



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY DRŽÁKU MADLA

PRODUCTION OF HANDRAIL HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN RYŠAVÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. EVA PETERKOVÁ, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Ryšavý

který/která studuje v **bakalářském studijním**

programu obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby držáku madla

v anglickém jazyce:

Production of handrail holder

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh vhodné technologie výroby držáku madla z materiálu 1.4301.

Cíle bakalářské práce:

Návrh možných způsobů výroby zadané součásti a jejich zhodnocení z hlediska náročnosti výroby, požadované přesnosti a ekonomického hlediska. Výsledkem práce bude volba nejvhodnější varianty a zdůvodnění této volby.

Seznam odborné literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal forming: Mechanics and Metallurgy. 3th ed. New York: Cambridge university press, 2007. 365 s. ISBN-13 978-0-521-88121-0, ISBN-10 0-521-88121-8

NOVOTNÝ, Josef. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1993. ISBN 80-01-01003-1. s. 349.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. s. 126. ISBN 80-7082-738-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Ekonomický a technologický rozbor možných způsobů výroby skutečné součásti. Základní teoretické znalosti vybraných výrobních metod a jejich uplatnění v praxi. Rozdělení výrobních metod pro různé výrobní série součásti pomocí ekonomického zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řezání, laser, vodní paprsek, plazma, plošné tváření, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj, přesnost, jakost plochy, ekonomický rozbor.

ABSTRACT

Economic and technological analysis of possible methods of production real part. The basic theoretical knowledge of selected production methods and their application in practice. The division of production methods for various production series of part using economic evaluation.

KEYWORDS

Cutting, laser, water jet, plasma, sheet metal forming, shearing, bending, combined tool, accuracy, surface quality, economic analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RYŠAVÝ, Jan. *Návrh výroby držáku madla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2013. 34 s., 3 přílohy, 1 CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Evy Peterkové, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2013

.....

Jan RYŠAVÝ

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. a panu Antonínu Ryšavému za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod.....	10
1 Rozbor problému.....	11
1.1 Zadaná součást.....	11
1.1.1 Funkce držáku	12
1.1.2 Materiál držáku	12
1.1.3 Současný stav výroby	12
1.2 Možnosti výroby	13
1.2.1 Vybrané technologie výroby	13
2 Technologie výroby rozvinutého tvaru	14
2.1 Řezání paprskem plazmy	14
2.1.1 Stroje pro obrábění paprskem plazmy.....	14
2.1.2 Jakost plochy a přesnost obrábění	15
2.1.3 Vyhodnocení metody	16
2.2 Obrábění vodním paprskem.....	16
2.2.1 Stroje pro obrábění vodním paprskem	17
2.2.2 Jakost plochy a přesnost obrábění	17
2.2.3 Vyhodnocení metody	18
2.3 Řezání laserem.....	18
2.3.1 Stroje pro obrábění laserem.....	19
2.3.2 Jakost plochy a přesnost obrábění	20
2.3.3 Vyhodnocení metody	20
2.4 Plošné tváření	21
2.4.1 Střížné nástroje.....	21
2.4.2 Jakost plochy a přesnost stříhání	22
2.4.3 Vyhodnocení metody	23
2.5 Porovnání metod výroby rozvinutého tvaru součásti	24
3 Technologie ohýbání rozvinutého polotovaru	25
3.1 Ohýbání	25
3.2 Současné řešení.....	25

4	Technologie výroby sdruženým nástrojem	26
4.1	Princip.....	26
4.2	Navrhované řešení	26
5	Ekonomická úvaha	27
5.1	Cena jednotlivých technologií pro výrobu rozvinutého tvaru	27
5.1.1	Řezání paprskem plazmy	27
5.1.2	Obrábění vodním paprskem	28
5.1.3	Řezání laserem	29
5.1.4	Plošné tváření - stříhání.....	30
5.2	Cena výroby ohnutého tvaru.....	31
5.3	Cena výroby součásti ve sdruženém nástroji.....	31
5.4	Celková cena součásti.....	32
6	Závěr.....	34

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam grafů

Seznam příloh

Úvod

V současné době existuje mnoho způsobů výroby součástí, a to od konvenčního (třískové) a nekonvenčního obrábění (elektroerozivní, laserové, paprskem plazmy, atd.) přes plošné (stříhání, ohýbání a tažení) či objemové (protlačování, kování) tváření až po odlévání. Proto je vždy třeba uvažovat, jaká je nejvhodnější varianta kombinace technologií pro výrobu požadované součásti. Do této volby vždy vstupuje několik faktorů. Těmito faktory jsou např.: počet kusů, materiál součásti, požadovaná přesnost, rychlost a kvalita výroby a v nynější době přednostně cena. Ovšem vždy je třeba zvolit vhodnou variantu, která bude splňovat veškeré technické požadavky za nejnižší cenu.

V této práci je na součástce dle zadání prakticky vysvětleno a řešeno, jak technologicky a ekonomicky zvolit nejvýhodnější způsob výroby tak, aby bylo dosaženo požadované přesnosti a kvality součástky při nejnižší ceně za kus. Přitom je stále nutné mít na vědomí, že počet kusů přímo ovlivňuje způsob výroby a hlavně konečnou cenu za kus.

Pro korektní volbu technologie výroby součásti je třeba mít základní povědomí o všech vhodných výrobních technologiích, proto se práce okrajově zabývá i definováním základní teorie vybraných technologií zpracování.

1 ROZBOR PROBLÉMU

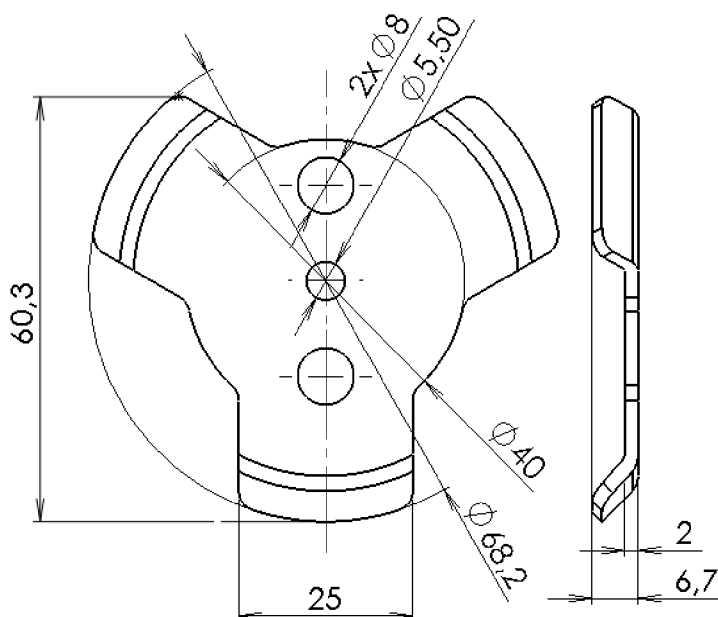
Kapitola obsahuje detailní popis zadané součásti včetně současného stavu výroby, materiálu, funkce součásti a podobně. Dále rozebírá několik možných způsobů výroby s následnou volbou vhodných technologií výroby.

1.1 ZADANÁ SOUČÁST [3]

Praktická část této práce je založena na návrhu způsobu výroby držáku madla firmy GOZ METAL s.r.o. Tato firma se zabývá zakázkovou výrobou atypických prvků z nerezových, mosazných a ocelových materiálů a výrobou gastronomických výrobků a doplňků do koupelny a na toaletu.

Držák madla (obr. 1) je z 2 mm tlustého plechu kruhového tvaru o průměru 60,3 mm, kdy 3 ramena rovnoměrně rozmístěná po 120° jsou ohnutá o 45°. Součást je kolem osy symetrická. Na ose jsou umístěny dvě díry o průměru 8 mm a jedna o průměru 5,5 mm.

Celková výrobní tolerance součásti určená firmou GOZ METAL s.r.o. je $\pm 0,2$ mm, avšak běžná kontrola veškerých ostatních rozměrů bude probíhat podle střední přesnosti všeobecné tolerance ISO 2768 - m (tab. 1).



Obr. 1 Základní zobrazení zadané součásti s hlavními rozměry

Tab. 1 Mezní úchytky pro střední přesnost dle ISO 2768 - m [14]

Mezní úchytky	Mezní úchytky pro rozsah rozměrů v mm			
	0,5 - 3	3 - 6	6 - 30	30 - 120
Délkových rozměrů kromě zkosení hran	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
	0,5 - 3	3 - 6	Více než 6	
Zkosení a zaoblení	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	
	Úhlových rozměrů	Do 10°	10° - 50°	50° - 120°
	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 10'$

1.1.1 FUNKCE DRŽÁKU

Jak již z názvu součástky vyplývá, tak držák madla slouží k pevnému umístění madla na zeď. V tomto konkrétním případě je držák ze silnějšího plechu, protože je použit hlavně pro záchytné držáky (obr. 2) pro tělesně postižené a starší občany. Držák tedy musí být schopen přenést plnou hmotnost dospělého člověka.



Obr. 2 Mosazné koupelnové madlo [7]

Průběh montáže kompletního madla na zeď:

- na madlo jsou nasunuty dvě krytky,
- na každý konec se pomocí jednoho šroubku M5 se zápusťnou hlavou přišroubuje držák,
- na zeď se přišroubuje držák i s madlem pomocí dvou vrtů na každé straně,
- na konec se na ramena držáku nasadí krytky.

1.1.2 MATERIÁL DRŽÁKU

Materiálem zadané součásti byla zvolena nerezová ocel 1.4301 (X5CrNi 18-10). Jedná se o chrom niklovou austenitickou ocel. Ocel je nemagnetická a nekalitelná s odolností proti korozi v běžném prostředí (voda, slabé kyseliny a alkálie).

Materiál je vhodný zvláště k plošnému tváření, ale lze jej také zpracovávat objemovým tvářením, kováním a odléváním. Třísková obrobiteľnosť je dobrá. Ocel je vhodná k leštění.

Materiál je náchylný v tepelně ovlivněné oblasti k mezikrystalové korozi od teploty 450 °C. To znamená, že pokud tento materiál ohřejeme na teplotu 450 – 900 °C dojde k tvorbě karbidu chromu a materiál začne ztrácet svoji korozivzdornost v tepelně ovlivněné oblasti.

Hlavní materiálové vlastnosti:

- Mez pevnosti v tahu: $R_m = (520 - 720)$ MPa
- Smluvená mez kluzu: $R_{p0,2} = \text{min. } 210$ MPa
- Tažnost: $A_{80} = \text{min. } 45 \%$

1.1.3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY

V podnikání s příslušenstvím do koupelen a na toalety je dnes vysoká konkurence, proto se v současné době vyrábí poměrně malé množství, a to pouze kolem dvou tisíc kusů za rok. To je tedy důvodem výroby rovného polotovaru pomocí řezání laserem z tabule plechu a poté ohnutí ramen pomocí jednoduchého ohýbacího nástroje.

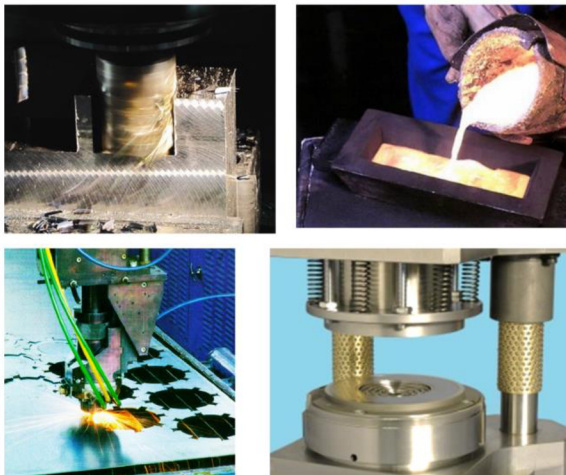
1.2 MOŽNOSTI VÝROBY

Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, je mnoho možností, jak docílit tvaru požadované součásti (obr. 3). Pro zadanou součást však nelze použít všechny dříve zmíněné metody. Je nutné brát v úvahu, že pro získání hotového výrobku je třeba nejprve dosáhnout rozvinutého tvaru a poté pomocí ohýbacího nástroje ohnout ramena o 45°.

Konvenční obrábění, tedy třískové, je nevýhodné použít z důvodu nízké produktivity, vysoké náročnosti a pracnosti na obrobení požadovaného tvaru, ale hlavně z důvodu vysokého množství odpadu.

Objemové tváření je pro tento případ také nevýhodné, a to hlavně kvůli náročnosti výroby. U objemového tváření a odlévání lze sice dosáhnout přímo požadované součásti, ale i přes to existují způsoby výroby mnohem vhodnější a hospodárnější než výše uvedené.

Nejvhodnější způsob výroby rovinného tvaru součásti je nekonvenčním obráběním a plošným tvářením, tedy stříháním. Tyto dvě metody mají své výhody a nevýhody. Pokud se rozhodujeme, jakou metodu zvolíme, pak je zapotřebí zhodnotit, jaká metoda vyjde ekonomicky a technologicky nejlépe. Nekonvenční obrábění lze použít při menším počtu kusů za rok a stříhání naopak při vyšším.



Obr. 3 Možné metody výroby [1,4, 9, 12]

1.2.1 VYBRANÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Nekonvenční obrábění i stříhání jsou velmi široké oblasti možností, proto při volbě výrobních technologií je třeba brát ohled na požadovanou přesnost a technologii součásti. Většinou platí, že čím vyšší přesnost požadujeme, tím je cena vyšší. Z tohoto důvodu volíme technologii výroby s rozsahem přesnosti dle požadované součásti.

Vzhledem k požadované přesnosti součásti jistě není vhodné drátové řezání, elektroerozivní hloubení, řezání paprskem elektronů, přesné stříhání a další, protože uvedené technologie se hodí pro výrobu součásti, kdy je požadavek na přesnost mnohem vyšší.

Držák madla lze vyrobit dvěma způsoby. První možností je vytvoření rozvinutého tvaru v jednom stroji a poté ohnutím v ohýbacím nástroji na druhém stroji. Druhou možností je pak použití sloučeného nástroje, kdy se na jednom stroji a v jednom nástroji provede stříh i ohyb součásti.

Pro výrobu zadané součásti jsou nejvhodnější následující kombinace technologií:

- řezání paprskem plazmy + ohnutí v ohýbacím nástroji,
- řezání vodním paprskem + ohnutí v ohýbacím nástroji,
- řezání laserem + ohnutí v ohýbacím nástroji,
- stříhání v postupovém střížném nástroji + ohnutí v ohýbacím nástroji,
- stříhání a ohýbání ve sloučeném nástroji.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY ROZVINUTÉHO TVARU

Kapitola obsahuje stručné seznámení s možnými výrobními technologiemi výroby, tedy řezáním nebo stříháním rozvinutého tvaru součásti, které byly uvedeny v předchozí kapitole. Jsou zde také shrnuty veškeré klady i zápory jednotlivých výrobních technologií. U nekonvenčních metod výroby je předpokládáno CNC řízení strojů, tedy schopnost tvarového řezání.

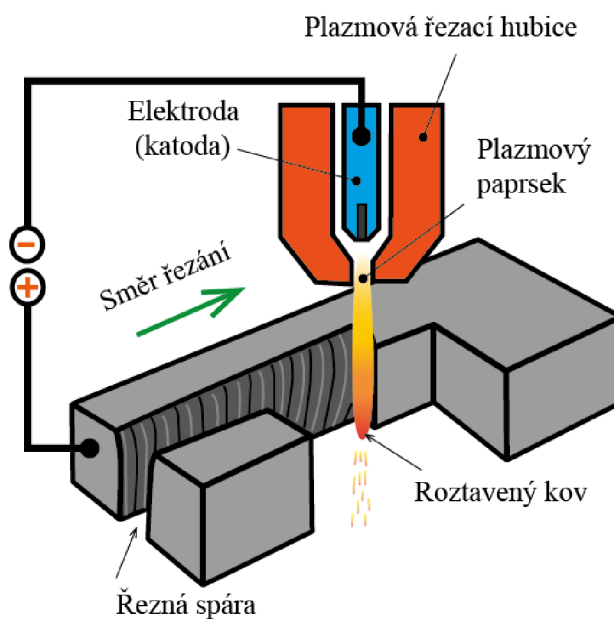
2.1 ŘEZÁNÍ PAPRSKEM PLAZMY [12, 16]

Při obrábění pomocí paprsku plazmy je materiál odtavován, odpařován a rozprašován díky vysoké rychlosti, kterou plazma z hořáku vystupuje (obr. 4). Elektrický oblouk je tvořen mezi netavící se katodou (wolframovou elektrodou) a anodou, kdy anoda může být tvořena buď obráběným materiálem, nebo tělesem hořáku.

Plazma je vysoce žhavý elektrický vodivý plyn, jenž obsahuje směs volných elektronů a pozitivních a negativních iontů.

Plazma je tvořena ohřátím plynu pomocí výboje elektrického oblouku. Teplota plazmy dosahuje teplot v rozsahu (10 000 – 30 000) °C, při řezání většinou kolem 25 000 °C.

Vlastnosti plazmy jsou určeny použitými plyny. Existují tři druhy plynů, a to plazmové, fokusační a ochranné. Samotný název plynů již napovídá jejich účel. Plazmový plyn je přímo přiváděn do elektrického výboje a vytváří plazmový paprsek. Fokusační plyny zužují paprsek při výstupu z trysky hořáku. Ochranné plyny obklopují paprsek a obráběnou plochu, kterou chrání před účinky atmosféry.



Obr. 4 Zjednodušené schéma plazmového řezání [15]



Obr. 5 Plazmový řezací stroj Vanad KOMPACT [18]

2.1.1 STROJE PRO OBRÁBĚNÍ PAPRSKEM PLAZMY

Pro tvarové obrábění paprskem plazmy existuje široký výběr strojů (obr. 5). Stroje se liší hlavně výkonem řezání, přesností a velikostí pracovního prostoru. Velikost pracovní plochy se pohybuje od rozměru 1,6 x 3 m až do 6,3 x 27 m. Pro tvarové řezání používáme stroje řízené CNC programem.

2.1.2 JAKOST PLOCHY A PŘESNOST OBRÁBĚNÍ [12]

Jakost plochy je výrazně ovlivněna symetrií svazku. Symetrie klesá s koncem životnosti spotřebních dílů (např. trysky). Důležitý vliv na jakost plochy má také použitý plyn pro řezání a tuhost obráběcího stroje.

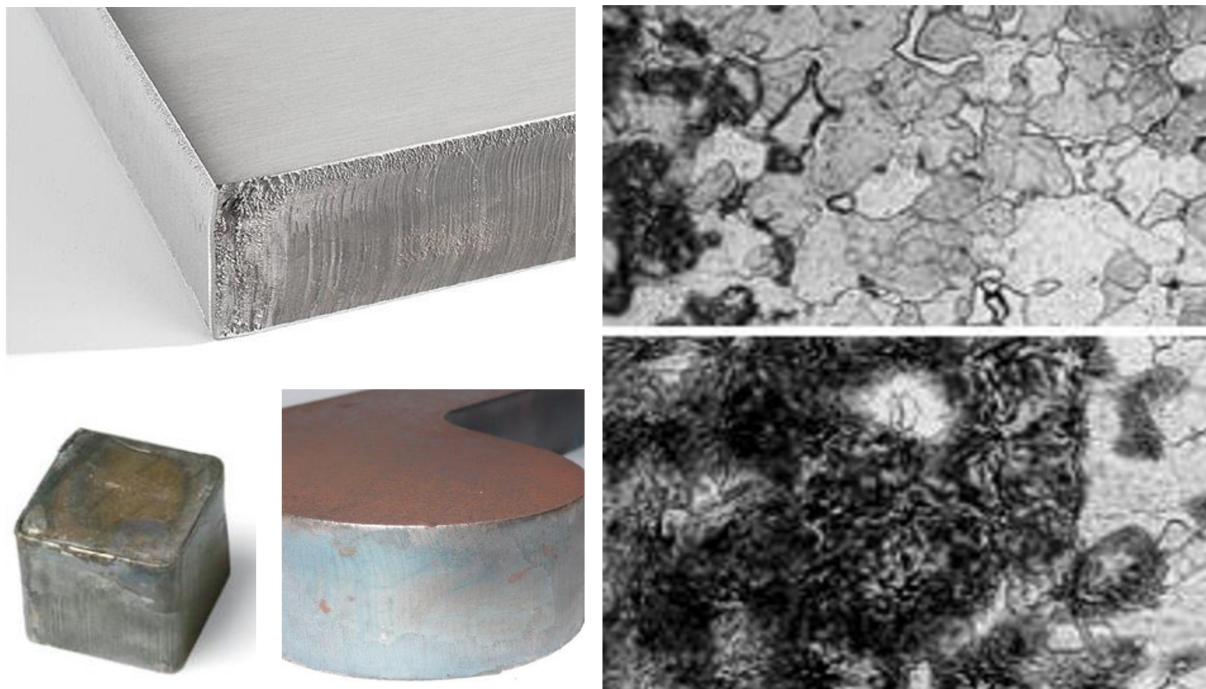
Podle obr. 6 lze popsat nedokonalosti řezné plochy:

- zaoblení horní hrany,
- úkos na řezné hraně,
- rýhy na obráběné ploše,
- v místě vzniku zápalu větší propal.

Přesnost řezání paprskem plazmy lze přirovnat k přesnosti hrubování, a to hlavně díky podřezání při obrábění paprskem plazmy. Pro vysokou kvalitu řezné plochy je požadována konstantní rychlost řezu. Problémem však je, že například při řezné rychlosti 4 m/min nelze měnit libovolně směr kvůli vysokému přetížení. Pro zachycení tohoto přetížení by stroj musel mít dostatečnou tuhost, což by velmi navýšilo cenu stroje, proto se před bodem prudké změny směru plynule reguluje i řezná rychlost.

Za zmínku stojí i fakt, že při obrábění plazmou vzniká kvůli vysoké teplotě plazmy (kolem 25 000 °C) tepelně ovlivněná vrstva o tloušťce až 1 mm.

Přesnost řezání plazmou je $\pm 0,2$ mm.



Obr. 6 Příklady plochy obráběné plazmou [11, 19]

2.1.3 VYHODNOCENÍ METODY

Technologie obrábění paprskem plazmy je omezena pouze na elektricky vodivé materiály, což snižuje rozsah použití.

Bodové vyhodnocení technologie řezání paprskem plazmy:

Klady:

- vysoká řezná rychlost,
- vysoký výkon při řezání materiálu do tloušťky 30 mm,
- produktivní řezání vysokolegovaných ocelí a hliníkových materiálu ve střední a větší tloušťce,
- při řezání pod vodou lze snížit tepelné ovlivnění materiálu.

Zápory:

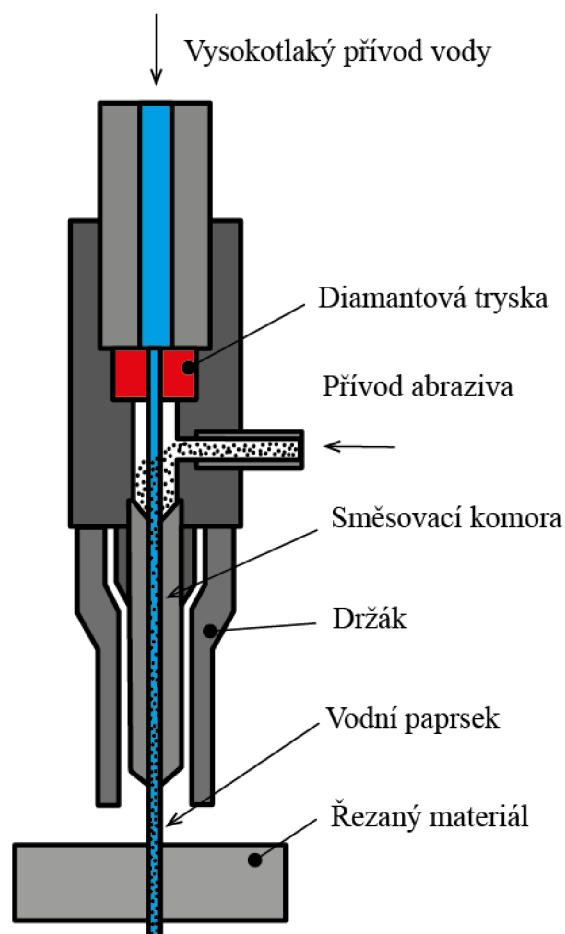
- nízká přesnost,
- špatná kvalita řezné plochy,
- lze řezat pouze elektricky vodivé materiály.

Tato technologie se jeví jako produktivní a ekonomická pro výrobu zadané součásti, ale nelze ignorovat nepřesnost řezání a hlavně tepelně ovlivněnou oblast.

2.2 OBRÁBĚNÍ VODNÍM PAPSREM

Princípem této technologie, viz obr. 7, je dělení materiálu pomocí abrazivního účinku vysokotlakého (800 – 4100 barů) a vysokorychlostního paprsku vody, který vzniká v řezací hlavě, která je zakončena tryskou. Pomocí čerpadla se generuje vysoký tlak a pomocí trysky umístěné v řezné hlavě je dosahováno vysoké řezné rychlosti, a to rychlosti 3x až 4x vyšší než je rychlost zvuku ($340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Pro řezání měkčích materiálu (dřevo, plast, atd.) se používá vodní paprsek o šířce 0,15 – 0,3 mm a pro řezání ostatních materiálu se používá vodní paprsek s příměsí brusného prášku o šířce 0,8 – 1,5 mm. Po provedení řezu je řezná směs zachycena do lapače umístěného pod řezaným materiálem.



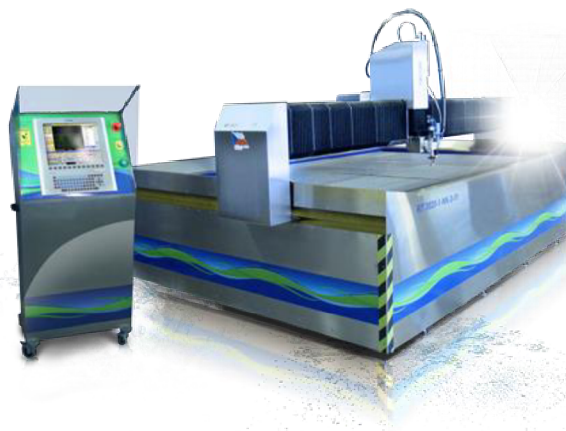
Obr. 7 Princíp vodního paprsku [20]

2.2.1 STROJE PRO OBRÁBĚNÍ VODNÍM PAPSREM

Základem obráběcích strojů pro řezání vodním paprskem jsou vysokotlaká čerpadla, která prostřednictvím multiplikátorů generují vysoký tlak vody (800 – 3800) barů a jejich objemový průtok činí (1,2 – 7,6) l/min, další důležitou součástí stroje je řezací tryska.

Na trhu se stroji pro obrábění vodním paprskem je velký výběr strojů, které se liší hlavně dosahovanými tlaky, přesností a velikostí pracovního prostoru, kdy velikost prostoru je od 1 x 1 m do 12 x 4m. Liší se také technologiemi pro zvýšení přesnosti a rychlosti obrábění.

Při řezání vodním paprskem předpokládáme CNC řízení.



Obr. 8 Obráběcí stroj Rychlý TOM BLUE LINE [13]

2.2.2 JAKOST PLOCHY A PŘESNOST OBRÁBĚNÍ

Ve většině případů vzniká při obrábění úkos o velikosti maximálně (1 – 1,5)°. Na kvalitu a jakost řezné plochy má vliv optimální poměr posuvu a řezné rychlosti. Při pomalém posuvu a velké řezné rychlosti vznikne kužel, kdy větší rozměr je na spodní hraně. Naopak při velkém posuvu a malé řezné rychlosti vznikne kužel obráceně, protože paprsek nestihne probrousit celou šířku materiálu ve svém výstupním průměru. Přesnost řezání lze vidět v tab. 2 a jakost řezné plochy na obr. 9.



Obr. 9 Řezné plochy dle kvality řezání [15]

Tab. 2 Popis stupňů kvality [15]

Stupeň kvality	Popis řezu	Horní řezná hrana		Spodní řezná hrana		Úkos
		Drsnost - Ra	Přesnost	Drsnost - Ra	Přesnost	
Q5	Nejlepší	< 3,2	± 0,1	3,2	± 0,1	Mírný podřez
Q4	Kvalitní	3,2	± 0,1	6,3	± 0,2	Minimální
Q3	Střední	4,0	± 0,15	do 12,5	Dle typu a síly materiálu	
Q2	Hrubý	4,0	± 0,2	do 25		
Q1	Dělicí	4,0 – 6,3	± 0,2	do 40	Nepřesné	Výrazný

2.2.3 VYHODNOCENÍ METODY

Technologií obrábění vodním paprskem lze obrábět veškeré materiály, které nepoškodí přímý kontakt s vodou, což znamená všechny typy ocelí, neželezné kovy, žula, mramor, tvrdé dřevo, lamino, sklo, koberce a mnohem více.

Rychlost řezání pro dělicí, standardní a kvalitní řez, rozříděná podle tloušťky a druhu řezaného materiálu, lze jednoduše stanovit z tabulky uvedené v příloze 1.

Bodové vyhodnocení technologie řezání vodním paprskem:

Klady:

- studený řez (materiál není ovlivněn teplem z obrábění),
- možnost řezání veškerých materiálů,
- řez bez otřepů,
- ekologicky šetrné,
- možnost vysoké jakosti obráběné plochy,
- úzký prořez materiálu (mezera mezi součástkami přibližně 3 mm).

Zápory:

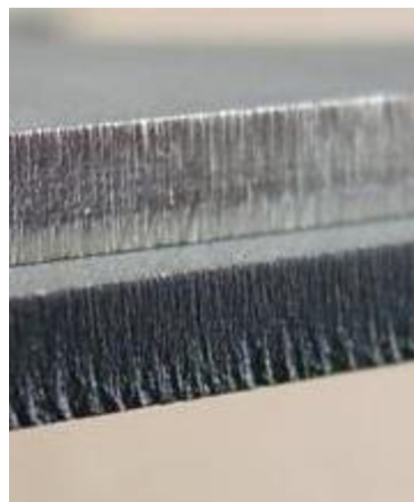
- možnost vzniku koroze,
- tvrdost mírně ovlivňuje rychlost řezání.

Technologicky je tento způsob obrábění více než vhodný, avšak rychlost řezání je oproti laseru a plazmě nízká.

2.3 ŘEZÁNÍ LASEREM [12, 15, 16]

Laser pracuje na principu zesílení světla pomocí vynucené emise záření. Pomocí zesílení je vytvořen úzký paprsek fotonů. Dopadem fokusovaného paprsku na obrobek se materiál v místě dopadu tak silně zahřeje (až 10 000 °C) až dojde k odpaření nebo k odtavení materiálu.

Pro řezání laserem se rozlišují tři základní typy laserů podle druhu aktivního prostředí. Jsou to plynové, pevnolátkové a polovodičové lasery. U plynového laseru vzniká světelná emise po přivedení vysokého napětí na elektrody, které jsou umístěné uvnitř trubice s plynem. U pevnolátkového laseru vzniká světelná emise pomocí vystavení homogenního krystalu silnému stálému externímu světelnému výboji. U polovodičového laseru vzniká světelná emise v tenké přechodové vrstvě na hranici mezi polovodičem typu P a N. V praxi je nejvíce používán plynový laser CO₂ a pevnolátkový laser Er: YAG.



Obr. 10 Kvalita plochy u tavného (horní) a oxidačního řezání [5]

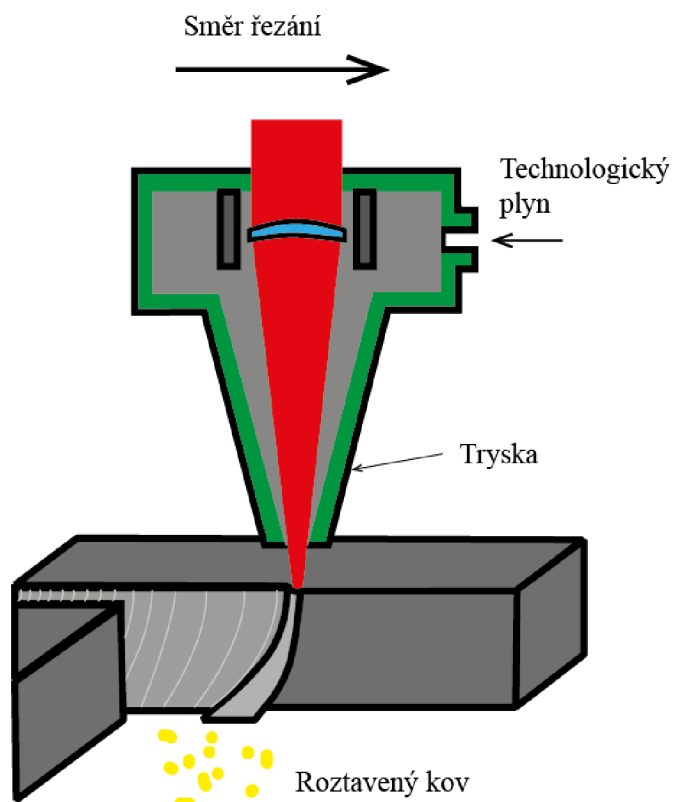
Při řezání laserem se používá několik metod, a to řezání tavné, oxidační (plamenem) a sublimační.

U tavného řezání (obr. 10) se obráběný materiál nataví a vzniklá tavenina je odfukována pomocí čistého inertního plynu (dusík). Výhodou je dosažení nezoxidované řezné plochy vysoké jakosti, avšak nevýhodou je nižší řezná rychlost.

Oxidační řezání má stejný princip jako řezání tavné, ale s tím že místo inertního plynu je použit kyslík. Díky reakci kyslíku s taveninou vzniká exotermická reakce (chemická reakce, při které se uvolňuje teplo), což přispívá k tavení materiálu. Výhodou této metody je vysoká řezná rychlost, která je však na úkor kvality a přesnosti řezaného materiálu.

U sublimačního řezání se materiál v místě řezu odpařuje, tedy sublimuje (přeměna tuhé fáze na plynnou).

U sublimačního řezání se musí u materiálu s tekutou fází dávat pozor na to, aby se páry nezkondenzovaly a tím nesvařily řez. Řez je velmi kvalitní, hladký a bez otřepů.

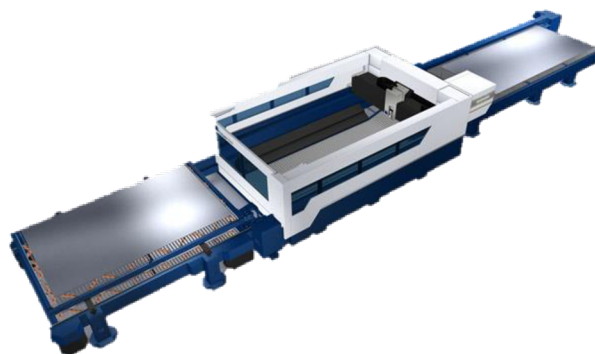


Obr. 11 Princip řezání laserem [8]

2.3.1 STROJE PRO OBRÁBĚNÍ LASEREM

Pro tvarové obrábění laserem existuje široký výběr CNC strojů (obr. 12). Stroje se liší hlavně výkonem, přesností, druhem laseru, možnou tloušťkou řezaného materiálu a velikostí pracovního prostoru.

Velikost pracovní plochy se většinou pohybuje od rozměru 1,5 x 1,25 m až do 6 x 2 m, ale lze najít mnohem větší rozměry a také stroje s paletizací.



Obr. 12 Laserové řezací zařízení Trumpf TruLaser 8000 s paletizací [17]

2.3.2 JAKOST PLOCHY A PŘESNOST OBRÁBĚNÍ [5, 15]

Zaostřený laserový paprsek má kruhový průřez o průměru do 0,5 mm, což je i maximální velikost řezné spáry, většinou však bývá 0,02 až 0,2 mm. Úkos při řezání se pohybuje u tloušťky materiálu do 10 mm do 1°.

Přesnost i jakost závisí na řezaném materiálu, a to hlavně na tloušťce materiálu, jeho tepelné vodivosti, pohltivosti (schopnost pohlcovat světelnou energii a měnit ji na tepelnou) a odrazivosti (poměr energie odražené a energie dopadající).

Přesnost se snižuje s narůstající tloušťkou materiálu.

Přesnost se obvykle pohybuje od $\pm 0,1$ do $\pm 0,2$ mm. U novějších zařízení je nejvyšší opakovatelná přesnost maximálně 0,05 mm.

Drsnost plochy (obr. 12) je většinou $Ra = (3,6 - 12) \mu\text{m}$ a velikost tepelně ovlivněné oblasti (0,05 – 0,2) mm.



Obr. 13 Jakost řezné plochy v tloušťce od 3 do 15 mm [5]

2.3.3 VYHODNOCENÍ METODY

Technologie obrábění laserem je velmi přesné a rychlé řezání pro součásti o malé tloušťce. Touto technologií lze řezat veškeré materiály kromě materiálu s vysokou světelnou odrazivostí. Tloušťka tepelně ovlivněné oblasti je velmi nízká, což je také velkou výhodou pro materiály, které nejsou stabilizovány.

Rychlost řezání, tříděná podle tloušťky a druhu řezaného materiálu, lze vybrat z tabulky uvedené v příloze 2.

Bodové vyhodnocení technologie řezání laserem:

Klady:

- vysoká řezná rychlost,
- možnost řezání veškerých materiálů,
- kvalitní řezná plocha,
- malá šířka řezné mezery,
- řezání velmi malých otvorů a tvarů,
- vysoká přesnost dílů do tloušťky 5 mm.

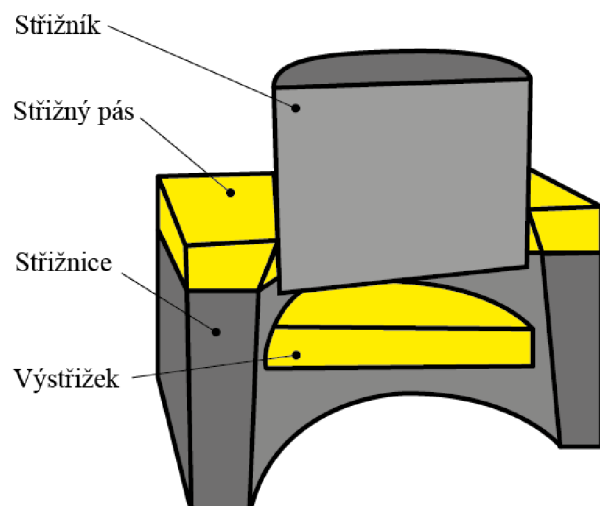
Zápory:

- mírné tepelné ovlivnění materiálu,
- nelze řezat materiály s vysokou světelnou odrazivostí,
- vysoká cena stroje a vybavení,
- vysoké provozní náklady,
- maximální tloušťka řezání konstrukční oceli je pouze 25 mm.

Výroba zadané součásti řezáním laserem je nejvhodnější metoda třískového obrábění, a to jak z hlediska tvarové přesnosti, jakosti plochy tak i produktivity.

2.4 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

Při stříhání (obr. 14) dochází za pomoci tlaku na razník, který je veden proti matrici, k ostřížení součásti, a to buď v jednom, nebo ve více krocích. Pro stříhání tvarových součástek je zapotřebí střížný nástroj, který je vyroben přesně na míru dle zadané součásti, pro požadovanou přesnost a pro určený počet kusů.



Obr. 14 Zjednodušené schéma stříhání [1217]

Stříhání střížnými nástroji je rozděleno na stříhání běžné a stříhání přesné. Pro stříhání je nutný střížný nástroj a lis, na kterém se stříhá. U stříhání se nabízí možnost výroby z dvou různých polotovarů, a to buď z tabule plechu, která je nastříhána na menší pásy podle šířky pásu, nebo ze svitku, který má přímo požadovanou šířku pásu.

Nastříhané pásy z tabule se do nástroje zakládají ručně, avšak při použití svitku lze pomocí podávání a odvíjecího zařízení výrobu zautomatizovat.

2.4.1 STŘIŽNÉ NÁSTROJE

Střížné nástroje mohou být děleny na jednoduché a postupové. Jednoduché nástroje slouží pouze k provedení jedné operace, a to buď k děrování nebo k vystřihování. Postupové nástroje jsou schopny více operací a výstřížek je zhotoven pomocí několika zdvihů.

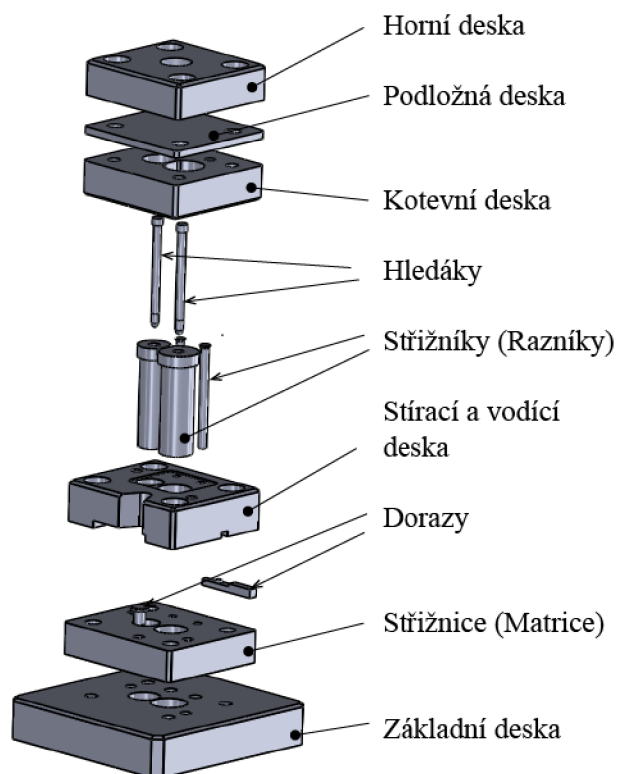
Při návrhu střížného nástroje je zapotřebí dodržovat zavedené požadavky a normy. Nástroj, a tím i nástřihový pás, musí být dimenzován dle požadované výrobní série. U prvků, které se přímo účastní stříhání (střížník a střížnice) se po určitém počtu vyrobených součástí musí nabrousit střížné hrany. Návrh a výroba střížného nástroje je značně zjednodušena díky

množství normalizovaných dílů, které lze zakoupit a pouze upravit podle požadované konstrukce.

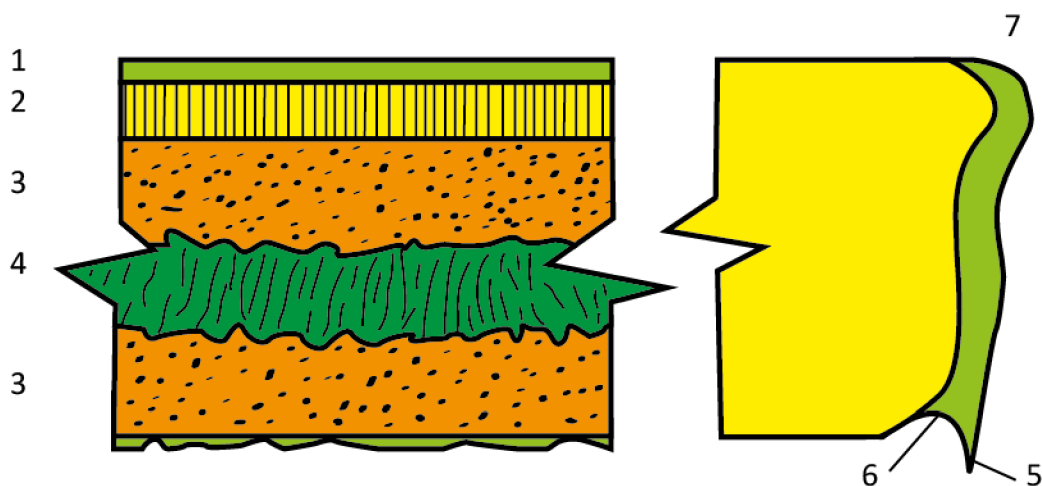
Střížný nástroj se skládá z několika částí (obr. 15), které do sebe zapadají. Horní část nástroje je uchycena pomocí stopky zašroubované do horní desky k beranu lisu a spodní část je pomocí upínacích přípravků přes základní desku přidělána ke stolu lisu.

2.4.2 JAKOST PLOCHY A PŘESNOST STŘÍHÁNÍ [10]

Při stříhání vzniká nerovný, mírně zkosený a drsný povrch (obr. 16). Jakost plochy ovlivňuje střížná vůle, materiálové vlastnosti, tvar a geometrie střížných hran a rychlost stříhání. Jakost plochy je také ovlivněna stupněm otupení střížných hran. Při stříhání lze dosáhnout drsnosti povrchu $R_a = (2,5 - 6,3) \mu\text{m}$ za vhodných podmínek.



Obr. 15 Hlavní části střížného nástroje



Obr. 16 Vzhled střížné plochy; Popis: 1 – pásmo zaoblení, 2 – pásmo plastické deformace, 3 – pásmo lomu, 4 – pásmo otěru, 5 – otřep, 6 – vtisk dolního bříty, 7 – oblast zpevnění [10]

Při stříhání o běžné přesnosti lze podle konstrukce střížného nástroje, tvaru výstřížku a jakosti stříhaného materiálu dosáhnout přesnosti IT14 – IT9 na rozměrech do 200 mm a tloušťky 4 mm.

2.4.3 VYHODNOCENÍ METODY

Metoda stříhání je velmi produktivní pro větší série součástí. Přesnost i jakost plochy pro výstřížky do tloušťky 4 mm je vynikající, ale pro vyšší tloušťky se kvalita plochy a přesnost lineárně s tloušťkou zhoršuje. Na počátku výroby součásti je třeba střížný nástroj vyrobít, což značí vyšší počáteční investici.

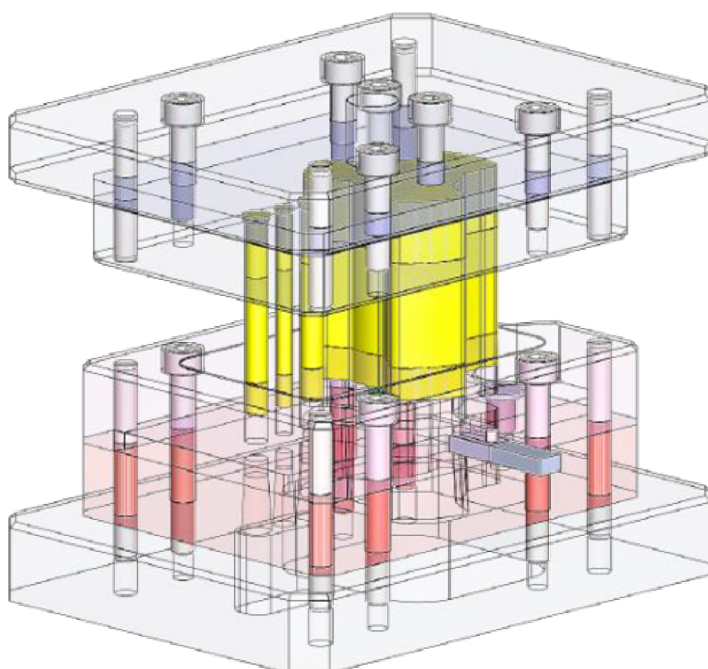
Bodové vyhodnocení technologie stříhání:

Klady:

- sériová výroba,
- možnost manuálního zakládání či automatického stříhání,
- rozměrově přesné a jakostní plocha do tloušťky 4 mm,
- možnost velmi přesného stříhání,
- produktivita se zvyšuje s počtem kusů v sérii.

Zápory:

- potřeba střížného nástroje,
- vyšší odpad,
- vyšší počáteční investice,
- opotřebení funkčních částí a nástroje.



Obr. 17 Postupový střížný nástroj pro zadanou součást

Technologie stříhání je pro zadanou součást více než vhodná, a to jak po stránce přesnosti, tak i po stránce jakosti plochy.

Na obr. 17 lze vidět konstrukci postupové nástroje pro zadanou součást, která je zhotovená ve dvou krocích. V prvním kroku děrujeme a v druhém ostříhujeme, tedy dostaneme hotový výstřížek.

2.5 POROVNÁNÍ METOD VÝROBY ROZVINUTÉHO TVARU SOUČÁSTI

Tab. 3 Přehled technologií výroby rozvinutého tvaru [16]

Technologie	Plazma	Vodní paprsek	Laser	Stříhání
Dělitelné materiály	Pouze elektricky vodivé materiály	Všechny	Všechny, mimo materiálu s vysokou světelnou odrazivostí	Všechny
Teplota řezu / stříhu	Horký řez	Studený	Teplý řez	Studený
Vliv teploty řezu na mat.	Velký	Žádný	Malý	Žádný
Kolmost dělené plochy	Silný odklon	Mírný odklon		
Drsnost dělené plochy	Výrazné rýhy	Ra = (3,2 – 40)	Ra = (3,2 – 12)	Ra = (2,5 – 6,3)
Přesnost	± 0,2 mm	0,1 mm	Až 0,05 mm	IT14 – IT9
Složitost tvaru	Jednoduché	Složitě		
Tloušťka děleného mat.	Střední a velká	Široký rozsah	Malá a střední	

S ohledem na kvalitu je více než vyhovující řezání vodním paprskem, které je však oproti stříhání a obráběním laserem méně produktivní (nízká řezná rychlost). Řezání plazmou je nejméně vyhovující, a to kvůli nevyhovující jakosti plochy a přesnosti. Neméně zanedbatelná je také tepelně ovlivněná oblast, která je u plazmy až 1 mm, kdy u laseru je více než 5x nižší.

Ze všech zmíněných technologií výroby rozvinutého tvaru zadané součásti nejvíce vyhovuje řezání laserem a stříhání. Řezání laserem se hodí pro malé série a stříhání pro střední a velké série.

3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ ROZVINUTÉHO POLOTOVARU

Technologie ohýbání je druhou částí výroby zadané součásti, kdy v první fázi je vyroben rozvinutý tvar součásti a poté jsou ramena ohnuta o 45° . Kapitola obsahuje pouze základní informace o ohýbání.

3.1 OHÝBÁNÍ

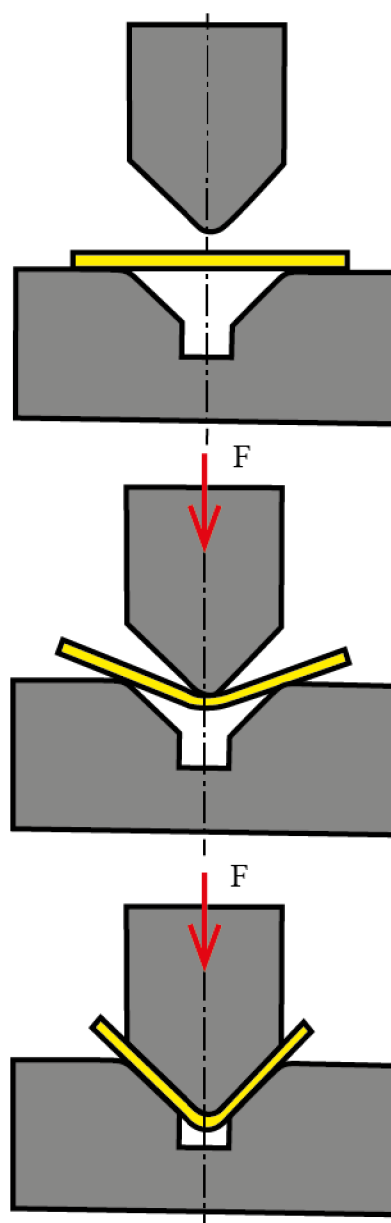
Ohýbání je součástí plošného tváření. Většinou se ohýbá za studena, ale tvrdé a křehké materiály se ohýbají za tepla. Principem ohýbání je vytvořit trvalou deformaci materiálu, tedy ohnutí do požadovaného tvaru. Působením síly v materiálu vzniká napětí, které musí být vyšší než mez kluzu, aby se dosáhlo trvalé deformace, a zároveň nižší než mez pevnosti (obr. 18).

Pro ohýbání se používají různé přípravky nebo ohýbací nástroje navrhované přímo pro požadovanou součást. Tyto pomůcky se upnou na lis, kde za působení tlaku dochází k ohybu. Pracovní nástroje pro ohýbání se nazývají ohybník a ohybnice.

Pro správný návrh ohýbacího nástroje je třeba počítat s odpružením materiálu. Odpružení nastává z důvodu nepřekročení meze pružnosti v oblasti kolem neutrální osy, kde je napětí až nulové. Odpružení je pro každý materiál jiné. Většinou eliminace odpružení probíhá tak, že se materiál ohne o úhel odpružení více.



Obr. 19 Současný ohýbací nástroj



Obr. 18 Schéma ohýbání

3.2 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ

Ohýbací nástroj pro výrobu je již navrhnutý, vyrobený a delší dobu ve výrobě (obr. 19). Rozvinutý tvar je nasazen na jeden trn, který zajistí jeho polohu při ohýbání a také slouží jako vedení nástroje, a poté pomocí tlaku je ohnut do zadaného úhlu, tedy 45° . Součást je zakládána vždy po jednom kusu.

4 TECHNOLOGIE VÝROBY SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

Způsob výroby pomocí sruženého nástroje je velmi produktivní pro velké série, ale s nevýhodou poměrně velké počáteční investice.

4.1 PRINCIP

Sružený nástroj je takový nástroj, který v sobě kombinuje více různých pracovních operací, a to stříhání, ohýbání, tažení a podobně. Nástroj bývá plně automatizován, kdy polotovarem je svitek plechu, který je veden a rovnán do nástroje. V nástroji je pomocí několika kroků, které se mohou lišit operacemi, plošně tvářen a na konci nástroje je hotový výlisek.

Při lisování pomocí sruženého nástroje snižujeme čas potřebných k lisování součástí, které je nutné vyrobít pomocí více operací plošného tváření. Odpadá nám manipulační čas a čas lisování se tak zmenšuje.

Přesnost stříhání a ohýbání je stejná jako u operací samotných.

4.2 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Pro výrobu zadané součásti by měl nástroj obsahovat postupné vytvoření rozvinutého tvaru součásti, který bude k pásu připevněn můstky a bude možné ohnout ramena součásti. Po ohnutí ramen je poslední operací ostřížení technologických můstků a propad součástí do bedny. Na konci nástroje je odpad pásu šrotován.

Pro výrobu zadané součástí je technologie vhodná pouze pro vyšší množství kusů za rok.

5 EKONOMICKÁ ÚVAHA

Před výrobou jakékoliv součásti je nutné na základě faktů, jako je velikost výrobní série, způsob výroby a další, rozhodnout která varianta je technologicky i ekonomicky nejvíce příznivá. Veškeré uváděné ceny jsou bez DPH a v Kč.

5.1 CENA JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU ROZVINUTÉHO TVARU

Podle informací nalezených na internetu a cenových poptávek bylo vytvořeno cenové rozmezí jednotlivých výrobních metod pro rozvinutý tvar.

5.1.1 ŘEZÁNÍ PAPERSEM PLAZMY

I přesto, že obrábění plazmou je částečně nevyhovující z ohledu technologického (tepelně ovlivněná oblast), tak bude pro cenové srovnání zařazeno.

Tab. 4 Informace o ceně z webových stránek společnosti METALCUT [10]

Tloušťka plechu [mm]	Černý plech		Nerezový plech	
	Kč / m řezu	Kč / m propal	Kč / m řezu	Kč / m propal
1 – 4	25	3	28	6
5 – 10	36	6	40	12
12 – 15	42	9	65	18
16 – 20	60	12	80	22
22 - 30	70	15	95	28

Protože cena za metr řezu je známa, je zapotřebí spočítat cenu za jeden kus včetně materiálu. To znamená, že musí být nalezena vhodná velikost nerezového plechu a zvoleno množství, které lze vyřezat z jedné tabule plechu a poté podělit cenu materiálu počtem výpalků. K ceně materiálu za kus je přičtena cena za řezání celého obvodu jedné součásti.

Tab. 5 Přibližný odhad ceny za 1 výpalek

Rozměry tabule			Cena tabule bez DPH	Počet výpalků z 1 tabule	Cena materiálu za 1 kus	Cena za 1m řezu	Obvod 1 ks [mm]	Cena řezu za 1 ks	Cena celkem [Kč]
Šířka [mm]	Délka [mm]	Tloušťka [mm]							
1000	2000	2	2198,0	494	4,449	28	292,9	8,201	12,651
1250	2500		3655,0	792	4,615				12,816
1500	3000		5162,5	1160	4,450				12,652

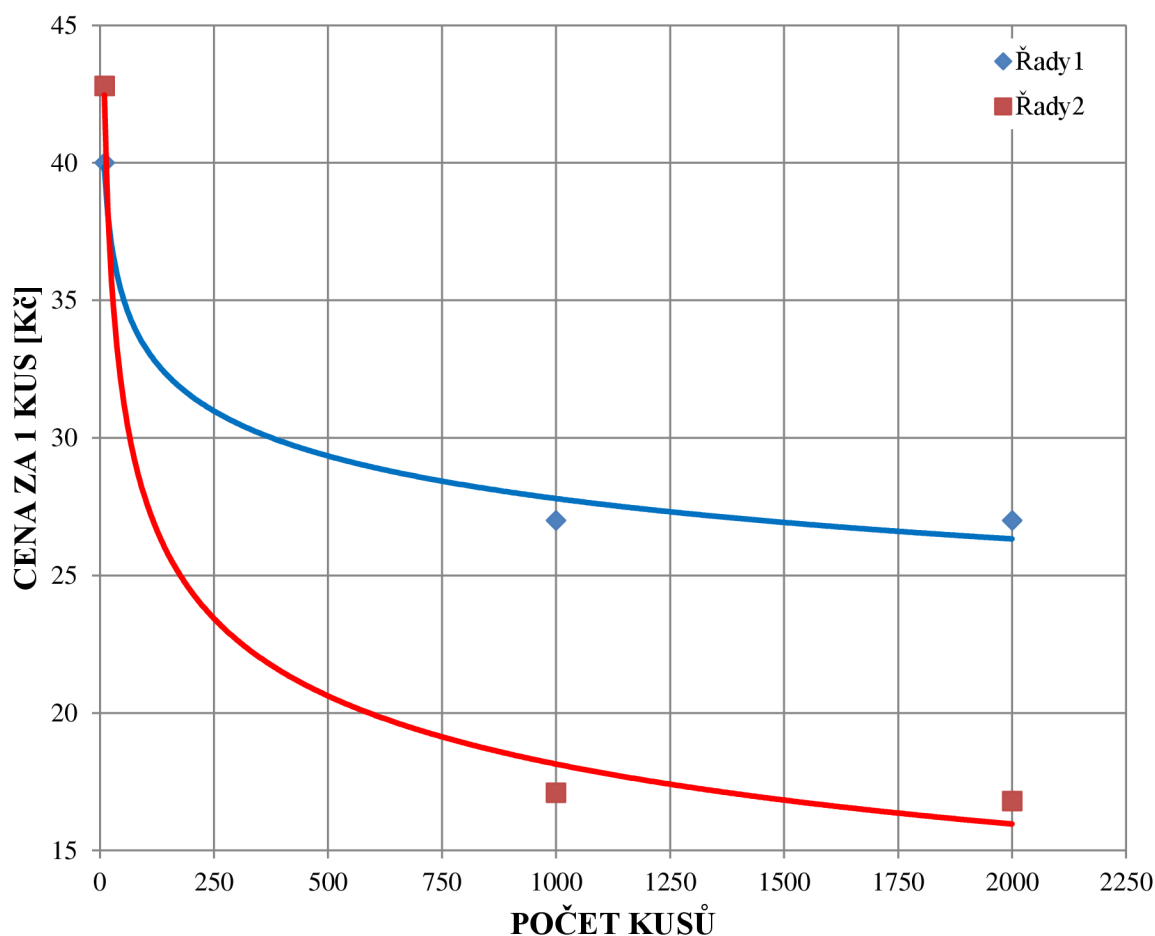
Nejnižší cena řezání plazmou byla u společnosti METALCUT, kdy nejnižší vypočtená cena výpalku je z tabule o rozměru 1 x 2 m, a to 12,651 Kč (tab. 5).

5.1.2 OBRÁBĚNÍ VODNÍM PAPSREM

Obrábění vodní paprskem je velmi vhodné pro řezání z hlediska přesnosti a jakosti plochy. Pro obrábění vodním paprskem není nikde dostupný ceník za 1 m řezu, protože nabídky se pro řezání vodním paprskem tvoří pomocí programu, který vytvoří cenu dle podkladů (výkres ve formátu DWG nebo DXF).

Tab. 6 Přehled cen z cenových nabídek pro vodní paprsek

Firma	AWAC		AQUAdem	
Počet kusů	Cena celkem [Kč]	Cena za 1 ks [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena za 1 ks [Kč]
10	400	40	428	42,8
1000	27 000	27	17 100	17,1
2000	54 000	27	33 600	16,8



Graf 1 Srovnání cen a proložení bodů nejlépe se hodící křivkou

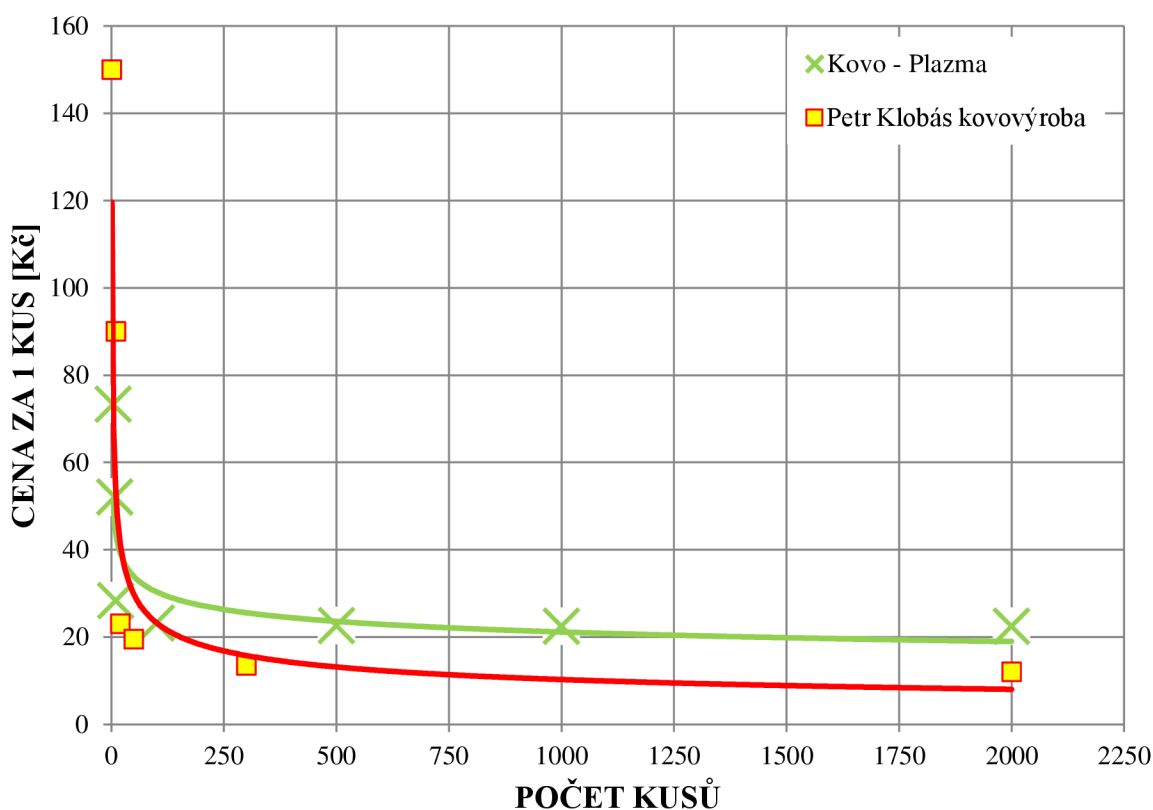
V grafu výše lze vidět teoretickou závislost ceny na počtu kusů od různých firem. Ceny uvedené v tabulce a tedy i grafu jsou včetně požadovaného materiálu. Po proložení bodů vzniká v grafu jistá odchylka.

5.1.3 ŘEZÁNÍ LASEREM

Zadaná součást je v současné době vyráběná tímto způsobem. Přesností i jakostí plochy technologie odpovídá. Určení ceny je podobné jako u řezání vodním paprskem, tedy z cenové nabídky.

Tab. 7 Přehled cen z cenových nabídek pro laser

Cena programu	Kovo - Plazma					Petr Klobás kovovýroba		
	Počet ks		Cena za kus [Kč]	Aproximace		Počet ks		Cena za kus [Kč]
	Od	Do		4	73,300	Od	Do	
50	1	4	60,80	8	52,050	1	9	150,00
	5	9	45,80	10	28,300	10	19	90,00
	10	99	23,30	100	23,200	20	49	23,00
	100	499	22,70	500	22,600	50	299	19,50
	500	999	22,50	1000	22,450	300	1000	13,50
	1000	a více	22,40	2000	22,425	2000	a více	12,00



Graf 2 Závislost ceny za kus na počtu kusů vhodně proloženo křivkou

Dle grafu lze určit přibližnou cenu dle počtu kusů pro dvě firmy, která obsahuje tvorbu programu, materiál a řezání laserem.

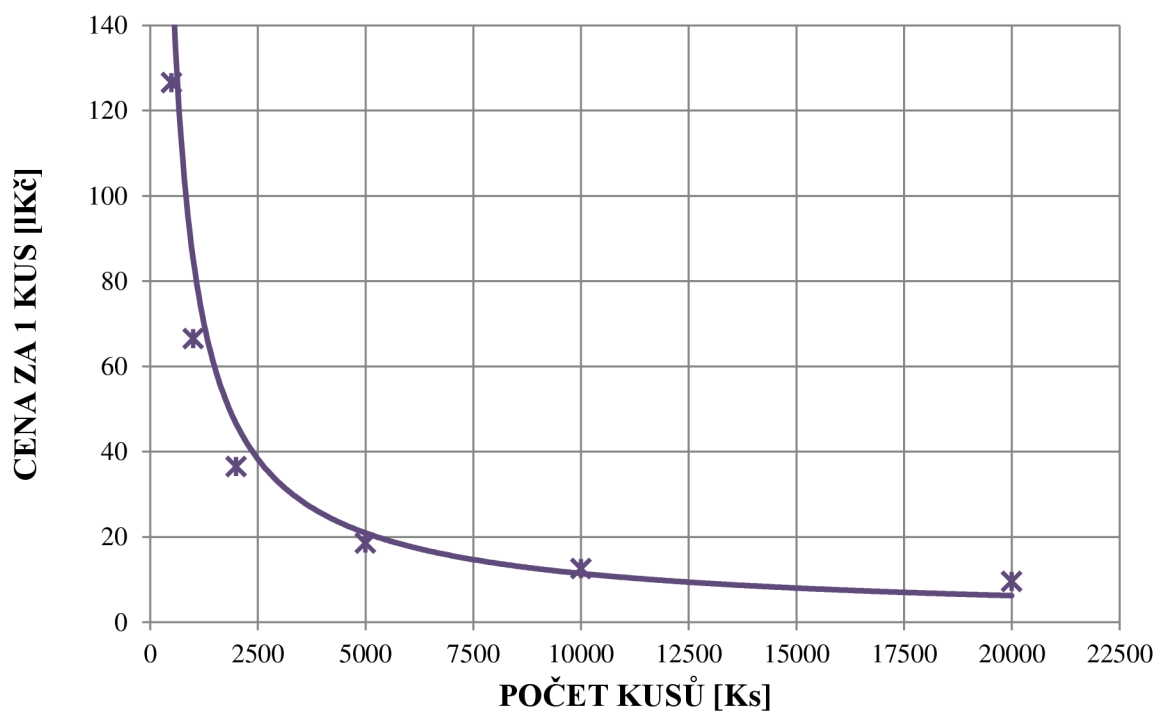
5.1.4 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ - STŘIHÁNÍ

U stříhání musí být bráno na vědomí, že tato technologie se vyplatí až poté, kdy je dosažen minimální počet kusů, kdy cena za kus je přijatelná a nižší než další metody. U stříhání nesmíme zapomenout započítat i cenu za hodinu.

Dle cenové nabídky je vytvořena následující tabulka a z ní graf.

Tab. 8 Ceny pro technologii stříhání

Cena nástroje [Kč]	Cena materiálu na kus [Kč]	Manipulace a příprava materiálu na kus [Kč]	Počet kusů vyroben za hodinu	Cena na hodinu pro lisování	Počet kusů	Cena za kus [Kč]
60 000	4,63	1,39	720,00	400,00	10	6006,57
					50	1206,57
					500	126,57
					1000	66,57
					2000	36,57
					5000	18,57
					10000	12,57
					20000	9,57



Graf 3 Závislost ceny za kus na počtu kusů u technologie stříhání

5.2 CENA VÝROBY OHNUTÉHO TVARU

Cena ohnutého tvaru je přímo závislá na ceně ohýbacího nástroje. Čím více bude ohýbaných součástí, tím menší bude cena. Protože už je nástroj vyroben, je známa jeho přesná cena, která je uvedena v tab. 9. Stejně jako u stříhání i zde je třeba započítat cenu na hodinu lisování.

Tab. 9 Ceny pro ohýbání v ohýbacím nástroji

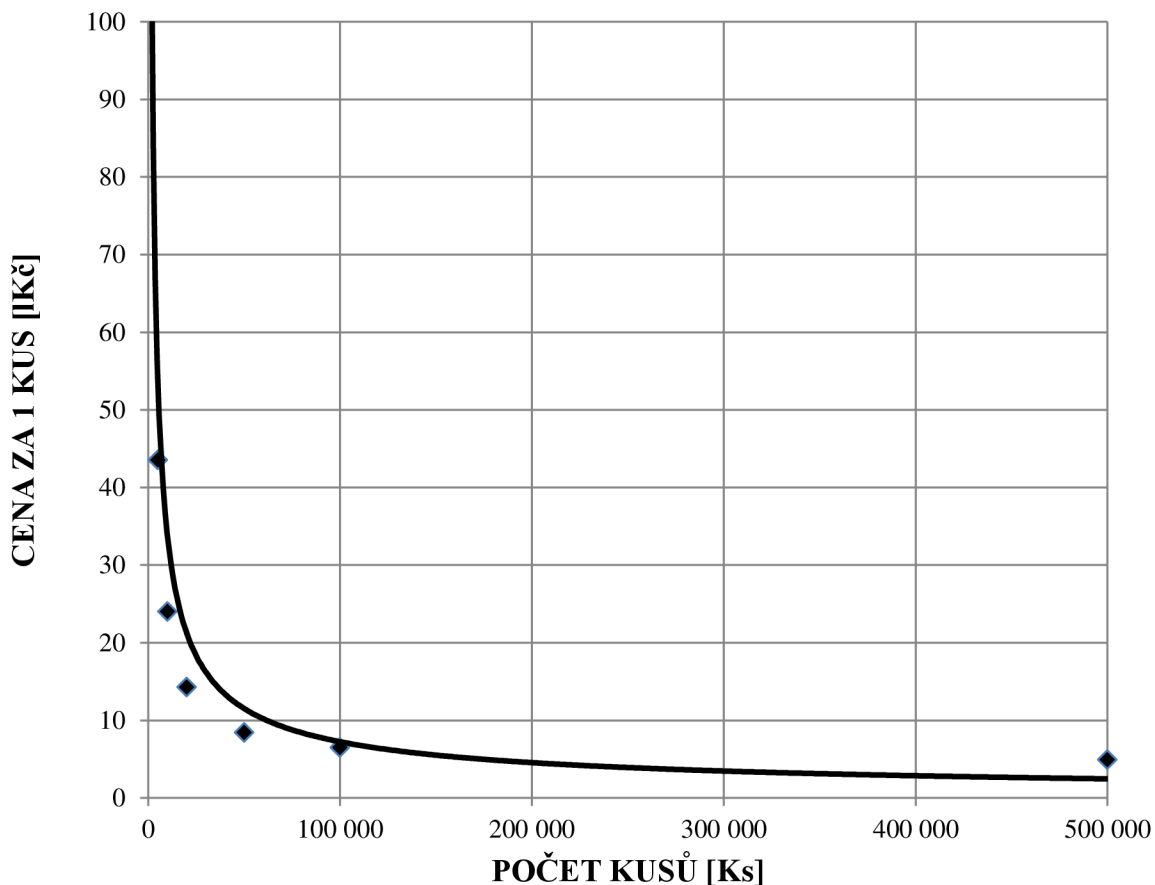
Cena nástroje [Kč]	Počet kusů vyrobených za hodinu	Cena na hodinu pro lisování [Kč]
12 500	375	400

5.3 CENA VÝROBY SOUČÁSTI VE SDRUŽENÉM NÁSTROJI

Jak již bylo dříve uvedeno, u výroby ve sdruženém nástroji je cena investice na počátku nejvyšší, avšak výroba je relativně rychlá a s přibývajícím množstvím kusů i velmi produktivní. Cena nástroje pochází z cenové nabídky od firmy zabývající se výrobou nástrojů.

Tab. 10 Ceny pro technologii výroby sdruženým nástrojem

Cena nástroje [Kč]	Cena materiálu na kus [Kč]	Počet kusů vyroben za hodinu	Cena na hodinu pro lisování [Kč]	Počet kusů	Cena za kus [Kč]
195 000	4,00	1800,00	1000,00	500	394,56
				1 000	199,56
				5 000	43,56
				10 000	24,06
				20 000	14,31
				50 000	8,46
				100 000	6,51
				500 000	4,95



Graf 4 Závislost celkové ceny výrobku na počtu kusů pro sdružený nástroj

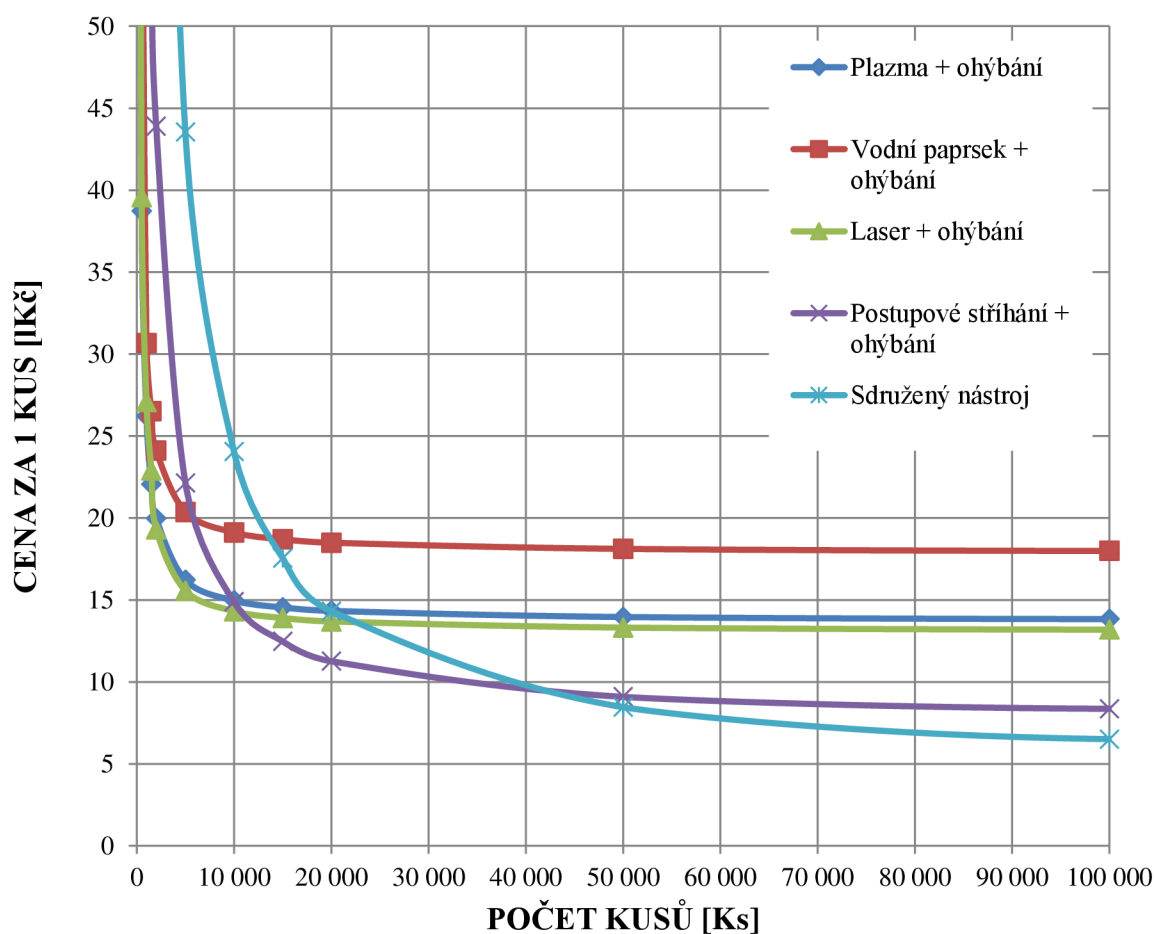
5.4 CELKOVÁ CENA SOUČÁSTI

V této kapitole je vytvořen graf, který shrnuje veškeré metody a porovnává, která je nejproduktivnější pro různé množství kusů.

Pro názorné srovnání výrobních technologií jsou v tab. 11 uvedeny ceny za kus pro různé série a v graf 5 jsou hodnoty vyneseny.

Tab. 11 Srovnání cen výrobních možností

Počet kusů	Plazma + ohýbání	Vodní paprsek + ohýbání	Laser + ohýbání	Postupové stříhání + ohýbání	Sdružený nástroj
1	12 513,72	12 543,87	12 651,07	72 507,64	195 004,56
10	1 263,72	1 293,87	1 341,07	7 257,64	19 504,56
100	138,72	168,87	145,57	732,64	1 954,56
500	38,72	68,87	39,57	152,64	394,56
1 000	26,22	30,67	27,07	80,14	199,56
1 500	22,05	26,50	22,90	55,97	134,56
2 000	19,97	24,12	19,32	43,89	102,06
5 000	16,22	20,37	15,57	22,14	43,56
10 000	14,97	19,12	14,32	14,89	24,06
15 000	14,55	18,70	13,90	12,47	17,56
20 000	14,34	18,49	13,69	11,27	14,31
50 000	13,97	18,12	13,32	9,09	8,46
100 000	13,84	17,99	13,19	8,37	6,51
500 000	13,74	17,89	13,09	7,79	4,95



Graf 5 Srovnání cen za kus ve vybraných technologiích výroby (více v příloze 3)

6 ZÁVĚR

Práce shrnuje možnosti výroby zadané součástí. Veškeré technologie výroby jsou stručně vysvětleny a definovány včetně jejich kladů a záporů.

Cílem práce ovšem bylo navrhnout možné způsoby výroby držáku madla tak, aby byla ekonomická a splňovala technologické požadavky, tedy přesnost a jakost.

Hlavní metody výroby jsou dvě, a to buď pomocí vytvoření rozvinutého tvaru (řezání plazmou, laserem, vodním paprskem nebo stříhání na postupovém nástroji) a následném ohnutí v ohýbacím nástroji, nebo výrobou ve sdruženém nástroji. Z těchto metod se z technologického hlediska nehodí pouze řezání plazmou, a to kvůli nevyhovující jakosti plochy, přesnosti a velké tepelně ovlivněné oblasti při řezání. Ostatní metody vyhovují požadavkům na výrobu součástí.

Další kritériem, které musíme brát v úvahu je, aby výroba byla ekonomická pro zvolenou výrobní sérii.

V tab. 11 jsou uvedeny ceny za kus pro různé výrobní série a metody. Obrábění vodním paprskem je oproti řezání laserem ekonomicky méně vhodné. Cena za kus je při řezání vodním paprskem v celém rozsahu výrobních sérií vyšší, kromě série do 10 ks. Další výrobní technologie se hodí pro různé výrobní série:

- řezání laserem + ohýbání v ohýbacím nástroji (přibližně do 12 500 ks),
- stříhání v postupovém nástroji + ohýbání v ohýbacím nástroji (přibližně od 12 500 do 40 000 ks),
- výroba ve sdruženém nástroji (přibližně od 40 000 ks).

Z výše uvedeného tedy plyne, že současná technologie výroby pro stávající výrobní sérii je vyhovující, a to dostačující rozměrovou přesností, jakostí plochy a cenou.

Protože firma v blízké době zamýšlí rozšíření výroby, a tedy i zvýšení výrobní série na množství, kdy současná výrobní technologie bude neefektivní, bylo by vhodné se více zaměřit na výrobu pomocí stříhání v postupovém nástroji a pokud by i tato varianta nebyla dostačující, pak na výrobu ve sdruženém nástroji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Evropská databanka. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://nabidky.edb.cz/>
2. FLOW. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.flowcorp.cz/>
3. GOZ METAL. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: www.gozmetal.cz
4. Hofmannovy cesty. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.hofmann.estranky.cz/>
5. CHPS s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://chps.cz/>
6. INOX spol. s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
7. Koupelny SEN. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: www.koupelny-sen.cz
8. Lao: Lasery a Optika. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
9. Laserové řezání. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/lasery/node8.html>
10. METALCUT. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.metalcut.cz/>
11. MStainless. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.mstainless.de/en/>
12. Průmyslové spektrum. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
13. Rychlý TOM. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.rychlytom.cz/>
14. SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
15. Technická univerzita Ostrava. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/>
16. TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění – 3. část. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
17. TRUMPF. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: www.cz.trumpf.com
18. Vanad. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.vanad.cz/>
19. Waterjet. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.cncwaterjet.co.uk/cutting.htm>
20. WCM. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://wcm.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní zobrazení zadané součásti s hlavními rozměry	11
Obr. 2 Mosazné koupelnové madlo.....	12
Obr. 3 Možné metody výroby	13
Obr. 4 Zjednodušené schéma plazmového řezání	14
Obr. 5 Plazmový řezací stroj Vanad KOMPAKT	14
Obr. 6 Příklady plochy obráběné plazmou	15
Obr. 7 Princip vodního paprsku	16
Obr. 8 Obráběcí stroj Rychlý TOM BLUE LINE	17
Obr. 9 Řezné plochy dle kvality řezání	17
Obr. 10 Kvalita plochy u tavného (horní) a oxidačního řezání	18
Obr. 11 Princip řezání laserem	19
Obr. 12 Laserové řezací zařízení Trumpf TruLaser 8000 s paletizací	19
Obr. 13 Jakost řezné plochy v tloušťce od 3 do 15 mm	20
Obr. 14 Zjednodušené schéma stříhání	21
Obr. 15 Hlavní části střížného nástroje	22
Obr. 16 Vzhled střížné plochy.....	22
Obr. 17 Postupový střížný nástroj pro zadanou součást.....	23
Obr. 18 Schéma ohýbání	25
Obr. 19 Současný ohýbací nástroj	25

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mezní úchytky pro střední přesnost dle ISO 2768 - m	11
Tab. 2 Popis stupňů kvality	17
Tab. 3 Přehled technologií výroby rozvinutého tvaru	24
Tab. 4 Informace o ceně z webových stránek společnosti METALCUT	27
Tab. 5 Přibližný odhad ceny za 1 výpalek	27
Tab. 6 Přehled cen z cenových nabídek pro vodní paprsek	28
Tab. 7 Přehled cen z cenových nabídek pro laser	29
Tab. 8 Ceny pro technologii stříhání	30
Tab. 9 Ceny pro ohýbání v ohýbacím nástroji	31
Tab. 10 Ceny pro technologii výroby sdruženým nástrojem	31
Tab. 11 Srovnání cen výrobních možností	33

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Srovnání cen a proložení bodů nejlépe se hodící křivkou	28
Graf 2 Závislost ceny za kus na počtu kusů vhodně proloženo křivkou	29
Graf 3 Závislost ceny za kus na počtu kusů u technologie stříhání	30
Graf 4 Závislost celkové ceny výrobku na počtu kusů pro sdružený nástroj	32
Graf 5 Srovnání cen za kus ve vybraných technologiích výroby (více v příloze 3)	33

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Rychlost řezání vodním paprskem
- Příloha 2 Rychlost řezání laserem
- Příloha 3 Srovnání cen za kus ve vybraných technologiích výroby.

PŘÍLOHA 1

Informativní hodnoty pro rychlost řezání vodním paprskem s abrazivem na stroji FLOW PASER Plus, 80 mesh								
Materiál / Tloušťka [mm]	Rychlost řezání [mm / min]							
	5	10	15	20	25	30	50	100
Dělicí řez								
Ušlechtilá ocel	678	370	236	169	128	102	48	18
Nerezová ocel 1.4301	833	454	290	208	159	125	60	22
Titan	1083	590	377	270	206	163	78	28
Hliník	2250	1226	782	561	427	339	162	59
Žula	2974	1621	1035	741	565	448	214	78
Sklo	4315	2352	1502	1075	820	650	310	113
Mramor	4672	2547	1626	1164	888	704	336	123
Plexisklo	4904	2674	1707	1222	932	739	352	129
Kevlar	6195	3378	2156	1543	1178	934	445	163
Grafit	8087	4409	2815	2015	1538	1219	581	213
Keramická rouna	8869	4835	3087	2210	1686	1337	637	233
Standartní řez								
Ušlechtilá ocel	542	296	189	135	102	82	38	14
Nerezová ocel 1.4301	666	363	232	166	127	100	48	18
Titan	866	472	302	216	165	130	62	22
Hliník	1800	981	626	449	342	271	130	47
Žula	2379	1297	828	593	452	358	171	62
Sklo	3452	1882	1202	860	656	520	248	90
Mramor	3738	2038	1301	931	710	563	269	98
Plexisklo	3923	2139	1366	978	746	591	282	103
Kevlar	4956	2702	1725	1234	942	747	356	130
Grafit	6470	3527	2252	1612	1230	975	465	170
Keramická rouna	7095	3868	2470	1768	1349	1070	510	186
Kvalitní řez								
Ušlechtilá ocel	271	148	94	68	51	41	19	7
Nerezová ocel 1.4301	333	182	116	83	64	50	24	9
Titan	433	236	151	108	82	65	31	11
Hliník	900	490	313	224	171	136	65	24
Žula	1190	648	414	296	226	179	86	31
Sklo	1726	941	601	430	328	260	124	45
Mramor	1869	1019	650	466	355	282	134	49
Plexisklo	1962	1070	683	489	373	296	141	52
Kevlar	2478	1351	862	617	471	374	178	65
Grafit	3235	1764	1126	806	615	488	232	85
Keramická rouna	3548	1934	1235	884	674	535	255	93

PŘÍLOHA 2

Informativní hodnoty pro rychlost řezání laserem CO ₂						
Materiál / Tloušťka [mm]	Rychlost řezání [mm / min]					
	0,51	1	2	3,2	6,4	13
Měkká ocel	-	5 334	4 698	3 810	2 538	1 260
Nerezová ocel	25 380	13 968	8 256	4 698	2 040	456
Hliník	20 322	8 892	3 810	2 538	1 014	762
Titan	7 620	7 620	2 538	2 040	1 500	1 020
Překližka	-	-	-	1 500	1 500	660

PŘÍLOHA 3

