materiálu.

### **Druhy řezacích hořáků**

Podle způsobu, jakým se směšuje plyn a kyslík pro předehřívací plamen, existují dva systémy řezacích hořáků:

- nízkotlaký (injektorový) řezací hořák- kyslík má vyšší tlak a nasává v injektoru plyn, který má nižší tlak. Používá se zpravidla pro ruční řezání.
- vysokotlaký (směšovací) řezací hořák- hořlavý plyn proudí s dostatečným vlastním tlakem do hořáku. Směs se vytváří ve směšovací komoře. Tlakové řezací hořáky se používají hlavně pro automatické řezací stroje.

Řezání plamenem může být prováděno buď ručními řezacími hořáky, přenosnými ručními řezacími stroji nebo stacionárními řezacími stroji. [22]

### **Druhy řezů :**

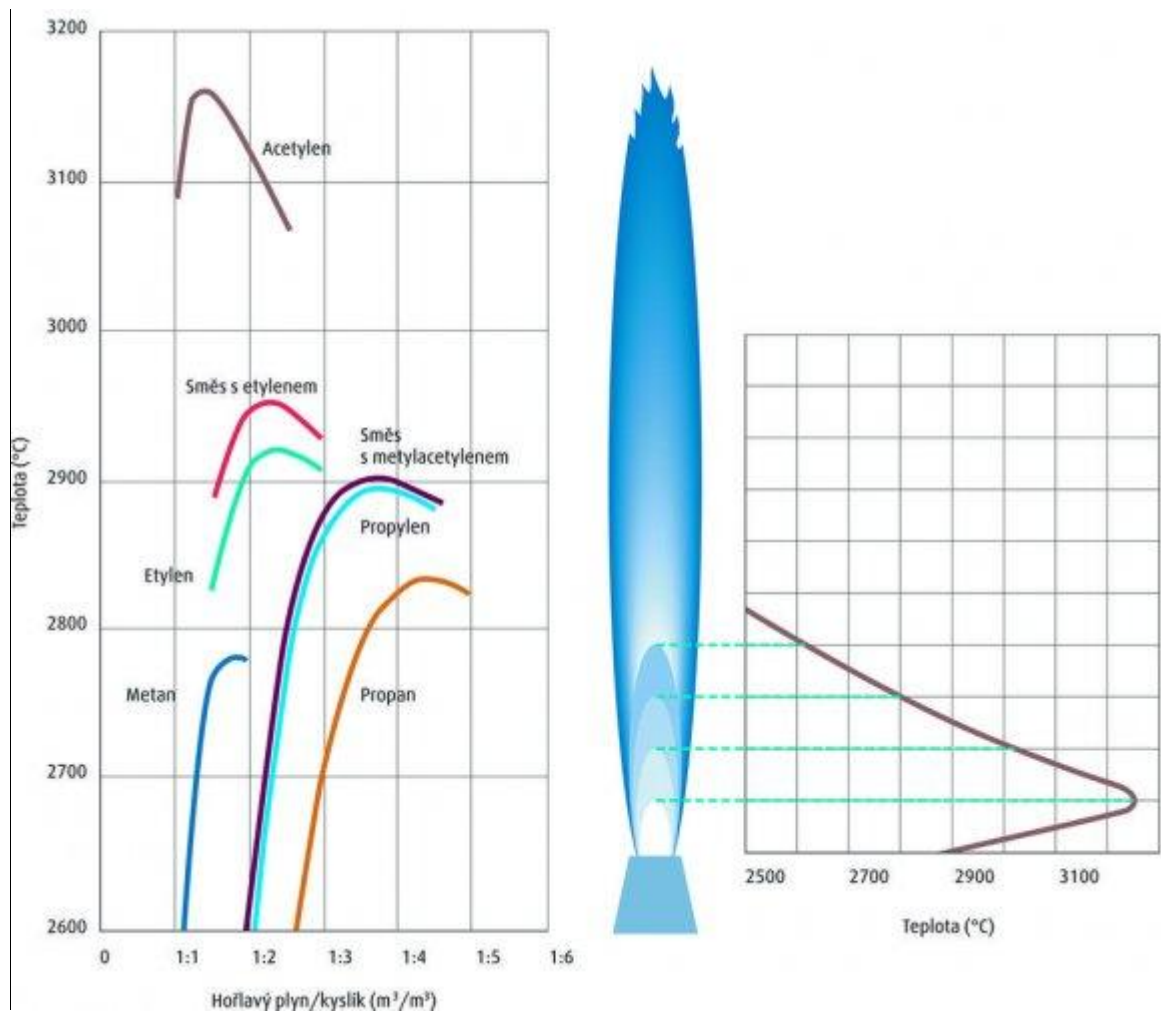
kolmý řez (dělicí řez), řezání pod úhlem, kruhový řez, plášťový řez. Vedení řezu se může provádět ručně, podle orýsování, výkresu nebo šablony a u řezacích strojů například programovaným řízením pomocí fotoelektrického nebo světelného paprsku. [22]

### **Řezatelnost materiálů**

1. Dobře řezatelné materiály jsou všechny nelegované, nevytvrzené konstrukční oceli s obsahem uhlíku do 0,3 %, nízkolegované oceli, ale i ocel na odlitky.
2. Při vyšším obsahu uhlíku (asi od 0,3 až do 1,6 %) se musí materiál vždycky přehřívat nebo žíhat, aby se zabránilo ztvrdnutí a popraskání hran řezu. Přehřívací teplota musí být tím vyšší, čím vyšší je obsah uhlíku a čím tlustější je obrobek.
3. Některé materiály jsou řezatelné jen za určitých podmínek, jsou to většinou vysoce legované oceli a litina, teplota hoření stoupá s obsahem uhlíku. Teplota tavení klesá, i když je bod tavení oxidů kovů o něco vyšší než bod tavení základního materiálu. Tyto materiály vyžadují speciální řezací hořáky.
4. Neřezatelné materiály (podle těchto postupů) jsou téměř všechny neželezné kovy jako hliník, měď, chróm, nikl, mangan aj.

### **Porovnání plynů pro řezání plamenem**

Ze srovnávacího posouzení fyzikálních a technických vlastností vyplývá, že acetyleno-kyslíkový plamen dosahuje s převahou nejvyšší teplotu, největší rychlost hoření a nejvyšší výkon primárního plamene. Proto je možné s ním nejrychleji a tím pádem i nejehospodárněji řezat. [22]



Obr. 15 Teplota plamene v závislosti na směsi hořlavého plynu a kyslíku.

#### Výhody řezání plamenem:

- tradiční tepelný proces řezání nízkolegované oceli
- užití pro řezání vertikální a úkosem (příprava svařování)
- cenově dostupný, zvláště při vícenásobném pálení
- mechanizované řezání plamenem bude i v budoucnosti nejefektivnější technologií - při které bude dosaženo nejvyšší kvality zvláště u řezání materiálů do tloušťky 300 mm
- je vhodné pro tlustější materiály a tvarování (pomocí zvláštního hořáku možný také pod vodou), převážně pro obrobky z oceli

## 4. Dělení materiálu plazmou

### Pojem plazma

Plazma je tepelný vysoce žhavý, elektricky vodivý plyn z pozitivních a negativních iontů, elektronů a také vybuzených a neutrálních atomů a molekul. Z fyziky toto skupenství známe jako čtvrtý skupenský stav hmoty, je to soubor částic s velkým stupněm ionizace. Podle stupně ionizace se plazma rozděluje na *řídke* (stupeň ionizace  $< 1\%$ ), *středně husté* (kolem  $50\%$ ) a *husté* (blížící se  $100\%$ ). Řídká plazma existuje např. v ionosféře, v hustém nitru hvězd (tzv. vysokoteplotní plazma). S uměle vyrobeným plazmatem se setkáváme především ve výbojových trubicích. Nízkoproudové výboje generují řídké plazma, vysokoproudové výboje a elektrický oblouk plazma středně husté až husté.

Plazma nemůže existovat samostatně. Volné, neovlivněné plazma relaxuje procesem rekombinace původně ionizovaných částic na elektroneutrální. Plazma se dá udržet jen při dodávání budící energie a v určité vzdálenosti od stěn nádoby, v ní se nachází, protože silně interaguje se stěnami. Toto lze dosáhnout působením silného magnetického pole, v něm se dráhy částic plazmatu zakřivují a nedotýkají stěn. Magnetickým polem se plazma udržuje v zařízeních označovaných TOKAMAK. [12]

### Řezání plazmou



Obr. 1 Řezání plazmou

Jako plazmový plyn může být používán jednoatomový argon nebo dvouatomové plyny vodíku, dusíku, kyslíku a vzduchu. Tento plazmový plyn se ionizuje a disociuje energií plazmového oblouku. Rekombinací atomů a molekul mimo plazmovou trysku systému plazma prudce uvolní přijatou energii a umocňuje tepelný účinek paprsku plazmatu na obráběný předmět. Zpravidla je plazmová tryska dodatečně chlazená vodou. Díky tomu může hustota energie v paprsku plazmatu dosáhnout hodnoty až  $2,10^6 \text{ W/cm}^2$ . Díky vysoké teplotě plazma expanduje a proudí s nadzvukovou rychlostí ve směru obráběného předmětu. V plazmovém oblouku vznikají teploty až  $30\,000 \text{ K}$  ve spojení s vysokou kinetickou energií paprsku plazmatu může být použita velmi vysoká řezná

rychlost v závislosti na materiálu a tloušťce u všech elektricky vodivých materiálů. Pro řezací proces je nejdříve zapálen pilotní oblouk mezi tryskou a katodou prostřednictvím vysokého napětí. Tento energeticky slabší pilotní oblouk připraví částečně ionizaci dráhu mezi plazmovým hořákem a obráběným předmětem. Dotykem pilotního oblouku s obráběným předmětem (letmé nařiznutí, letmý propich) je automaticky zvýšen výkon hlavního oblouku. [24]

Lze řezat všechny druhy ocelí, mosaz, hliník, měď, nerez a další kovové slitiny.

- Tloušťka materiálu  
Maximální tloušťka materiálu je 45 mm,  
minimální tloušťka 1 mm.
- Velikost pracovního stolu  
je 6000 x 3000 mm. [24]



*Obr. 17 CNC řízený plazmový pálicí stroj*

V poslední době jsou řezací stroje vybavovány číslicovým řízením a jednotlivé díly jsou navrhovány počítačovým programem CAD pro CNC systém, který ovládá plazmový hořák.

Před každou naprogramovanou operací lze všechny vystřižované díly, pro jejich pozdější identifikaci popsat inkoustovou tryskovou tiskárnou řízenou rovněž CNC. Řezací systém používá řezací jednotky, které jsou schopny řezat proudem od 20 – 1000 A, plechy o tloušťce od 5 – 160 mm. Plazmový plyn je stlačený vzduch, dusík, kyslík nebo argon / vodík, používající se k řezání nízkolegovaných a vysocelegovaných ocelí.

### **Výhody řezání plazmou**

- Vysoká teplota plazmy umožňuje řezat prakticky všechny kovové materiály běžné i speciální. Především se používá na řezání a protavování kovů a slitin s vysokou teplotou tání.
- V porovnání s řezáním kyslíkem je výkon 3x až 5x násobný.
- Po úpravě hořáku lze použít i k práci pod vodou.

- Možnost řezání plazmou materiálů o tloušťce od 1 – 160 mm a proudem do 1000 A, efektivní řezání strukturovaných ocelí o tloušťce do 30 mm vertikálně nebo úkosem.
- Plazmová technologie dále umožnila přístrojům ubrat na hmotnosti a přidat na celkové výkonnosti. Dnes váží jednofázové plazmové systémy pouhých 9 kg, přitom si snadno poradí s řezáním materiálu o tloušťce 12 mm.
- Celková kvalita řezu provedeného plazmou je mnohem lepší než u řezání plamenem (vzniká méně otřepů).
- Schopnost řezat několik typů kovů je nezbytná pro mnoho provozů, plazma umí řezat i několik plechů naskládaných na sobě. To vše je neproveditelné s plamenovým řezáním.

## 5. Dělení materiálu laserem

### Maser, předchůdce laseru

První kvantový generátor mikrovln, se také nazývá čpavkový maser. Plynný čpavek prochází z rezervoáru redukčním ventilem do měrné komůrky, kde je udržován požadovaný tlak plynu. Odtud procházejí molekuly čpavku kanálky a clonami do vakuové komory vyčerpané asi na milióntinu milimetru rtuťového sloupce. V komoře prolétává svazek molekul elektrickým polem čtyřpólového kondenzátoru (selektoru). Siločáry tohoto pole jsou silně zakřiveny a kondenzátor působí jako spojná čočka pro molekuly na vyšší hladině a jako rozptylka pro molekuly s nižší energií.

Tím dochází k selekci molekul. Do dutinového rezonátoru vstupuje pak již nadbytek energicky bohatých molekul a vzniká zde aktivní prostředí. Takto zaplněný rezonátor může působit jako zesilovač velmi slabých mikrovlnných signálů, případně jako generátor centimetrových vln.

Popsaný systém je vcelku nevelkých rozměrů a může být uzavřen v kompaktní kovové schránce. Na druhé straně přídatná vakuová aparatura, zdroj vysokého napětí na selektor (kolem 30 kV), zmrazovací a chladicí zařízení vytvářejí ze čpavkového maseru poměrně složitou a náročnou aparaturu.

Výkon čpavkového maseru je velmi malý, kolem jedné miliardtiny wattu. Srovnajte toto číslo se stovkami wattů magnetronu! Jako zesilovač má čpavkový maser i jiné nevýhody. Lze jej obtížně a pouze ve velmi malém rozsahu přeladovat, také šířka zesilovacího pásma je velmi úzká. Při zesilování modulovaných signálů bude proto docházet ke značnému zkreslení.

V čem jsou vlastně přednosti takového maseru? Stojí toto celé zařízení vůbec za námahu? Předností jsou dvě: stabilita kmitočtu a nízká úroveň šumu. Pravidelnost s jakou molekuly a atomy kmitají, se vymyká všem možnostem obvyklých makroskopických přístrojů. Maser představuje super stabilní generátor, nejpřesnější hodiny, jaké kdy byly vytvořeny. Teoreticky se kvantové hodiny mohou zpoždovat nebo předcházet o jednu vteřinu za několik miliónů let! Prakticky lze dosáhnout přesnosti jedné vteřiny po dobu několika století. [7a]

Od spuštění prvního kvantového generátoru mikrovln, čpavkového maseru, v roce 1954 k laserovému paprsku, který poprvé vyšlehl z krystalu rubínu v roce 1960, uplynulo šest let. Podle měřítek tempa vědeckého rozvoje je to dlouhá doba. Nad příčinami této skutečnosti se zamýšleli Basov, Prochorov i Townes, když v prosinci roku 1964 vystupovali ve Stockholmu se svými nobelovskými přednáškami. „Zdálo by se“ řekl A. M. Prochorov, „že po vytvoření maserů na radiových vlnách budou brzy zkonstruovány i kvantové generátory v rozsahu optických vln. To se však nestalo. Lasery byly vytvořeny za pět, šest let. Čím se to vysvětluje? Byly zde dva problémy. První spočíval v tom, že tenkrát neexistovaly rezonátory pro optické vlny. Druhý problém byl v tom, že nebyly navrženy konkrétní systémy a metody získání inverzní populace v optickém vlnovém rozsahu. [7b]

V průběhu 20. století postupně přicházeli na svět další typy laserů, lišící se buď konstrukčním uspořádáním a volbou jiného aktivního prostředí, nebo i jinou formou energie použité k čerpání. Dělíme je obvykle do několika skupin – na lasery s pevnou fází, kapalinové, plynové, polovodičové, chemické lasery s organickými barvivy a některé další speciální typy. [7c]



Laser jako nástroj ve vědeckém výzkumu uspěl v oblastech vědy, vojenských aplikacích, astronomií a fyzikou počínaje, literárními vědami a egyptologií konče. Laser vznikl právě z potřeb vědeckého výzkumu, z úsilí zpřesnit metody optických a spektroskopických měření a nikoliv ve snaze řešit nějaké naléhavé praktické úkoly. Vyjdeme ze skutečnosti, že laser byl původně a především měřicím přístrojem. Umožňující stanovení času, kmitočtu a délky. Tento přístroj byl nejpřesnější, jaký kdy byl sestrojen. Při použití laseru nejde o to, použít ho za každou cenu tam, kde je to možné, ale především v těch aplikacích, kde dává efektivnější a lepší výsledky než jiné metody nebo kde jiných metod použít nelze. [7d]

### **Laserové řezání**

Využívá se v případech, kdy je nutné oddělit materiál s malou tepelnou vodivostí. Při laserovém řezání je snahou „odpařit“ materiál co nejrychleji při zachování co nejmenší oblasti zasažené tepelné účinky. Nejpoužívanějšími lasery v tomto oboru jsou kontinuální CO<sub>2</sub> lasery se středním výkonem do 15 kW. Ve většině průmyslových aplikací využívajících laserové řezání se přivádí koaxiálně s laserovým svazkem na místo řezání proud plynu. Pro řezání kovů se přivádějí reaktivní plyny, jako např. kyslík. Dochází pak k exotermické reakci, která urychluje proces řezání. Tímto způsobem jsou řezány např. titan, ocel s nízkým obsahem uhlíku a nerezová oceli. Pro řezání nekovových materiálů, jako jsou keramika, plasty, dřevo, je na místo řezání přiváděn inertní plyn sloužící k odstranění roztaveného a odpařeného materiálu. Tímto způsobem lze řezat rovněž textilní materiály, papír a sklo. [8a]

### **Laserové vrtání**

Je založeno na odstraňování materiálu „odpařováním“. Intenzita svazku musí být vysoká, a proto se pro tento účel používá impulsních laserů s délkou impulsu menší než 1 ms. První laserové vrtání bylo provedeno již v roce 1965, kdy byl rubínový laser použit pro vrtání otvorů v diamantových průvlacích pro tažení drátů. V současné době se pro laserové vrtání využívají další pevnolátkové lasery Nd:YAG a Nd:sklo. Předností laserového vrtání je vytváření malých otvorů o průměru od 10 μm do 100 μm i v místech, kde je to pomocí jiných metod obtížné nebo nemožné. [8b]

## Pojem laser

je americké uměle vytvořené slovo a znamená zkratku:

<b>L</b> ight	světelné
<b>A</b> mplification by	zesílení
<b>S</b> timulated	vybuzeným
<b>E</b> mission of	vysíláním
<b>R</b> adiation	záření

Laser je zdroj záření vysílající charakteristické elektromagnetické záření v oblasti vlnových délek mezi ultrafialovou a infračervenou. Ne všechny lasery vysílají záření z jedné oblasti, tak aby bylo viditelné pro lidské oko (viditelná oblast: cca. 400 – 700 nm). Přesto se laserové záření označuje jako světlo. [4]

## Laserový systém

Součástí pevnolátkového laseru je:

- 1) laserová hlavice obsahující aktivní materiál, budící elementy (výbojky), budící dutiny a otevřený rezonátor
- 2) zdrojová jednotka
- 3) chladičí jednotka [8c]

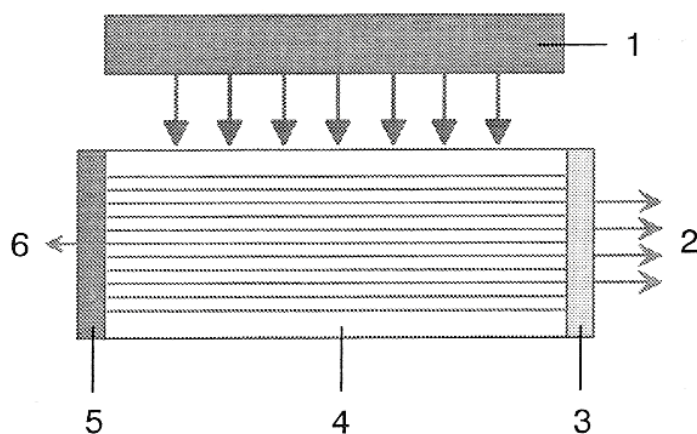
## Hlavice laseru

Aktivní prostředí je laserový krystal zpravidla opracovaný do tvaru válce s válcovou plochou matnou a s čely opticky vyleštěnými. Čela krystalu jsou zpravidla kolmá k ose válce nebo jsou skosená pod určitým pevně daným úhlem.

Pro buzení pevnolátkových laserů se používá především optického buzení – světla ze speciálně vybraných zdrojů, obvykle výbojek. Zpravidla se užívají xenonové (impulsní) nebo kryptonové (kontinuální výbojky, které nejvíce vyhovují svým emisním spektrem). Výbojka je tvořena spirálovou nebo lineární křemennou trubicí, v jejichž koncích jsou zataveny dvě elektrody a obsahuje plynovou náplň. Běžná lineární impulsní výbojka má tloušťku stěny trubice 1 až 2 mm, vnitřní průměr od 3 do 19 mm a délku od 50 mm do 1 m. Plynovou náplní bývá nejčastěji xenon o tlaku od 0,04 do 0,09 MPa. Běžná kontinuální

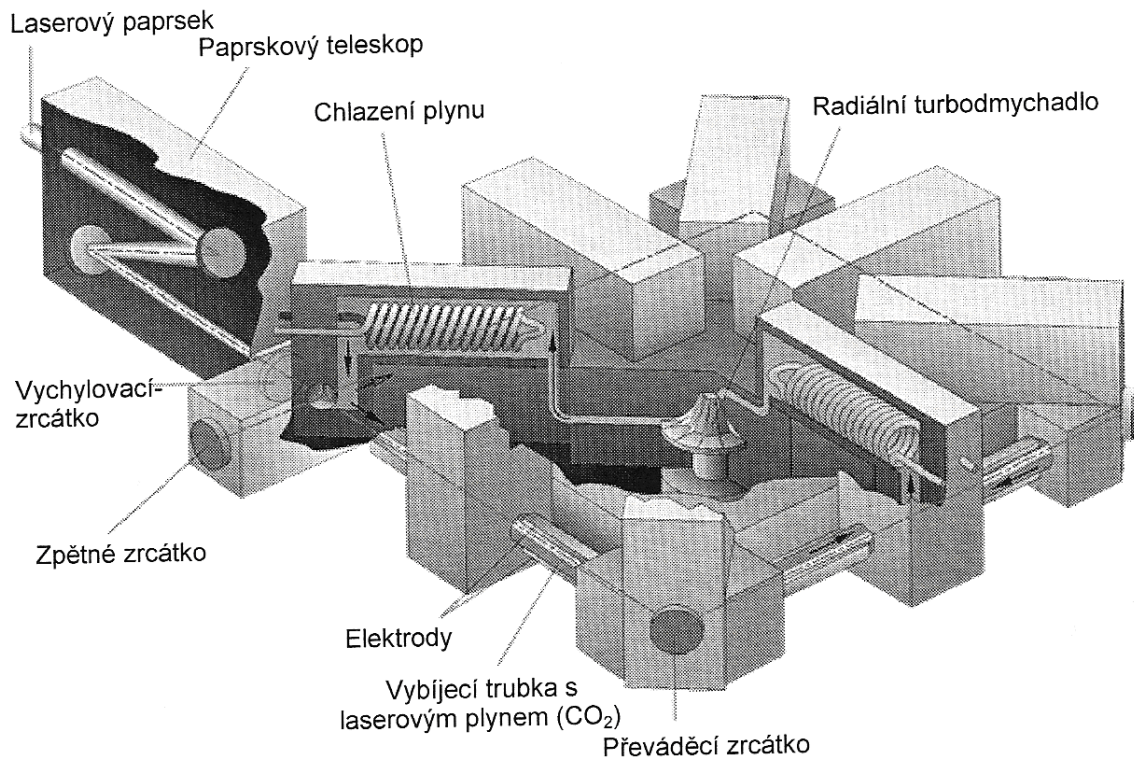
výbojka má průměr od 2 do 10 mm a délku od 40 do 150 mm a je naplněna kryptonem pod tlakem 0,2 až 0,4 MPa. [8c]

V dnešní době je složení laseru hodně podobné jen se používají jiná zrcátka atd. Laser se skládá z komponent laserového media, čerpacího zdroje a rezonátoru. Schematické uspořádání laseru je na obrázku.



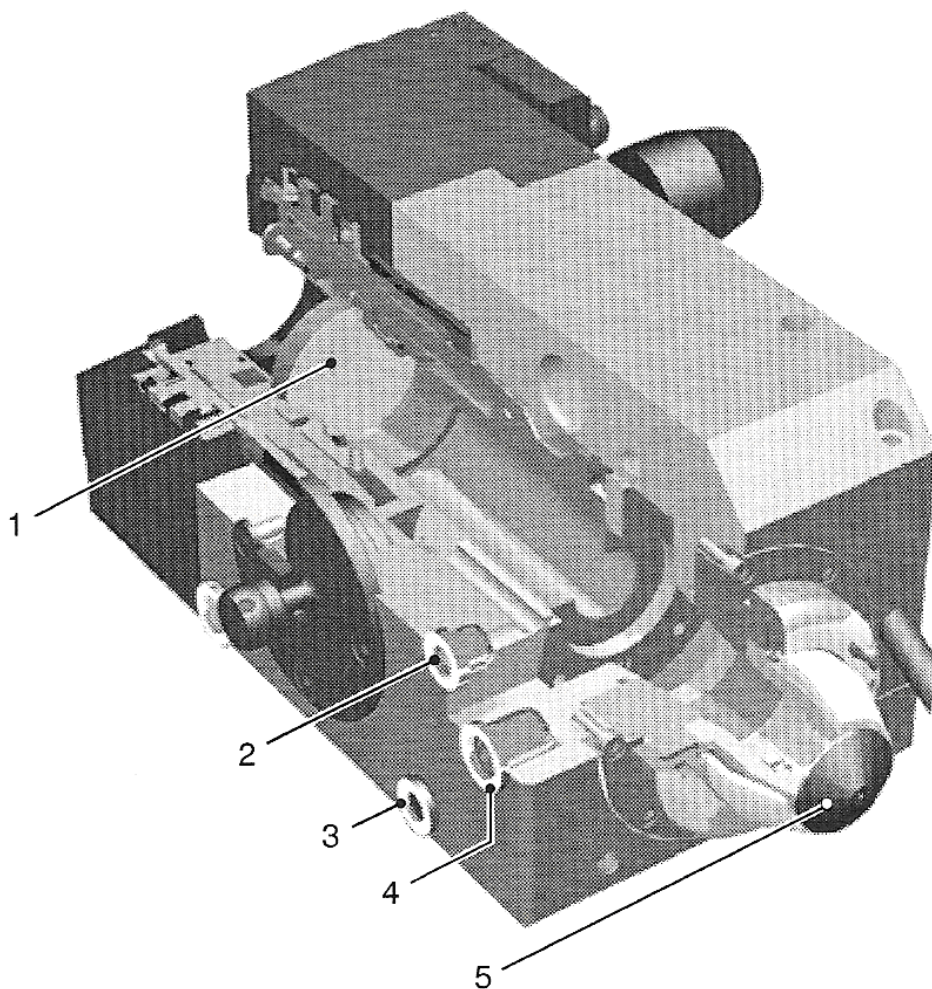
- |   |                             |   |                                    |
|---|-----------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Čerpací zdroj (= elektrody) | 4 | Laserové médium (= směs plynu)     |
| 2 | Laserový paprsek            | 5 | Převáděcí zrcátko                  |
| 3 | Vychylovací zrcátko         | 6 | Laserový paprsek pro měření výkonu |

Obr. 18 Schematické uspořádání laseru



Obr. 19 Řez paprskovým teleskopem

Na konci vedení paprsku se nalézá obráběcí hlava, která může být vytvořena jako řezací hlava či jako svářecí hlava. V řezací hlavě se vedený laserový paprsek zaostřuje pomocí zinkové selenidové čočky. Skleněné čočky jsou nevhodné z důvodu absorpce laserového světla laserového paprsku, proto se používají zinkové selenidové čočky, které zaostřují laserové světlo lépe. Používají se jen do výkonu laseru max. 4000 W, protože se pak vrstva čočky absorpcí poškozuje, důsledkem toho je, že se čočka zničí. U vyšších výkonů laseru se používá zrcadlové optiky, které se dají jednoduše chladit. Pomocí řezací trysky se paprsek a řezací plyn pro zpracování přivádějí na obrobek. Při zpracování materiálu je rozhodujícím faktorem dobře zaostřený paprsek laseru. Zaostření laserového paprsku, souvisí s jeho kvalitou, která se popisuje faktorem paprsku  $K$  (= paprskový propagační faktor). Hodnota  $K$  může ležet mezi 0 a 1, a to 1 popisuje nejlepší kvalitu paprsku. U laseru CO<sub>2</sub> pro materiál se dosahuje hodnoty  $K$  větší než 0,8 při výstupním výkonu 3 kW, u vyššího výkonu kolem 25 kW leží hodnota  $K$  nad 0,2. [4]



- |   |                          |   |                                       |
|---|--------------------------|---|---------------------------------------|
| 1 | Zinková selenidová čočka | 4 | Přívod řezacího plynu (kyslík, dusík) |
| 2 | Dmýchaný vzduch          | 5 | Řezací tryska                         |
| 3 | Chlazení trysky          |   |                                       |

*Obr. 20 Řezací hlava laserového řezacího stroje*

**Metody řezání laserem je možno rozdělit na:**

1. tavné
2. oxidační
3. sublimační

**Tavné řezání laserem**

U tavného řezání laserem se dělený materiál lokálně nataví a vzniklá tavenina se od základního materiálu odděluje proudem vysoce čistého inertního plynu, který se do místa

řezu přivádí, ale na vlastním procesu řezání se nepodílí. Ve srovnání s ostatními metodami řezání laserem lze u tohoto způsobu docílit jen nižší rezné rychlosti. Maximální rezná rychlost stoupá lineárně s výkonem laseru a snižuje se přibližně lineárně s tloušťkou řezaného materiálu a s jeho teplotou. Laserový paprsek je jen velmi málo absorbován. Tento způsob je vhodný především k vytváření neoxidovaných řezů kovových materiálů, jako např. nerezových ocelí, hliníku, mosazi, mědi a pozinkovaného plechu. Použijeme-li jako inertní plyn dusík s vysokou čistotou a vysokým tlakem 1 - 2 MPa na trysce, jsou výsledkem řezání kovové lesklé rezné plochy, které nevyžadují žádné finální úpravy. V závislosti na kvalitě řezaného materiálu se mohou na spodní hraně řezu objevit otřepy, které je nutno odjehlit. [6]

### **Oxidační řezání laserem**

Oxidační řezání laserem se od tavného řezání liší pouze použitím kyslíku jako rezného plynu. Vzájemným účinkem kyslíku s roztaveným povrchem kovu vzniká exotermní reakce, která má za následek další ohřívání materiálu. V důsledku tohoto efektu lze dosáhnout u konstrukčních ocelí vysokých rychlostí řezu, řez je však širší a horší kvality, s vyšší drsností a s větším tepelně ovlivněným pásmem. Tento způsob není proto vhodný pro zhotovování ostrých geometrických tvarů, malých otvorů, apod. Určitým východiskem je přechod na pulzní provoz laseru, kdy se řezaný materiál v mezeře mezi jednotlivými pulzy ochladí a nenastává exotermní reakce. Další vylepšení kvality řezu je možné dosáhnout regulací výkonu laseru, který musí být optimalizován dle tloušťky materiálu. Řezná rychlost je pak omezena sníženým výkonem laseru. [6]

### **Sublimační řezání laserem**

Sublimační způsob řezání, při kterém se materiál v místě řezu odpařuje, se v dnešní době velmi málo používá. Pro minimalizaci tavné zóny, která vzniká na hraně řezu, je nutná vysoká hustota energie laserového paprsku. Zároveň se musí kontrolovat tloušťka řezaného materiálu, která nesmí překročit průměr paprsku, aby páry materiálu znovu nezkondenzovaly a nesvařily řez. Tato omezení platí u materiálů, u nichž vzniká tekutá fáze. U materiálů, které se netaví, např. dřevo, keramika apod., omezovací faktor tloušťky neplatí. Sublimační řezání vyžaduje pečlivé nastavení optiky v závislosti na tloušťce

materiálu. Maximální řezná rychlost je nepřímo úměrná odpařovacímu teplu materiálu a přímo úměrná rychlosti proudění řezného plynu. [6]

### **Řezný proces**

Řezný proces probíhá na základě vzájemného působení laserového paprsku, řezného plynu a řezaného materiálu. Oblast, ve které k těmto účinkům dochází, je ohraničena řeznou spárkou ve směru řezu a nazývá se čelem řezu. Paprsek, jenž na toto čelo působí, musí natavit materiál na teplotu, která vede ke změně pevné fáze materiálu na kapalnou a plynnou.

Pásmo, jenž absorbovaný laserový paprsek ohřívá až na teplotu tání, se v důsledku exotermické reakce s proudícím kyslíkem ještě dále otepluje až k teplotě vznícení. Následuje silné odpařování materiálu, které vede k jeho odvodu. Současné mechanické působení proudu řezného plynu unáší částice tekutého materiálu mimo prostor řezu. Roztavené pásmo se pohybuje ve směru řezu a proces natavování se neustále opakuje. Laserový paprsek v případě kontinuálního řezání tedy stabilně postupuje a představuje vlastní "řezný" nástroj.

Analýzou popsaného procesu lze teoreticky vypočítat řeznou rychlost, šířku řezu, tepelné ovlivnění okraje řezaného materiálu a vznik charakteristických rýh, jenž způsobují vlastní drsnost řezné plochy. [6]

### **Parametry laserového záření použitého pro řezání**

Laserový paprsek je definován svojí vlnovou délkou, výkonem, rozdělením hustoty energie v příčném průřezu (módem), polarizací, divergencí a průměrem. Pro dosažení potřebné hustoty energie pro řezání je laserový paprsek fokusován optikou (takřka výhradně čočkovou), která je definována ohniskovou vzdáleností, transparentí, absorpcí a reflexivitou, fokusační kaustickou plochou a hloubkou ostrosti. Řezný proces dále ovlivňuje poloha ohniska fokusační optiky ve vztahu k povrchové ploše materiálu. Protože celá řada parametrů je definována principiálně a nelze je u daného laseru měnit, pro vlastní technologický proces jsou důležité pouze tyto parametry:

- výkon laserového paprsku,

- transparence fokusační optiky (především její snižování se stárnutím optiky),
- ohnisková vzdálenost optiky,
- poloha ohniska ve vztahu k povrchové ploše obrobku.

Tepelně-fyzikální vlastnosti řezaného materiálu.

Pro technologický proces řezání jsou rozhodující tyto tepelně-fyzikální vlastnosti materiálu:

- reflexivita řezaného materiálu rozhodující pro vlnovou délku laserového paprsku,
- hustota materiálu,
- tepelná kapacita,
- skupenské teplo tání,
- skupenské teplo výparné,
- tepelná vodivost,
- teplota tání,
- teplota vypařování,
- chemická energie vzniklá při reakci řezaného materiálu s kyslíkem,
- elektrický odpor materiálu.

Parametry řezného plynu. Pro proces řezání jsou důležité tyto parametry řezného plynu:

- druh plynu,
- pracovní tlak,
- průměr trysky, kterou proudí řezný plyn,
- geometrie tvaru trysky.

Tlak plynu a geometrie tvaru trysky ovlivňují kvalitu řezu, drsnost povrchu řezné plochy a tvorbu otřepů. Tlak plynu se pohybuje při řezání nízkotlakém do 100 kPa, při řezání středotlakém do 500 kPa a při řezání vysokotlakém do 2 MPa. Konvenční trysky mají kruhový, kuželovitě se rozšiřující otvor. Odstup trysky od materiálu musí být co možno nejmenší, aby plyn optimálně působil v řezné drážce. Obvykle se pohybuje mezi 0,5 - 2,5 mm. Na odstranění taveniny z drážky se podílí pouze ta část plynu, která do ní vstupuje. Proto se jeví výhodný průměr trysky přibližně rovný šířce řezné drážky řezu. Takto malý průměr se však brzy znečistí a znemožňuje další řezání. Proto v praxi leží průměr trysek mezi 1 - 2,5 mm. Spotřeba řezného plynu je závislá na průměru trysky a tlaku plynu. Rychlost je nepřímo úměrná odpařovacímu teplu materiálu a přímo úměrná rychlosti proudění řezného plynu. [6]



### **Výhody řezání laserem**

- Vysoká přesnost řezaných dílů u slabých a středních tloušťek materiálu.
- Řezání velmi malých otvorů, úzkých pásků, ostroúhlých tvarů, výroba komplexních obrysových dílů.
- Pravoúhlá řezná hrana.
- Velmi dobrá automatizace.
- Velmi malé přivedené teplo, žádné deformace obráběného předmětu.
- Velmi malá šířka řezné spáry (0,2 - 0,4 mm).
- Vysoká řezná rychlost u tenkých materiálů, řezání plechů laserem, řezání profilů laserem.

## **6. Dělení materiálu vysokotlakým kapalinovým paprskem (dále jen VKP)**

Vědci vycházeli z teorie, která předpokládá, že kapalina stlačená extrémním tlakem (řádově 200 až 400 MPa a opouštějící trysku rychlostí až 1000 m.s<sup>-1</sup>) se svým účinkem na okolí chová jako pevné těleso.

Je to tedy historicky velmi mladá technická disciplína, která byla poprvé uvedena v roce 1974 u firmy Boxing (USA) při dělení keramických izolačních materiálů nezbytných pro tepelnou izolaci kosmického raketoplánu. Tato nová technologie s mimořádným technickým i ekonomickým efektem je nasazována převážně v kosmickém a leteckém průmyslu při dělení hlavně kompozitních, elektrických a izolačních materiálů (např. uhlíkové kompozity, kevlar, boron, klasické zoxidované a polyesterové lamináty, capton, desky tištěných spojů, tepelně izolační materiály a pod.).

Nejcennější vlastnosti, které při tomto procesu byly rozhodující:

- Odpadla potřeba drahých obráběcích nástrojů.
- Řezná spára byla max. 0,15 mm.
- Řez byl studený, čistý a elektricky nevodivý.
- Při řezu nevznikal žádný lidskému zdraví nebezpečný prach ani jiné produkty.

- Řezné rychlosti oproti klasickému obrábění byly vysoké.
- Řezná tryska se mohla nad materiálem pohybovat ve výšce 0 – 200 mm.
- Vysokotlaké čerpadlo mohlo napájet několik současně pracujících trysek.

Na základě těchto úspěchů a pokračujícího velmi intenzivního a nákladného vývoje byla vzápětí za vodním paprskem objevena i metoda hydro-abrazivního dělení materiálu (abrazivo je nejčastěji granátový písek), která povýšila tuto technologii k použití doslova na všechny dosud známé materiály. V tomto okamžiku (v roce 1981) nastal velký kvalitativní skok a díky mimořádné univerzálnosti metody začalo lavinové šíření této technologie do všech průmyslových odvětví. Do roku 1988 tak zprovoznila firma Flow Systems více než 1700 systémů pracujících ve čtyřicetipěti zemích světa.

V kosmickém a leteckém průmyslu (ale obecně i v dalších odvětvích) byla okamžitě zprovozněna pracoviště na dělení titanu, wolframu, molybdenu, kobaltu, niklu, vysokopevnostních ocelí, slitin s rozdílnou tepelnou vodivostí, tantalu, uranu, extrémně tvrdých a těžko obrobitelných materiálů, silných kompozitních materiálů, skel všeho druhu a všech tepelně, elektricky i radiačně izolačních materiálů. Mimořádně výhodné se ukázalo použití při výrobě lopatek, trysek a dílů tryskových a raketových motorů, ale i parních turbin a turbokompresorů, což mělo za následek, že ve velmi krátké době pracovala tato technologie u všech významnějších světových výrobců podobných zařízení. [3]

### **Princip**

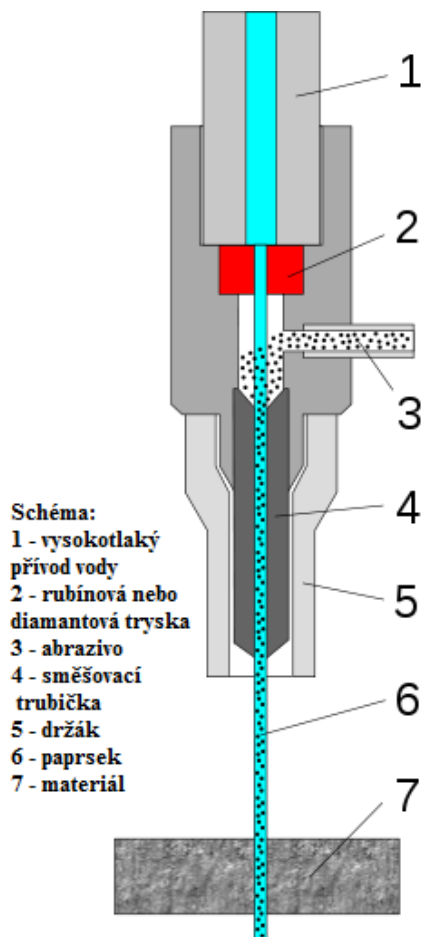
Řezání je možné díky vysokotlakým čerpadlům, která se od sebe vzájemně liší maximálně dosažitelnými tlakovými hladinami, velikostí objemového toku řezné kapaliny a etnickým provedením od nejjednodušších mechanicky řízených čerpadel až po čerpadla s řídicí a ovládací elektronikou. Tato technicky nejvyspělejší čerpadla je možné nasadit do počítačem řízených výrobních a technologických celků.

Popis vysokotlakého čerpadla a princip získání energie je následující:

Radiální pístové čerpadlo, sloužící jako řídicí hydraulická jednotka v primárním okruhu přenosu energie, je poháněno zpravidla elektromotorem (příkon elektromotoru je dle typu čerpadla od 22 do 75 kW). Toto čerpadlo dopravuje hydraulický olej o plynule regulovaném tlaku v rozmezí od 4 do 20 MPa do primárního okruhu dvojčinného hydraulického multiplikátoru. Multiplikátor je konstruován s poměrem ploch pístu 20:1, 13:1, 10:1 a na násobku těchto poměrů a přivedeného tlaku oleje z řídicího čerpadla závisí tlak kapaliny v sekundárním okruhu multiplikátoru. Pracovní kapalina, kterou je ve většině strojírenských aplikací obyčejná voda z vodovodního řádu (v potravinářském průmyslu se může použít médium: glycerín, mléko nebo rostlinný či živočišný tuk) prochází nejprve filtrační jednotkou, ve které je zbavena všech mechanických nečistot větších než 0,5  $\mu\text{m}$  (filtry jsou odstupňovány od nejhrubšího po nejčistější: 10  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$ ) a stlačena na tlak řádově 400 až 700 kPa. U vody, kde je větší četnost minerálních látek, hořčíku a vápníku, se používají změkčovače. Poté je přivedena do sekundárního okruhu multiplikátoru (pracovního válce) a v něm dojde k stlačení kapaliny na požadovaný řezný tlak. Takto stlačená kapalina je přivedena do speciálního vysokotlakého akumulátoru, ve kterém se vykompenzují tlakové rázy vzniklé nepříznivým pulzačním procesem dodávky kapaliny vzhledem k přímočaře vratnému pracovnímu cyklu multiplikátoru. Z akumulátoru již vychází uklidněná kapalina, která je vysokotlakým potrubím rozvedena k jednotlivým řezacím hlavám. Na výstupu vody ze systému, tj. v řezací hlavě, je umístěna kapalinová tryska mající přesně definovaný geometrický tvar. Tato tryska utváří spojitý paprsek tlakové kapaliny. [10]

### **Řezací hlava**

Podstatou dělení materiálů je obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací tryskou. Řezací tryska byla dříve rubínová, ale měla problém se zarůstáním otvoru. Nyní se používá diamantová tryska, která má delší životnost a vyšší řezací rychlost. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Aby nedošlo k poškození řezací hlavy, je hlídána výškovým senzorem, jenž je vybaven digitálním magnetickým snímačem polohy, který plní funkci automatického

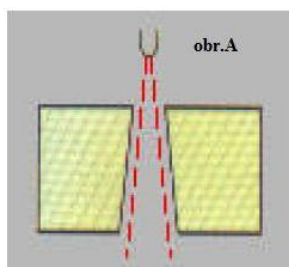


hlídání optimální distance mezi nerovným řezaným polotovarem a řezací tryskou. K udržování správné distance je použit potenciometrický senzor, a proto je možné provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace. [14, 15]

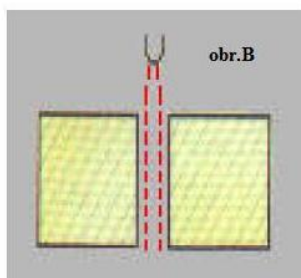
Obr. 21 Schéma řezací hlavy

### Kvalita řezu

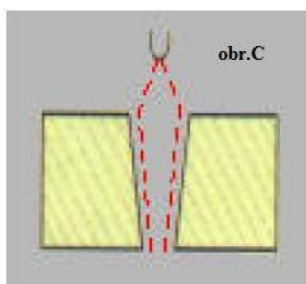
Paprsek vody není tuhý nástroj, čím rychleji řeže, tím více se paprsek ohýbá a vznikají chyby při opracování. Síla vody shora dolů klesá a vzniká kónická hrana řezu a v rohách se tvoří zahloubení. Tyto chyby lze rozdělit do tří skupin dle tvoření řezné spáry:



*Skupina A (obr. A)* – pomalý řez či řez měkkého materiálu: paprsek vody probrousí svojí přirozenou válcovou stopu a vzniká úkos. [14]



*Skupina B (obr. B)* – je to rovnováha mezi rychlostí řezu, druhem materiálu a jeho tloušťkou: paprsek vody je po celou dobu průchodem materiálu kruhového průřezu, nevznikají žádné úkosy. [14]



Skupina C (obr. C) – zde je to řez buďto velmi odolným materiálem či velmi rychlým řezem: vodní paprsek nedokáže probrousit materiál ani ve vstupním průřezu a řez se směrem dolu uzavírá. [14]

Obr. 22 Chyby při řezání

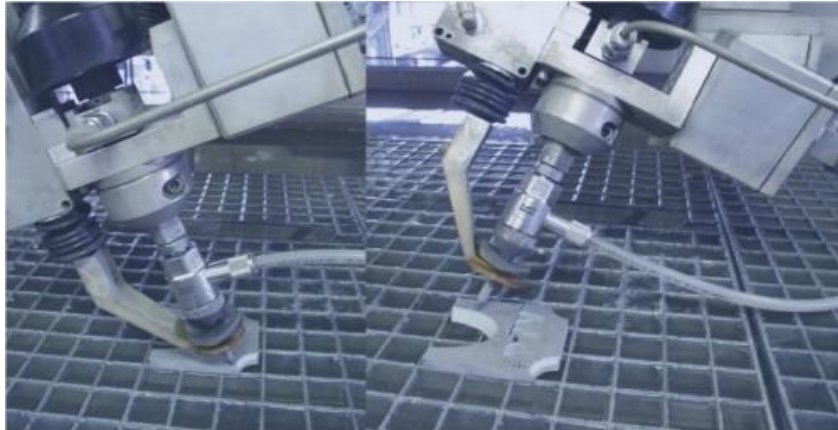
### Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je dána stopami po obráběcích nástroji. Rozlišujeme drsnost příčnou (kolmo na směr obrábění) nebo drsnost podélnou (ve směru obrábění). U povrchů, kde se nerozpozná směr obrábění, se kontroluje drsnost ve dvou kolmých směrech a vyjadřuje se větší hodnotou. Vodním paprskem můžeme řezat v těchto kvalitách řezu od nejlepšího Q5 až po hrubý dělicí řez Q1. Drsnost povrchu se udává číslem v tisícinách 0,001 mm a  $R_a$  je střední aritmetická úchylka od střední čáry profilu. [5b]

Tab. 1 drsnosti povrchu:

Stupeň	Popis kvality řezu	Drsnost $R_a$ na horní hraně	Drsnost $R_a$ na dolní hraně	Tvarová přesnost na horní hraně	Tvarová přesnost na dolní hraně
Q1	Dělicí řez	6,3	40	+/- 0,20 mm	nespec.
Q2	Hrubý řez	5,0	25	+/- 0,20 mm	nespec.
Q3	Středně kvalitní řez	4,0	12,5	+/- 0,15 mm	nespec.
Q4	Kvalitní řez	3,2	6,3	+/- 0,10 mm	+/- 0,20 mm
Q5	Maximálně kvalitní řez	pod 3,2	3,2	+/- 0,10 mm	+/- 0,10 mm

## ProgressJet systém



*Obr. 23 ProgressJet systém*

System, který eliminuje chyby vzniklé energetickým úbytkem paprsku zmíněné v odstavci Kvalita řezu, umožňuje realizovat kolmé výřezy, zvyšuje tvarovou přesnost a snižuje i čas řezání díky 5 osám pohybu (X – podélný pojezd, Y – příčný pojezd, Z – svislý pojezd, A – rotační osa, B – rotační naklápěcí osa). Původní ProgressJet umožňoval naklápění rotačních os v rozsahu +/- 10°, novější ProgressJet 5AX měl rotační rozsah os +/- 45°, a nejmodernější nazvaný ProgressJet II.60dg má rotační rozsah až +/- 60°. Tento nejmodernější systém už má v sobě zabudovaný laserový výškový senzor. Inteligentní matematický model, který přepočítává odchylku paprsku výstupního podpaprsku ve vztahu ke vstupnímu bodu, dále obsahuje unikátní bezpečnostní systém, který pomocí náklonových čidel monitoruje a vyhodnocuje polohu řezací hlavy a proudu abrazivního paprsku uvnitř pracovního prostoru a eliminuje případné nebezpečí pro obsluhu či riziko poškození stolu. Program, který je dodáván k tomuto systému má v sobě zabudované druhy materiálu, tloušťku a požadovanou kvalitu řezu Q. Komplexní mechanika vypočte pohyby, které se přenesou na řezací hlavu. Díky tomuto systému a programu klesá sklon řezné hrany k 0°, i při použití vysokých rychlostí vznikají čisté opracované hrany, kouty a zaoblení. Důkazem dokonalosti jsou uvedené obrázky. [5a]



**Konvenční řezání**  
Čas cyklu: 21'23"  
Přesnost (úkos): 0,127mm



**Řezání s ProgressJet**  
Čas cyklu: 6'27"  
Přesnost (úkos): 0,038mm



**Srovnání**  
1: konvenční  
2: ProgressJet



*Obr. 24 ukázky opracování povrchu*

#### **Výhody řezání VKP:**

- Řezaný materiál se tepelně vůbec nenamáhá a ani tepelně neovlivňuje strukturu řezaného materiálu = studený řez.
- Malá ztráta materiálu způsobena tloušťkou paprsku kapaliny v místě řezu (od 0,08 mm do 0,3 mm).
- Nedochozí k žádným nežádoucím procesům ani ke zhoršení pracovního prostředí.
- Lze řezat mnoho druhů materiálu od kovu, gumových materiálů až po plast.

## Závěr:

Z uvedených metod na dělení materiálu, zvláště z první kategorie, nůžky, pila a řezání plamenem lze těžko hodnotit a porovnávat se zbylými stroji, protože tyto metody slouží pouze k příčnému a podélnému dělení materiálu, vyjma řezání plamenem (lze použít i strojní). Jediné co je možné porovnat je tloušťka materiálu a drsnost povrchu na dělicí hraně. Z těchto tří kategorií, co se týče rychlosti dělení, vycházejí nejlépe padací nůžky, které dokážou ustříhnout tloušťku plechu až 10,0 mm za zlomek času oproti pilám a plazmě. Naproti tomu nemůžeme nůžky použít u profilů např. I. Na I profil využijeme spíše pily, ze které je dobrá hrana s mírnými otřepy a dobrá drsnost povrchu. V případě, že vyžadujeme rychlost, použijeme autogen (ruční, s řezacím hořákem), který je méně přesný, je zde i horší drsnost povrchu a otřepy na dělicí hraně. U strojního řezání plamenem je přesnost vyšší.

Dalším způsobem, jak si vybrat při dělení materiálu je například rychlost řezání, délka řezu, atd. Uvedu zde srovnání tří procesů řezání plamenem, plazma, laser. Kolik součástí může každý proces vyrobit. Podle rychlostí lze snadno vypočítat počet součástí vyrobených za hodinu.

Tab. 2 porovnání metod

	Rychlost řezání mm / min.	Minuty	Lineární délka řezu mm / hod	Počet součástí / hod. (m vydělené velikosti součástí)
<b>Řezání plamenem</b>	508	x 60 =	30 480	25
<b>Plazma</b>	1 447	x 60 =	86 820	72
<b>Laser</b>	1 905	x 60 =	114 300	95

Jiné srovnání můžeme použít u těchto kategorií plazma, laser a VKP, kde je mnoho porovnání v různých směrech řezání.

Tab. 3 porovnání metod

Nástroj	Plazma (Nástrojem je plazma)	Laser (Nástrojem je laserový paprsek)	VKP (Nástrojem je vysokotlaký kapalinový paprsek s abrazivem)
<b>Dělitelné materiály</b>	Pouze železné a neželezné kovy	Celé spektrum materiálů kromě těch, které mají vysokou světelnou odrazivost a materiálů kompozitních	Všechny materiály



<b>Teplota řezu</b>	Horký řez	Teplý řez	Studený řez
<b>Vliv teploty řezu na materiál</b>	Řezná hrana je velmi ovlivněná	Malý vliv teploty na řeznou hranu	Teplota řeznou hranu neovlivňuje
<b>Změny struktury materiálu</b>	Velké změny v oblasti řezné hrany	Malé změny v oblasti řezné hrany	Žádné změny v oblasti řezné hrany
<b>Kolmost řezu</b>	Silný odklon řezu od kolmice	Mírný odklon řezu od kolmice	Mírný odklon řezu od kolmice
<b>Drsnost řezné plochy</b>	Řezná plocha má výrazné striace	Řezná plocha je poměrně velmi málo drsná	Řezná plocha může být velmi málo drsná – závislost na řezné rychlosti, povrch může být i $Ra=1,6\mu m$
<b>Tvrдость řezaného materiálu</b>	Tvrдость nemá vliv na řeznou rychlost	Tvrдость nemá vliv na řeznou rychlost	Tvrдость ovlivňuje řeznou rychlost mírně negativně
<b>Řezání plastů</b>	Řezání plastů není možné	Řezání plastů je možné, ale je nutno vyřešit likvidaci vznikajících toxických plynů	Řezání plastů je možné
<b>Řezání kompozitních materiálů</b>	Řezání kompozitních materiálů pouze na bázi kovů	Řezání kompozitních materiálů je možné, pouze pokud mají stejnou teplotu tání jednotlivých složek	Řezání kompozitních materiálů je velmi vhodné
<b>Řezání keramiky, skla, kamene</b>	Není možné	Velmi omezeně	Řezání je velmi vhodné s výjimkou kaleného skla
<b>Reliéfní obrábění – gravírování, rytí</b>	Není možné	Je možné s omezením na řízení hloubky obrábění	Výjimečně s ohledem na rozstřík paprsku a řízení hloubky obrábění
<b>Velikost materiálu</b>	Velké dílce	Malé i velké dílce	Malé i velké dílce
<b>Tloušťka materiálu</b>	Střední a silné polotovary	Malé a střední polotovary	Všechny tloušťky od fólií až po velmi silné polotovary
<b>Tvarová složitost</b>	Jednoduché výrobky	Komplikované tvary	Komplikované tvary
<b>Průstřel</b>	Je možný	Je možný	Je možný
<b>Vznik plyných emisí</b>	Velké množství dýmu	Malé množství dýmu	Bez vývinu dýmu, nebo jen při průstřelu
<b>Vznik kyslíčkových povlaků</b>	Vytváří se na řezné hraně	Vznikají pouze při řezání kyslíkem	Vznikají pouze při řezání materiálů korodujících ve styku s vodou – při delší expozici

## **Hodnocení technologií**

V dnešní době je každá menší dílna vybavena minimálně padacími nůžkami a pilou buďto pásovou či kotoučovou. Větší firmy používají navíc laser či vodní paprsek. Z tohoto hlediska je výhodnější, díky účelu, vodní paprsek, kde není obráběný materiál nějak ovlivněn (je zde studený řez), nepůsobí škodlivě na pracovní prostředí, opracovaný povrch má hrany bez otřepů a jediné, co se jeví jako nevýhoda, je materiál náchylný k oxidaci.

## **Použitá literatura:**

### ***časopis:***

1. MM Průmyslové spektrum – Vyšlo v MM 2010 / 3, 3. Března 2010 v rubrice Trendy / Spojování a dělení, strana 37
2. MM Průmyslové spektrum – Vyšlo v MM 2002 / 4, 17. Dubna 2002 v rubrice Trendy / Obrábění, strana 76
3. T+T Technika a trh Aktuality -> Nářadí, stroje – 18. 2. 2010  
[http://www.technikaatrh.cz/index.php?sec=rubrika&id\\_rubrika=50&start=3](http://www.technikaatrh.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=50&start=3)

### ***Firemní literatura:***

4. TRUMPF Praha, spol. s.r.o  
Technická informace, Opracování laserem, Laser TLF: základy, stavba a použití  
Vydaný firmou TRUMPF v oddělení technické dokumentace, 10/2001.
5. PTV, spol. s.r.o
  - a) PTV, spol. s.r.o. cit. Systém ProgresJet II. 60dg
  - b) PTV, spol. s.r.o. cit. Drsnost povrchu při řezání vodním paprskem
6. Laser ve strojírenství, Připraveno podle publikace vydané a.s. Technologické centrum, Brno, autor p. Ing. Petr Zatloukal

### ***Knižní publikace:***

7. Paprsek budoucnosti – Ivan Štoll, Praha 1975 nakladatelství PRESSFOTO, str. 234
  - a) Kap. 7 Maser, starší bratr laseru, str. 87
  - b) Kap. 8 Rudý paprsek, str. 98
  - c) Kap. 9 Různorodá rodina laserů, str. 110
  - d) Kap. 15 Laser jako nástroj vědeckého výzkumu, str. 173
8. Úvod do laserové techniky – Miroslava Vrbová, Helena Jelínková, Petr Gavrilov, vydalo Vydavatelství ČVUT 1994, str. 218
  - a) Kap. 14.2.3 Laserové řezání, str. 196
  - b) Kap. 14.2.2 Laserové vrtání, str. 195
  - c) Kap. 9.2 Laserový systém, str. 116

9. Lasery a moderní optika – Miroslava Vrbová a kol., Praha 1994 nakladatelství PROMETHEUS, str. 474

10. VYSOKOENERGETICKÝ KAPALINOVÝ PAPERSEK – využití v čs. průmyslu, Kolektiv autorů, Vydal: Dům techniky ČSVTS Praha 1989, str. 66

11. stavba a provoz strojů, Autor: Jiří Zelený, Datum vydání: 2003, počet stran: 158

12. Aplikace laserů, Pavel Engst – Milan Horák, str.204 – kap. 4.3 laserová plazma, str.114

13. Učební texty pro svařování plamenem a řezání kyslíkem, Josef Míka, Pardubice: Dům techniky ČSVTS, 1985, počet str.156 s.

#### ***Vysokoškolská kvalifikační práce:***

14. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, autor neznámý, <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-17.pdf>, 2009 [cit. 2011-16-02]

#### ***Internet:***

15. Wikipedie

Design. In Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Strana naposledy edit. 2011-10-01. [cit.2011-07-02]. Dostupný z WWW:

[http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD\\_vodn%C3%ADm\\_paprskem](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)

16. [www.kondor.cz/deleni-tycoveho-materialu.php](http://www.kondor.cz/deleni-tycoveho-materialu.php)

17. <http://plechotvarecistroje.cz/stroje/profilove-nuzky/>

18. <http://www.mostr.cz/Rucni-pakove-profilove-nuzky.html>

19. <http://www.dkmachinery.cz/web/dk-machinery/cz/tvareci-stroje/tabulove-nuzky/>

20. <http://www.pegas-gonda.cz/cz/>

21. <http://www.pily-bianco.cz/pasove-pily-na-kov-bianco/automaticke-pasove-pily/>

22. Modding.cz – svět casemoddingu (<http://www.modding.cz/?p=62>)

23. ESAB- svařování a řezání Česká Republika (<http://www.esab.cz/>)

24. PLAZMA CZ s.r.o., <http://www.plazmacz.cz/rezani-plazmou>

25. LINDE – GAS:

[www.lindegas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/ind\\_2autog](http://www.lindegas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/ind_2autog)

## 26. HILTI:

[https://www.hilti.cz/holcz/page/module/home/browse\\_main.jsf?lang=cs&nodeId=-520685](https://www.hilti.cz/holcz/page/module/home/browse_main.jsf?lang=cs&nodeId=-520685)

### Obsah:

<b>Anotace.....</b>	<b>1</b>
<b>Úvod BP.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Dělení materiálu nůžkami.....</b>	<b>3</b>
Princip	
Tabulové nůžky	
Profilové nůžky .....	4
Nůžky ruční pákové profilové	
<b>2. Dělení materiálu pilou.....</b>	<b>5</b>
Princip	
Pásové pily na kov	
Druhy pásových pil:.....	6
Manuální pásová pila	
Hydraulická poloautomatická pila	
Gravitační pásová pila	
Automatická pásová pila s CNC řídicím systémem.....	7
Dvousloupové pásové pily pro kolmé řezy	
Kotoučové pily.....	8
Rozdělení	
Tělo pilového kotouče	
Geometrie zubu.....	9
Volba pilového kotouče	
Pily – ruční nářadí.....	10
aku úhlová bruska	
aku okružní pila.....	11
<b>3. Dělení materiálu plamenovou technologií.....</b>	<b>12</b>
Princip	

Postup řezání.....	13
Řezací hořák	
Řezatelnost materiálů	
Druhy řezů.....	14
řezatelnost materiálů	
Porovnání plynů pro řezání plamenem	
Výhody řezání plamenem.....	15
<b>4. Dělení materiálu plazmou.....</b>	<b>16</b>
Pojem plazma	
Řezání plazmou	
Výhody řezání plazmou.....	17
<b>5. Dělení materiálu laserem.....</b>	<b>18</b>
Maser, předchůdce laseru	
Maser, předchůdce laseru.....	19
Laserové řezání.....	20
Laserové vrtání	
Pojem laser.....	21
Laserový systém	
Hlavice laseru.....	22 - 23
Metody řezání laserem:.....	24
Tavné řezání laserem	
Oxidační řezání laserem.....	25
Sublimační řezání laserem	
Řezný proces.....	26
Parametry laserového záření použitého pro řezání.....	26 - 27
Výhody řezání laserem.....	28
<b>6. Dělení materiálu vysokotlakým kapalinovým paprskem (dále jen VKP)</b>	
Princip.....	29
Řezací hlava.....	30
Kvalita řezu.....	31
Drsnost povrchu.....	32
ProgressJet systém.....	33

Výhody řezání VKP.....	34
<b>Závěr.....</b>	<b>35 - 36</b>
<b>Hodnocení teccnologií.....</b>	<b>37</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>38 - 39</b>
<b>Obsah.....</b>	<b>40</b>