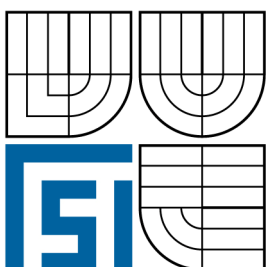


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA NEKONVEČNÍ TECHNOLOGIE DĚLENÍ MATERIÁLU

ANALYSSIS OF UNCONVENTIONAL TECHNOLOGIES FOR SAWING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ ŠIMEK

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. OSKAR ZEMČÍK, CSC.

BRNO 2008

ABSTRACT

Předmětem této bakalářské práce je přehled současného poznání v oblasti nekonvenční technologie dělení materiálu. Důraz je kladen na stroje, nástroje, principy a parametry každé metody zvlášť a poté porovnání všech metod mezi sebou a jejich doporučení pro praxi.

Klíčová slova

Dělení materiálu, elektroerozivní řezání, anodomechnické dělení materiálu, řezání laserem, řezání plamenem, řezání elektronovým paprskem, řezání plasmou, řezání vodním paprskem.

ABSTRACT

The main theme of this work is a survey of contemporary knowledge in the area of unconventional technology of material cutting. Emphasis is placed on both - machines, tools, principles and parameters of each method - and comparison of all methods among each other and recommendation of these methods for practise.

Keywords

Material cutting, electroerosion cutting, anode-mechanical cutting, laser cutting, fusing, cathode ray cutting, plasma arc cutting, water jet cutting.

Bibliografická citace:

ŠIMEK, O. *Analýza nekonvenční technologie dělení materiálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci na téma *Analýza nekonvenční technologie dělení materiálu* jsem vypracoval a napsal samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc. a uvedl v seznamu všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 21.května 2008

Vlastnoruční podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Oskaru Zemčikovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	7
Čestné prohlášení	9
Poděkování	11
Obsah	13
Úvod	14
1.Rozdělení technologií při dělení materiálů	15
2.Nekonvenční metody dělení materiálů	17
2.1 Elektroerozivní drátové řezání	17
2.1.1. Princip metody	17
2.1.2. Nástroj	18
2.1.3. Stroj	18
2.1.4. Výhody nevýhody	18
2.2. Elektrokotáční dělení	20
2.2.1 Výhody nevýhody	20
2.3. Anodomechanické dělení materiálů	21
2.3.1 Výhody nevýhody	22
2.4. Dělení materiálu laserem	22
2.4.1. Řezání laserem	23
2.4.2. Metody laserového dělení materiálu	23
2.4.3. Stroj	24
2.4.4. Výhody nevýhody	24
2.5. Řezání materiálu plamenem	25
2.5.1. Nástroj	26
2.5.2. Stroj	27
2.5.3. Výhody nevýhody	27
2.6. Řezání elektronovým paprskem	27
2.6.1. Výhody nevýhody	28
2.7. Řezání plasmou	28
2.7.1. Princip metody	29
2.7.2. Druhy hořáků	29
2.7.3. Výhody nevýhody	31
2.8. Řezání vodním paprskem	31
2.8.1. Výhody nevýhody	32
3. Porovnání nekonvenčních metod dělení materiálu	33
Závěr	35
4. Seznam použité literatury	38
5. Seznam obrázků	39
6. Seznam tabulek	40

ÚVOD

Nekonvenční metody dělení materiálu v mnoha případech nahradily mechanické způsoby řezání a dělení materiálu (konvenční metody dělení materiálu). Hlavním důvodem této změny je fakt, že klasické třískové dělení materiálu v mnoha případech nelze použít z hlediska obrobitelnosti, jakosti obráběného povrchu, tvarové složitosti apod.

Nekonvenční metody dělení materiálu využívají tepelných, elektrických, chemických, abrazivních a jiných fyzikálních jevů nebo jejich vzájemnou kombinaci převážně při bezsilovém působení a bez vzniku třísky.

Hlavní výhodou nekonvenčních metod obrábění je, že můžeme dělit materiály nebo složité tvary, které by konvenční metodou dělit vůbec nešly nebo jen s obtížemi. Nekonvenční metody dělení materiálu nacházejí v průmyslové výrobě velmi široké uplatnění a jejich vývoj neustále pokračuje.

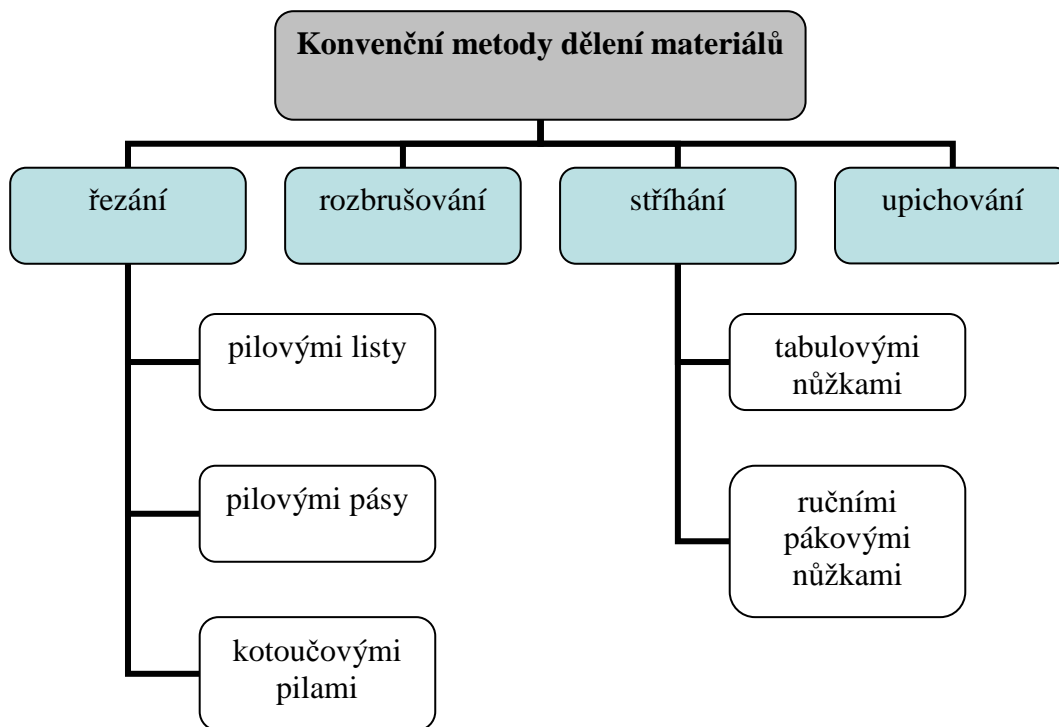
1. ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIÍ PŘI DĚLENÍ MATERIÁLŮ

Metody dělení materiálů rozdělujeme na dvě základní:

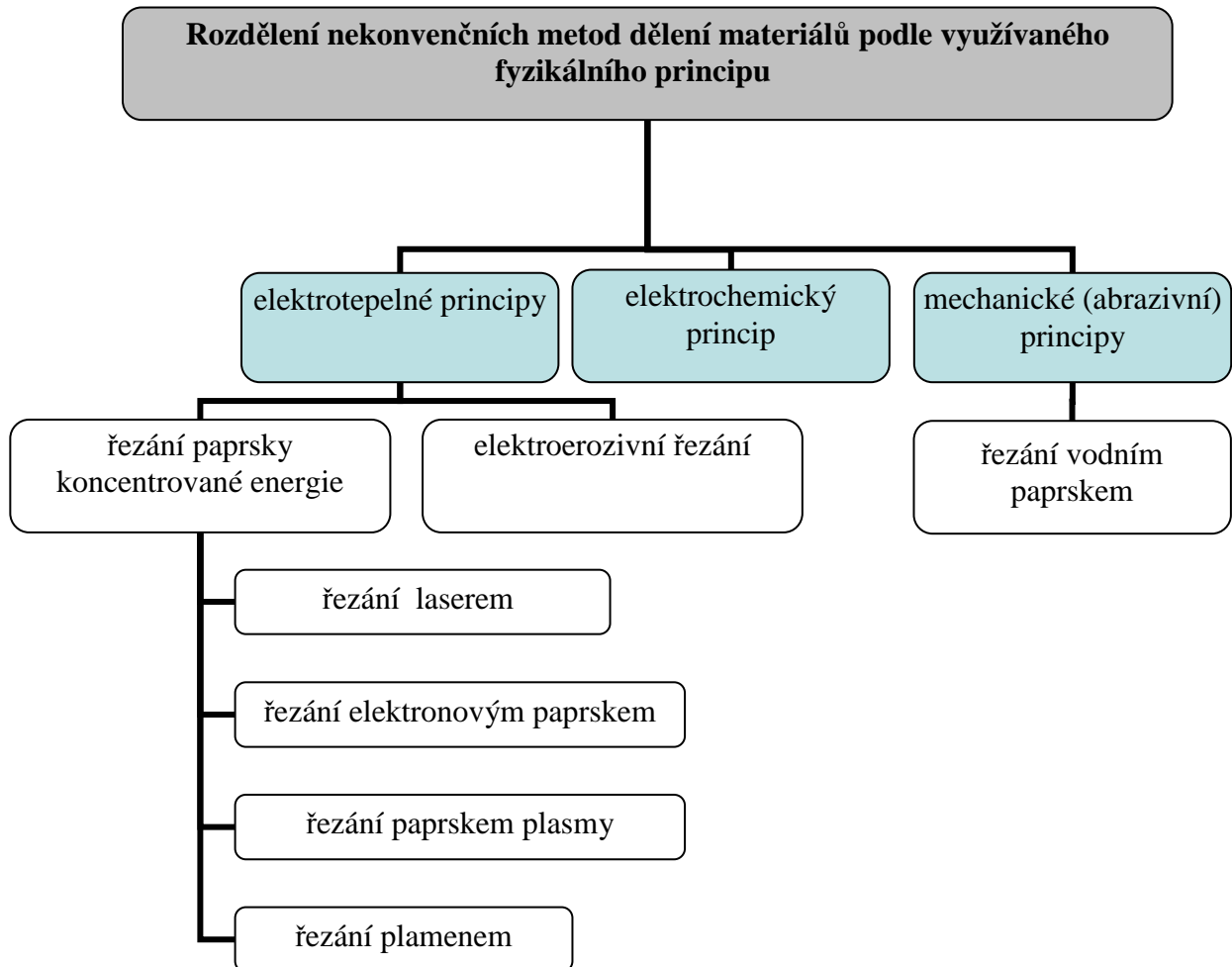
1. konvenční technologie dělení materiálů,
2. nekonvenční technologie dělení materiálů.

1. Konvenční technologie dělení materiálů

Při těchto metodách dochází k dělení materiálu díky silovému odebrání třísky.



2. Nekonvenční technologie dělení materiálů



Metody využívající více fyzikálních principů:

- anodomechanické řezání (kombinuje elektrochemický a elektroerozivní účinek),
- elektrokontaktní řezání.

2. NEKONVENČNÍ METODY DĚLENÍ MATERIÁLŮ

2.1 Elektroerozivní drátové řezání

Elektroerozivní drátové řezání (EDR) patří do skupiny využívající elektrotepelné principy a je jednou z nejrozšířenějších nekonvenčních metod dělení materiálu.

Drátové řezání využívá principu elektrické eroze, ta probíhá mezi dvěma elektrodami. Jedna z elektrod je tenký drát a druhá obrobek. Vlivem působení elektrického napěťového pole mezi elektrodami se uvádějí do pohybu kladné a záporné ionty. Tím se vytváří ionizovaný (vodivý) kanál. Nyní začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a vzniká výboj. Vzniklé plasmové pásmo s teplotou až 12 000 °C způsobuje tavení a odpařování materiálu na elektrodách. Odpařováním dielektrika vzniká plynná bublina s velkým tlakem. V okamžiku přerušení proudu vyvolá pokles teploty implozi bubliny, do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a velké dynamické síly vymrštují roztavený materiál z kráteru.

[1]

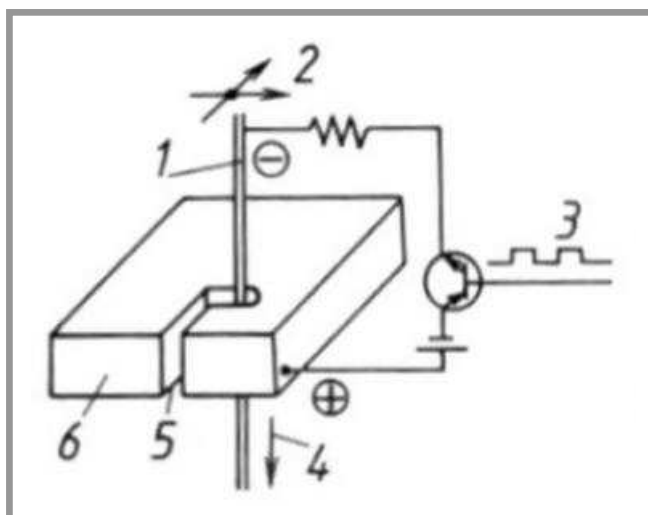
2.1.1 Princip metody

Princip této metody vychází z obrázku 1. Elektroeroze probíhá mezi nástrojovou elektrodou, kterou zde tvoří tenký drát. Ten je pomocí speciálního zařízení převíjený, aby se vyloučilo riziko opotřebení drátu. Obráběná součástka jako druhá elektroda připevněna ke generátoru.

Způsob zapojení je dán polaritou a typem výbojů, v dnešní době se převážně používají tranzistorové generátory, pro které je charakteristická přímá polarita (nástroj katoda -, obrobek anoda +).

Elektrickými výboji, vznikajícími mezi drátovou elektrodou a obrobkem, se vytváří pracovní mezera, a tím i příslušný řez. [1]

- 1 - drátová elektroda
- 2 - řídicí systém
- 3 - generátor
- 4 - směr posuvu elektrody
- 5 - vyřezaná drážka
- 6 - obrobek



Obr. 1 Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [6]

2.1.2 Nástroj

Nástrojem u EDR je již zmiňovaná nástrojová elektroda, na elektrodu jsou kladeny následující technické parametry:

- vysoká elektrická vodivost,
- dostatečná mechanická pevnost,
- úzké tolerance rozměru (průměr) a tvaru (kruhovitosti),
- přijatelná cena.

První požadavek vyplývá z toho, že malým průměrem drátu se přivádí do pracovní mezery elektrická energie a obvykle je protékajícím proudem zatěžována. Druhý parametr má vliv na přesnost řezání, protože kvalita řezu je závislá na napnutí drátu. Třetí parametr má také vliv na kvalitu řezu, protože všechny nerovnosti na jeho povrchu jsou nežádoucí.

Jako materiál se používá měď, pro větší průřezy pak mosaz, pro jemné řezy (průměr drátu 0,03 - 0,07 mm) se používá molybden. Dráty se kalibrují průvlastky z polykrystalického diamantu, žíhají se a pokovují. [1], [6]

2.1.3 Stroj

Stroj umožňuje plynulé naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke svislé ose v rozsahu $\pm 30^\circ$ dle výrobce a typu stroje. Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu na počátku práce do vyvrtané díry, automatickým zjišťováním polohy obrobku a adaptivním řízením. Automatického provozu bez obsluhy se dosahuje po dobu až 80 hodin. [1]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- průměr drátové elektrody.....0,03 - 0,3 mm,
- obrobky: kovové materiály o tloušťce do..... 400 mm,
- dielektrikum..... deionizovaná voda,
- přesnost řezání.....0,01 μ m,
- drsnost povrchu Ra.....0,15 - 2 μ m,
- rychlost řezání.....30 - 350 $\text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$.

2.1.4 Výhody a nevýhody

Výhody:

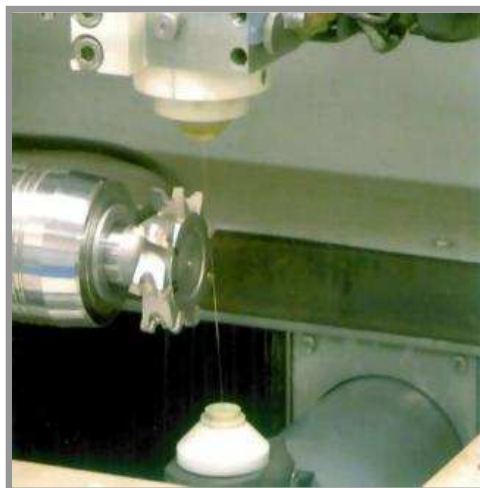
- menší pořizovací cena než u jiných strojů pro nekonvenční dělení materiálů,
- vysoká přesnost obrábění,
- možnost řezat těžkoobrobitelné materiály jako jsou SiC (karbid křemíku), nitrid boru, polykrystalický diamant.

Nevýhody:

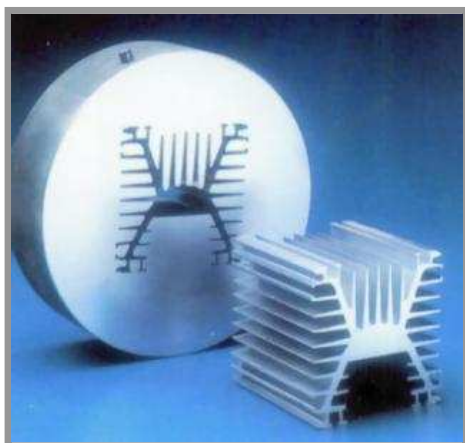
- možnost obrábění pouze kovových (vodivých) materiálů.



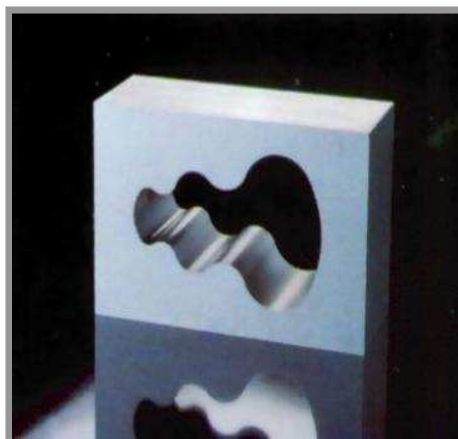
Obr. 2 Stroj pro elektroerozivní drátovou elektrodou



Obr. 3 Pracovní prostor stroje [6]



Obr. 4 Příklady výrobků – řezání drátovou elektrodou [6]



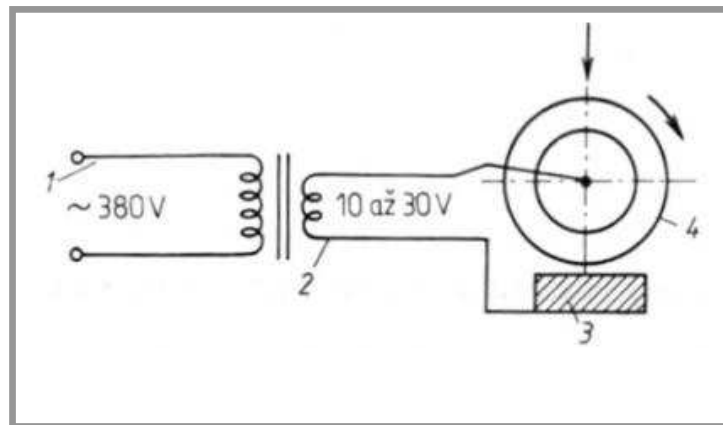
Obr. 5 Příklady výrobků – řezání drátovou elektrodou [6]

2.2. Elektrokotaktní dělení materiálu

Elektrokotaktní dělení materiálu je zvláštním případem elektroerozivního obrábění a využívá elektrotepelné principy.

K úběru materiálu dochází elektrickými nestacionárními kontaktními obloukovými výboji. Elektrody (nástroj, obrobek) jsou napájeny zdrojem střídavého napětí – transformátorem. Nástrojová elektroda koná buďto rotační, nebo přímočarý pohyb. Pohyb vytváří předpoklady pro mechanické buzení výbojů a vznik elektrotepelného procesu, využívajícího obloukové výboje a Jaul-Lenzova tepla při kontaktu elektrod. Pohyb elektrod je nutný, aby nedošlo k jejich svaření. Na nástroji jsou vytvořeny drážky pro zvýšení odběru a snazší odstraňování odtaveného materiálu. Princip metody vychází z obr. 6. [1], [6]

- 1 - napájecí zdroj
- 2 - transformátor
- 3 - obrobek
- 4 - nástrojová elektroda



Obr. 6 Princip stroje pro elektrokontaktní dělení materiálů [6]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- zdroj střídavého proudu transformátor:
 - výkon.....10 - 250 kW,
 - trvání 1 impulsu.....0,1 s,
 - frekvence.....50 - 500 Hz,
 - pracovní proud.....8000 - 12000 A.
- hmotnostní úběr.....100 - 500 kg/hod.

2.2.1 Výhody a nevýhody

Výhody:

- vysoká produktivita obrábění,
- jednoduchý a cenově nenáročný stroj,
- nízká pracovní napětí,
- malé opotřebení nástroje.

Nevýhody:

- nízká kvalita obrobeného povrchu,
- vznik ultrafialového záření,
- hluboké tepelné ovlivnění,
- rozstříkávání kovu, vznik návarů.

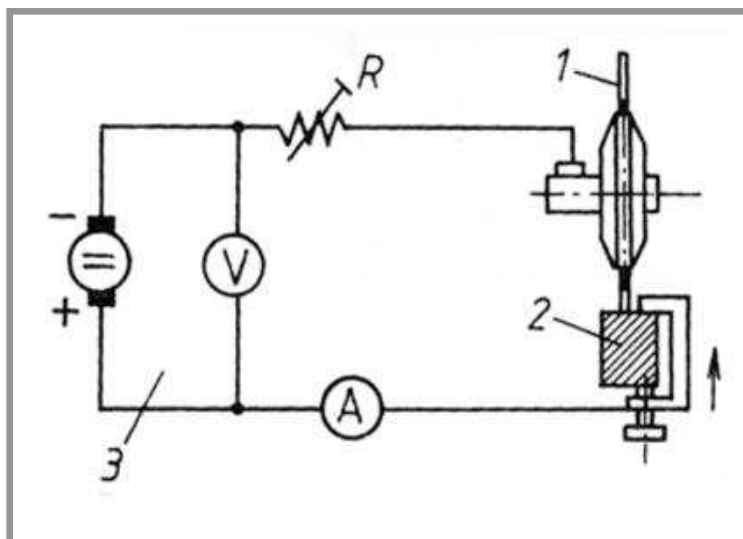
2.3. Anodomechanické řezání

Anodomechanické řezání je kombinací elektroerozivního a elektrochemického úběru materiálu.

K úběru materiálu dochází převážně výboji elektrického oblouku, v menší míře výboji elektrickou jiskrou a anodickým rozpouštěním kovů. Zdrojem elektrického proudu je buď speciální usměrňovač nebo rotační generátor. Nástrojem je buď rotující ocelový kotouč, nebo pás (pásová pila). Obrobek je připojen na plus pól a je přitlačován malou silou k povrchu nástroje (-pól). Pracovní mezeru vytváří

pasivační vrstva, která vzniká elektrolytickým rozkladem pracovní kapaliny (vodní sklo) a zabraňuje přímému kontaktu nástroje s obrobkem. Nástroj stírá tuto vrstvu v místech nerovností. Vznikají elektrické výboje a materiál se odtavuje. Přiváděným elektrolytem se pasivační vrstva obnovuje a všechno se opakuje, princip metody vychází z obr 7. [1], [6]

- 1 - nástroj
- 2 - obrobek
- 3 - napájecí zdroj



Obr. 7 Princip anodomechanického dělení materiálu [6]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- pracovní napětí..... 18 - 32 V,
- pracovní proud.....max. 3000 A,
- elektrolyt vodivost okolo 0,2 S/cm,
- nástrojová elektroda..... ocel. plech t = 0,5 mm,
- šířka řezu1,5 mm,
- plošný úběr18 - 30 mm² · min⁻¹.

2.3.1 Výhody a nevýhody

Výhody:

- vysoká produktivita obrábění,
- jednoduchý a cenově nenáročný stroj,
- malé opotřebení nástroje.

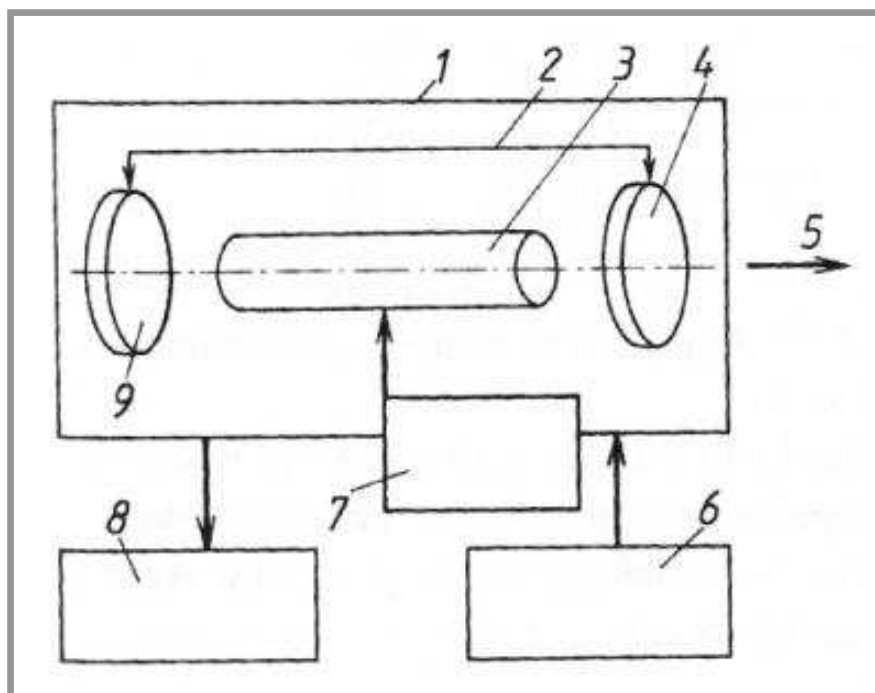
Nevýhody:

- nízká kvalita obrobeného povrchu,
- nepřesný řez.

2.4. Dělení materiálu laserem

Laser pracuje na principu indukované emise, tj. vynuceného záření. Indukovaná emise je vyvolána dopadem záření na atom prvku, kdy záření donutí elektron obíhající kolem jádra přijmout energii, a tím vystoupat na vyšší oběžnou

dráhu. Další příjem energie a rovnováha sil v atomu přinutí elektron vrátit se na svou původní oběžnou dráhu a vyzářit přijatou energii do prostoru. Vzniklé záření je monochromatické, tzn. má jednu přesně definovanou vlnovou délku, a koherentní, což znamená, že příslušné částice (fotony) se ve svazku pohybují jedním směrem a jsou v jeho průřezu buď stejnoměrně, nebo alespoň velmi pravidelně rozděleny. Princip vychází z obrázku 8. [6], [3]



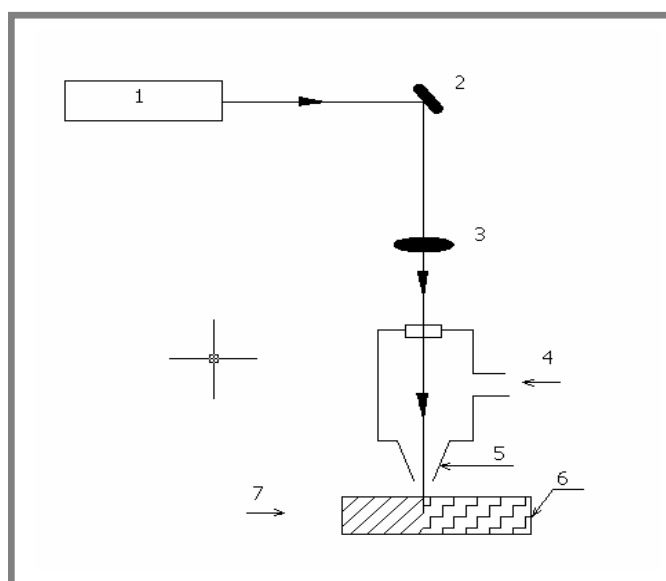
Obr. 8 Schéma princip laseru [6]

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 - laserová hlavice, | 2 - rezonátor, |
| 3 - laserové médium, | 4 - polopropustné zrcadlo, |
| 5 - výstup paprsku, | 6 - zdroj energie buzení, |
| 7 - budicí zařízení, | 8 - chladič systém, |
| 9 - nepropustné zrcadlo. | |

2.4.1 Řezání laserem

Nejpoužívanější lasery v tomto oboru jsou kontinuální CO₂ lasery se středním výkonem do 15 kW, kterými je možné řezat konstrukční oceli do tloušťky až 20 mm, korozivzdorné oceli do tloušťky 10 mm a slitiny hliníku do tloušťky 5 mm. Pro přesnější řezy s menší šířkou řezné spáry se používají Nd: YAG lasery o výkonu 100 až 1000 W, kterými lze řezat konstrukční oceli do tloušťky 6 mm, korozivzdorné oceli do tloušťky 3 mm a slitiny hliníku do tloušťky 2 mm. Laserem lze řezat např. titan, oceli s nízkým obsahem uhlíku a korozivzdorné oceli. Princip metody řezání laserem vychází z obrázku 9. [1], [4]

- 1- laser
- 2 - optický přenos laserového paprsku
- 3 - fokusační čočka
- 4 - inertní nebo aktivní plyn
- 5 - plynová tryska
- 6 - dělený materiál
- 7 - směr posuvu materiálu



Obr. 9 Zařízení pro řezání laserem [1]

2.4.2 Metody laserového dělení materiálu

Používáme tři metody řezání materiálu laserem:

1. Laserové protahování
2. Laserové sublimační řezání
3. Laserové pálení

1. Laserové protahování - při absorpci fokusové energie laserového paprsku do ohniska o průměru 0,05 – 0,25 mm dochází k ohřevu materiálu nad teplotu tavení. Roztavený materiál je ze spáry vytlačován proudem inertního plynu vedeného tryskou koaxiálně s laserovým paprskem. Nekomových materiálů, které snadno hoří (např. plexisklo, polypropylen, PVC atd.) se používá inertních plynů např. argonu nebo dusíku jako ochrany proti vznícení nebo opálení řezných hran.

Tato metoda je charakteristická vysokou rychlostí řezání a nízkou spotřebou energie na jednotku délky řezu. Na řezu jsou patrné stopy po odběru materiálu a v některých případech kapičky rozstříknutého kovu na spodní straně řezného polotovaru. [1]

2. Laserové sublimační řezání - fokusovaný laserový paprsek ohřívá materiál nad teplotu odpaření. Vznikají páry jsou z řezné spáry odstraňovány proudem inertního plynu z trysky. Metoda je charakterizována úzkou řeznou spárou a vysokou jakostí řezu. Ve srovnání s laserovým protahováním je však spotřeba energie na jednotku délky řezu větší. [1]

3. Laserové pálení - materiál je v místě dopadu fokusovaného laserového paprsku ohřát na zápalnou teplotu a spálen v proudu aktivního plynu, nejčastěji kyslíku. Oxidační účinek se projevuje jednak počáteční oxidací povrchu, a tím zvýšením schopnosti materiálu absorbovat energii laseru snížením koeficientu odrazivosti,

vznikem přídavného exotermického reakčního tepla hoření, které se projevuje podstatným zvýšením rychlosti řezání. Vlastní proces řezání je pak důsledkem exotermické reakce materiálu s kyslíkem. [1]

2.4.3 Stroj

Dnes užívané CNC (computer numeric control) stoly, určené pro řezání ve 2D, jsou v zásadě dvou koncepcí - s tzv. hybridní optikou, kdy v jedné ose vykonává pohyb upnutý materiál a v druhé se pohybuje řezná hlava, nebo s tzv. létající optikou, kdy pohyb v obou osách vykonává řezná hlava. Moderní řezací systémy navíc umožňují průběžně plynule měnit výkon laseru, rychlost posuvu a další parametry, jejichž optimální kombinace umožňuje stále přesnější a detailnější řezání se stále menším teplotním dopadem na výrobek i okolní materiál. Dnes je vývoj zaměřen především na pohybovou dynamiku strojů, díky které je pak využita vysoká absolutní rychlost laserového řezání i na menších dílcích a dílcích složitých tvarů či s mnoha otvory, čímž se výrazně zkracují výrobní časy. [9]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- velikost zpracovatelných formátů je..... okolo 3000 · 1500 mm,
- výkon rezonátoru.....3000 W,
- jezdvová rychlost až 180 m/min,
- opakovatelná přesnost řezánícca ± 0,1 mm,
- řezná spára cca 0,2 - 0,5 mm.

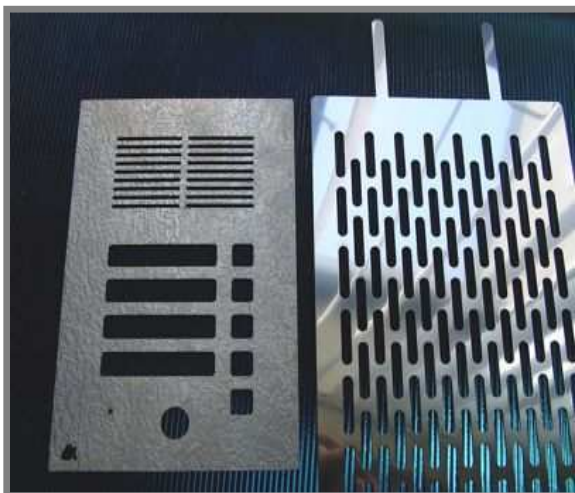
2.4.4 Výhody a nevýhody

Výhody:

- velké řezné rychlosti,
- velmi dobrá jakost povrchu obvykle nevyžadují další úpravy,
- lze provádět řezy s velmi malým zaoblením,
- velmi malá tepelně ovlivněná oblast,
- nejmenší úkos ze všech tepelných metod dělení materiálů,
- možnost zapíchnout paprsek do řezaného materiálu.

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena,
- malá účinnost,
- přísná bezpečnostní opatření,
- náročná údržba,
- vysoké náklady.



Obr. 10 Příklady výrobků řezání laserem [9]



Obr. 11 Příklady výrobků řezání laserem [9]



Obr. 12 Pracovní prostor stroje [8]



Obr. 13 Stroj pro řezání laserem [9]

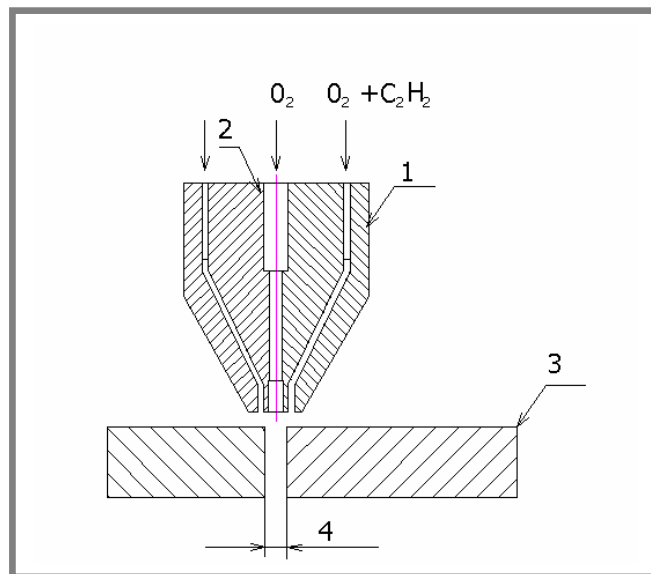
2.5 Řezání materiálu plamenem

Řezání kyslíkem se zařadí mezi tři nejpoužívanější metody tepelného dělení materiálů (spolu s plasmovým a laserovým řezáním). Ze všech těchto tří metod má řezání kyslíkem nejdelší a nejbohatší historii. Z toho plyne také nejvíce praktických aplikací.

Jedná se především o dělení kyslíko-acetylenovým plamenem, ale jsou možné i jiné způsoby. Vhodným topným plynem ve směsi s kyslíkem se povrch řezané oceli zahřeje na zápalnou teplotu a po přidání řezného kyslíku se nastartuje vlastní proces řezání. Při něm se k dalšímu řezání využije i teplo vzniklé spalováním řezaného

železa. S rostoucí tloušťkou materiálu se toto teplo podílí větší měrou na vlastním procesu řezání. [2], [8]

- 1- nahřívací trubice
- 2- řezací hubice
- 3- řezaný materiál
- 4- řezná spára



Obr. 14 Princip řezání plamenem [2]

Podmínky řezatelnosti kovových materiálů

Aby byl kov řezatelný kyslíkem, musí splňovat určité podmínky:

1. Při hoření kovu se musí uvolňovat dostatečné množství tepla, aby byly kryty ztráty tepla (byla udržována původní teplota) a proces řezání mohl nerušeně pokračovat.
2. Zápalná teplota řezaného kovu musí být menší nebo rovna teplotě tavení řezného kovu.
3. Tavicí teplota oxidů musí být menší nebo rovna tavicí teplotě řezaného kovu. [2]

2.5.1 Nástroj

Nástrojem je řezací hořák, který 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 a 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. [2]

2.5.2 Stroj

Výložníkové a souřadnicové pálicí stroje - tyto stroje jsou dodávány s optoelektronickým zařízením. Šířka řezaných plechů je podle stroje 1000 - 3000 mm

Stroje mají pracovní posuv $50 - 4000 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$, pohybovou přesnost $\pm 0,3 \text{ mm}$ a až 4 řezací hořáky.

Portálové souřadnicové stroje - tyto stroje jsou s numerickým řízením. Šířka řezaných plechů se pohybuje až do 8000 mm. Stroje mají pracovní posuv až $15\,000 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ a 1 - 8 hořáků. [2]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- velikost zpracovatelných formátů je.....okolo $3000 \cdot 8000 \text{ mm}$,
- maximální tloušťka materiálu až 300 mm,
- přesnost řezáníněkolik mm,
- řezná spára cca 5 mm,
- tepelně ovlivněná oblast až 6 mm.

2.5.3 Výhody a nevýhody

Výhody:

- velké řezné rychlosti,
- nízká pořizovací cena,
- nejmenší náklady,
- velké tloušťky materiálů.

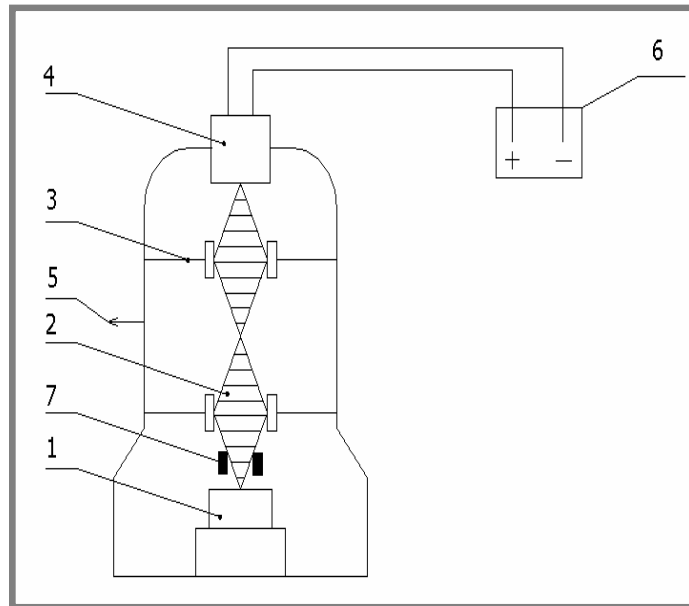
Nevýhody:

- možnost řezat jen úzkou skupinu materiálů,
- velká tepelně ovlivněná oblast,
- největší úkos ze všech tepelných metod dělení materiálů,
- špatná jakost řezných hran.

2.6. Řezání elektronovým paprskem

Podstatou zařízení je elektronové dělo, které slouží ke generaci, urychlení a zaostření svazku elektronů. Pro zachování parametrů elektronového paprsku při průchodu pracovní komorou je nutno v zařízení vytvořit vakuum. Urychlený svazek elektronů předá svou kinetickou energii při dopadu na obráběný materiál ve formě tepla. Dochází k lokálnímu přehřátí, natavení a případně i k odpaření materiálu. Princip metody řezání laserem vychází z obrázku 15. [1], [3]

- 1 - obrobek
- 2 - paprsek elektronů
- 3 - elektromagnetická čočka
- 4 - katodový vodič
- 5 - vývěva
- 6 - zdroj
- 7 - vychylování paprsku



Obr. 15 Princip řezání elektronovým paprskem [1]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- anodové napětí zářiče..... 50 - 150 kV,
- intenzita anodového proudu 0,3 - 20 mA,
- hustota energie elektronového paprsku..... $10^6 - 10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$,
- průměr paprsku v místě působení 2,5 - 10 μm ,
- energie je dodávána v impulsích po dobu 2 - 60 μs ,
- minimální vakuum..... 0,013 hPa.

2.6.1 Výhody a nevýhody

Výhody:

- možnost obrábění nejtvrděších materiálů (vodivých i nevodivých),
- velká účinnost.

Nevýhody:

- obrábění musí být ve vakuu,
- velká pořizovací cena stroje,
- vysoké náklady.

2.7 Řezání plasmou

Patří do skupiny, která pro dělení materiálu využívá elektrotepelné principy, přesněji řečeno řezání probíhá paprsky koncentrované energie. Pro dělení plasmou je používán přenesený plazmový paprsek. Tato metoda v řadě případů předčí většinu jiných technologií. Plasma v mnoha případech nahrazuje řezání kyslíkem, a to hlavně díky menšímu pásmu tepelného ovlivnění. [8], [1]

2.7.1 Princip metody

Plasmové řezání je založeno na lokálním ohřevu materiálu nad tavící teplotu až 10 000 °C. Mezi netavící se elektrodou (katoda) a řezaným materiálem nebo tělesem hořáku (anoda) hoří elektrický oblouk, a tím dochází k rozkladu molekul plynu s vysokým vývinem tepla. Úzký paprsek plasmy vychází z hořáku vysokou rychlostí. Na materiál působí kombinace tepelného a dynamického účinku proudícího plasmatu. [3]

V hořácích se používají následující plyny:

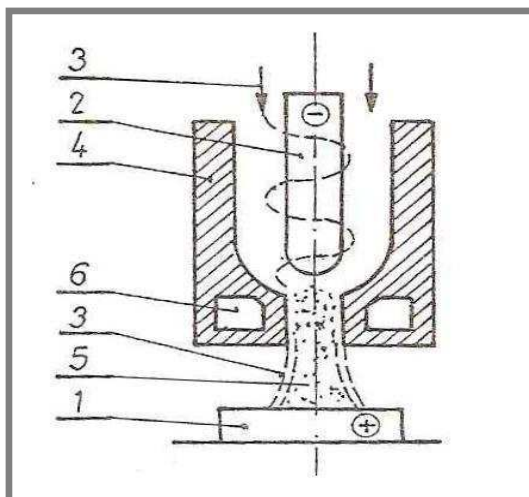
- plasmové plyny jsou přiváděny do oblouku, kde jsou ionizovány např. Ar,
- ochranné plyny,
- fokusační plyny, zužují paprsek plasmatu.

2.7.2 Druhy hořáků

1. Hořáky s transférovým obloukem

Princip je dán schématem na obr. 16. Tento hořák se používá zejména pro řezání ušlechtilých ocelí. Při řezání tímto hořákem vzniká značné množství kouře, prachu a UV záření. Anodu tvoří obrobek. [1]

- 1- obrobek (anoda +)
- 2 - katoda (-)
- 3 - plyn
- 4 - těleso hořáku
- 5 - plasma
- 6 - chlazení hořáku

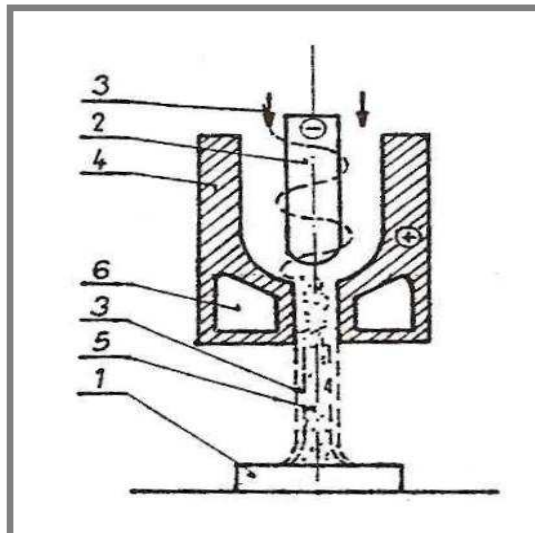


Obr. 16 Princip hořáku s transferovým Obloukem [1]

2. Hořáky s netransférovým obloukem

Princip je dán schématem na obr. 17. Tento hořák se používá zejména pro řezání neželezných kovů. I při řezání tímto hořákem vzniká značné množství kouře, prachu a UV záření. Anodu tvoří těleso hořáku. [1]

- 1 - obrobek
- 2 - katoda (-)
- 3 - plyn
- 4 - těleso hořáku - anoda (+)
- 5 - plasma
- 6 - chlazení hořáku

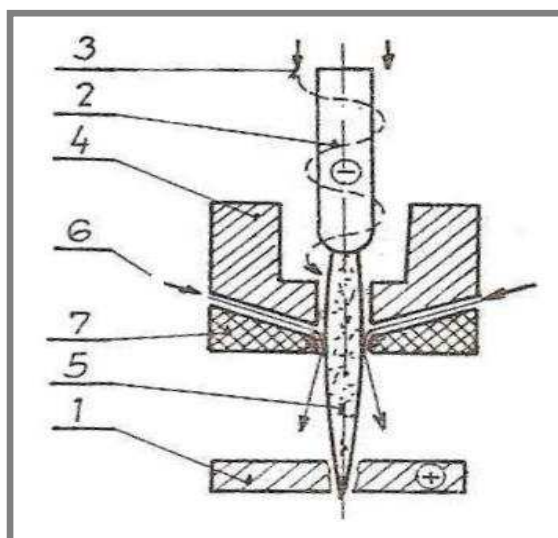


Obr. 17 Princip hořáku s netransferovým Obloukem [1]

3. Hořáky se vstřikováním vody

Princip je dán schématem na obr. 18. Tyto hořáky jsou principem podobné hořákům s transferovým obloukem, jen s tím rozdílem, že se do plazmového paprsku vstřikuje přídatnými otvory voda, a zvyšuje se tak trvanlivost trysky. Řezání probíhá většinou pod vodou, a tím se snižuje množství prachu, kouře a UV záření. Tento hořák je vhodný pro řezání jak konstrukčních, tak i vysoce legovaných ocelí, titanu, mědi, hliníku apod. Tento systém bývá označován jako Hydrotherm. [1]

- 1 - obrobek
- 2 - katoda (-)
- 3 - plyn
- 4 - těleso hořáku
- 5 - plasma
- 6 - přívod vody
- 7 - keramika



Obr. 18 Princip hořáku s netransferovým obloukem [1]

Základní technické a dosažitelné parametry:

- maximální tloušťka materiálu až 200 mm,
- proudokolo 600 A,
- napětí okolo 160 V,
- průměr paprsku..... okolo 5 mm.

2.7.3 Výhody a nevýhody

Výhody:

- velké řezné rychlosti,
- nízká pořizovací cena (oproti laseru),
- oproti řezání kyslíkem není nutný předhřev,
- velké tloušťky materiálů.

Nevýhody:

- zkosení řezné hrany (šířka řezu na vstupu a výstupu je jiná),
- špatná hygiena pracovního prostředí (vznik prach, hluku, UV záření),
- vzniká otřep.

2.8. Řezání vodním paprskem

Technologie je založena na využití abrazivních účinků vysokoenergetického kapalinového paprsku pro dělení materiálu. Patří do skupiny, která k dělení materiálu využívá mechanické principy. Vodní paprsek bývá využíván pro řezání tzv. studeným řezem (nulové pásmo tepelného ovlivnění).

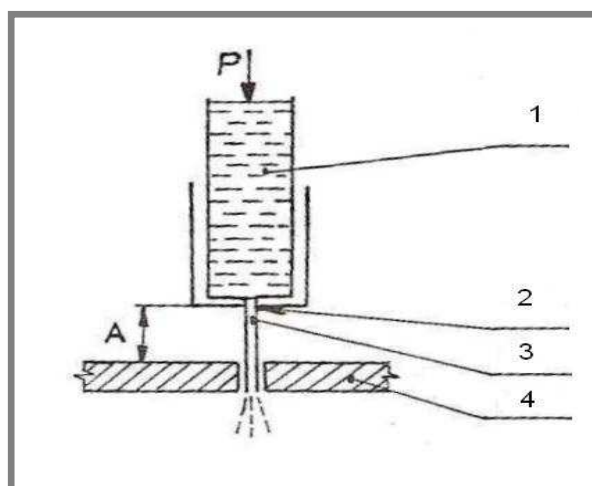
Technologie řezání vodním paprskem je používána ve dvou základních variantách:

1. Kapalinový vodní paprsek
2. Kapalinový vodní paprsek s abrazivní směsí

1. Kapalinový (vodní) paprsek

Základem stroje pro řezání vodním paprskem je vysokotlaké čerpadlo, které prostřednictvím multiplikátoru generuje tlak vody. Vysokotlakým vedením je voda dopravována k řezací hlavě, kde je systémem trysek (dýz) vytvořen vlastní „řezací nástroj“. I když jsou trysky vyráběny z velmi pevných materiálů, je životnost trysek při nadzvukové rychlosti kapaliny jen okolo 40 hodin. Tlak kapaliny je možné plynule regulovat. [1]

- 1 - voda
- 2 - průměr vodní trysky
- 3 - množství vody
- 4 - řezaný materiál



Obr. 19 princip řezání kapalinovým paprskem [1]

Základní parametry:

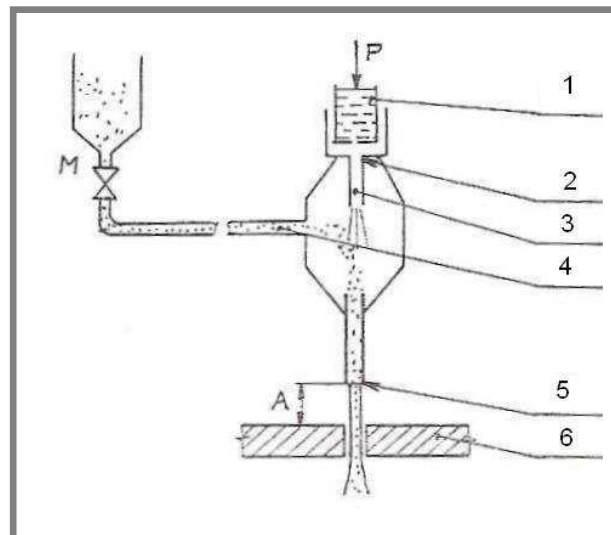
- pracovní tlak vody..... až 400 MPa,
- průměr vodní trysky..... max 0,3 mm,
- množství vodyokolo 26 l/hod.

Tato metoda se používá pro řezání materiálů menších tloušťek do 15 mm s možností řezat měkké materiály jako plasty, dřevo, gumu, korek, těsnění, potraviny apod.

2. Kapalinový (vodní) paprsek s abrazivní příměsí

Princip této metody je stejný jako v prvním případě, jen se do vodního paprsku přidávají abrazivní zrna, která zvětšují účinnost paprsku. Jako abraziva se používá nejčastěji granátový „písek“. Největší problém, který vzniká při této metodě řezání, je velmi krátká životnost trysky, jen okolo 8 hodin. A to i přesto, že je vyrobena z velmi tvrdých materiálů, jako jsou karbid wolframu, keramických materiálů na bázi korundu nebo z kubického nitridu bóru. [1]

- 1 - voda
- 2 - průměr vodní trysky
- 3 - množství vody
- 4 - abrazivo
- 5 - průměr výstupní trysky
- 6 - řezaný materiál



Obr. 20 Princip řezání kapalinovým paprskem s abrazivní příměsí [1]

Základní parametry:

- pracovní tlak vody..... 200 MPa,
- průměr vodní trysky.....přes 0,2 mm,
- množství vody okolo 45 l/hod,
- množství abraziva 0,2 - 1 kg/hod.

Tato metoda se používá pro řezání materiálů menších tloušťek do 150 mm, s možností řezat prakticky všechny známe materiály.

2.8.1 Výhody a nevýhody

Výhody:

- řez probíhá bez tepelného působení (max. ohřev cca 40 – 50 °C)
- možnost řezu jakýchkoli materiálů,
- možnost volby kvality řezu,
- při řezu nevznikají žádné ekologicky nevhodné zplodiny.

Nevýhody:

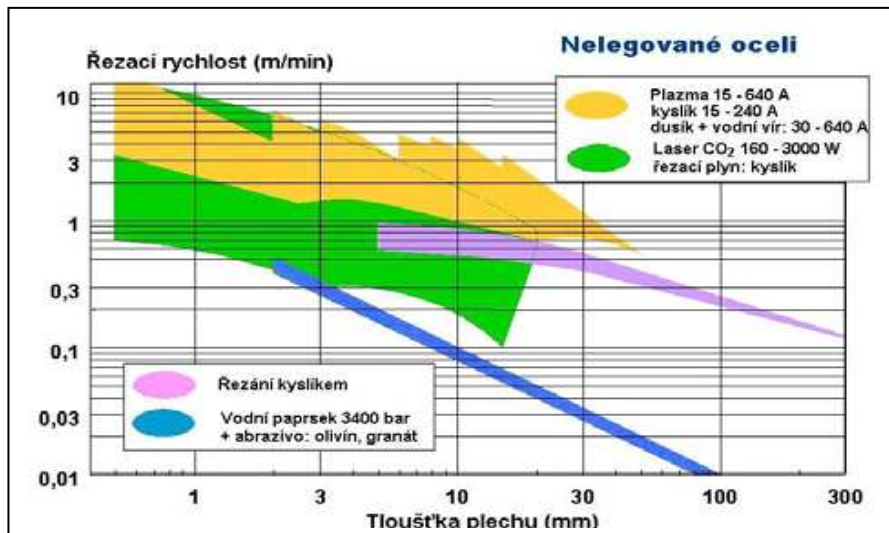
- nevyhnutelný kontakt s vodou a většinou i s abrazivním materiálem,
- při horších kvalitativních stupních řezu u silnějších materiálů dochází k deformaci kontury řezu ve spodní hraně vlivem tzv. výběhů paprsku.

3. POROVNÁNÍ NEKONVENČNÍCH METOD DĚLENÍ MATERIÁLŮ

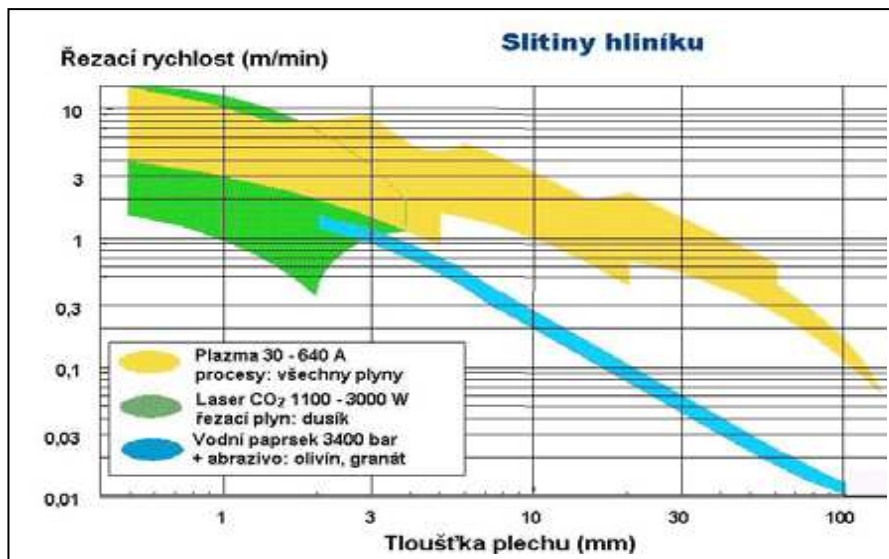
Nekonvenční metody dělení materiálů	možnost řezat materiály	tloušťka materiálu [mm]	úběr [$\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	náklady na 1 hodinu řezu - ceny bez DPH [Kč]
elektroerozivní řezání	pouze vodivé materiály	0,02 - 400	5 - 120	650 - 800
elektrokontaktní řezání	pouze vodivé materiály	nepodařilo se zjistit	až 18 000	nepodařilo se zjistit
anodomechanické řezání	pouze vodivé materiály	nepodařilo se zjistit	nepodařilo se zjistit	nepodařilo se zjistit
řezání laserem	vodivé i nevodivé materiály	do 25	30 - 500	2500 - 3000
řezání elektronovým paprskem	vodivé i nevodivé materiály	až 350	1500	nepodařilo se zjistit
řezání iontovým paprskem	vodivé i nevodivé materiály	nepodařilo se zjistit	nepodařilo se zjistit	nepodařilo se zjistit
řezání paprskem plazmy	vodivé i nevodivé materiály	až 200	500-1000	1200 - 1600
řezání plamenem	vodivé i nevodivé materiály	až 300	500 - 1000	200 - 300
řezání kapalinovým paprskem	vodivé i nevodivé materiály	až 100	15 - 100	2000 - 2200

Tab.1 Porovnání nekonvenčních metod dělení materiálu (Hodnoty v tabulce musíme brát jen jako orientační, protože záleží na druhu a tvaru řezaného materiálu)

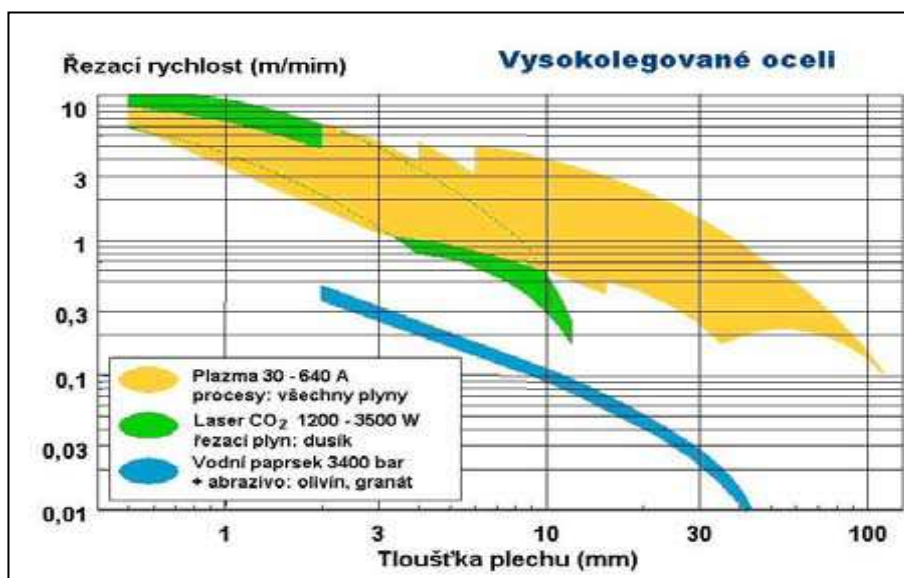
Pro porovnání jsou v grafech znázorněny různé metody dělení materiálu pro nelegované oceli, slitiny hliníku, legované oceli a jejich závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu. Z grafu je možno vyčíst, kdy je zvolená metoda výhodná a kdy nikoliv. Neboť čím menší řezací rychlost, tím delší čas, a tím také vyšší náklady.



Obr. 21 Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro nelegované oceli [8]



Obr. 22 Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro slitiny hliníku [8]



Obr. 23 Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro vysoce legované oceli [8]

ZÁVĚR

Tato práce podává komplexní přehled nekonvenčních technologií dělení materiálů. Z předchozího textu plyne, že nemůžeme prohlásit, že jedna nebo druhá metoda je lepší, protože každá má své klady, ale i zápory, kvůli kterým se používá. Každá z metod je použitelná jen pro určité materiály a tvary. Také musíme vzít v úvahu jakou pro dělený materiál potřebujeme jakost obráběného povrchu řezu, míru jeho tepelného ovlivnění atd. Obecně platí, že čím přesnější a jakostnější výrobek (řez), tím také dražší. U nekonvenčních metod dělení materiálů tomu není jinak.

Využití v praxi

1. Elektroerozivní řezání

Je využíváno zejména v oblasti výroby střížných a lisovacích nástrojů, šablon a mnohých dalších plochých součástí z kovových materiálů. Díky dostupné ceně a snadné programovatelnosti je nedílnou součástí každé menší firmy, která se zabývá strojírenskou výrobou .

2. Elektrokontaktní řezání

Je vhodné pro řezání těžce obrobitelných materiálů, odřezávání nálitků a vtoků ve slévárnách, opracování svarů. Používá se, když nám nezáleží na kvalitě řezu, ale jen na hrubém, rychlém odřezání materiálů.

3. Anodomechanické řezání

Řezání je používáno pro dělení obtížně dělitelných materiálů a SK. Konkurenční a podstatně dokonalejší metodou pro dělení SK je řezání diamantovým rozbrušovacím kotoučem.

4. Řezání laserem

Je vhodné pro velmi kvalitní řezy vysokými rychlostmi a bez deformace materiálu, ovšem s omezením tloušťky materiálu. Velmi často se také používá při řezání křehkých nevodivých materiálů. Řezání laserem v některých případech nahrazuje stříhání.

5. Řezání elektronovým paprskem

Tato metoda je využívána zejména v leteckém a kosmickém průmyslu a v oblasti technologie výroby polovodičů a mikroelektronických prvků.

6. Řezání plamenem

Řezání kyslíkem je ve výrobě ocelových konstrukcí vzhledem k různorodým tloušťkám materiálu a převážně zpracovávaným nelegovaným ocelím nepostradatelnou metodou přípravy materiálu a odstraňování vad ve svarech. K tomu přispívají také relativně akceptovatelné investiční náklady.

7. Řezání paprskem plasmy

Plasmové řezání zajistí vysokou produktivitu přípravy materiálu, a to jak nelegovaných, tak vysoce legovaných ocelí a slitin Al (hliníku), zejména však menších až středních tlouštěk. Investiční náročnost je jen o málo vyšší než

technologie řezání kyslíkem. Běžná je konstrukce řezacích strojů kombinujících obě tyto technologie.

8. Řezání kapalinovým paprskem

Tato metoda se používá u materiálů, které nejdou z některých důvodů dělit laserem. „Studený“ řez umožňuje řezání všech materiálů citlivých na teplotu, např. izolačních materiálů, u kterých při řezání laserem vznikají nežádoucí vodivé vrstvy výbušných hmot, materiálů citlivých na oxidaci a kovových materiálů s vysokou tepelnou vodivostí.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň: ZČV Plzeň, 1994. 102 s. ISBN: 80-7082-161-2
- [2] AMBROŽ, O., KANDUS, B., KUBÍČEK, J. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: Vydavatelství ZEROSS, 2001. 393 s. ISBN80-85 771-81-0
- [3] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*. Ostrava: Vydavatelství ČVUT, 1989.122 s. ISBN
- [4] NOVOTNÝ, J., DUNOVSKÝ, J., DUBENSKÝ, R. *Progresivní metody svařování a tepelného dělení materiálu*. Praha: Vydavatelství Technické literatury, 1986. 76 s. ISBN
- [5] MINAŘÍK, V. *Tepelné dělení materiálu*. Ostrava: Vydavatelství ČVUT, 1993.49 s. ISBN 80-01-01028-7
- [6] MM průmyslové spectrum, [online], [Cit. 2008-3-14]
Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/> >
- [7] Laserové dělení materiálu, [online], [Cit. 2008-3-10]
Dostupné z: < <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>>
- [8] Kriteria metody a trendy tepelného dělení materiálu, [online], [Cit. 2008-3-1]
Dostupné z:
< <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/roubicek49122.pdf>>
- [9] Dělení materiálu CHPS s.r.o., [online], [Cit. 2008-3-12]
Dostupné z: < <http://www.chps.cz/>>

5. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1- Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [6]
Obr. 2- Stroj pro elektroerozivní drátovou elektrodu [6]
Obr. 3- Pracovní prostor stroje [6]
Obr. 4- Příklady výrobků – řezání drátovou elektrodou [6]
Obr. 5- Princip stroje pro elektrokotáční dělení materiálů [6]
Obr. 7- Princip anodomechanického dělení materiálu [6]
Obr. 8- Schéma princip laseru [6]
Obr. 9- Zařízení pro řezání laserem [1]
Obr. 10- Příklady výrobků – řezání laserem [9]
Obr. 11- Příklady výrobků řezání laserem [9]
Obr. 12- Pracovní prostor stroje [8]
Obr. 13- Stroj pro řezání laserem [9]
Obr. 14- Princip řezání plamenem [2]
Obr. 15- Princip řezání elektronovým paprskem [1]
Obr. 16- Princip hořáku s transferovým obloukem [1]
Obr. 17- Princip hořáku s netransferovým obloukem [1]
Obr. 18- Princip hořáku s netransferovým obloukem [1]
Obr. 19- princip řezání kapalinovým paprskem [1]
Obr. 20- Princip řezání kapalinovým paprskem s abrazivní příměsí [1]
Obr. 21- Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro nelegované oceli [8]
Obr. 22- Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro slitiny hliníku [8]
Obr. 23- Závislost řezné rychlosti na tloušťce plechu pro vysocelegované oceli [8]

6. SEZNAM TABULEK

Tab.1 Porovnání nekonvenčních metod dělení materiálu