

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie - technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti obrábění v oblasti přípravy polotovaru

Autor: **Jan Adam**

Vedoucí práce: **Ing. Jan Matějka**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ADAM**
Osobní číslo: **S14B0004K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu: **Možnosti obrábění v oblasti přípravy polotovaru**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Druhy konvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru
3. Druhy nekonvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru
4. Srovnání možností využití konvenčního a nekonvenčního obrábění
5. Porovnání metod přípravy polotovaru na vybraném spektru součástí
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **MORÁVEK, R.** Nekonvenční metody obrábění. Plzeň: ZČU, 1999
- **BARCAL J.** Nekonvenční metody obrábění. Praha: ČVUT, 1989
- **ONDRA, J., NOVÁK, Z.** Vývojové trendy v technologii obrábění. Brno: VA, 2002
- **KARAFIÁTOVÁ, S., LANGER, I.** Nekonvenční technologie. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998
- **KOCMAN, K.** Speciální technologie obrábění. Brno: PC-DIR, 1993
- **PÍŠKA, M., a KOL.** Speciální technologie obrábění. Brno: CERM, 2009
- **PETRUŽELKA, J.** Tvařitelnost a nekonvenční metody obrábění. Ostrava: VŠB-TU, 2000

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Matějka**
Katedra technologie obrábění
Konzultant bakalářské práce: **Jan Matějka**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2014

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi pomohli při realizaci této práce, zejména vedoucímu bakalářské práce a konzultantovi Ing. Janu Matějkovi za cenné rady a připomínky.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Adam	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Matějka	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Možnosti obrábění v oblasti přípravy polotovaru		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	41	TEXTOVÁ ČÁST	41	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá možnostmi obrábění v oblasti přípravy polotovaru. Teoretická část obsahuje popis konvenčních a nekonvenčních metod obrábění. Praktická část obsahuje srovnání možností na vyrobeném dílu. V závěru bakalářské práce jsou všechny poznatky shrnuty do vytvořené srovnávací tabulky.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>metody obrábění, konvenční, nekonvenční, srovnání</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Jan	Name Adam	
FIELD OF STUDY	B2301 “Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Matějka	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Options of machining in preparation of semi product		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Department Of Machining Technology	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	41	TEXT PART	41	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This Bachelor work deal with options of machining in preparation of semi product. Theoretical part contains describe conventional and nonconventional methods of machining. Practical part contains comparison of options on manufactured part. In the end of Bachelor work are all of my findings summary to comparative table.
KEY WORDS	options of machining, conventional, nonconventional, comparison

Obsah

1 Úvod	10
2 Druhy konvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru.....	11
2.1 Konvenční obrábění	11
2.2 Použití konvenčních metod.....	11
2.3 Metody konvenčního obrábění při přípravě polotovaru	11
2.3.1 Soustružení.....	11
2.3.2 Frézování.....	13
2.3.3 Řezání strojní pilou – pilovým pásem	14
2.3.4 Řezání strojní pilou – pilovým kotoučem	15
3 Druhy nekonvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru.....	15
3.1 Problematika v přípravě polotovaru.....	15
3.2 Nekonvenční metody obrábění	15
3.3 Omezení nekonvenčních metod obrábění	16
3.4 Vývoj nekonvenčních metod obrábění	16
3.5 Základní rozdělení nekonvenčních metod obrábění podle fyzikálního principu.....	16
3.6 Metody nekonvenčního obrábění v přípravě polotovaru.....	17
3.6.1 Elektroerozivní drátové řezání	17
3.6.2 Obrábění paprskem laseru.....	18
3.6.3 Dělení materiálu paprskem plasmu.....	25
3.6.4 Dělení materiálu kapalinovým paprskem	27
3.6.5 Dělení materiálu plamenem	31
4 Porovnání metod přípravy polotovaru na vybraném spektru součásti	32
4.1 Návrh polotovaru	32
4.2 Výběr technologie	33
4.3 Použití technologie na polotovaru	33
5 Srovnání možností využití konvenčního a nekonvenčního obrábění.....	38
5.1 Srovnávací tabulka.....	38
6. Závěr.....	40
Knižní publikace	41
Publikace na internetu	41

Použité zkratky

CNC – číslicově řízený počítačem

Laser - zesílení světla pomocí vynucené emise záření

ČSN – česká technická norma

VKP – vysokotlaký kapalinový paprsek

UV – ultrafialové záření

ISO – mezinárodní technická norma

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je porovnání nekonvenčních a konvenčních možností obrábění při přípravě polotovaru pro strojírenskou výrobu. Polotovar je prvovýrobek, který slouží pro další postup při výrobě součásti. Podle vyráběné součásti je nutné, aby splňoval určité parametry, které jsou zadány na výkrese, nebo všeobecně vyžadovány. Mezi hlavní požadavky při výrobě polotovaru patří nejčastěji jakost povrchu, která má rozhodující vliv zejména u výrobků, u kterých se již dále povrch nebude obrábět. Dalším důležitým parametrem je drsnost, která je požadována na výkrese. V tomto případě musíme zvolit vhodnou technologii pro přípravu polotovaru, s ohledem na to, zda bude součást dále nějakým způsobem obráběna, a nebo postačí drsnost zvolené technologie. Vybraná technologie je dále ovlivněna materiálem součásti, pro kterou má být polotovar připraven. Každý materiál má své specifické vlastnosti, které získá při své výrobě například legováním, tvářením, a nebo často využívanou povrchovou úpravou. V neposlední řadě má rozhodující vliv zejména ekonomické hledisko, zvažující poměr mezi cenou a kvalitou. Pro výrobu přesnějších polotovarů jsou využívány méně dostupné a technicky náročnější technologie, tudíž i jejich cena je v porovnání s technologicky méně náročnou přípravou dražší. V úvahu je však nutno vzít i to, že u technologicky méně náročné přípravy je dále využíváno větší množství nástrojů pro dosažení požadované přesnosti, což má také nepříznivý vliv na konečnou cenu přípravy polotovaru. V bakalářské práci jsem nejprve teoreticky popsal veškeré konvenční i nekonvenční metody obrábění. V další části jsem se snažil doplnit práci o praktickou část, ve které jsem aplikoval konvenční i nekonvenční metody na reálnou součást. U součásti jsem následně vyhodnotil všechny parametry dané technologií výroby. Na konec své práce jsem vytvořil závěr a shrnul všechny metody dohromady a vytvořil srovnávací tabulku pro výběr nejvhodnější metody pro aplikaci na další polotovar.

2 Druhy konvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru

2.1 Konvenční obrábění

Pod pojmem konvenční metody obrábění si můžeme představit metody obrábění, při kterých je využíváno silové působení mechanické práce, za vzniku třísky.

2.2 Použití konvenčních metod

Konvenční metody obrábění používáme nejčastěji u součástí, které nejsou tvarově složité a tam, kde nám nevadí třískové obrábění. Využití těchto metod však nejvíce ovlivňují materiálové vlastnosti, jako je obrobitelnost, tvrdost a pevnost.

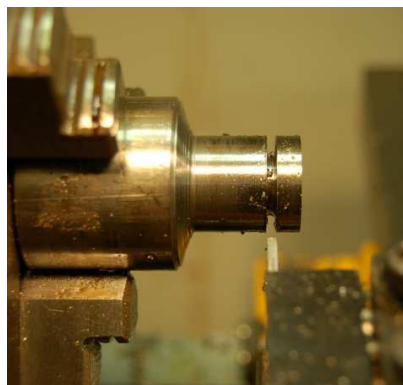
2.3 Metody konvenčního obrábění při přípravě polotovaru

2.3.1 Soustružení

Soustružení je jedna ze základních metod konvenčního obrábění. Používá se pro obrábění rotačních tvarů za použití jednobřítých nástrojů. Soustružením můžeme obrábět vnitřní i vnější plochy a to válcové, kuželové, tvarové ale i čelní. Obrábění se provádí na soustruhu, který může být v různých provedeních. Obrobek se upíná do sklíčidla a rotuje. Nástroj je upnut do nožové hlavy. Obrábění koná jednobřítý nástroj, který může být řízen ručně, nebo převážně CNC systémem. Soustružením lze dosáhnout přesnosti IT8 až IT7 a drsnosti $Ra=1,6$. Největší výhodou této metody je jednoduchý nástroj a stroj, nevýhodou je však menší produktivita.

Soustružení – upichování

Upichování je jednou z několika operací, které lze na soustruhu provést. Hlavní využití upichování nalezneme v případě dělení materiálu. Tento způsob lze využít po dokončení předchozích operací ale také pro přípravu polotovaru. Při upichování se používá upichovací nůž, který koná radiální přísuv do osy obrobku. Když nástroj dojde do osy obrobku, dojde k rozdělení materiálu tzv. upíchnutí.



obr.1 – soustružení upichovacím nožem

Upichovací nůž

Jedná se o jednobřítý soustružnický nůž využívaný k upichování po dokončení předchozích operací, nebo pro přípravu polotovaru. Upichovací nůž má svůj charakteristický tvar úzkého ostří, aby netvořil příliš mnoho třísky. Nůž lze vyrábět jako monolitní nástroj z rychlořezné oceli ale také jako nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou. Další možností je zavedení vnitřního chlazení pro odvod třísek a ochlazení nástroje. Nože mají nejčastěji tangenciální upnutí, kdy se svým tvarem neliší od radiálních. Rozdíl je pouze v posuvu, kdy se tangenciální nůž posouvá tečně k obrobku. Jako náhradu soustružnického nože lze pro upichování větších průměrů využít upichovací planžetu, která má nastavitelné vysunutí nástroje pro maximální tuhost.



obr.2 – upichovací nůž



Obr. 2a – upichovací planžeta

2.3.2 Frézování

Frézování je jedna ze základních konvenčních metod obrábění. Při obrábění se používá vícebřítý nástroj – fréza. Fréza koná u všech druhů frézování rotační pohyb. Frézováním můžeme obrábět jak rovinné, tak tvarové, vnitřní a vnější plochy. Obrábět můžeme na strojích hned několika typů, v závislosti na okolních požadavcích. Obrobek se upíná do svěráků a upínek. Nástroj je upnutý ve vřetení a rotuje. Obrábění koná vícebřítý nástroj, který může být řízen ručně, nebo převážně CNC systémem. Nástroj se může otáčet ve dvou směrech dle metody obrábění. První metodou je nesousledné obrábění, kdy nástroj rotuje proti směru posuvu a zabírá třísku od minima do maxima. V druhém případě nástroj rotuje ve směru posuvu a zabírá třísku od maxima do minima. Frézováním lze dosáhnout přesnosti IT8 až IT7 a drsnosti okolo $Ra=1,6$. Největší výhodou této metody je vysoká produktivita, velká přesnost a kvalita obrobenej plochy. Nevýhodou je však dražší stroj, složitější nástroj a jeho údržba.

Frézování – dělení materiálu kotoučovou frézou

Tento způsob lze využít pro frézování dlouhých a hlubokých drážek, ale také pro přípravu polotovaru. Při dělení materiálu se používá kotoučová fréza, která po projetí zadané dráhy připraví polotovar. Při frézování se používají vodorovné frézky, které mají vodorovné vřetení, do kterého je nastrčený trn s kotoučovou frézou.



obr.3 – dělení materiálu kotoučovou frézou

Kotoučová fréza

Jedná se o vícebřítý nástroj využívaný pro frézování dlouhých a hlubokých drážek, ale také pro přípravu polotovaru. Kotoučová fréza má svůj charakteristický kotoučový tvar s několika zuby po obvodu. Frézu lze vyrábět jako monolitní nástroj z rychlořezné oceli s podsoustruženými, nebo frézovanými zuby, ale také jako nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou. Další možností je zavedení vnitřního chlazení pro odvod třísek a ochlazení nástroje.



obr.4 – kotoučová fréza

2.3.3 Řezání strojní pilou – pilovým pásem

Strojní pilou s pilovým pásem lze dělit materiály rotačního i nerotačního tvaru a téměř všech druhů materiálu jako je ocel, dřevo, plast atd. Pásovou pilu můžeme najít v horizontálním, nebo vertikálním provedení. Horizontální provedení se používá pro řezání plných profilů, kdyzto vertikální slouží především pro řezání určitých tvarů. Jako nástroj slouží pilový pás určité šířky a tloušťky dle řezaného polotovaru, který obíhá na dvou vodících kolech, z nichž jedno je hnací a druhé hnané. Pod pilový pás je přiváděna chladící kapalina, pro odvod třísky a chlazení nástroje, což zaručuje přesnost řezu $\pm 0,2\text{mm}$. Polotovar se upíná ručně do svěráku, nebo je přiváděn podavačem materiálu. Výhodou je možnost automatického řízení, avšak největší nevýhodou je prořez materiálu a nedosažení kolmosti čel polotovaru.



obr.5 – strojní pila s pilovým pásem

2.3.4 Řezání strojní pilou – pilovým kotoučem

Stojní pila s pilovým kotoučem je obdobou předchozí pily s pilovým pásem. Hlavní rozdíl je zde v nástroji. Nástroj má tvar kotouče se zuby na obvodu. Ostří je tvořeno z rychlořezné oceli, nebo pomocí vyměnitelných břitových destiček. Přesnost řezu je shodná jako u pilového pásu +/-0,2mm. Výhodou této pily je větší produktivita než v předchozím případě a zajištění kolmosti čel polotovaru.



obr.6 – strojní pila s pilovým kotoučem

3 Druhy nekonvenčního obrábění v oblasti přípravy polotovaru

3.1 Problematika v přípravě polotovaru

Klasickou přípravu polotovaru za použití konvenčních metod, kdy při oddělování materiálu řezáním vzniká tříška, není vždy vhodné, nebo dokonce možné použít a to hned z několika důvodů. Mezi hlavní důvody patří obrobitelnost materiálu, produktivita práce, tvarová složitost atd. V případě těžkoobrobitelných materiálů nelze konvenčních metod využít vůbec, nebo jen s obtížemi. Právě v těchto případech je vhodné použít nekonvenčních metod obrábění pro přípravu polotovaru. [1]

3.2 Nekonvenční metody obrábění

Pod pojmem nekonvenční metody obrábění si můžeme představit metody obrábění, které se liší od klasického konvenčního tím, že zde není využívána mechanická práce pro odebrání materiálu. Materiál je zde odebrán za pomoci tepelných, elektrických, chemických, ultrazvukových a abrazivních fyzikálních jevů, nebo jejich kombinací při téměř bezsilovém působení na polotovar, za vzniku nulové třísky.[1]

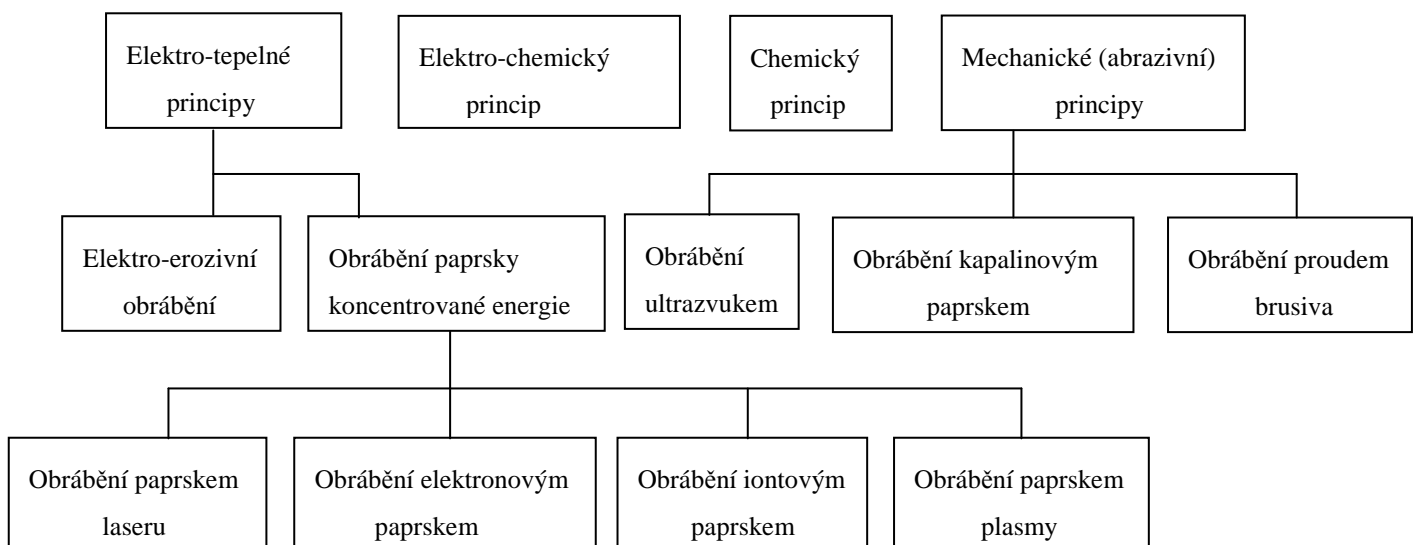
3.3 Omezení nekonvenčních metod obrábění

Nekonvenční metody obrábění nejsou na rozdíl od klasických konvenčních metod ovlivněny vlastnostmi obrobitelnosti materiálu, mezi které patří mechanické vlastnosti, jako je tvrdost a pevnost materiálu. Obrobitelnost je u nekonvenčních metod však ovlivněna spíše vlastnostmi fyzikálního charakteru jako je například tepelná vodivost, teplota tavení, elektrická vodivost, elektroerozivní odolnost, chemické složení a podobně.[1]

3.4 Vývoj nekonvenčních metod obrábění

Tak jako u většiny technických oborů, tak i u vývoje konvenčních metod obrábění měli hlavní význam zbrojní a kosmický průmysl, kde byly, tyto technologie hojně využívány pro obrábění obtížně obrobitelných nových materiálů a tvarově složitých součástí. Právě do tohoto odvětví byly soustřeďovány jak finanční tak vědeckovýzkumné prostředky, které měli za úkol vyvíjet a zavádět tyto nové metody do výrobních procesů. Postupem času se tyto nekonvenční metody dostaly do běžných strojírenských odvětví, kde jsou dále vyvíjeny a hojně používány.[1]

3.5 Základní rozdělení nekonvenčních metod obrábění podle fyzikálního principu

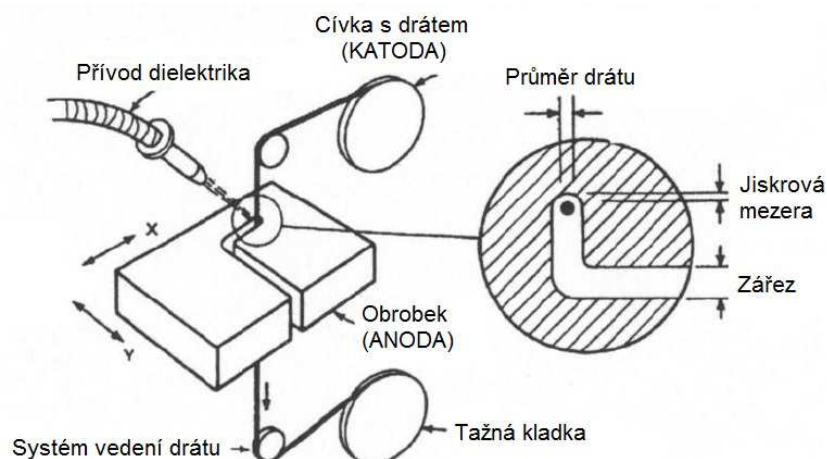


obr.7 – rozdělení konvenčních a nekonvenčních metod [1]

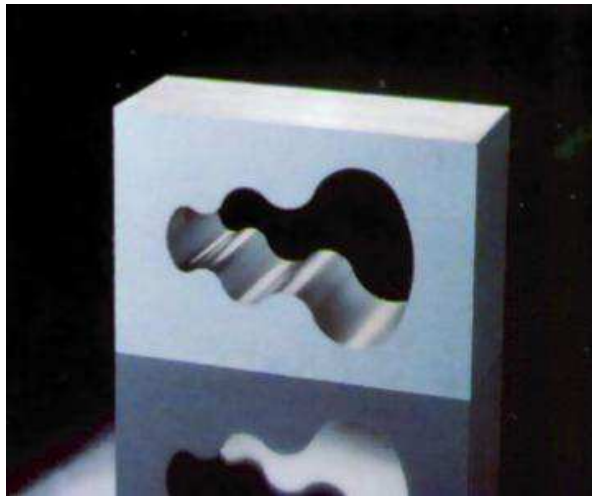
3.6 Metody nekonvenčního obrábění v přípravě polotovaru

3.6.1 Elektroerozivní drátové řezání

Elektroerozivní drátové řezání patří mezi jednu z nejpoužívanějších metod nekonvenčního obrábění při přípravě polotovaru a to hlavně ve strojírenských odvětvích, kde se používají ploché polotovary jako například při výrobě střížných a lisovacích nástrojů. Elektroerozivním obráběním lze opracovávat pouze elektricky vodivé materiály. Hlavním principem elektroerozivní metody jsou elektrické výboje, které probíhají mezi elektrodou, tvořenou drátem, který je navíjen z cívky a materiálem polotovaru, který při připojení na generátor, vytváří elektrodu opačné polarity, než odvíjený drát. Elektrický výboj mezi polotovarem a drátem, který je vedený CNC systémem, vytvoří předem naprogramovaný řez požadovaného tvaru. Vše je prováděno v prostředí dielektrika. Jako dielektrikum se nejčastěji používá strojí olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika dodávaná výrobcem strojů. Metoda umožňuje vyrábět plochy mající přímku jako tvořící křivku. Nástrojovou elektrodu tvoří tenký drát. Aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení, odvíjí se pomocí speciálního napínacího mechanismu. Drát je většinou měděný, pro větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy molybdenový o průměru 0,03 až 0,07 mm. Nástrojová elektroda tvořená drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru a ve spojení s vhodným řídicím systémem je možné přesně obrábět i velmi složité tvary. Systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke svislé ose v rozsahu $\pm 30^\circ$. Požadavky na drátovou elektrodu jsou jedny z nejdůležitějších faktorů pro správnou funkčnost elektroerozivního drátového obrábění. Elektroda musí splňovat úzké tolerance průměru a kruhovitosti, na kterých závisí přesnost řezání, velkou mechanickou pevnost a odolnost proti přetržení, vysokou elektrickou vodivost a řádné napnutí vodičného drátu. Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu na počátku práce do vyvrtané díry a adaptivním řízením.[2]



obr.8 – schéma elektroerozivního drátového řezání



Obr.9 -příklad výrobku

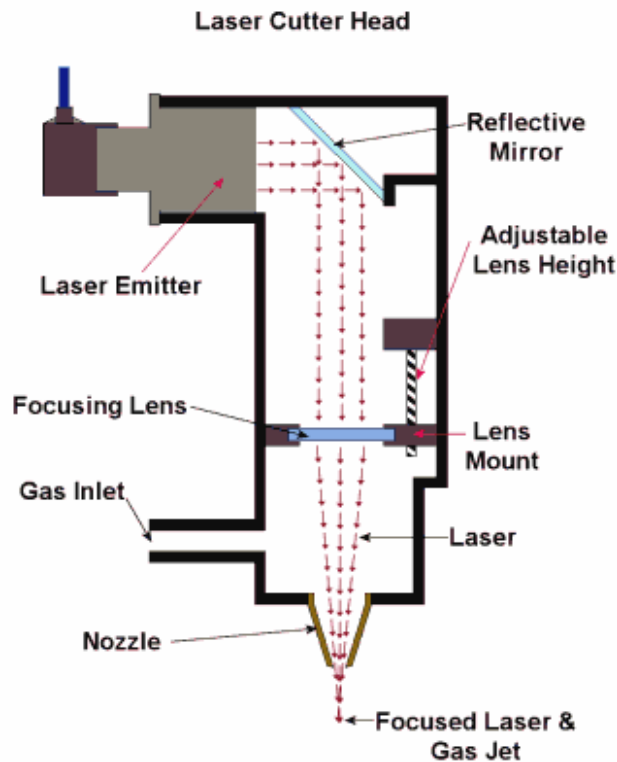
Dosahované parametry

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností a spolehlivostí CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika. Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout: maximálního úběru materiálu 35 až 200 mm².min⁻¹;rovnoběžnosti řezu do 2 μm na 100 mm;jakosti obrobeného povrchu Ra = 0,15 až 0,3 μm;přesnost rozměrů a tvaru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje:při kolísání teploty ±3 °C je přesnost 4 μm;při kolísání teploty ±1 °C je odchylka 1 μm;maximální tloušťka řezaného materiálu dosahuje 400 mm.[2]

3.6.2 Obrábění paprskem laseru

Princip laseru

Laser byl objeven ve druhé polovině 20. Století na základě výzkumu mikrovln. Zkratka jeho názvu L-A-S-E-R vychází z anglických slov Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation (zesílení světla pomocí vynucené emise záření). V aktivní látce dojde energií například ve formě elektromagnetického vlnění k buzení atomů. Látka se snaží snížit svou energetickou hodnotu, a proto vytvoří monochromatické koherentní záření, které je následně ovládáno soustavou optických čoček a zrcadel. Výsledkem této optické soustavy je zesílený světelný paprsek laseru, který při dopadu na obrobek mění energii paprsku na tepelnou energii. Nejčastěji používané jsou lasery s vlnovou délkou 0,4-10,6 μm. Paprsek je soustředěn do průměru 0,05-0,25mm a hustota energie v tomto průměru je větší než 10⁸W.cm⁻² což způsobuje, že teplota v místě dopadu na obrobek, dosahuje až 25.10³ °C. Laser uvolňuje svou energii buď v kontinuálním, nebo pulsním režimu. Pulsní režim dokáže obrábět i materiály s velkou odrazivostí.[1]



obr. 10 – Laserová řezací hlava

Rozdělení laseru podle použití aktivní látky

Plynové lasery

Aktivní prostředí plynového laseru je v plynné fázi, tyto lasery pracují v kontinuálním i pulzním režimu. Do této skupiny patří helium-neonový laser, měďný laser, jódový laser, argonový laser, helium-kadmiový laser, vodíkový laser, dusíkový laser, excimerové lasery a CO₂ lasery. Z uvedených laserů se helium-neonový laser používá např. v měřicí technice. V technologii opracování materiálů se používají především CO₂ lasery (obr. 1) pro řezání a svařování a excimerové lasery pro popisování, mikroobrábění keramických materiálů, obrábění diamantu, čištění povrchů strojních součástí i uměleckých děl (obr. 2) a vrtání děr od průměru 10 μm. [4]

Pevnolátkové lasery

Aktivním prostředím je pevná látka, nejčastěji monokrystal. Buzení je nejčastěji optické, a to buď výbojkami, nebo laserovými diodami. Typickým představitelem je Nd:YAG laser, kde prostředí tvoří monokrystal yttrium-aluminium-granátu dopovaného atomy neodymu. Nd:YAG laser se v průmyslu používá hlavně pro laserové řezání, značení a svařování.[4]

Vláknové lasery

Jedná se o speciální typ pevnolátkových laserů, kde aktivní prostředí tvoří optické vlákno dopované atomy erbia (Er) nebo ytterbia (Yr). Buzení probíhá pomocí laserových diod, jejich záření je do aktivního vlákna přivedeno opět optickým vláknem. Jedná se o tzv. vlákno-vlákno architekturu a laser díky tomu neobsahuje žádné optomechanické prvky jako zrcadla apod. Výkony dnes dosahují až 40 kW. V dnešní době jde o nejmodernější technologii pro průmyslové řezání, svařování a značení a podíl vláknových laserů na trhu neustále stoupá.[4]

Kontinuální a pulzní lasery

Další možné dělení laserů je podle typu výstupního svazku na kontinuální (CW) a pulzní lasery. CW laser generuje souvislý výstupní výkon (v průmyslu se využívá zejména pro řezání, kalení,...), pulzní laser naopak generuje laserové pulzy. Pulzní lasery se dále dělí podle způsobu, jakým je pulz generován. V průmyslu je nejčastěji používáno tzv. Q-spínání, kdy laser generuje pulzy s délkou v řádu ns (zejména pro značení, gravírování) nebo pomocí pulzního buzení (např. výbojkami) s pulzy v řádech ms (pro laserové svařování). Speciální třídou jsou pak tzv. ultrarychlé lasery, které generují pulzy v řádech ps a fs (až 10-15 s!), jež nejsou v průmyslu zatím příliš rozšířeny kvůli jejich ceně, nicméně jsou do budoucna ideální pro mikroobráběcí aplikace. [4]

Lasery pracující na principu kovových par

V průmyslu se používají také lasery pracující na principu kovových par vzácných prvků. Jde např. o lasery pracující na principu Cu par. Produkují záření o výstupním výkonu 120 W, o vlnové délce 510,6 a 578,2 nm, frekvence pulzů je 30 kHz, délka pulzu 20 až 50 ns, špičkový výkon v pulzu nad 100 kW. Typické aplikace použití laserů pracujících na principu kovových par jsou: vrtání děr o průměru 50 až 200 μm , řezání fólií, křemíkových desek a vytváření hustých mřížek. Drsnost stěn vyvrtané díry je 1 až 2 μm , rychlost vrtání velká a tepelné ovlivnění okolního materiálu díry malé.[4]

Studené mikroobrábění

V poslední době se začínají také používat tzv. ultrarychlé (ultrafast) lasery s velmi krátkými pulzy (~ps až fs), které jsou vhodné pro tzv. studené mikroobrábění, neboť díky takto krátkým pulzům nevzniká v materiálu tepelně ovlivněná zóna. [6]

Vlnová délka záření laseru

Pro účinnou aplikaci laserového systému je důležitá volba vlnové délky záření laseru, která podstatně ovlivňuje pohltivost záření materiálem obrobku, na níž jsou závislé ostatní pracovní parametry (pracovní rychlost, tepelné ovlivnění řezu apod.). U většiny zařízení mají CO₂ lasery větší stopu paprsku a tím i menší hustotu energie paprsku než lasery vláknové (tj. pevnolátkové). Je to dáno především vlnovou délkou záření. Při řezání dřeva, plastů, kompozitních materiálů, skla, textilu nebo papíru je nutné použít CO₂ laser. U těchto materiálů není vlnová délka záření vláknových laserů prakticky vůbec pohlcována, proto zde jejich použití není vhodné. Při řezání kovových materiálů je naopak výhodné použít lasery s menší vlnovou délkou záření, která je těmito materiály více pohlcována. Při řezání vláknovými lasery se dosáhne výborných výsledků při menším výstupním výkonu laseru. Materiály na bázi železa je možné úspěšně řezat také Slab lasery. Neželezné a vzácné kovy lze dobře řezat pomocí vláknových laserů. Tento poznatek je důležité zvážit zejména při řezání slitin hliníku a slitin mědi.[7]

Způsoby laserového dělení materiálu

Nejpoužívanější lasery v tomto oboru jsou kontinuální CO₂ lasery se středním výkonem do 15 kW, kterými je možné vyřezávat otvory do nejmenšího průměru 5mm a dále 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.[3]

1. Laserové protavování

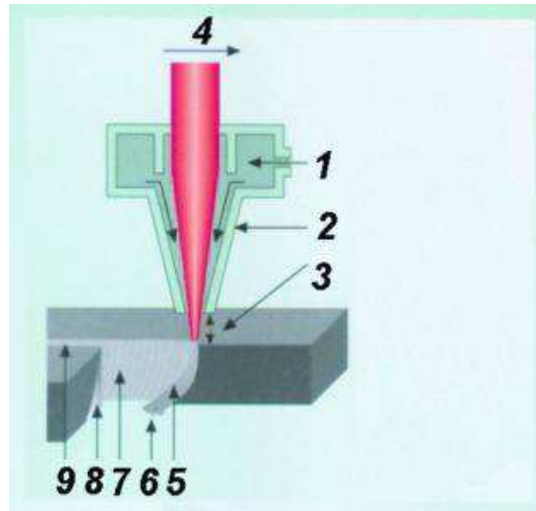
V místě zacílení paprsku dochází k ohřevu materiálu nad teplotu tavení. Materiál, který se roztaví, je ze spáry odstraněn proudem inertního plynu. Plyn je přiváděn do spáry pomocí trysky, která je vedena spolu s laserovým paprskem. Některé materiály mají však velkou tendenci k hoření, například PVC, plexisklo, polypropylen. U těchto materiálů je využíván jako ochranný plyn Argon, nebo Dusík, který plní ochranou funkci proti vznícení a opálení řezných hran. Metoda laserového protavování je charakteristická nízkou spotřebou energie na délku řezu a velkou řeznou rychlostí. Nevýhodou jsou však stopy po řezu a zbytky roztaveného kovu na spodní straně obrobku.[3]

2. Laserové sublimační řezání

Na rozdíl od laserového protavování je zde materiál ohříván na teplotu odpaření. Vzniklé páry z odpařování jsou z řezné spáry odváděny proudem inertního plynu, který je přiváděn tryskou. Výhodou této metody je úzká řezná spára a vysoká kvalita provedeného řezu. Spotřebovaná energie je zde naopak větší než u laserového protavování.[3]

3. Laserové pálení

V místě zacílení paprsku je materiál ohřátý na zápalnou teplotu a za pomoci přichozího aktivního plynu, nejčastěji kyslíku dochází k jeho spálení. Kyslík má vhodný oxidační účinek, kterým díky oxidaci sníží odrazivost materiálu a tím zvýší efektivnost laseru. Proces řezání je důsledek exotermické reakce materiálu s kyslíkem. [3]



obr.11 - Princip metody řezání laserem

1 - asistentní plyn, 2 - řezací tryska, 3 - pracovní vzdálenost trysky, 4 - rychlost, 5 - tavenina, 6 - odtavený materiál, 7 - stopy po paprsku laseru, 8 - tepelně ovlivněná oblast, 9 - šířka řezu

Mezi základní charakteristiky procesu řezání laserem patří:

rychlost řezání - závisí na způsobu řezání, výstupním výkonu paprsku laseru, požadované kvalitě řezu, tloušťce a druhu řezaného materiálu;

kvalita řezu - hodnotí se podle jakosti řezané plochy (dosahuje se Ra 3,6 až 12 mm) a tloušťky tepelně ovlivněné oblasti (bývá 0,05 až 0,2 mm);

šířka řezné spáry - je dána druhem laseru, druhem a tloušťkou řezaného materiálu (bývá 0,02 až 0,2 mm).

Využití laserů v obráběcích strojích

V oblasti aplikace laserových technologií na obráběcích strojích jsou zřejmé tři přístupy: využití stávajícího obráběcího stroje a jeho doplnění vhodným laserem - tato kombinace umožňuje provádět operace třískového obrábění i laserové technologie na jednom stroji, tedy na jedno upnutí obrobku; využití podstatné části obráběcího stroje (rámu a pracovních stolů, včetně řízení a pohonů) a doplnění laserem - toto uspořádání umožňuje provádění pouze laserových technologií; zařazení laseru do výrobní linky. Trendy v laserových strojích a technologiích směřují k získání možnosti provádět jedním laserem více technologií, např. mikrofrézování, leštění, kalení, vrtání malých děr atd. [4]

Kombinace laser a obráběcí stroj

V současné době je možné realizovat následující kombinace:

- 1) soustruh - obrábění s předehřevem (obrábění keramiky a ostatních těžkoobrobitelných materiálů);
- 2) soustruh - kalení, popisování, gravírování;
- 3) soustruh - výroba úzkých drážek, kalení, popis, odstraňování otřepů;
- 4) soustruh - nanášení materiálu metodou Rapid Prototyping (např. výroba osazeného pouzdra z polotovaru ve tvaru trubky);
- 5) frézka - kalení, mikrofrézování, popisování;
- 6) frézka - mikrofrézování, odstraňování otřepů, leštění, kalení;
- 7) frézka - frézování úzkých drážek, vrtání děr malého průměru;
- 8) frézka - popisování.



obr. 12. Obráběcí centrum MCVL 1000 s laserem

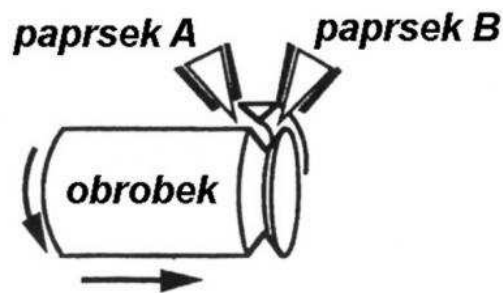
Soustružení laserem

Pro soustružení obrobků s využitím laseru se používají tři metody:

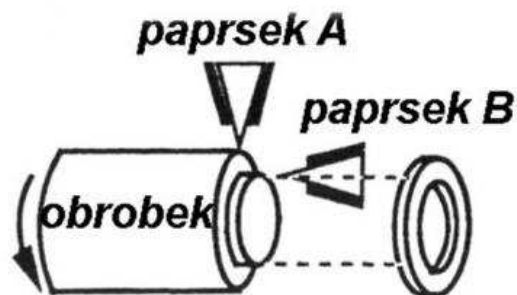
1) obrábění s předehřevem - vychází se z poznatku, že s rostoucí teplotou obráběného materiálu se mění jeho mechanické vlastnosti (snižuje se pevnost a tvrdost, a tím se zlepšuje obrobiteľnosť). Princip metody spočívá v nasměrování paprsku laseru na obráběnou plochu obrobku bezprostředně před břit řezného nástroje.

2) odtavování materiálu z povrchu obrobku - je založeno na intenzivním přívodu tepla na povrch obrobku, který se otáčí proti paprsku laseru. Působením tepla se materiál odtavuje a pomocí asistentního plynu je roztavený materiál odstraňován z místa obrábění.

3) odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru: dva nezávislé paprsky laseru jsou vzájemně skloněny pod určitým úhlem.[3]



obr. 13 - princip šroubovicového úběru materiálu



obr. 14 - princip prstencového úběru materiálu[3]

Pro soustružení se používají CO₂ i Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 500 až 2 500 W, resp. 100 až 500 W.

Frézování laserem

Při frézování se používají dva principy, popsané již u soustružení:

- 1) odtavování nebo odpařování materiálu z povrchu obrobku
- 2) odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru

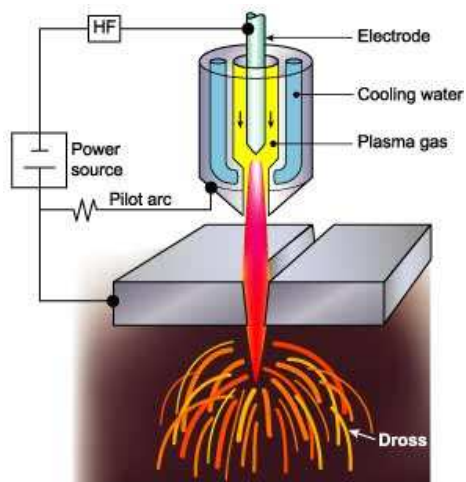


obr. 15. frézování laserem - malý úhel dopadu paprsku laseru[3]

Pro frézování se používají především CO₂ a Nd:YAG lasery o stejných výstupních výkonech jako pro soustružení. Pracovní parametry jsou při frézování stejné jako při řezání materiálů laserem.[3]

3.6.3 Dělení materiálu paprskem plasmy

Tato technologie byla objevena již v 50. letech 20. století. Postupem času však došlo k jejímu vývoji a zavedení pro širší rámec využití. Nejčastěji je však tato metoda využívána pro dělení materiálu. Princip plasmového dělení je založen na tavení řezaného materiálu teplotou vyšší než 10000°C. Mezi netavicí se elektrodou, která vytváří katodu a řezaným materiálem, který vytváří anodu, vzniká elektrický oblouk. V oblouku se rozkládají molekuly plynu a vzniká plasma. Plasma je plynný stav hmoty, který je zionizován a je tak velmi dobře vodivý pro elektrický proud. Plasma vychází vysokou rychlostí z hořáku a při dopadu na materiál ho roztaví a následně vytlačí svou kinetickou energií.[1]



obr. 16 – princip řezání paprskem plasmy

Použití plynů podle funkce

Plasmové plyny – vhání se přímo do oblouku, kde jsou následně ionizovány. Nejčastěji Ar, Ar+H₂, He, N₂

Fokusační plyny – usměrňují paprsek plasmatu za tryskou hořáku. Patří sem Ar, Ar+H₂, Ar+N₂, N₂

Ochranné plyny – hlavním úkolem těchto plynů je ochránit plasma před nežádoucími účinky atmosféry [1]

Rozdělení hořáků

a) Hořák s transférovým obloukem

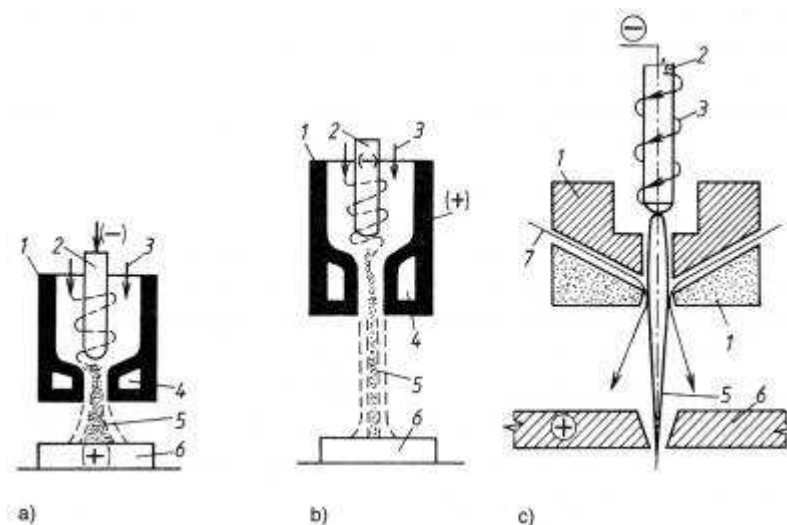
Základní hořák s katodou využívaný pro dělení zejména ušlechtilých ocelí a neželezných materiálů. Schéma na obrázku č. 17.[1]

b) Hořák s netransferovým obloukem

Nejvýznamnější rozdíl oproti hořáku s transférovým obloukem je ten, že anoda je tvořena tělesem hořáku. U obou způsobů provedení hořáku vzniká velké množství hluku, kouře, prachu a také UV záření.[1]

c) Hořák se vstřikováním vody

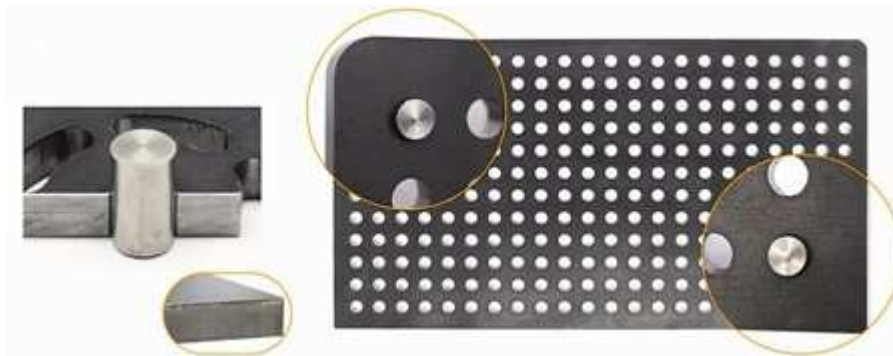
Hořák je vybaven přidavnými otvory pro vstřikování vody přímo do plasmového paprsku a zvyšuje tím trvanlivost trysky. Dělení materiálu probíhá ve vodní lázni, což oproti předchozím hořákům výrazně snižuje hlučnost, prašnost a UV záření. Hořák se nejčastěji používá pro řezání hliníku, vysoce legovaných ocelí, titanu, mědi ale i konstrukčních ocelí. Díky vodnímu chlazení dosahuje hořák vysokých řezných rychlostí. Tryska je nejčastěji vedena CNC systémem, který umožňuje vysokou úroveň automatizace.[1]



obr. 17 – rozdělení hořáků

Zdokonalené řezání drobných tvarů plazmatem

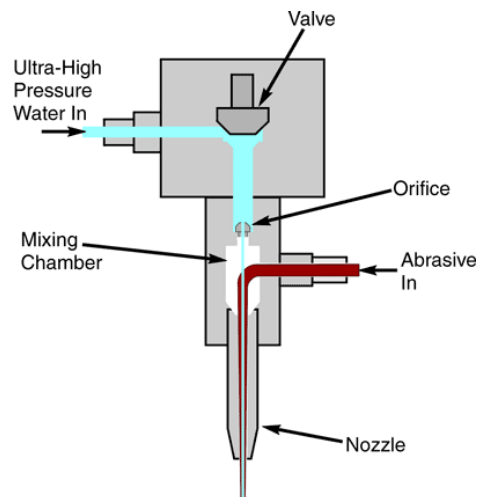
Řezání drobných tvarů nebo děr o malém průměru vyžaduje vysoce přesný postup. Dosud se většinou používá technologie vrtání nebo lisování. V dnešní době jsou k dispozici technologie, které splňují vysoké nároky kladené na řezání drobných tvarů do součástí z konstrukční ocele. Vhodnou technologií lze dosáhnout lepší kvality řezu z hlediska přesnosti řezaného tvaru a jakosti povrchu stěn řezu. Poměr mezi nejmenším průměrem řezané díry a tloušťkou řezaného materiálu je 1:1.[7]



obr. 18 – řezání malých otvorů[7]

3.6.4 Dělení materiálu kapalinovým paprskem

Základním principem je zde využití abrazivních účinků vysokoenergetického kapalinového paprsku. Voda je dopravována pomocí vysokotlakých čerpadel k trysce, odkud dopadá na materiál a svou kinetickou energií obrábí. Pracovní tlak vody pro řezání vodním paprskem se pohybuje v rozmezí 500–1500 bar. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem a průtokem vody. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Vhodnou přísadou je přírodní olivín nebo granát – abrazivo zvolené dle tvrdosti řezaného materiálu. Pohyb řezací hlavy, a tedy celá dráha řezu je řízena počítačem dle předem sestaveného programu. Je možné provádět i tvarově složité řezy během jedné operace. Standardní přesnost výřezu je $\pm 0,1 \text{ mm.m}^{-1}$. Dělený materiál není silově namáhán. Řezná hrana není nijak tepelně ovlivněna, vždy jde o studený řez. Tato skutečnost je velmi důležitá a také rozhodujícím způsobem odlišuje vodní paprsek od ostatních technologií na dělení materiálů, zvláště laseru a vysoce přesné plazmy. Po provedení řezu se směs vody a abraziva zachycuje v lapači (vaně), umístěné pod řezaným materiálem. Technologii řezání vodním paprskem lze využít pro dělení nejrůznějších materiálů, například ocelí (konstrukčních, legovaných, tepelně zpracovaných, návarových s extrémní tvrdostí), slitin hliníku, titanu, mědi, niklu apod., sklolaminátu, kompozitů, technických a reklamních plastů, mramoru, žuly, pískovce, dlažby, skla, plexiskla, elektroizolačních a tepelně izolačních kompozitů, těsnicích a pěnových materiálů, expandovaného grafitu, podlahových krytin, překližky, balzy aj. [9]



obr. 18 – tryska vodního paprsku

1. Kapalinový paprsek bez abrazivní příměsi

Při tomto způsobu se využívá tlaku čisté kapaliny. Tlak lze plynule regulovat v závislosti na obráběném materiálu. Dle materiálu a potřeby se také volí výstupní tryska, která se vyrábí z diamantu, rubínu nebo také safíru. Touto metodou lze obrábět materiály menších tloušťek a však s vysokou pevností jako je například kevlar, laminát, nebo uhlíkové kompozity.

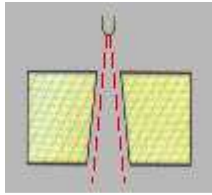
2. Kapalinový paprsek s abrazivní příměsí

Při tomto způsobu se zvyšuje účinnost přidáním abrazivních zrn do paprsku kapaliny. Přidávají se syntetické tak přírodní materiály. Nejčastěji se přidává křemičitý písek, ale i korundová nebo SiC zrna. Tryska je zde oproti metodě bez abrazivního paprsku vyráběna z karbidu wolframu, keramických materiálů, nebo kubického nitridu bóru. Tlak vody generuje vysokotlaké čerpadlo. Odtud je tlaková voda vedena k řezací hlavě umístěné na portálu CNC řízeného stolu. Metodu lze využít pro řezání jak ocelí, tak kompozitů deskového charakteru od tloušťky fólií až po desky silné cca 200 mm. Opakovatelná přesnost výsledných produktů je od $\pm 0,1$ do 0,4 mm. I přes vysoký pracovní tlak je silové působení na materiál minimální. Při dělení nevznikají mikrotrhliny ani mikropnutí. Chladný řez tepelně neovlivňuje materiál. U měkkých materiálů je řezná spára široká od 0,8 mm. [10]

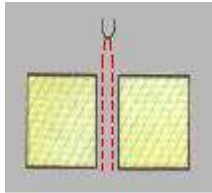
Vznik úkosu při řezání vodním paprskem:

Úkos ve tvaru V vznikne při řezání vysokou rychlostí. Úkos lze snížit na minimum nebo vyloučit snížením rychlosti nebo zvýšením řezného výkonu. Ve většině případů při řezání vodním či hydroabrazivním paprskem vzniká určitý úkos, většinou však maximálně 1-1,5 stupně. Vznik a rozsah úkosu ovlivňuje i tvar řezu, množství abraziva a pod. Tuto nevýhodu vyskytující se u většiny nekonvenčních metod jako je laser a plasma, lze však odstranit použitím naklápěcí řezné hlavice, která se následně naklápí v závislosti na řezu. Metoda je však použitelná pouze pro vnější tvary kontur. [12]

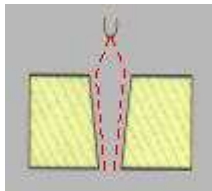
Tvar úkosu:



A. - *Velmi pomalý řez nebo řez v měkkém materiálu - paprsek stihne "probrousit" svou přirozenou kuželovitou stopu.*



B. - *Optimální rovnováha mezi rychlostí řezu, odolností a tloušťkou materiálu - paprsek je udržen po celou dobu průchodu materiálem ve válcovitém tvaru a úkos nevzniká.*



C. - *Velmi rychlý řez nebo řez v odolnějším materiálu - paprsek nestihne "probrousit" materiál ani ve svém vstupním průměru a řez se směrem dolů uzavírá*

Soustružení abrazivním kapalinovým paprskem

Soustružení abrazivním vodním paprskem je technologie, která spojuje kinematiku konvenčního soustružení s abrazivním vodním paprskem jako nástrojem. Toto spojení je výhodné zejména při obrábění těžkoobrobitelných materiálů, např. titanových slitin, kde nahrazuje hrubování konvenčním soustružením řezným nástrojem. Skupina materiálů titanových slitin má stále rostoucí významný potenciál použití ve výrobě energeticky efektivních dopravních a mobilních systémů. Z důvodu vynikajících vlastností titanových slitin, jako je příznivý poměr pevnosti a hmotnosti, poměrně vyšší tepelná stálost a dobrá až velmi dobrá korozivzdornost, skýtají tyto materiály, které byly původně používány především v letectví a kosmonautice, možnost rozšíření také do jiných oblastí, např. automobilového průmyslu. Při řezání abrazivním kapalinovým paprskem (WASS) se používá výstupní tlak kapaliny až 6 000 bar. Řezací paprsek má v závislosti na technologii řezání průměr 0,1 až 1,2 mm. Přidáním abrazivních částic do paprsku kapaliny je výkon řezání oproti čistému kapalinovému paprsku značně větší. Při řezání kovových materiálů o tloušťce větší než 5 mm je WASS schopné konkurovat ostatním technologiím, jako je řezání laserem nebo plazmou. Plochy řezu vykazují malé, téměř žádné tepelné ovlivnění a mají typický povrch. V závislosti na použitých pracovních podmínkách mají plochy různou drsnost. Spektrum obráběných materiálů zahrnuje materiály vysoce tvrdé – křehké – i materiály měkké – tažné – a téměř jakoukoliv kombinaci spojených materiálů (např. pryž a kov, kompozitní materiály). Jako abrazivní materiály se používají přírodní křemičitany (granát) nebo synteticky vyrobené kysličníky kovů (korund). Soustružení abrazivním kapalinovým paprskem je kombinací abrazivního kapalinového paprsku a kinematiky konvenčního soustružení. Tak je možné obrábět rotačně symetrické součásti. Vzhledem k malému zatížení obrobku řeznou silou lze

upnout obrobek pouze do sklíčidla, tj. bez opěrného hrotu, a obrábět součásti o poměru délky k průměru až třikrát větším než při soustružení rezným nástrojem. Obrábění kolmo ke směru působení kapalinového paprsku je nezávislé na směru, čímž odpadají neefektivní časy obrábění. Programování a strategie technologie používané u konvenčního soustružení musejí být pro WASD upraveny.[11]



obr. 19 - soustružení abrazivním kapalinovým paprskem[11]

Uplatnění technologie VKP

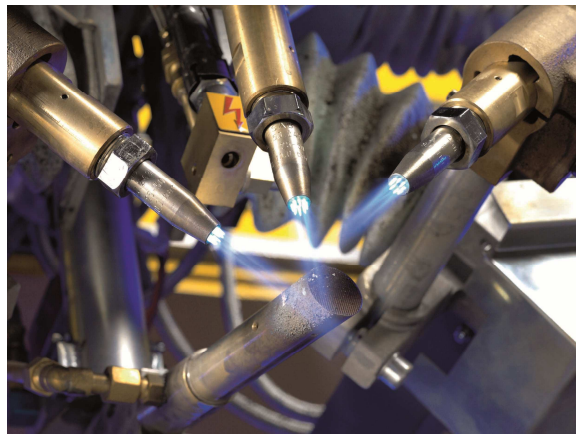
Technologii lze s úspěchem uplatnit ve většině výrobních oborů. Hlavní použití nachází zejména ve strojírenství při řezání všech druhů ocelí, slitin hliníku, mědi a titanu. Pro některé druhy materiálů (např. kompozity, keramiku, tepelné a elektrické izolanty) je prakticky jedinou schůdnou dělicí metodou. Ve stavebnictví se využívá k dělení laminátů, skla, tepelněizolačních hmot, podlahových krytin, mramoru, žuly, keramických obkladů a dlažeb. Pro vysokotlaký paprsek není problém jakýkoliv řez v ploše, limitující je pouze pevnost samotného řezaného materiálu - musí unést sám sebe. Proč využívat technologie VKP? Tvarové dělení mramoru nebo žuly bylo zatím možné jen pracovními rukodělnými postupy. Při klasickém řezání skla nastávají problémy, pokud je sklo silnější, nebo je třeba realizovat složitější tvary. U kovů dochází při použití tepelných dělicích metod k natavení hran. Na většinu měkkých materiálů, jako jsou plasty, plexisklo, koberce či guma, je zase většinou vyloučeno tepelné či silové působení. Všechny tyto materiály lze dělit metodou VKP velmi kvalitně. Parametry metody umožňují jakýkoliv tvarový řez, dělení libovolné kombinace materiálů i vytváření intarzií z nich. [10]

3.6.5 Dělení materiálu plamenem

Metoda využívá plynový hořák, do kterého vstupuje kyslíko - acetylenová směs. Hořák nejprve předehřeje materiál na zápalnou teplotu, následně dojde ke zvýšení obsahu kyslíku, který zapříčiní hoření materiálu. Hořák je veden ručně, nebo CNC systémem, který vytvoří potřebný řez. Velkou nevýhodou je velká tepelně ovlivnitelná oblast.

Podmínky pro řezání plamenem:

1. Materiál zahřátý na zápalnou teplotu musí hořet v kyslíkovém proudu.
2. Zápalná teplota E musí být nižší než bod tavení S materiálu, takže materiál shoří, dříve než se roztaví.
3. Bod tavení O oxidu materiálu musí být nižší, než bod tavení S , aby se struska dala tlakem kyslíku vyfoukat.
4. Dobře řezatelné materiály obsahují do 0,3% uhlíku, pokud je obsah uhlíku vyšší je nutné materiál předehřívat. [13]

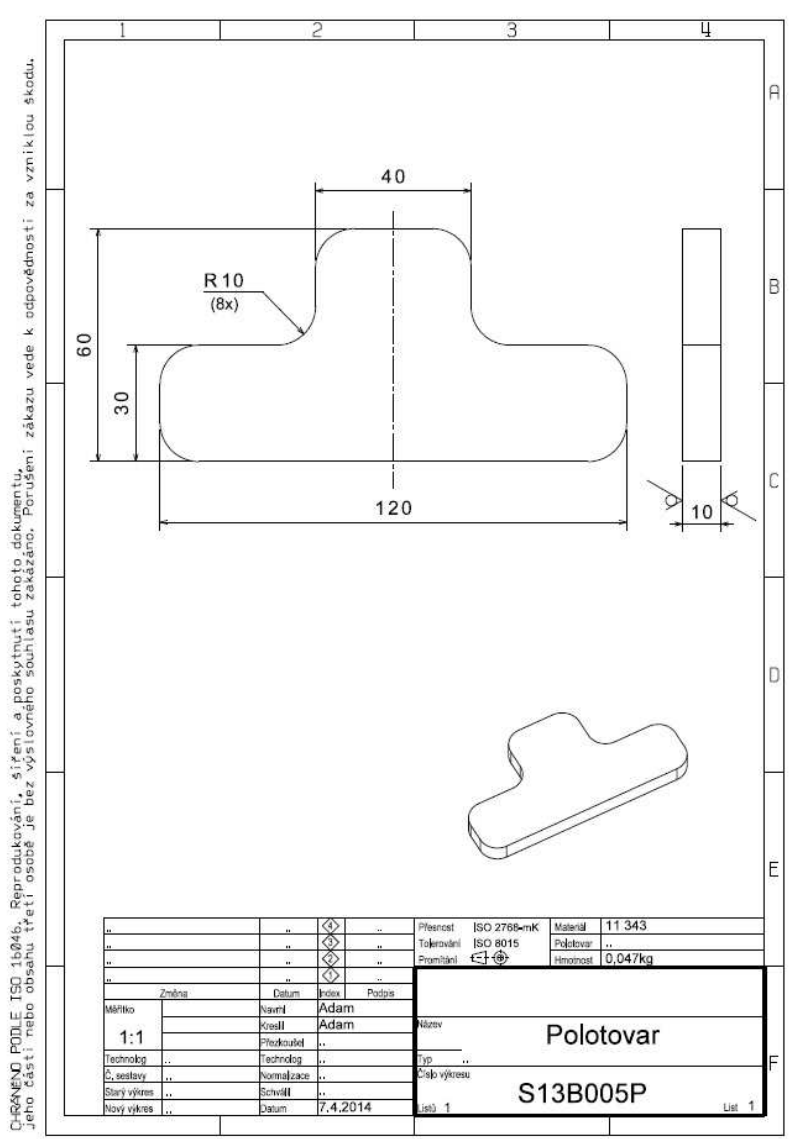


obr. 20 – dělení materiálu plamenem

4 Porovnání metod přípravy polotovaru na vybraném spektru součásti

4.1 Návrh polotovaru

V této části bakalářské práce by, jsem chtěl porovnat své teoretické poznatky s praktickými. Pro porovnání jsem navrhl vlastní tvar polotovaru (obr. 21), který bude následně využit pro další výrobu (např. vrtání otvorů). Jedná se o jednoduchý tvar specifikovaný ve výrobním výkresu. Jako materiál byla zvolena ocel s označením ČSN 11 343. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel, která je vhodná pro staticky, nebo mírně dynamicky zatížené součásti, jako jsou páky, oka, čepy. Materiál je dále vhodný ke svařování. Polotovar bude dále využit jako táhlo, do kterého budou následně vrtány otvory. Pro tolerování rozměrů zadaných na výkresu byla využita norma ISO 2768-mK, která přesně určí rozměrové tolerance. Drsnost povrchu není specifikována, protože se bude lišit v závislosti na použité technologii. Horní a spodní plocha jsou opatřeny značkou drsnosti, která udává, že se plocha neobrábí. Obráběný bude tedy pouze tvar kontury.



obr. 21 – návrh polotovaru

4.2 Výběr technologie

Při výběru technologie jsem volil mezi nejčastěji využívanými metodami pro přípravu polotovaru. Mezi konvenčními metodami pro zadaný tvar polotovaru připadala v úvahu pouze metoda frézování. Mezi nekonvenčními bylo na výběr z více metod, ovšem při volbě jsem zvolil ty nejčastěji využívané, a to dělení materiálu laserem a dělení materiálu plasmou. Pro zadání výroby polotovarů, byly vybrány výrobní společnosti Hoffmeister, Laser Steel a Přesné výpalky z plechů Ing. Šlechta. Všechny zmíněné firmy pochází z Plzně. Na hotových výrobcích bych chtěl srovnat použité metody z hlediska přesnosti, kvality povrchu, změny geometrie, stop po řezu a ceny technologie.

4.3 Použití technologie na polotovaru

Přesnost:

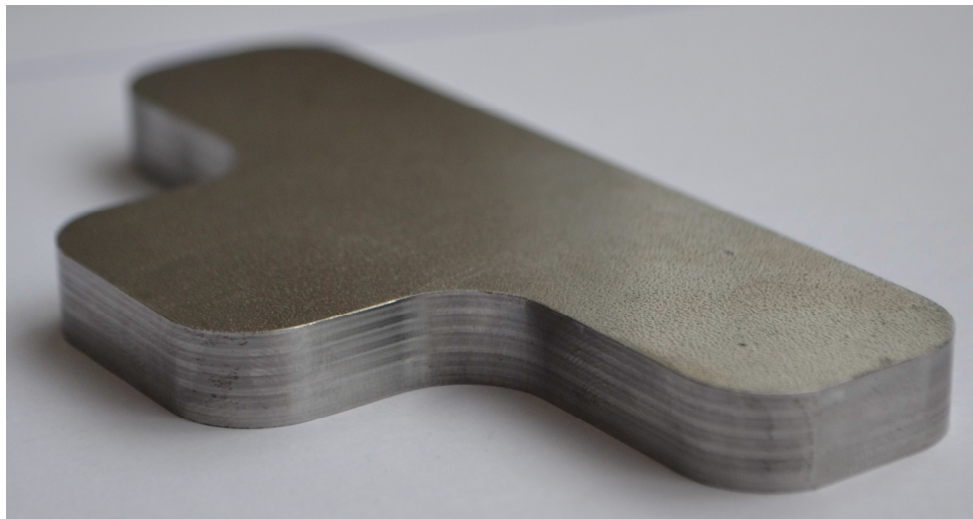
Na hotovém polotovaru bylo vybráno 5 hlavních rozměrů pro určení přesnosti metody. Pro měření hodnot bylo použito posuvné digitální měřidlo Powerfix. Pro každý měřený rozměr byla v tabulce číslo 22 přiřazena tolerance dle normy ISO 2768-mK. U nekonvenčních metod laseru a plasmu byly rozměry ovlivněny tvarem úkosu, a skutečný rozměr byl naměřen na konci úkosu. Všechny rozměry kontrolované posuvným měřidlem měli svou odchylku v mezích tolerance. Jedinou výjimkou byl měřený rozměr 10mm, který představuje tloušťku řezaného materiálu. U tohoto rozměru byla neměřena odchylka 0,4mm což je o 0,2mm více než umožňuje tolerance dle normy. Tento rozměr však nemůže být brán v úvahu jako chyba zvolené technologie, ale jako chyba materiálu polotovaru. Jako polotovar se nejčastěji volí materiál tloušťky 10mm válcovaný za tepla, který má také svou vlastní toleranci, která se ve výsledku sečte s tolerancí na výkrese a vznikne zmíněná odchylka od jmenovitého rozměru. Z hlediska přesnosti pro mnou zadané požadavky vyhověli všechny metody obrábění.

Jmenovitý rozměr	Skutečný rozměr			Tolerance dle ISO 2768-mK
	Frézování	Plasma	Laser	
120mm	119,9	119,9	119,8	+/-0,3mm
60mm	59,8	60,2	59,8	+/-0,3mm
40mm	40	40,2	39,9	+/-0,3mm
30mm	29,8	30,2	29,8	+/-0,3mm
10mm	9,9	9,6	10,1	+/-0,2mm

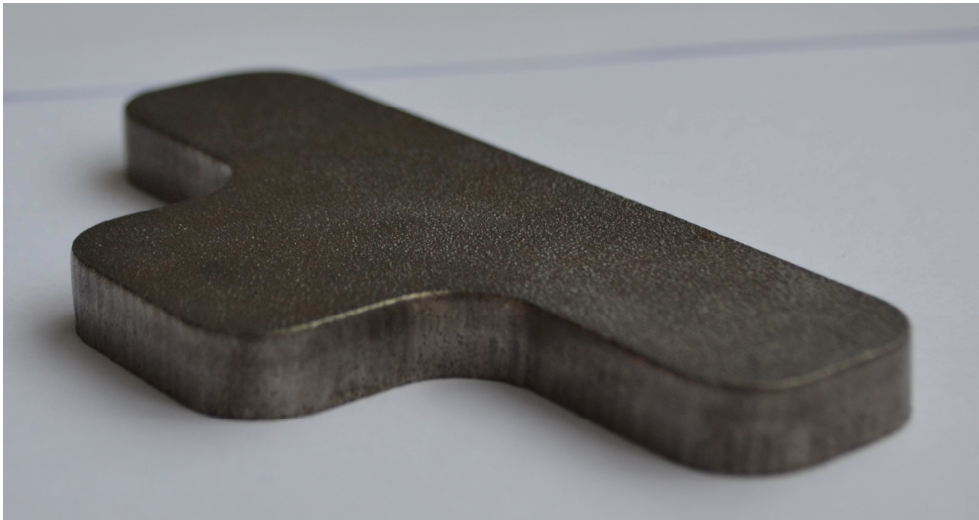
obr. 22 – tabulka naměřených hodnot

Kvalita povrchu:

Pro hodnocení kvality povrchu jsem u všech třech polotovarů vybral obvodovou část polotovaru, která byla vytvořena řezem vybrané technologické metody. Horní a dolní strana polotovaru byla z hodnocení kvality povrchu vyřazena, protože tento povrch není ovlivněn metodou řezu, ale metodou výroby materiálového polotovaru. U prvního vzorku, který byl vyroben metodou frézování, byla zvolena hloubka řezu $a_p = 2\text{mm}$, posuv 210, a otáčky frézy $n = 1900\text{ot/min}$. Povrch je na první pohled ve všech místech souvislý, lesklý a odpovídá drsnosti $3,2\mu\text{m}$ (viz. obr. 23). Na povrchu jsou každé 2mm viditelné stopy po změně hloubky řezu. Hrany polotovaru po frézování jsou ostré a bez zbytku třísek. U druhého vzorku vyrobeného metodou řezání plasmatem je povrch naprosto odlišný. Povrch po obvodu vykazuje jasné známky po stopě řezu plasmou. Plocha řezu je zvlněná, místy s hlubším vrypem. Dolní hrana řezu je lemována drobnými zbytky okují po řezání. Celý obvod je tmavšího zabarvení oproti frézování a to z důvodu vzniku slabé tepelně ovlivněné oblasti, která vznikne při přívodu tepla z plasmového hořáku (obr. 24). Poslední vzorek vyrobený pomocí metody využívající laser vykazuje povrch podobného charakteru jako u řezání plasmou. Povrch je zvlněný a nesouvislý, ovšem oproti plasmě jsou vlny častější frekvence a menší hloubky. Dolní hrana řezu je lemována okujemi stejně tak jako v případě řezání plasmou. Plocha řezu je oproti frézování opět tmavšího zabarvení, což poukazuje na tepelně ovlivněnou oblast (obr. 25). Z hlediska kvality povrchu pro mnou zadané požadavky, vyhověli všechny metody obrábění. U frézovaného polotovaru je však povrch výrazně kvalitnější.



obr. 23 – frézovaný polotovar



obr.24 – polotovár vypálený plasmou



obr. 25- polotovár vypálený laserem

Kvalita povrchu			
Metoda	Frézování	Plasma	Laser
Drsnost	***	*	**
Stopy po řezu	***	**	*
Okuje/Třísky	***	*	*

obr. 26- tabulka srovnání kvality povrchu

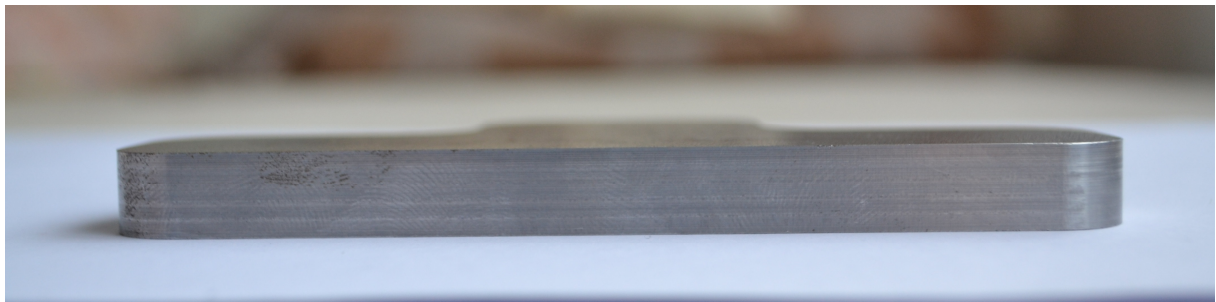
Změna geometrie a vznik úkosu:

Změna geometrie se týká především nekonvenčních metod, jako je laser, plasma a vodní paprsek. Při použití těchto metod, vzniká na řezané ploše úkos. Vznik a odstranění úkosu je dále popsáno v části 3.3.3. Vzorek vyrobený frézováním vykazuje jasnou kolmost obráběné plochy vzhledem k horní nebo dolní ploše materiálového polotovaru. Kolmost je dosažena pomocí přesného vyrovnání úhlu v upínacím svěráku vzhledem k ose frézy (obr. 28). Druhý

vzorek vyrobený metodou plasmového řezání, oproti frézování poukazuje na jasný vznik úkosu. Úkos však není po celé řezané ploše. V první části řezu, která sahá do hloubky 2,5mm od horní hrany je řez téměř kolmý. Od této hloubky vzniká úkos přibližně 2° (obr. 29). Poslední hodnocený vzorek vyříznutý laserem poukazuje na podobný průběh změn geometrie jako u metody plasmového dělení. První část řezu, která je téměř kolmá na horní část materiálového polotovaru končí v hloubce 3,5mm od horní hrany. Zbytek řezu je zkosený pod úhlem. Úhel je na první pohled menší než úhel zkosení u plasmového dělení a odpovídá hodnotě 1° (obr.230). Z hlediska změny geometrie pro mnou zadané požadavky vyhověli všechny metody obrábění. Vyžaduje-li však polotovary kolmé stěny bez úkosu nelze použít laser ani plasmu.

Změna geometrie			
Metoda	Frézování	Plasma	Laser
Úkos	0°	2°	1°
Kolmý řez	10mm	2,5mm	3,5

obr. 27 – tabulka změny geometrie



obr. 28 – vznik úkosu u frézovaného polotovaru



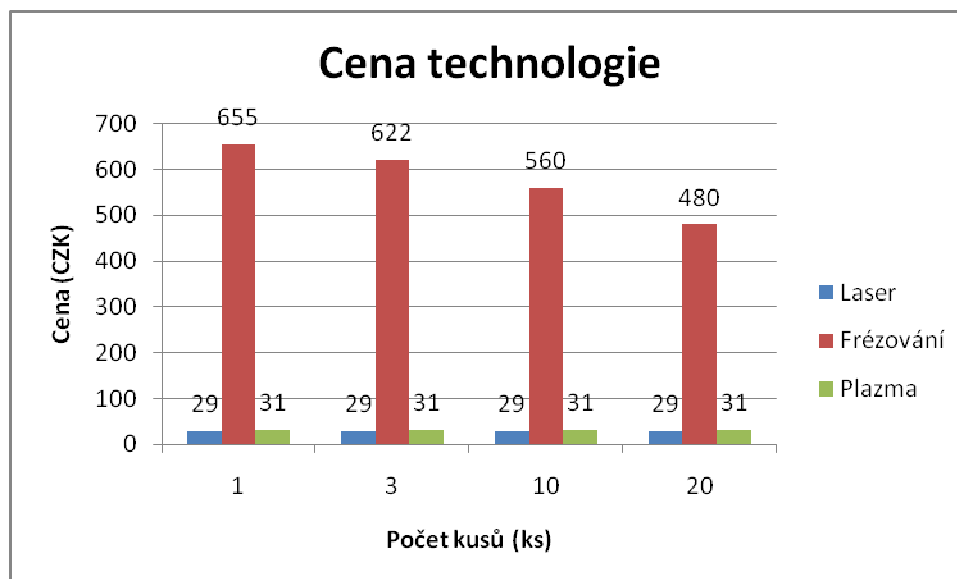
obr. 29- vznik úkosu u plasmové technologie



obr. 30- vznik úkosu u laserové technologie

Cena technologie:

Každá z mnoha vybraných technologií byla u již zmiňovaných firem poptána v množství 1,3,10,20 kusů. U konvenční metody výroby polotovaru frézováním se cena s každým dalším kusem snižovala v závislosti na počtu kusů. U nekonvenčních metod řezání laserem a plasmou cena zůstává stejná. Pouze při překročení počtu kusů do větší série (např. 100 a více kusů) byla cena snížena v závislosti na počtu kusů. Z hlediska ceny technologie jednoznačně vítězí nekonvenční metody před frézováním. Je důležité vzít ale v úvahu i jiné technologické požadavky na výkrese.



obr. 31 – graf srovnání cen technologií

5 Srovnání možností využití konvenčního a nekonvenčního obrábění

5.1 Srovnávací tabulka

Za účelem srovnání všech konvenčních i nekonvenčních metod obrábění jsem vytvořil srovnávací tabulku, která shrnuje všechny metody dohromady. Každá z metod má v tabulce popsané své výhody a nevýhody a zároveň dosažitelné možnosti pro obrábění polotovaru. Tabulka může sloužit při výběru metody pro další obráběný polotovar, u kterého známe vstupní požadavky.

Metoda	Výhody	Nevýhody	Možnosti
Soustružení	<ul style="list-style-type: none"> - jednoduchý stroj - jednoduchý nástroj - automatické řízení pomocí CNC - možnost použití více vřeten 	<ul style="list-style-type: none"> - nižší produktivita oproti frézování - specifická geometrie nástroje po různé operace - větší šířka prořezu závislá na rozměru nože - maximální možný obráběný průměr je omezen upnutím a rozměrem stroje 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=1,6 až 0,8 uM - přesnosti IT8 až IT7 - schopnost obrábět ocel, slitinu, plast, dřevo
Frézování	<ul style="list-style-type: none"> - větší produktivita oproti soustružení - automatické řízení pomocí CNC - možnost obrábění polotovaru ve více osách 	<ul style="list-style-type: none"> - tvarově náročný nástroj - cenově dražší stroj 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=1,6 až 0,8 uM - přesnosti IT8 až IT7 - schopnost obrábět ocel, slitinu, plast, dřevo
Strojní pila – pásová	<ul style="list-style-type: none"> - jednoduchý stroj - velmi jednoduchý nástroj - možnost automatického řízení - možnost připojení automatického podavače polotovarů 	<ul style="list-style-type: none"> - nedosažení kolmosti čel - prořez materiálů 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti až Ra=1,6 - přesnost +/-0,2mm - schopnost obrábět ocel, slitinu, plast, dřevo
Strojní pila - kotoučová	<ul style="list-style-type: none"> - jednoduchý stroj - velmi jednoduchý nástroj - možnost automatického řízení - možnost připojení automatického podavače polotovarů - větší produktivita oproti pásové pile - zajištění kolmosti čel 	<ul style="list-style-type: none"> - prořez materiálů - nutnost brousit jednotlivé zuby 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti až Ra=1,6 - přesnost +/-0,2mm - schopnost obrábět ocel, slitinu, plast, dřevo
Elektroerozivní drátové řezání	<ul style="list-style-type: none"> - úzká řezná spára - velmi přesná metoda - automatické řízení pomocí CNC - malá tepelně ovlivněná oblast - schopnost obrábět chemicky a tepelně upravené materiály 	<ul style="list-style-type: none"> - drahý stroj - malá řezná rychlost - velká spotřeba řezného drátu - schopnost obrábět pouze elektricky vodivé materiály - obrábění v prostředí dielektrika - důležitá tepelná stabilizace stroje 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=0,4 - přesnosti +/-0,01mm - schopnost obrábět elektricky vodivé materiály do tloušťky 400mm
Laser	<ul style="list-style-type: none"> - úzká řezná spára - maximální využití plochy materiálu - velmi přesná metoda - automatické řízení pomocí CNC - malá tepelně ovlivněná oblast - velká řezná rychlost 	<ul style="list-style-type: none"> - drahý stroj - drahý nástroj (řezná hlavice) - nutnost přesného nastavení - s rostoucí tloušťkou materiálu vznikají stopy po řezu a vzniká úkos, který je však možno odstranit použitím moderních strojů s naklápěcí řeznou tryskou (použitelné pouze pro vnější tvar kontury) 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=6,3 - přesnosti +/-0,2mm - schopnost obrábět plasty a konstrukční oceli do tloušťky až 20 mm, korozivzdorné oceli do tloušťky 10 mm a slitiny hliníku do tloušťky 5 mm
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> - maximální využití plochy materiálu - automatické řízení pomocí CNC - malá tepelně ovlivněná oblast při řezání pod vodou - velká řezná rychlost 	<ul style="list-style-type: none"> - drahý stroj - drahý nástroj (řezná hlavice) - širší řezná spára oproti laseru - horší kvalita povrchu s rostoucí tloušťkou - s rostoucí tloušťkou materiálu vznikají stopy po řezu a vzniká úkos, který je však možno odstranit použitím moderních strojů s naklápěcí řeznou tryskou (použitelné pouze pro vnější tvar kontury) 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=25 v závislosti na tloušťce materiálu - přesnosti +/-0,2mm - schopnost obrábět kovové i nekovové materiály do tloušťky 190mm podle použitého hořáku
Kapalinový paprsek	<ul style="list-style-type: none"> - velmi přesná metoda - žádná tepelně ovlivněná oblast - automatické řízení pomocí CNC - dělený materiál není silově namáhán - malá řezná spára 	<ul style="list-style-type: none"> - drahý stroj - drahý nástroj (řezná hlavice) - širší řezná spára oproti laseru - malá řezná rychlost - hlučný a mokřý způsob řezu - s rostoucí tloušťkou materiálu vznikají stopy po řezu a vzniká úkos, který je však možno odstranit použitím moderních strojů s naklápěcí řeznou tryskou (použitelné pouze pro vnější tvar kontury) 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=3,2 v závislosti na tloušťce materiálu - přesnosti +/-0,1mm - schopnost obrábět kovové i nekovové materiály do tloušťky 200mm
Plamen	<ul style="list-style-type: none"> - malé provozní a investiční náklady - možnost řízení pomocí CNC 	<ul style="list-style-type: none"> - velká tepelně ovlivněná oblast - malá řezná rychlost - špatné řezání pod 5mm - velmi malá produktivita - velká bezpečnostní rizika 	<ul style="list-style-type: none"> - dosažení drsnosti Ra=25 - přesnosti v závislosti navedení hořáku - schopnost obrábět oceli v závislosti na chemickém složení do tloušťky 300mm

obr. 32 - srovnávací tabulka

6. Závěr

Při zhodnocení závěru mé práce, je nutné pozastavit se nad otázkou tématu práce. Srovnání možností využití konvenčních a nekonvenčních metod obrábění, při přípravě polotovaru zahrnuje široké spektrum možností a shrnutí odpovědí na dané téma. Všechny metody popsané níže v kapitolách 2 a 3 obsahují několik parametrů, dle kterých lze rozhodovat mezi konvenčními a nekonvenčními metodami. Mezi hlavní kritéria patří především kvalita obráběného povrchu, přesnost, změna geometrie a vznik úkosu, spektrum obráběných materiálů, technologická náročnost a v neposlední řadě cena technologie při výrobě polotovaru. V praktické části, kdy jsem nechal vyrobit fyzicky 3 součásti obráběné laserem, plasmou, a frézováním byly tyto hodnoty naměřeny a srovnány v tabulce. Z hlediska přesnosti, změny geometrie a kvality povrchu, se jasně ukázalo, že frézování dosahuje lepších hodnot než laser a plasma. Z hlediska ceny je zde však opačný poměr. Cena frézovaného kusu je přibližně 21x větší než cena polotovaru vyráběného nekonvenčními metodami řezání laserem a plasmou. Mnou zadaný polotovar, bude dále sloužit jako táhlo, do kterého budou vrtány otvory. Vnější tvar a změna geometrie při vzniku úkosu, ani přesnost zde nehrají důležitou roli vzhledem k dalšímu využití. Z toho důvodu je nutné upřednostnit hledisko ceny za vyrobený kus, před změnou geometrie či přesnosti. Tento praktický příklad jasně poukázal na to, že jednou z nejdůležitějších věcí před volbou metody obrábění polotovaru jsou požadavky pro další krok výroby. Nelze tedy jasně říci, zda jsou konvenční či nekonvenční metody lepší či horší. Každá z metod má své omezené možnosti, a naopak své výhody, které ji upřednostňují, před jinou metodou. V dnešní době lze spíše říci, že se stává trendem spojovat konvenční a nekonvenční metody obrábění dohromady (viz. soustruh-laser, fréza-laser, plasma-vrtání), kdy na jedno upnutí lze například vyříznout plasmou konturu a v dalším kroku vrtat požadované otvory a využívat tak maximálně jejich vzájemné propojení, kdy na jedno upnutí zastoupí práci dvou strojů.

Knižní publikace

[1] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň: ZČU, 1999

Publikace na internetu

[2] MM Průmyslové spektrum [online]. 2007 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>

[3] MM Průmyslové spektrum [online]. 2008 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>

[4] MM Průmyslové spektrum [online]. 2006 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem.html>

[5] MM Průmyslové spektrum [online]. 2008 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>

[6] MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi.html>

[7] MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/co-rozhoduje-pri-volbe-typu-laseru.html>

[8] MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/zdokonalene-rezani-drobnych-tvaru-plazmatem.html>

[9] MM Průmyslové spektrum [online]. 2008 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html>

[10] MM Průmyslové spektrum [online]. 2006 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prednosti-rezani-vodnim-paprskem.html>

[11] MM Průmyslové spektrum [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/soustruzeni-abrazivnim-kapalinovym-paprskem-zvysuje-trvanlivost.html>

[12] CHPS s.r.o [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/geometrie-rezu>

[13] SOU Chotěboř [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z:
www.souch.cz/dok/rezani%20plamenem.doc