

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004-0 Strojírenská technologie –
technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nápravných opatření pro odstranění neshodnosti dílů při řezání
CNC plazmou

Autor: **Bc. Radim Jandík**
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim JANDÍK**
Osobní číslo: **S14N0067K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Návrh nápravných opatření pro odstranění neshodnosti dílů
při řezání CNC plazmou**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

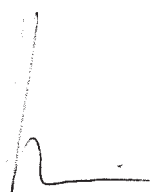
1. Úvod
2. Rozbor neshod
3. Analýza procesu řezání a možných příčin neshod
4. Návrh nápravných opatření
5. Technickoekonomické zhodnocení

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- **Manufacturing Technology:** <http://www.cirp.net>
- **MM Průmyslové spektrum :** <http://www.mmspektrum.com/clanky.html>
- **STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE :**
<http://casopis.strojirenskatechnologie.cz/>
- **MORÁVEK, R. :** Nekonvenční metody obrábění /2. vyd. Plzeň : 1999.
ISBN 80-7082-518-9.
- **CIRP ANNALS - Manufacturing Technology:** (<http://www.cirp.net/>)
- **MM Průmyslové spektrum Obráběcí stroje a technologie:**
(<http://www.mmspektrum.com/clanky-nomenklatura/obrabeci-stroje-a-technologie>)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **20. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

L.S.



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

V Plzni dne 20. října 2014

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Jandík	Jméno Radim		
STUDIJNÍ OBOR	2303T004-0 „Strojírenská technologie - technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D.	Jméno Jiří		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh nápravných opatření pro odstranění neshodností dílů při řezání CNC plazmou			

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	68	TEXTOVÁ ČÁST	68	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce hledá příčiny vzniku neshodných dílců při pálení plazmou. Výpalky mohou být širší až o 4 mm nebo na nich může vzniknout odskok od plánovaného obrysu výpalku. Proto se práce zabývá návrhem nápravných opatření a jejich technickoekonomickému hodnocení. Problematika je řešena i přímo s výrobcem stroje Microstep.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Plazmové řezání, nápravná opatření, nekonvenční obrábění, výpalek, S960, S690, HiFocus, Kjellberg, Microstep

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Jandík	Name Radim	
FIELD OF STUDY	2303T004-0 „Engineering technology – machining technology“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Proposal for corrective measures to eliminate the nonconformity of the parts in the process of shape cutting with CNC plasma		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	68	TEXT PART	68	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The diploma thesis looks for the causes of nonconforming parts in the process of plasma burning. Shape burnouts can be up to 4 mm wider, or they may deflect from the planned outline of the burnout. Therefore, the thesis also deals with the design of corrective measures and their technical-economic evaluation. This issue is dealt directly with the manufacturer of Microstep machines. The found causes are supported by scientific literature. The thesis includes several variants of the corrective measures, and it compares the most appropriate ones. The final choice, however, is left to the CNC plasma owner's decision.</p>
KEY WORDS	<p>Plasma cutting, corrective measures, unconventional machining, burnout, S690, S960, HiFocus, Kjellberg, Microstep</p>

Obsah

1	Úvod.....	11
1.1	Seznámení s pracovištěm.....	12
1.2	Druhy vad ve výrobním sortimentu.....	13
2	Porovnání dostupných technologií.....	16
2.1	Představení technologií pro tvarově složité plošné dílce.....	16
2.1.1	Obrábění plazmovým paprskem.....	16
2.1.2	Obrábění laserovým paprskem.....	19
2.1.3	Obrábění paprskem elektronů	20
2.1.4	Obrábění vodním paprskem	20
2.1.5	Obrábění abrazivním paprskem	21
2.1.6	Elektroerozivní obrábění (elektrojiskrové)	22
2.1.7	Řezání kyslíkem	22
2.2	Cenové srovnání technologií	22
3	Rozbor neshod.....	25
3.1	Rozbor neshod vznikajících na stroji Microstep	25
3.1.1	Odchylka od požadovaného rozměru	25
3.1.2	Odskok od obrysu výpalku.....	25
3.2	Typické vady pro plazmovou technologii	26
3.2.1	Odchylka úhlu dělení	26
3.2.2	Rozšíření dělicí mezery	26
3.2.3	Vyhlobení dělené plochy.....	27
3.2.4	Nevhodný tvar reliéfu, vznik otřepů	27
3.2.5	Nepřavidelná hloubka stopy dělení, zápal.....	28
3.2.6	Natavení hrany dělení.....	29
3.2.7	Horizontální drážka	29
3.2.8	Zvlnění plochy.....	29
3.2.9	Odtavení hrany	30
4	Analýza procesu řezání a možných příčin neshod	31
4.1	Možné příčiny vzniku délkových odchylek od požadovaného rozměru	31
4.1.1	Vliv rozdílné tloušťky materiálu	31
4.1.2	Vliv výšky hořáku od materiálu	33
4.1.3	Vliv zdvihu okrajového (zbytkového) materiálu	34
4.1.4	Vliv znečištění roštu.....	36

4.1.5	Vlnitost plechu	38
4.1.6	Přesnost stroje Microstep	38
4.1.7	Přesnost plazmové technologie Kjellberg	38
4.1.8	Přesnost rotační hlavice Microstep	38
4.1.9	Kontrola požadavků ve výběrovém řízení	39
4.1.10	Šířka řezné štěrby	39
4.2	Odskok od obrysu výpalku	40
4.2.1	Deformace okrajového materiálu	40
5	Návrh nápravných opatření	43
5.1	Rozdílňá tloušťka plechu	43
5.2	Zdvih okrajového materiálu	44
5.2.1	Využití snímačů	44
5.2.2	Změna řídicího systému	45
5.2.3	Změna technologie – dodatečné úkosování	46
5.2.4	Změna technologie – tvorba můstků	47
5.2.5	Změna technologie – otočení úkosu	48
5.2.6	Změna technologie – změna postupu řezání	49
5.2.7	Změna technologie – řezání okraje	51
5.3	Znečištění roštu	52
5.4	Přesnost rotační hlavice Microstep	53
5.5	Šířka řezné spáry (štěrby)	53
6	Technickoekonomické hodnocení	54
6.1	Stanovení strojní hodinové sazby	54
6.2	Vyčíslení nákladů, úspor	57
6.3	Porovnání variant	62
6.3.1	Vyřazené technologie z porovnání	62
6.3.2	Zvolené technologie k porovnání	63
6.4	Volba nápravného opatření	64
7	Závěr	66

Seznam zkratek a symbolů textová část

ACTG	Automatic calibration of tool geometry (automatická kalibrační stanice hořáku)
ATHC	Adaptive torch height control (metoda, která udržuje konstantní vzdálenost mezi hořákem a plechem)
AWJM	Abrasive Water Jet Machining (obrábění abrasivním vodním paprskem)
CAD/CAM	Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing (využití PC pro konstrukci a výrobu)
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený číslicový stroj)
ČR	Česká republika
ČSN	označení české státní normy
DIN	Deutsche Industrie-Norm (označení německé normy)
dxf	Drawing Exchange Format (jeden z běžně používaných CAD formátů pro přenos dat)
EBM	Electron Beam Machining (obrábění paprskem elektronů)
EDM	Electro Discharge Machining (elektrojiskrové obrábění)
Euro	oficiální měna mnoha zemí Eurozóny
IHT	způsob počátečního odměření výšky plechu kapacitním senzorem
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní typ normy)
Kč	druh měny v ČR
LBM	Laser Beam Machining (obrábění laserovým paprskem)
PAM	Plasma Arc Machining (technologie řezání vodivých materiálů plazmou)
PBM	Plasma Beam Machining (technologie schopná řezat vodivé i nevodivé materiály plazmou)
PC	Personal Computer (osobní počítač)
THP	Technicko hospodářský pracovník
UV	Ultraviolet (ultravialové záření)
WJM	Water Jet Machining (obrábění vodním paprskem)

Seznam zkratek a symbolů výpočtová část

Zkratka	Jednotka	Popis
μ	[-]	časové využití stroje
BZ	[roky]	bod zvratu
CE	[Kč/hod]	energetické náklady na hodinu provozu
Č	[hod]	délka směny
ČN	[-]	část směny potřebná pro opravy dílců
Č _o	[-]	část směny vyčleněná na opravu dílců bruskou
D	[dny]	počet pracovních dnů v roce
DŽ	[roky]	doba životnosti
f	[-]	faktor oprav

I	[Kč]	investiční náklady
KO	[Kč/rok]	kalkulované odpisy
KÚ	[Kč]	kalkulované úroky
M	[měsíce]	počet měsíců
M _b	[Kč]	měsíční mzdové náklady na brusiče
M _m	[Kč]	měsíční mzdové náklady na manipulanta
M _o	[Kč]	měsíční mzdové náklady na obsluhu stroje
MV	[Kč]	mzdové náklady na výrobu
NB	[Kč]	náklady za brusku
NE	[Kč/rok]	roční náklady na energie
NN	[Kč]	náklady na nástroje
N _n	[Kč]	současné roční náklady na nástroje, plyn
NO	[Kč]	roční náklady na opravy
N _{opr}	[Kč]	mzdové náklady na opravu dílců
NR	[Kč]	roční náklady na 1 m ²
NS	[Kč]	náklady za stroj
OŽ	[Kč]	očekávané náklady na opravy za celou dobu životnosti
PD	[-]	prodloužení nebo zkrácení doby výroby
PL	[m ²]	potřebná plocha
PN	[Kč/rok]	roční prostorové náklady
P _n	[Kč]	provozní náklady
P _{n0}	[Kč]	provozní náklady pro současný roční objem výroby
P _{n1}	[Kč]	provozní náklady pro navrhovaná řešení
RC	[Kč]	reprodukční cena
S	[-]	směnnost
S _{hs}	[Kč/hod]	strojní hodinová sazba
T _n	[hod/období]	nominální časový fond
T _v	[hod/období]	využitelný časový fond
Ú	[Kč]	úspora ročních nákladů
ÚR	[%]	roční úroková sazba
ZT	[hod/období]	časové ztráty

1 Úvod

Každá firma, či podnikatel plánuje svůj rozvoj a hledá další možnosti působení a seberealizace. Snahou je vybudovat si stabilní a prosperující pozici na trhu. Těchto cílů není možné spolehlivě docílit bez sledování aktuálních trendů a technologií. Nové technologie jsou porovnávány z hlediska vyšší efektivity výroby při nižších nebo stejných nákladech na výrobu. Zvažuje-li se nákup nové technologie, zjišťuje se předpokládaná návratnost investice a zvýšení ziskovosti podniku. Ziskovosti podniku lze dosáhnout mimo jiné i snižováním zbytečných vícenákladů. Hledá se pak nejvýhodnější řešení pro konkrétní výrobek při splnění zadaných požadavků. V Plzeňském kraji se nyní dynamicky rozvíjí a investuje firma Schäfer-Menk, která se zmíněnými výzvami zabývá. Výrobní program a jeho technologie předurčují zaměření firmy pro těžké strojírenství. Zákazníkovi může nabídnout důlní výztuhy, chladicí radiátory, tělesa transformátorů, podvozky a části konstrukcí pro autojeřáby. To obnáší širokou paletu technologického strojního parku, která se neustále rozšiřuje. Jedná se o technologie obrábění, tváření, svařování, technologie povrchových úprav a zkoušení materiálu.

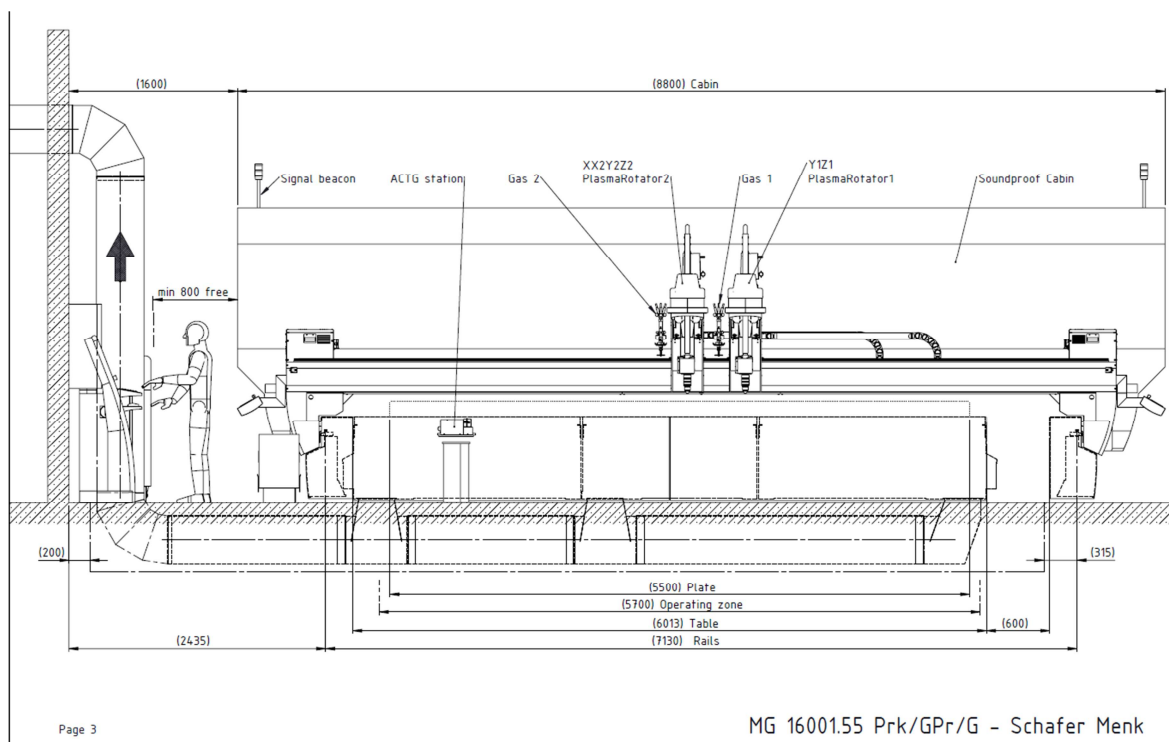
Tato práce se zabývá pouze úzce ohraničenou oblastí a to technologií řezání plazmou. Pracoviště se koncepcí řadí mezi světové unikáty a je zobrazeno na obr. 1-1. Toto pracoviště a jeho bezproblémový chod má vliv na rychlé a levné postoupení výroby do svařovny, popř. nejprve na dílnu tváření, kde se polotovary před možným obráběním ještě tváří v ohýbačce. Při řezání plazmou dochází k odchylkám od požadovaného tvaru či rozměru. Problémem jsou vždy rozměrově větší výpalky. Odchylka od požadovaného rozměru činí až 4 mm. Kromě toho po skončení procesu vypalování je v ojedinělých případech vidět odskok od obrysu, příčina je zcela neznámá. Je potřeba zjistit možnou příčinu těchto potíží a navrhnout nápravná opatření.



Obr. 1-1 Plazmová řezačka [1]

1.1 Seznámení s pracovištěm

V nedávné době byl pořízen do firmy Schäfer Menk stroj slovenské výroby firmy Microstep, která se řadí mezi světové lídry na trhu s dělicími stroji. Koncepce stroje vychází z typové varianty MG, přesné označení stroje je MG 16001.55 PRK/GPr/G. Pracovní plocha stolu dosahuje úctyhodných rozměrů cca 6500 mm na šířku a 16400 mm na délku. Stroj je vybaven dvěma rotátory, které umožňují naklopení hořáků, to umožňuje řezání plechů pod úhlem. Zaintegrovaní dvou rotátorů na jeden stroj není zcela obvyklé, sám výrobce uvádí, že na trh dodal pouze 12 takto upravených strojů. Při dokoupení funkcí CAD/CAM systému by bylo možné využívat technologii řezání i pro prostorově, tvarově složité dílce. Zdvih osy Z činí pouze 200 mm. Na obr. 1-2 je znázorněno zakrytí stroje, které se na stroji ještě nenachází. V blízkosti stroje je PC s dotykovou obrazovkou, kde je nainstalován řídicí systém stroje. Na každé straně stroje je také panel využíván převážně pro ruční režim stroje, seřizování. Mimo pracovní část stroje je umístěna ACTG stanice, která slouží ke kalibraci rotační hlavice hořáku. Nedílnou součástí stroje je sekvenční odsávání stolu.

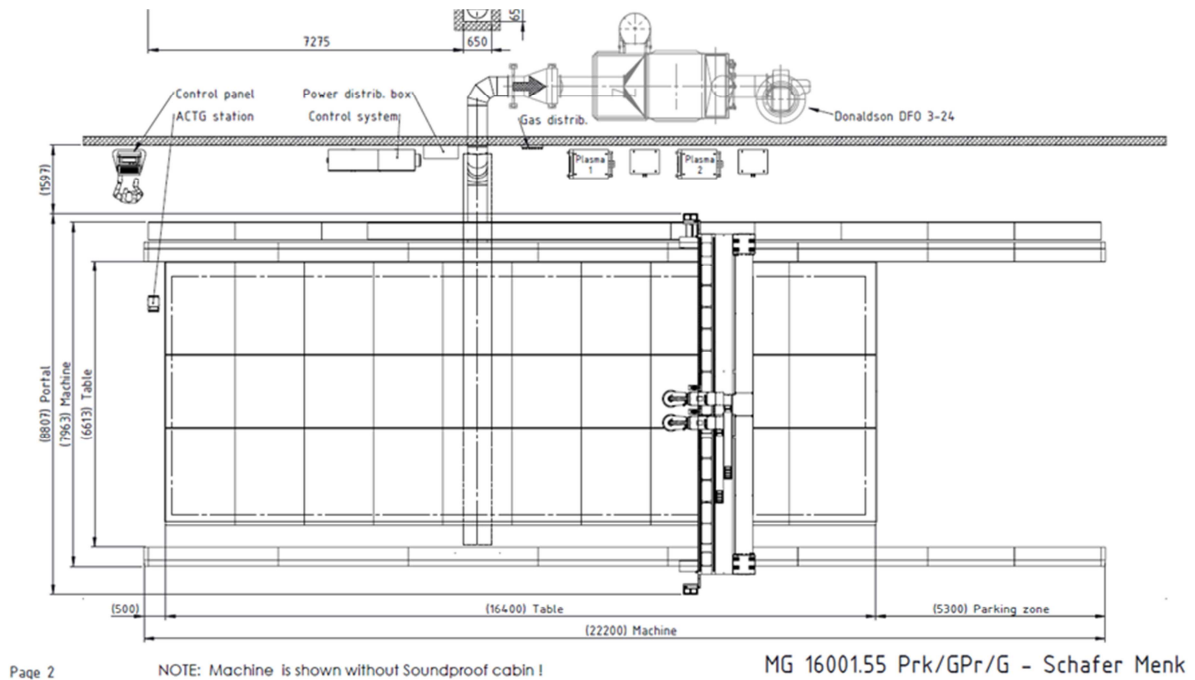


Obr. 1-2 Přední strana stroje

Plazmová technologie je dodaná od firmy Kjellberg. Každý hořák má svůj vlastní zdroj, chladicí, kontrolní jednotku atd. Výkon (řezný proud) zdroje se volí s ohledem na plánovanou tloušťku řezání. Zdroj HiFocus 360i umožňuje dělit materiál proudem až 360 A, nutno mít však na mysli, že případné dlouhodobé zatěžování zdroje na plný výkon není vhodné! Tento zvolený zdroj by měl být schopen provádět kolmé řezy u ocelí do tloušťky 50 mm. Při řezání pod úhlem se prodlužuje dráha pálení, proto není možné brát v úvahu pouze tloušťku materiálu. Ve zvolené konfiguraci by neměl být problém řezat šikmé řezy (45°) do plechu z oceli až do tloušťky 25 mm. Používají se dva typy hořáku PerCut 441 a PerCut 451. Typ hořáku a jeho jednotlivé části se mění dle zvolené technologie řezání a proudu.

Plazmová technologie je druhu „Hy Definition“, jedná se tedy o nejmodernější typ plazmové technologie. Pro samotnou výrobu se používá 3 plynů. Primárním (řezným) plynem je kyslík a sekundárním (stabilizačním) plynem vzduch. Argonem se popisují dílce a to ještě před začátkem řezání. Hořák se během řezání zahřívá, k ochlazení slouží chladicí jednotka

s chladicí kapalinou Kjellfrost. Chladicí jednotky nalezneme na obr. 1-3 hned vedle plazmových zdrojů 1 a 2.



Obr. 1-3 Půdorys stroje

1.2 Druhy vad ve výrobním sortimentu

Výrobní program zahrnuje výrobu důlních výztuh, nádob transformátorů do lokomotiv, skříní generátorů i elektromotorů až po podvozky a výsuvná ramena autojeřábů. Uvedené výrobky existují v mnoha variantách, z toho vyplývá značně rozsáhlý sortiment výroby. Část zmíněných výrobků je pro lepší představu uvedena na obr. 1-4.

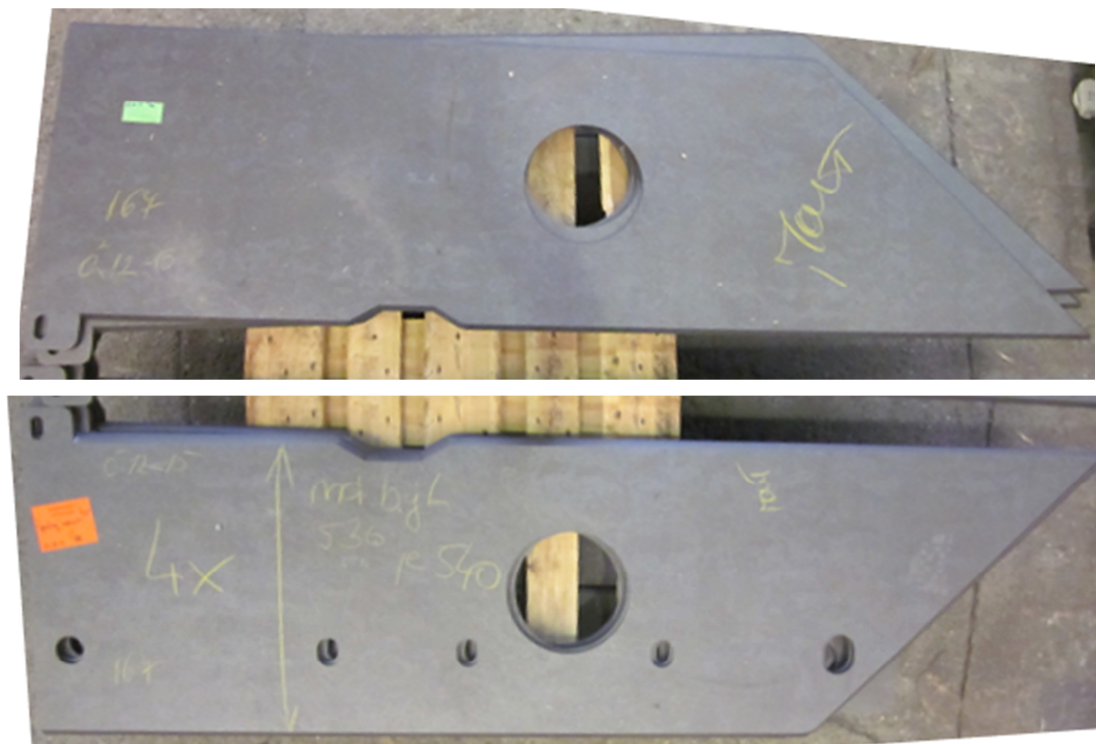


Obr. 1-4 Výrobní sortiment

Výše prezentované produkty se skládají z jednotlivě vypálených dílců, které se mimo jiné pálí i na plazmové řezačce MG 16001.55 PRK/GPr/G. Při pálení některých dílců vznikají nejčastěji dva typy závažných neshod, které se musí následně odstranit. V současné době nelze předvídat u jakého typu výrobku tato nepříznivá situace nastane a proč neshoda vznikla. Většina vyrobených dílců splňuje předepsané tolerance a bude nutné zvážit výhodnost navrhovaných opatření.

Na výše představeném řezacím stroji se dílce pálí z tabulí plechu různých rozměrů i tlouštěk. Jedná se většinou o materiály S690 a S960. Prvním typem neshody je vyrobení dílce mimo povolenou délkovou toleranci. Dílce jsou vyrobeny větší, než je žádoucí. Jak je zřejmé z obr. 1-5, část dílců je vyrobena zcela korektně a je označena štítkem světle zelené barvy, dílce určené pro opravu jsou označeny červeno-oranžovým štítkem. Štítky jsou na dílcích nalepeny v levé části výpalku. Oprava dílců na požadovaný rozměr je možná, ale jedná se přirozeně o zbytečné vícenáklady. Zajímavým faktem je to, že pokud dojde k vyrobení dílce mimo povolenou délkovou toleranci, je vždy odchylka kladná. U kolmých řezů nebyl ještě zaznamenán případ, kdy by došlo k překročení délkové tolerance, je tedy možné předpokládat, že se jedná o problém projevující se pouze u řezání pod úhlem. Nutno brát, ale i v potaz to, že na daném stroji se častěji provádějí řezy s úkosy.

Dlouholeté firemní zkušenosti s technologiemi tepelného dělení poukazují, že by mělo docházet spíše k vyrobení menšího dílce, příčinou je přirozeně tepelná roztlačnost. Naměřená odchylka se poté zapisuje jako korekce.



Obr. 1-5 Dílce s správným/ špatným délkovým rozměrem

Další vadou na vypáleném výrobku je okem viditelný, drobný schod. Takový výrobek se nachází na obr. 1-6. V tomto místě se mění požadovaný rozměr výpalku na hodnotu vyšší, než je požadováno. Tento typ vady vzniká opět při pálení pod úhlem. Tento typ vady nemusí vznikat na všech typových dílcích. Vzniklá vada musí být odstraněna, aby byl splněn požadavek pro bezproblémové, vzájemné ustavení součástí pro následující proces svařování.



Obr. 1-6 Dílec se schodovitou výrobní vadou

2 Porovnání dostupných technologií

S ohledem na nedávné pořízení plazmové technologie je vhodné se přesvědčit, zda byla technologie vhodně zvolena, popř. jestli by nebylo ekonomicky výhodnější zvolit jinou technologii.

Před pořízením nového stroje MG 16001.55 PRK/GPr/G se situace řešila následovně. V době, kdy se ze strany zákazníků začaly vyskytovat poptávky na vypálení dílců s úkosal, vždy se musel nejprve vyříznout požadovaný tvar z plechu na kyslíkové řezačce, která byla schopna provádět pouze kolmé řezy až do tloušťky 150 mm. Poté se již vypálené dílce transportovaly na moderní, robotické stanoviště pálení plazmou, kde bylo možné zhotovit úkosal tak, že robotická ruka polohovala vhodně plazmový hořák. Toto řešení bylo časově i logicky značně náročné. Další variantou bylo řešit daný úkol kooperací s partnerskými firmami. Partnerské firmy tehdy dodávaly výpalky již s úkosal. Ani tato možnost však nebyla vyhovující. Z toho důvodu bylo zapotřebí najít novou technologii řezání výpalků, tak aby byla časově i ekonomicky přijatelnější. Požadovalo se zrychlení výroby a snížení výrobní ceny nabízených produktů. Impulsem byly stále zvyšující se požadavky odběratelů, zkrácení doby dodání a snížení ceny výrobku. Ideálním řešením bylo nalézt technologii, která umožňovala ihned řezání nebo pozdější zhotovení úkosů na jednom stroji.

2.1 Představení technologií pro tvarově složité plošné dílce

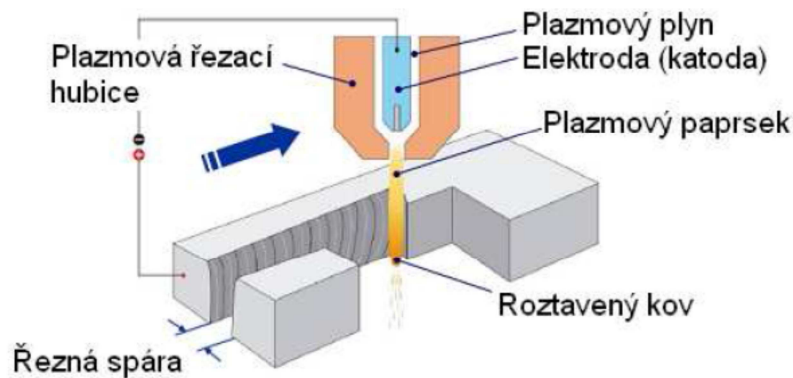
Pro výrobu součástí z plechu se používají technologie plošného tváření a obrábění. Technologie tváření nabízí širokou škálu technologií pro zpracování plechů, které mohou být snadno automatizovány. U tváření je dráha stroje velmi jednoduchá, jedná se pouze o zdvih. Požadovaný tvar výrobku zajišťuje složitý nástroj. Přesnost výstřižků je u normálního stříhání IT 11-12 a u přesného stříhání s nátláčnou hranou se pohybuje kolem IT 6-8. Drsnost střížné plochy u normálního stříhání je Ra 3,2-6,3 a u přesného stříhání je Ra 0,4-0,8. Tyto hodnoty jasně ukazují, že dochází k vysoce kvalitnímu stříhu, který není potřeba nijak dohotovovat. Pro materiály o tloušťce větší, než 5 mm se používají dvě obvodové hrany, to snižuje využití plechu. Nátláčné hrany vnášejí změnu napětí a používají se pro kvalitnější plochu řezu. Pro zmenšení střížné síly se používá různých zkosení střížníku. Pro menší výrobní série se využívá stříhání nepevným nástrojem. Nevýhodou je použití pro tenké plechy. Tyto technologie plošného tváření jsou nákladné, protože se musí pro každý výrobek, sadu výrobků vytvořit samostatný nástroj. Zapříčiněnou "neuniverzálností" se musí vyčlenit prostor i na skladování těchto nástrojů. Z výše uvedeného vyplývá využití především v hromadné a velkosériové výrobě. Tento typ výroby v Schäfer-Menk není. Další nevýhodou je, že tyto technologie neumožňují okamžitou výrobu zkosených hran. Z těchto důvodů se momentálně nemá cenu plošným tvářením podrobněji zabývat. [11]

Z nekonvenčních technologií lze zmínit pouze technologie, které by šly využít pro výrobu z plechů. Převážně se jedná o paprskové technologie, dále elektroerozivní obrábění a řezání kyslíkem (autogenem). Tyto zmíněné technologie se velmi dobře automatizují a vybavují CNC řízením. Odlíšností oproti konvenčnímu obrábění je hned několik mezi zásadní patří, že materiál nástroje nemusí být tvrdší, než obráběný materiál. Nedochozí k deformacím obrobků vlivem mechanického zatížení, protože v místě řezu nevzniká řezný odpor. Rychlost řezného procesu nezávisí na mechanických vlastnostech materiálu. [12], [13]

2.1.1 Obrábění plazmovým paprskem

Plazma se skládá z kladně nabitých iontů a volných elektronů. Vznikne ionizací a disociací plynu. V běžné praxi dosahuje teploty kolem 20 000 °C, je elektricky i magneticky vodivá. Navenek je chování plazmy elektricky neutrální, má stejný počet kladně i záporně

nabitých částic. V literatuře lze nalézt různé označení této technologie. Používá se zpravidla zkratka PAM a PBM. Označení PAM vychází z anglického názvu Plasma Arc Machining a jedná se o technologii, která umožňuje opracovávat pouze vodivé materiály. Technologie PBM (Plasma Beam Machining) je schopná pracovat s vodivými i nevodivými materiály. Existují dvě metody, kterými lze vytvořit plazmu. První metoda je ohřev plynu na vysokou teplotu. V běžné praxi se však používá elektrického výboje mezi anodou a katodou. Elektrická energie se přemění na tepelnou a umožní vznik plazmy. Všeobecně lze princip technologie označit jako intenzivní, lokální ohřev materiálu, kde dochází k tavení, odpařování materiálu. Roztavený materiál je odfukován z místa řezu, výstupní rychlost plazmy (rychlost plynu z hořáku) se pohybuje od 1500 do 2300 m/s. Proces řezání a jeho zmíněný princip je včetně elektrického zapojení na obr. 2.1. [14], [15], [16]



Obr. 2-1 Řezání plazmou [14]

Je známo několik metod dělení plazmou, které se postupně vyvíjely. Z původní konvenční technologie vychází technologie řezání s přídavným médiem. Dále technologie dělení se vstříkovaním vody, dělení pod vodou až po metodu „Hy Definition“.

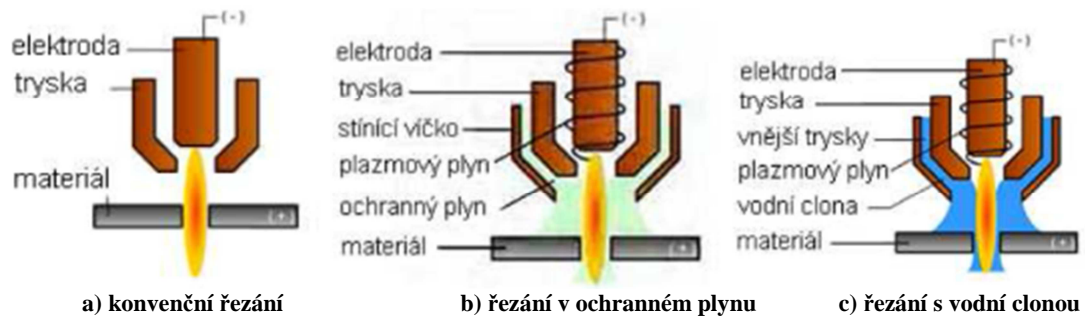
Konvenční řezání

K řezání se využívá pouze plazmový plyn bez stabilizace, znázornění v obr 2-2 a). Jako plyn se nejčastěji používá vzduch nebo dusík, který tvoří plazmu, ale chladí i komponenty hořáku. Kvalita a výkon řezání je pro produkční nasazení již nevyhovující, přesto má ještě uplatnění při ručním dělení materiálů. [18]

Řezání s přídavným médiem

K řezání se využívá plazmového plynu a přídavného média. Jako média lze využít plynu nebo vody. Plazmový plyn je přiváděn pod tlakem v tangenciálním směru do komory elektrody. Přiváděný plyn je expanzí ve vstupním otvoru urychlen a vzhledem k tangenciálnímu vstupu a tvaru komory elektrody se dostává do rotace současně s axiálním posuvem směrem k trysce. Vzniklý vír stabilizuje oblouk do osy elektrodové komory. Plyny (přídavné médium) všeobecně mohou sloužit jako ochranný nebo fokusační plyn. [17]

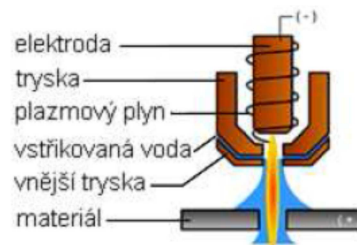
- Plyné médium chrání blízké okolí řezu před případnou reakcí z vnějšího prostředí, vizualizace v obr. 2-2 b). Nejčastěji se používá vzduch, kyslík, dusík jako plazmový plyn a kyslík, dusík nebo argon jako ochranný plyn. Výhodou je až 10x rychlejší dělení, než u konvenčního způsobu. [18]
- Vodní médium má pouze ochrannou funkci, redukční vlastnost vodíku způsobuje lesklý řez. Technologie je pro porovnání v obr. 2-2 c). S výhodou se využívá pro přesné a kvalitní řezání vysokolegovaných ocelí a hliníku. [18]



Obr. 2-2 Konvenční řezání a řezání s přídavným médiem [20]

Řezání se vstřikováním vody

Při výstupu paprsku plazmy z hořáku je vstřikována voda, která zvyšuje hustotu energie paprsku a zmenšuje jeho průřez. Nepatrný podíl vody se vypaří, zbytek vytváří ochranou clonu. Velmi zjednodušený princip technologie je na obr. 2-3. Obrobený povrch je velmi hladký. [16]



Obr. 2-3 Řezání se vstřikováním vody [20]

Řezání pod vodou

K řezání se používá pouze plazmový plyn. Celý proces dělení probíhá pod kapalinou, proto nedochází ke vzniku škodlivých spalin. Kapalina částečně izoluje vznikající hluk při řezání a UV záření. Hořák je intenzivně chlazen, což má za následek vyšší trvanlivost spotřebních dílů hořáku. Zmíněná technologie se považuje v rámci plazmového řezání za nejméně zdraví ohrožující. Obr. 2-4 znázorňuje průběh řezání pod vodou. [15]

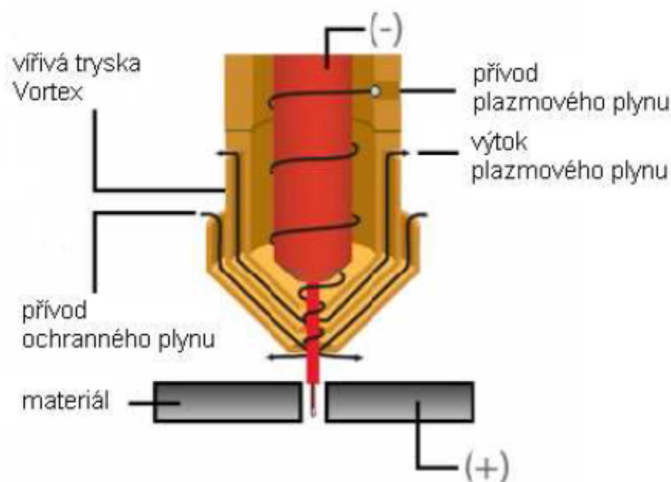


Obr. 2-4 Řezání pod vodou [21]

Vysoce přesné řezání – „Hy Definition“

Představuje poslední vývojový stupeň plazmového řezání. Celý název zní „High Tolerance Plasma Arc Cutting“, vlastní plazmový hořák patentovala Americká firma Hypertherm. V principu se jedná o velmi intenzivní zúžení plazmového paprsku s odvedením vnějšího, chladnějšího obalu plazmy. Z hořáku vycházející plazmový paprsek má až trojnásobné zvýšení hustoty energie při současném zvýšení teploty a výstupní rychlosti. Výsledkem je poloviční zúžení řezné spáry, zvýšení řezné rychlosti a dosažení kolmosti řezných ploch bez otřepů na spodní hraně plechu. Tento druh plazmy je vhodnou alternativou k laserové technologii,

při nižších pořizovacích i provozních nákladech. Na obr. 2-5 je zobrazena technologie přesného řezání, ale není vidět systém chlazení hořáku, speciálním chladicím médiem. [19]



Obr. 2-5 Vysoce přesné řezání plazmou[20]

Komplexně lze o technologii řezání plazmou říci, že mezi nevýhody patří vysoká hlučnost 80 až 100 dB, ta lze však značně snížit zakrytváním stroje. Ze zdravotního hlediska je problém vývin dýmu, par z kovů, ozónu a oxidů dusíku. Tento problém řeší zakrytování stroje a dostatečně výkonné, zónové odsávání stroje. Specifikem je větší úhel řezné hrany, než u řezání kyslíkem a i oblejší horní hrana. Obtížné propalování otvorů nad 15 mm. Řezání kyslíkem v mnohých firmách nahrazují za řezání plazmou, proto se tyto technologie porovnávají navzájem. [14]

Výhodou je vyšší řezná rychlost pro tenké a střední tloušťky, než u řezání kyslíkem. Dochází k vnesení menšího tepla a tím vznik menší tepelně ovlivněné oblasti a i deformace. Je možné řezat všechny kovové materiály. Příjemná je zvláště možnost obrábění vysokolegovaných ocelí, hliníku, niklu, mědi a jiných slitin. [14]

2.1.2 Obrábění laserovým paprskem

V zahraniční literatuře je označováno zkratkou LBM (Laser Beam Machining). K odebrání materiálu dochází zaměřením fokusovaného paprsku monochromatického světla s vysokou energetickou hustotou na velmi malou plošku materiálu. Materiál v místě kontaktu s paprskem je zahřátý na teplotu varu (částice materiálu jsou schopny dosáhnout teploty až 10 000 °C). Materiál je natavován a dalším působením tepla se začne i odpařovat. V natavené oblasti vznikají relativně vysoké tlaky, tavenina je tlakem par přemísťována ze vznikajícího kráteru a paprsek proniká do větší hloubky. Vzdálenost řezací trysky od materiálu je malá do 1 mm. Řezání laserem má nejvyšší energetickou hustotu z technologií úběru materiálu tepelným účinkem, konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tab. 2-1. [12], [22]

Zdroj energie	$I [W cm^{-2}]$
Slunce (čočka, $f = 50 mm$)	$5 \cdot 10^2$
Elektrický oblouk	$1 \cdot 10^3$
Acetylén-kyslíkový plamen	$1 \cdot 10^4$
Plazmový paprsek	$1 \cdot 10^5$
Elektronový paprsek	$4 \cdot 10^8$
CO ₂ laser	$1 \cdot 10^9$
Nd laser	$1 \cdot 10^{14}$

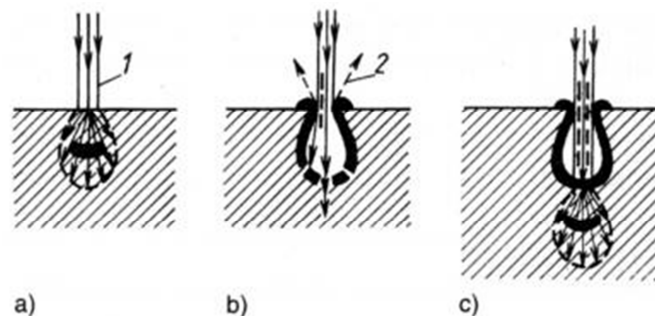
Tab. 2-1 Výkonová hustota energetických zdrojů [12]

Lasery se dělí dle aktivního prostředí (materiál, který se používá na generování záření a jeho skupenství). Ve strojírenském průmyslu se používá pevnolátkového Nd-YAG laseru, který poskytuje výkon 0,1 až 1,2 kW. Z plynových laserů se běžně používá pro tavné řezání N_2+He a pro oxidační řezání CO_2 . Technologie dosahují výkonu až 15 kW. Pro tavné řezání se používá jako pracovní plyn dusík o tlaku 10 až 15 barů, je vhodný pro řezání vysokolegované oceli, mědi, hliníku, niklu, jejich slitin. Je možné obrábět i nekovové materiály jako je keramika, plexisklo a dřevo. Materiál je v místě řezu roztaven a odfouknut asistenčním plynem. Povrch takto řezaných součástí bývá bez oxidů. Oxidační řezání využívá kyslíku jako pracovního plynu, avšak o nižším tlaku cca 3 až 5 barů. Při řezání dochází k exotermické reakci kyslíku s řezaným materiálem, reakce probíhá při zápalné teplotě řezaného kovu. Struska je poté vyfouknuta asistenčním plynem z místa řezu [12], [14], [23]

Nespornou výhodou je vysoká řezná rychlost až v desítkách metrů za minutu, přesnost řezání dosahuje kolem 0,1 mm na metr délky řezu. Kvalita řezných ploch dosahuje drsnosti $Ra 1,6$ a tloušťka řezu u oceli je možná až do 25 mm. Značnou fokusací laserového paprsku dochází i k menšímu přenosu tepla do obráběného předmětu. Dosahuje se velmi malé šířky řezné spáry kolem 0,2 mm a nedochází k tepelným deformacím materiálu. Nevýhodou je poměrně stále vysoká pořizovací i provozní cena technologie. [14]

2.1.3 Obrábění paprskem elektronů

Technologie je v zahraniční i tuzemské literatuře uváděna pod zkratkou EBM (Electron Beam Machining). Paprsek elektronů je soustředěn na velmi malou plošku obrobku, kde se jeho kinetická energie transformuje na energii tepelnou. Paprsek je schopen proniknout do určité hloubky, tam se elektrony zastaví obr.2-6 a). Dodáním tepelné energie dochází pod povrchem k erupčnímu odpaření materiálu obr.2-6 b). Plyny vypařujícího se materiálu se snaží dostat značnou kinetickou rychlostí z otvoru, výpary jsou následně zionizovány a slouží k zaostření paprsku pro postup paprsku do větší hloubky obr.2-6 c). Významnou nevýhodou technologie je nutné dosáhnouti značně vysokého vakua až 10^{-4} Pa. Největší využití má v elektrotechnickém průmyslu kde se uplatní ve výrobě velmi malých děr do průměru 0,01 mm. [12], [23]



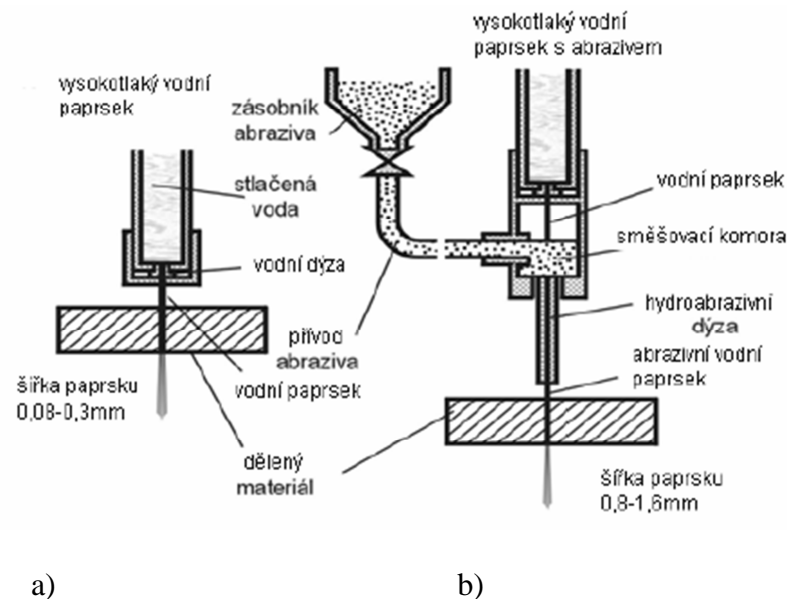
Obr. 2-6 Princip odebrání materiálu paprskem elektronů [23]

1-elektronový paprsek; 2- výpary

2.1.4 Obrábění vodním paprskem

Využívá vysoké kinetické energie vodního paprsku, který umožňuje řezání materiálu. Technologie je většinou označována pod zkratkou WJM (Water Jet Machining), resp. AWJM (Abrasive Water Jet Machining). Je možné obrábět čistým vodním paprskem obr.2-7 a) nebo pro zvýšení účinnosti přidat abraziva obr.2-7 b). Jako abraziva se používá granát, který je nejpoužívanější, ale je možné také použít oxid hlinitý, olivín, křemičitý písek, ocelovou drť nebo broky. Je možné přidávat i různé polymerní aditiva, která zabraňují tvoření turbulencí a podílí se na tvorbě kontinuálního, neroz-

tříštěného paprsku. Tlak řezného média se pohybuje od 100 MPa až po tlaky do 690 MPa. Novým trendem, jak zvýšit rychlost úběru materiálu je využití pulzujícího vodního paprsku. Technologie umožňuje obrábět kovové i nekovové materiály. [12], [22]

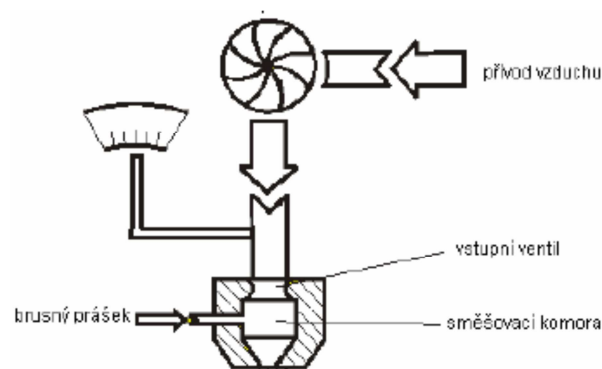


Obr. 2-7 Obrábění vodním paprskem[23]

Technologie dosahuje skvělých výsledků u materiálů citlivých na teplo, protože při opracování vzniká relativně studený řez. Obrobené hrany nejsou tepelně nebo mechanicky deformovány a ani v obrobených plochách není zbytkové napětí, či mikrotrhliny. V průběhu práce stroje nevznikají žádné plyny, či páry a provoz je bezprašný. Významnou výhodou jsou malé materiálové ztráty v důsledku úzkého řezu. Je možné řezat i pod hladinou vody. Technologie vykazuje malou citlivost na změnu vzdálenosti trysky od řezaného povrchu, proto je možné řezání vlnitých materiálů. Vysokotlaké čerpadlo umožňuje napájet více trysek naráz a doporučuje se umístit blízko stroje (z důvodu optimálního výkonu). Při použití technologie je nutno zvážit riziko vzniku koroze, vhodnými způsoby ji lze omezit. [12]

2.1.5 Obrábění abrazivním paprskem

K úběru materiálu se využívá účinku kinetické energie abraziva ve vzdušném proudu. Nepatrná částice materiálu je z místa řezu odfouknuta řezným plynem, nejčastěji vzduchem. Směs abrazivních částic je z oxidu hliníku nebo karbidu křemíku. Pracovní tlak média je výrazně nižší než u WJM. Jak je vidět na obr. 2.8, tak je abrazivum přidáno do stlačeného vzduchu z kompresoru ve směšovací komoře. V současnosti se tento princip nejčastěji využívá pro otryskávání materiálu. [15]

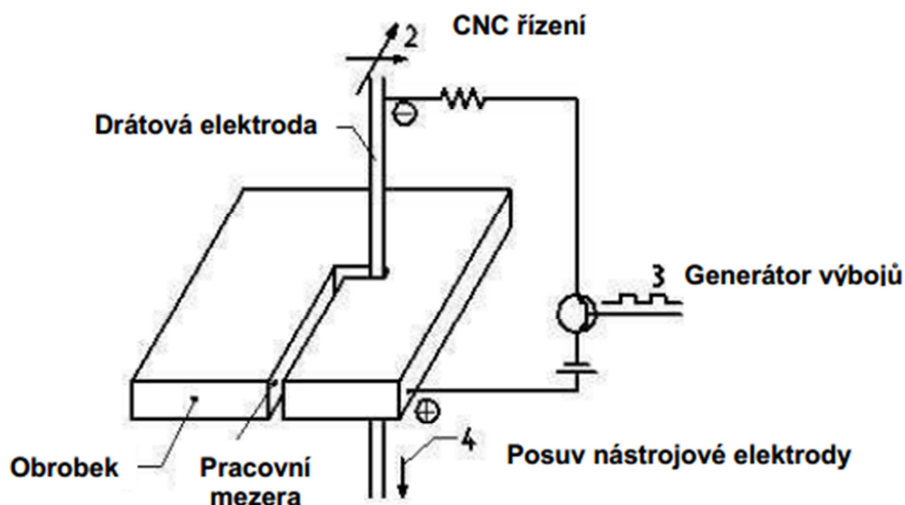


Obr. 2-8 Otryskávání [15]

2.1.6 Elektroerozivní obrábění (elektrojiskrové)

Pro danou technologii je zažitý název EDM (Electro Discharge Machining). Velmi tenký drátek ze slitiny mědi se kontinuálně odvíjí, dielektrická kapalina obklopuje prostor mezi obrobkem a nástrojovou elektrodou (drátkem). Elektroda prochází místem řezu, kde dochází k výbojům mezi obrobkem a elektrodou. Tento princip je znázorněn na obr. 2.9. [12]

Používá se v přesné výrobě tvářecích nástrojů, ale i v hodinářské výrobě. Přesnost řezání se běžně pohybuje v tisícinách mm a dosahuje velmi jemné drsnosti do Ra 0,02. Mezi výhody patří i řezání pod úhlem. [15]



Obr. 2-9 Elektrojiskrové řezání drátem [23]

2.1.7 Řezání kyslíkem

Při řezání kyslíkem je spalován kov v proudu kyslíku na tekutou strusku a je vyfukován proudem kyslíku ze spáry. Nejčastější kombinace plynů je kyslík (O_2) a acetylen (C_2H_2), ale je možné místo acetyleny použít vodíku (H_2), propanu (C_3H_8) a dalších plynů. [14]

Standartní metoda řezání kyslíkem má omezené možnosti řezání. Je možné dělit nelegované a podmíněně i nízkolegované oceli. Pro zvýšení použitelnosti technologie se používá speciálních hořáků s tryskou, kde je železný prášek transportován do proudu řezného kyslíku. Tato aplikace má za následek zesílenou exotermickou reakci. Takto upravená technologie je schopna dělit vysokolegované oceli, litiny i neželezné kovy. [23]

2.2 Cenové srovnání technologií

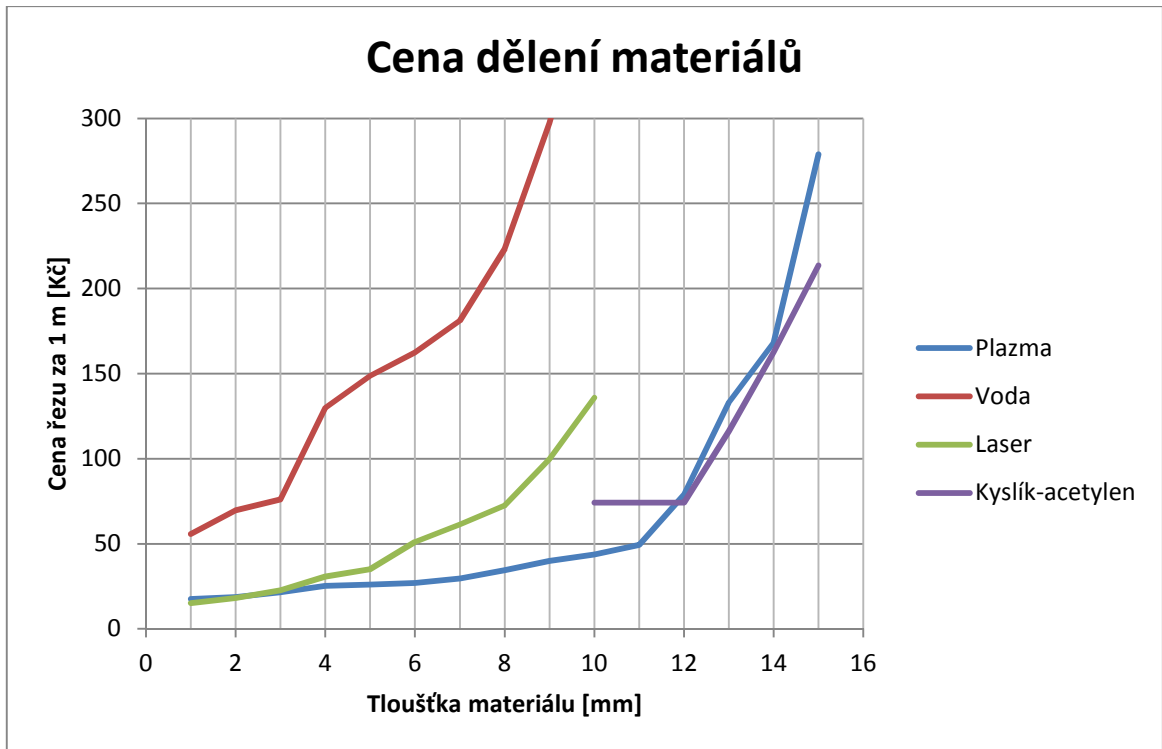
Jedním z velmi důležitých parametrů pro výběr nové technologie byla zajisté i cena řezání. V tabulce 2-2 je uvedena cena řezání za metr pro různé tloušťky ocelového plechu. Ceny řezání jsou od firmy Microstep, která se zabývá mimo jiné výrobou strojů pro tyto technologie. Uváděné ceny byly přepočteny z EUR na Kč v kurzu: 1 Euro = 28 Kč. Graf 2-1 názorně ukazuje, že s měnící se tloušťkou materiálu se mění i ekonomická výhodnost jednotlivých technologií. Proto je vhodné nejprve určit, pro jaké nejčastější tloušťky materiálu se bude hledat vhodná technologie.

Ceny řezání ocelových plechů [Kč]				
Tloušťka materiálu [mm]	Plazma	Voda	Laser	Kyslík-acetylen
do 1	17,64	55,72	15,12	-
1,5	18,76	69,72	18,2	-
2	21,56	76,16	22,68	-
2,5	25,2	129,92	30,8	-
3	26,04	148,68	35	-
4	26,88	162,4	50,96	-
5	29,68	181,16	61,32	-
6	34,44	223,44	72,52	-
8	40,04	297,36	99,68	-
10	43,68	390,32	135,8	74,2
12	49,28	497	-	74,2
15	78,96	743,4	-	74,2
20	133	1114,4	-	116,2
25	168,28	1394,4	-	162,68
30	278,88	1719,2	-	213,64

Tabulka 2-2 Cena řezání dle použité technologie [2]

Ve výběrovém řízení bylo specifikováno množství kritérií. Mezi nejdůležitější se zařadila schopnost řezat oceli S690QL, S960QL a S355. Dále možnost řezat tloušťky 6 mm až 50 mm pro kolmé řezy pálené plazmou a pro šikmé řezy 45° od 5 mm do 25 mm. Důraz byl kladen i na přijatelnou cenu, poskytovaný servis, či zaškolení v rodném jazyce. Z výše uvedených kritérií a dalších, interních technickoekonomických kritérií byl vybrán stroj od firmy Microstep MG 16001.55Prk/GPrk/G s plazmovým zdrojem Kjellberg HiFocus 360i. V současnosti tento stroj zpracovává nejvíce plechy o tloušťce 8,10,12 mm, výjimečně však až 30 mm. Jak je názorně vidět na grafu 2-1, tak pro kolmé řezy do tloušťky 15 mm se vyplatí řezat plazmovou technologií. Pro větší tloušťky je výhodnější využít současnou kyslík-acetylenovou technologii. U úkosového řezání je hospodárnější dílce do tloušťky 25 mm řezat pouze na plazmě a využít nabízený rozsah stroje. Důvodem, proč je toto řešení hospodárnější, než řezání kyslík-acetylenovou technologií je nutné následné úkosování na robotickém plazmovém stroji. Náklady na řezání by totiž vznikly součtem z obou technologií. Opodstatněné použití autogenné řezačky je v případě silných plechů od 25 do 150 mm, poté může být na výpalku zhotoven i částečný úkos typu Y, K.

Cena řezu vodním paprskem směřuje mimo zobrazenou oblast z grafu 2-1. Z ekonomického hlediska byla tedy celkem správně vyřazena technologie řezání vodním paprskem a laserem. Laserové řezání je cenově výhodné pro velmi tenké plechy. Do firmy byla pořízena technologie řezání plazmou (pro menší tloušťky materiálu). Pro větší tloušťky materiálu slouží již původní kyslík-acetylenová řezačka. V případě velké tloušťky materiálu a potřeby úkosu je toto řešeno na robotickém, plazmovém pracovišti. Pro plánovaný výrobní sortiment byla velmi správně zvolena plazmová technologie, která je ekonomicky nejvýhodnější. Problémy s neshodami se ukázaly až po ostrém nasazení do výroby a je potřeba najít vhodné nápravné řešení.



Graf 2-1 Cena technologií řezání

3 Rozbor neshod

Následující část textu se zabývá podrobnější popisem vznikajících neshod, vad na dílcích vypálených strojem Microstep MG 16001.55Prk/GPrk/G. Kapitola si také klade za cíl představit běžně vznikající vady, na které je možné narazit při řezání plazmovou technologií a mohou tedy vzniknout i v rámci změn v technologii.

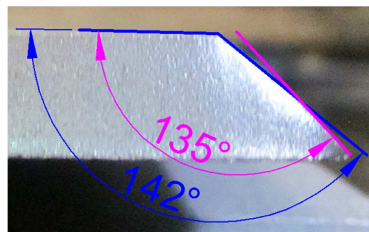
3.1 Rozbor neshod vznikajících na stroji Microstep

Při pálení vzniká odchylka od požadovaného rozměru v rozmezí 1 až 4 mm a sporadicky i k odskoku od obrysu výpalku. Aktuálně se neshoda řeší tak, že je nutno vyčlenit zaměstnance, který neshodné dílce musí upravit na požadovaný rozměr. Pokud by se dílce jednotlivě neupravovaly, tak by sestava svařovaných dílců byla mimo celkovou toleranci. Kontrola rozměrů zakázky probíhá náhodně a kontrolor je k dispozici pouze na ranní směně.

3.1.1 Odchylka od požadovaného rozměru

Výpalky vyrobené kolmým řezáním bývají vždy v délkové toleranci a nečiní větší problémy. Odchylka od požadovaného rozměru nastává při řezání dílců pod úhlem. Odchylka od požadovaného rozměru je vždy kladná a dosahuje 1 až 4 mm.

Více informací o již naměřených rozměrech nelze získat. Vlastním sledováním byla vyhodnocena další skutečnost, která se objevuje i u úhlového řezání. Jedná se o změnu úhlového rozměru. V horní části výpalku dochází k podřezu, na spodní části je však úhel zcela v pořádku. Na obr. 3-1 je zakreslen požadovaný úhel řezu fialovou barvou, modrou barva zachycuje v horní části, již zmíněný prořez.



Obr. 3-1 Podřez materiálu

3.1.2 Odskok od obrysu výpalku

Při pálení dílů delších, než 1 m vzniká odskok od požadovaného obrysu. Tento jev nastává opět jen při pálení pod úhlem. Někdy je na tomto skoku vidět i vroubkování. Odskok materiálu nastává pouze na jedné straně výpalku a je vidět na obr. 3-2. Vzniká při odřezávání druhé kontury ze dvou, které sousedí blízko vedle sebe.



Obr. 3-2 Odskok od kontury

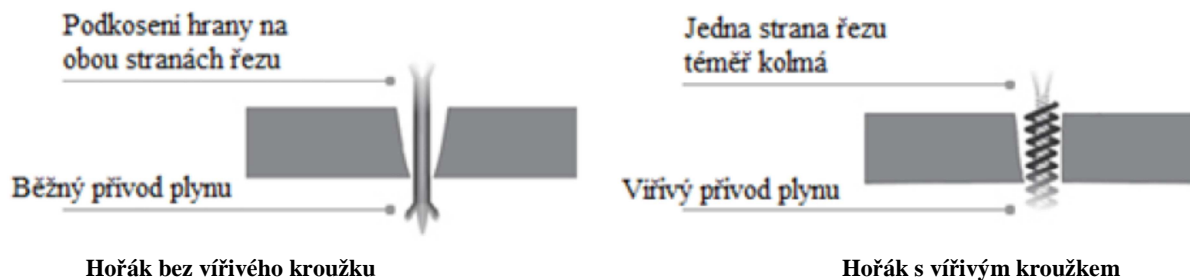
3.2 Typické vady pro plazmovou technologii

Při pálení plazmou mohou vznikat na dílcích různé další vady. Je dobré vědět o jaké vady se jedná a jakým způsobem je možné je odstranit. Norma ČSN EN 12584 obsahuje souhrn možných vad při řezání kyslíkem, laserem nebo plazmou. Zmíněnou problematikou se zabývá i publikace [16] a uvádí možné příčiny vad.

3.2.1 Odchylka úhlu dělení

Vada se vyskytuje na každém výpalku vyrobeném technologií plazmového řezání. Jedná se tedy spíše o charakteristickou vlastnost. V horní části výpalku dochází k většímu úběru, než ve spodní části. Odchylka vzniká při nevhodně zvolených parametrech řezu. Zásadním vliv na tvorbu odchylky má dělení vysokolegovaných oceli. Dle literatury je možné dosáhnout nejnižších odchylek v rozsahu 1-2°, v praxi se však běžně dosahuje průměrné odchylky okolo 4°. Zmíněná odchylka má vliv na kolmost, či kuželovitost řezaného otvoru a je patrná u výpalků o tloušťce 6 mm a více. S rostoucí tloušťkou materiálu roste i úhlová odchylka. V současné době jsou schopny „Hi-Definition“ plazmy eliminovat tuto odchylku na minimum. [16], [24]

Plazmový hořák s vířivým kroužkem uvádí plazmový plyn do rotace kolem elektrody. Benefitem je to, že rotace plynu způsobuje výrazné zvýšení kolmosti na jedné straně řezu obr. 3-3. Z toho logicky vyplývá, že záleží i na směru řezání. Vnější kontury se pálí po směru hodinových ručiček, vnitřní kontury opačně. Firma Microstep nyní intenzivně pracuje na stanovení korekčních parametrů pro technologii od firmy Kjellberg a vylepšení korekčních parametrů pro technologii od firmy Hypertherm. [25]



Obr. 3-3 Kolmost při řezání plazmou [25]

Úhlovou odchylku je žádoucí korigovat i při pálení pod úhlem. Na obr. 3-4 jsou znázorněny experimentální řezy (0°, 15°, 20°, 25°, 30°) firmy Microstep. Jedná se o výpalky pro svary typu V a A. Výpalky s pozitivním úkosem jsou pro svar typu V (s negativním úkosem pro svar typu A).

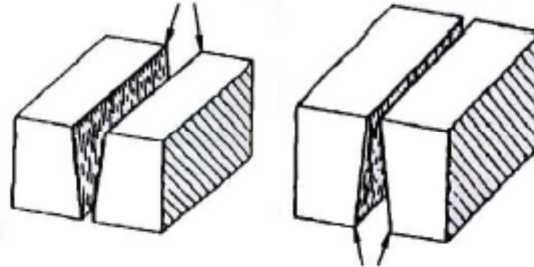


Obr. 3-4 Úhlové odchylky při pálení pod úhlem [2]

3.2.2 Rozšíření dělicí mezery

Rozšíření mezery může vzniknout na horní, či spodní ploše výpalku obr. 3-5. Rozšíření se může vytvářet na obou, či pouze jedné hraně. V případě rozšíření v horní části je zapo-

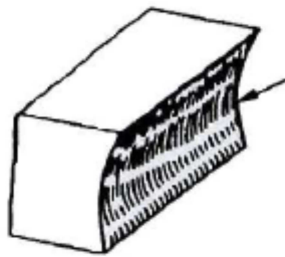
třebí snížit řeznou rychlost (posuv), vyměnit spotřební materiál (elektrodu, trysku) nebo snížit vzdálenost mezi hořákem a páleným materiálem. Jestliže rozšíření mezery se objevuje v dolní části výpalku, musí se přijat následující opatření. Zvýšit řeznou rychlost, vyměnit spotřební materiál (z důvodu zanesení trysky) nebo zvýšit vzdálenost mezi plechem a hořákem. [16], [24]



Obr. 3-5 Rozšíření dělicí mezery [26]

3.2.3 Vyhlobení dělené plochy

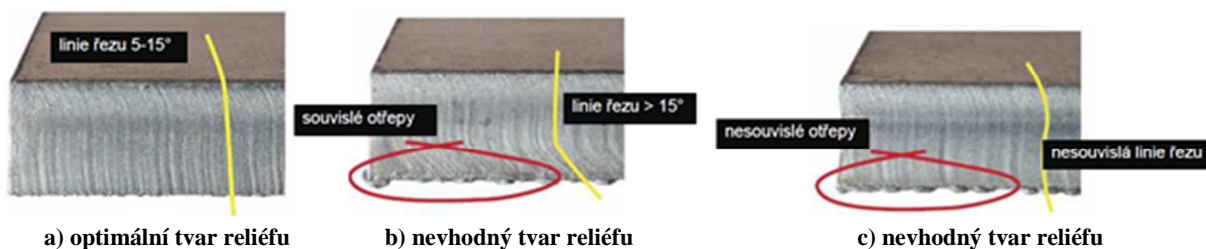
Mezi typické vady plazmového řezání patří zakřivení řezné plochy dovnitř výpalku obr. 3-6. Pokud je vada příliš výrazná, lze ji snížit zvýšením vzdálenosti hořáku od materiálu. [16]



Obr. 3-6 Vyhlobení dělené plochy [26]

3.2.4 Nevhodný tvar reliéfu, vznik otřepů

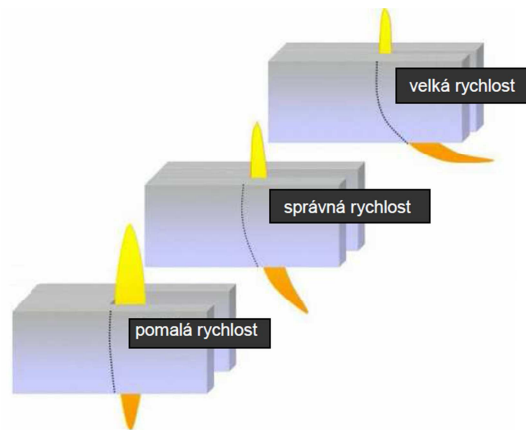
Nevhodný tvar reliéfu je následkem špatně zvolených řezných podmínek. Při tvorbě nevhodného reliéfu se na výpalku mohou objevovat otřepy. Jak snadno lze otřep odstranit se může předběžně určit i z již vzniklého reliéfu. Na obr. 3-7 jsou zobrazeny 3 reliéfy, které mohou být vyrobeny. Reliéf a) je většinou požadován, pokud se nechce, aby vznikaly na výpalku otřepy. Stopa řezu bývá mezi 5° až 15° za osou hořáku. Výhodou je i relativně vysoká kvalita řezné plochy. U variant b), c) se již vyskytují otřepy. Ze zbývajících dvou variant je varianta b) příhodnější, souvislá struska jde jednoduše odstranit. Stopa řezu zde zaostává běžně o více než 15° . Jako nápravné opatření slouží snížení řezné rychlosti a výšky hořáku od materiálu. Reliéf typu c) je nežádoucí. Pokud se v průběhu řezání vyskytnou otřepy, je jejich odstranění velmi obtížné. Tento typ reliéfu vzniká nízkou rychlostí řezání nebo malou vzdáleností hořáku od páleného materiálu. [20]



Obr. 3-7 Reliéf na ploše řezu [20]

Postup pro nastavení správné řezné rychlosti je většinou následující. Pro univerzální použití se nastaví rychlost, aby se plazmový oblouk opozdil cca o 5° až 10° . Větší odklon oblouku znamená vyšší rychlost řezání. Pomalá rychlost řezání je charakteristická zase kolmým obloukem. Všechny tři případy jsou na obr. 3-8. [20]

Existují speciální případy použití, kdy je vhodné, když je oblouk kolmý nebo dokonce předbíhá osu hořáku ve směru posuvu. Kolmý řez je opodstatněný pro dílce z hliníku a nízkolegované, nerezavějící oceli. Plazmovým plynem bývá vzduch. Technika, kdy plazmový oblouk předbíhá osu hořáku má aplikační využití pro tenké materiály z nízkolegovaných ocelí. Úhel náklonu oblouku vzhledem k ose hořáku bývá do 5° . [20]



Obr. 3-8 Nastavení řezné rychlosti [20]

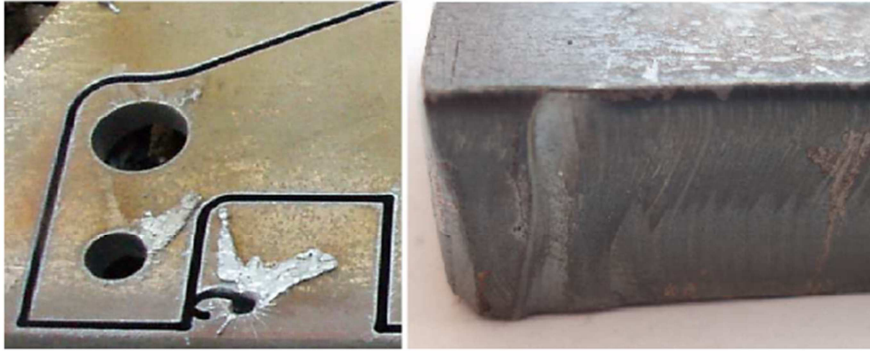
3.2.5 Nepravidelná hloubka stopy dělení, zápal

Nepravidelná hloubka stopy je znázorněna na obr. 3-9. Příčinou je nekontinuální posuv hořáku, vysoká řezná rychlost, malá vzdálenost hořáku od materiálu nebo materiál s vysokým obsahem legur. Další příčinou vady můžou být opotřebované, spotřební dílce hořáku, které je nutno vyměnit. [24]



Obr. 3-9 Nepravidelná hloubka dělení [26], [27]

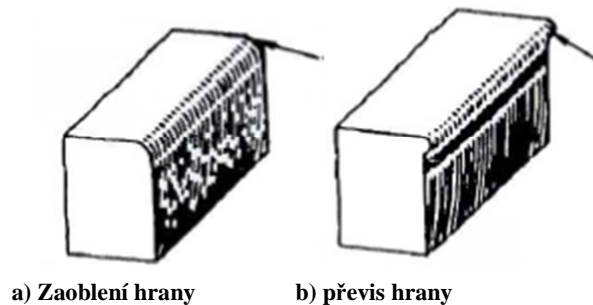
Nejsnadnější způsob, jak předcházet zápalu, který se tvoří při propalování na začátku materiálu je umístit startovací bod do části odpadového materiálu a vytvořením tečného nájezdu na požadovanou konturu dílce. V některých případech, např. kdy se nejedná o funkční plochu, jde tuto vadu tolerovat. Na obr. 3-10 vlevo je ukázka startu programu v části odpadového materiálu, vpravo je zobrazen zápal materiálu, který může vznikat na začátku pálení. [24]



Obr. 3-10 Nájezd a zápal na začátku dílce [27]

3.2.6 Natavení hrany dělení

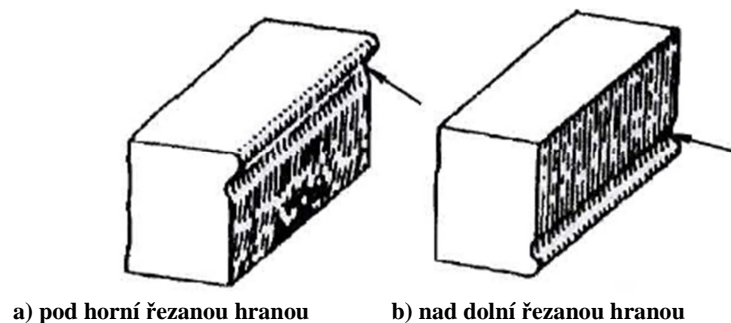
Na běžně vyráběných dílcích lze vidět relativně ostrou hranu, zaoblenou hranu (obr. 3-11 a)) nebo dokonce převis (obr. 3-11 b)). Mírné zaoblení bude vznikat přesto vždy. Parametry ovlivňující průběh řezání, především to, jaká vznikne hrana je celá řada. Mezi nejvýznamnější patří řezná rychlost, vzdálenost hořáku od materiálu, opotřebení dílců hořáku a další parametry paprsku. [24]



Obr. 3-11 Natavení horní hrany [26]

3.2.7 Horizontální drážka

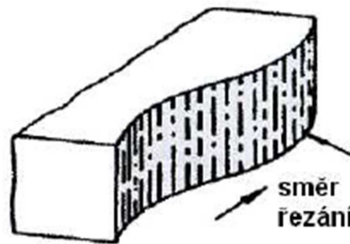
Pokud se řeže vyšším tlakem kyslíku, je zanesená tryska hořáku nebo je hořák ve větší vzdálenosti od materiálu, může docházet k vypálení vodorovné drážky pod horní řezanou hranou (obr. 3-12 a)) nebo nad dolní řezanou hranou (obr. 3-12 b)). [24]



Obr. 3-12 Horizontální drážka [26]

3.2.8 Zvlnění plochy

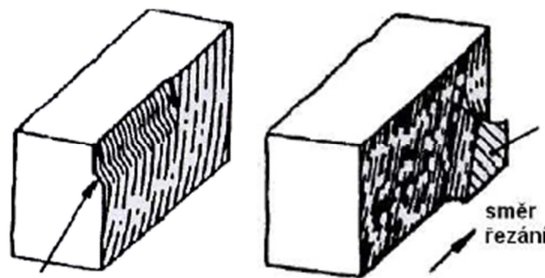
Zvlnění plochy ve směru řezání (obr. 3-13) se objevuje, pokud je rychlost dělení příliš vysoká, příčinou může být zanesená tryska, přebytek ochranného plynu, či přerušovaný plazmový oblouk. Vada nemusí vznikat špatným nastavením stroje, příčinou může být i nevhodné složení řezaného materiálu např. vysoký obsah uhlíku a legur. [24]



Obr. 3-13 Zvlněná plocha [26]

3.2.9 Odtavení hrany

Odtavení hrany vzniká při náhlé změně směru řezání, protože je nutné před změnou směru snížit rychlost řezání. Snížením řezné rychlosti dochází k většímu ohřevu materiálu a následnému odtavování (obr. 3-14 vlevo). Tyto vady se většinou vyskytují tedy u různých tvarových ploch, oblouků a především rohů. Vhodným nápravným opatřením je při snížení řezné rychlosti, snížit i řezný proud, tím nedochází k nadměrnému ohřevu. Dalším řešením je zvýšit vzdálenost hořáku od materiálu. Nevhodným přenastavením předešlých parametrů, může docházet k nedoříznutí materiálu (obr. 3-14 vpravo). V tomto případě je nutné nalézt kompromis, který nemusí směřovat k úplnému odstranění vady, ale pouze k její minimalizaci. [24]



Obr. 3-14 Odtavení hrany (vlevo), nedoříznutí materiálu (vpravo) [26]

4 Analýza procesu řezání a možných příčin neshod

Tato část textu popisuje možné vlivy při procesu řezání a je rozdělena dle důsledků. Prvním důsledkem jsou řezané dílce, které jsou větší, než je žádoucí. Druhým důsledkem je možný odskok od požadované kontury výpalku. I přes jednoznačné rozdělení mohou být oba důsledky způsobeny společnou příčinou.

Řezání probíhá na plazmové řezačce s dvěma rotačními hlavami. Obě hlavy jsou řízeny jedním programem, operátor nastaví požadovanou vzdálenost mezi hlavami. Jako primární (řezný) plyn se používá kyslík a jako sekundární (stabilizační) plyn vzduch. Argonem se popisují dílce a to ještě před začátkem řezání. Na stroji je použit zdroj od firmy Kjellberg, jehož maximální řezný proud je 360 A.

4.1 Možné příčiny vzniku délkových odchylek od požadovaného rozměru

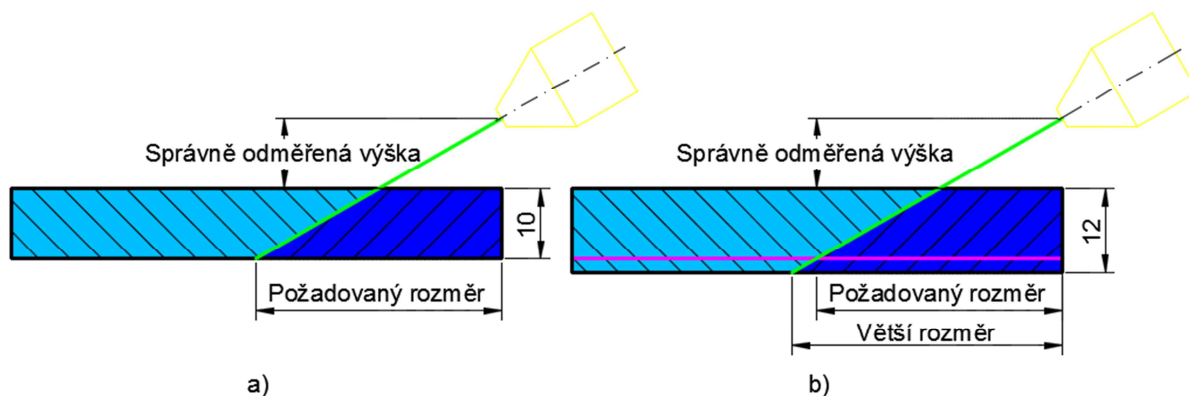
Při řezání může docházet k délkovým odchylkám, které se mohou nacházet v kladných nebo záporných hodnotách. V našem případě při řezání pod úhlem dochází pouze ke kladným odchylkám. Protože i tato výsledná, kladná odchylka je součtem dílčích odchylek, které mohou být i záporné. Nevynechají se možné příčiny při procesu řezání, které se mohou nacházet i v záporných odchylkách. Od velké, kladné odchylky se může odečítat menší, záporná. Odchylka tak zůstane stále v kladné hodnotě. Při odstranění kladné odchylky by mohla mýt i tato záporná hodnota vliv na výrobu neshodných dílců. Budeme se snažit tedy odstranit všechny důležité příčiny.

4.1.1 Vliv rozdílné tloušťky materiálu

Při plánování výroby je objednan plech s požadovanými rozměry a tloušťkou plechu. Na tyto teoretické rozměry je vyhotoven i pálicí program. Na sklad je distribuován plech požadovaných rozměrů, ale zcela přirozeně jsou jeho rozměrové parametry vyrobeny v určité toleranci. Mírně odlišná délka a šířka plechu nijak zásadně neovlivňuje rozměry výpalku, pouze se nepatrně změní šířka zbytkového (okrajového) materiálu. Při kolmém pálení nemá měnící se tloušťka žádný vliv na délkový rozměr výpalku, ale při řezání pod úhlem ano. Pro lepší pochopení této problematiky je nutno uvést i způsob programování a následného řezání hořákem.

Nejjednodušší je kolmé řezání, kde dráha hořáku v rovině XY je stejná s konturou výpalku. S měnící se tloušťkou se nemění nijak zásadně kvalita řezné plochy, která by mohla zapříčinit změnu délkového rozměru. Programátor, obsluha nemění žádné parametry v programu nebo na stroji.

V dalším případě, řezání pod úhlem předpokládáme správné najetí výšky, které je naprogramované. Na levé straně obr. 4-1 je uveden ideální případ, kdy technolog vypracoval program pro plech tloušťky 10 mm a reálná tloušťka odpovídá stejné hodnotě. Výpalek by měl být vypálen v požadovaném rozměru. V rovině XY udržuje hlavice hořáku ekvidistantní vzdálenost od kontury výpalku. Na pravé straně obr. 4-1 je hořák najetý na stejných souřadnicích (osa Z se měří od horní plochy plechu) jako na levé části. Vlivem větší tloušťky materiálu, než na jaký je napsán program. Vznikne výpalek o větším rozměru, než je požadováno. Stejný princip bude platit i pro výpalky, které jsou tenčí.



Obr. 4-1 Změna délky výpalku odchylkou od ideální tloušťky materiálu

Pro zákazníky Tadano Faun, Manitowoc vyrábí Schäfer části automobilových jeřábů. V tabulce 4-1, tabulce 4-2, tabulce 4-3 jsou uvedeny pro jednotlivé tloušťky plechu a druhy výrobků maximální dovolené tolerance tloušťky. Každý zákazník požaduje jiné dovolené odchylky pro různé tloušťky materiálu. Tabulka 4-1 se zabývá odchylkami výpalků pro teleskopická ramena jeřábů firmy Tadano Faun. Dle tabulky 4-2 se řídí dovolené tolerance tloušťky pro všechny ostatní výrobky firmy Tadano Faun. Tabulka 4-3 uvádí maximální dovolené tolerance pro firmu Manitowoc. Z výše uvedených tolerancí je pro představu vypočtena délková odchylka pro různé sklony hořáku. Pokud se nebudou vhodným způsobem řešit tyto situace, mohou nastat případy, kdy dle tabulky 4-2 budou rozdílné rozměry až o 2 mm na každém výpalku. Pouhou změnou tloušťky materiálu dochází tedy k značným odchylkám od požadovaného rozměru.

Závislost délkové odchylky na tloušťce materiálu								
Jmenovitá tloušťka [mm]	Odchylka tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]			Odchylka tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]		
		30°	45°	60°		30°	45°	60°
3 až 9	-0,2	-0,34641	-0,2	-0,11547	0,4	0,69282	0,4	0,23094
9 až 12	-0,2	-0,34641	-0,2	-0,11547	0,4	0,69282	0,4	0,23094
12 až 15	-0,2	-0,34641	-0,2	-0,11547	0,4	0,69282	0,4	0,23094

Tabulka 4-1 Možné délkové odchylky odchylkou tloušťky plechu (Tadano Faun-teleskopická ramena jeřábů)

Závislost délkové odchylky na tloušťce materiálu (ostatní plechy)								
Jmenovitá tloušťka [mm]	Odchylka tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]			Odchylka tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]		
		30°	45°	60°		30°	45°	60°
3 až 9	-0,3	-0,51962	-0,3	-0,17321	0,5	0,866025	0,5	0,288675
9 až 12	-0,4	-0,69282	-0,4	-0,23094	0,6	1,03923	0,6	0,34641
12 až 15	-0,4	-0,69282	-0,4	-0,23094	0,6	1,03923	0,6	0,34641
15 až 20	-0,4	-0,69282	-0,4	-0,23094	0,6	1,03923	0,6	0,34641
20 až 30	-0,6	-1,03923	-0,6	-0,34641	1,2	2,078461	1,2	0,69282

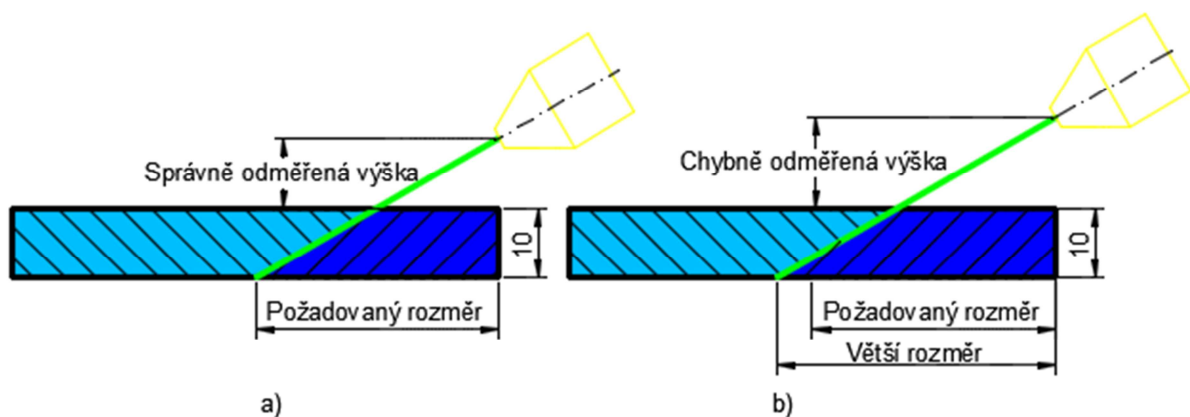
Tabulka 4-2 Možné délkové odchylky odchylkou tloušťky plechu (Tadano Faun ostatní plechy)

Závislost délkové odchyly na tloušťce materiálu								
Jmenovitá tloušťka [mm]	Odchylna tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]			Odchylna tloušťky [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]		
		30°	45°	60°		30°	45°	60°
3 až 8	-0,2	-0,34641	-0,2	-0,11547	0,3	0,519615	0,3	0,173205
8 až 15	-0,2	-0,34641	-0,2	-0,11547	0,4	0,69282	0,4	0,23094
15 až 20	-0,3	-0,51962	-0,3	-0,17321	0,5	0,866025	0,5	0,288675
20 až 30	-0,5	-0,86603	-0,5	-0,28868	0,7	1,212436	0,7	0,404145

Tabulka 4-3 Možné délkové odchyly odchylnou tloušťky plechu (Manitowoc)

4.1.2 Vliv výšky hořáku od materiálu

Řízení výšky hořáku je zabezpečeno dvěma způsoby. Primárně zajišťuje zpětnou polohovou vazbu v ose Z inkrementální snímač, který vyhodnocuje natočení hřídele motoru a tím změnu výšky hořáku. Hořák je schopen rozpoznat začátek výšky plechu pomocí dotyku. Toto odměřování kapacitním snímačem v literatuře výrobce označuje zkratkou IHT. Dalším způsobem, kterým se odměřuje změna výšky hořáku vzhledem k materiálu je metoda ATHC. Tato poslední metoda využívá k odměřování již zapáleného elektrického oblouku, kterým prochází ionizovaný plyn. Se zvětšující vzdáleností hořáku od plechu se zvětšuje i elektrický odpor. Aby byl při procesu zachován požadovaný řezný proud, musí se zvětšit i úměrně napětí. Měřením velikosti napětí tedy lze určit také výšku, respektive udržovat nastavenou vzdálenost od plechu. To je výhodné v případě vlnitosti plechu. Nepříznivě ovlivňovat přesnost této technologie může i koroze materiálu a přejezdy přes řeznou spáru. Levá část na obr. 4-2 ukazuje optimální stav, kdy je správně odměřena výška i ekvidistantní hodnota hořáku od požadované kontury výpalku. Pravá část obrázku znázorňuje chybně odměřenou výšku, která je vyšší. Tím dochází k vyřezání většího rozměru, než jaký je požadován. [3], [4]



Obr. 4-2 Výškové odměřování hořáku

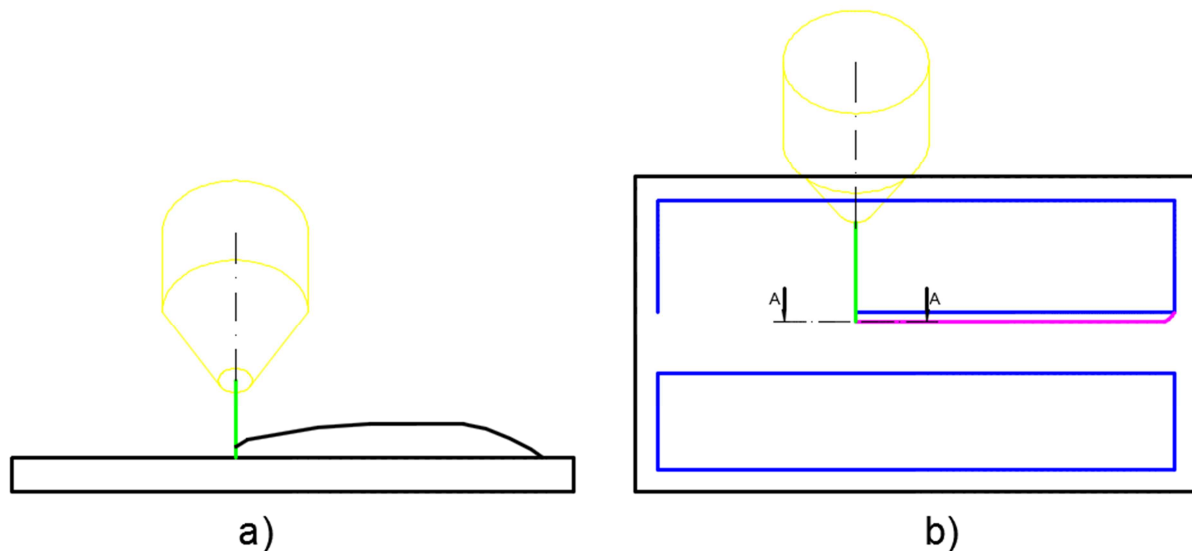
Konkrétnější představu, jak moc může ovlivnit špatně odměřená výška rozměr výpalku, ukazuje tabulka 4-4. Při relativně malé výškové odchylce je již značná délková odchylna od požadovaného rozměru. Bylo by potřeba se ujistit, jestli hlavice je v požadované výšce. Na chybné odměřování může mít vliv i kolize hořáku s plechem, kdy by se po každé větší kolizi měla provést automatická kalibrace geometrie hořáku. Ta probíhá automaticky v příslušné stanici vedle stroje. Z časových důvodů se moc často neprovádí. Ke kolizím s řezaným materiálem dochází i několikrát denně. Při pálení úkosů může při kolizi dojít i k pootočení osy hořáku.

Závislost délkové odchylky na chybné výšce hořáku			
Odchylka výšky hořáku [mm]	Délk. odchyl. (řez pod úhlem) [mm]		
	30°	45°	60°
0,5	0,866025	0,5	0,288675
1	1,732051	1	0,57735
1,5	2,598076	1,5	0,866025
2	3,464102	2	1,154701

Tabulka 4-4 Vliv chybně odměřené výšky na rozměr výpalku

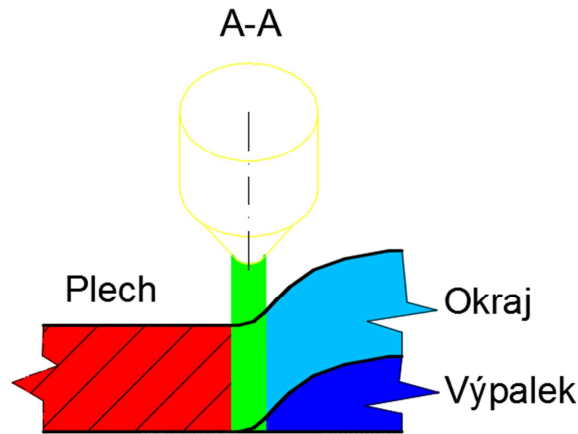
4.1.3 Vliv zdvihu okrajového (zbytkového) materiálu

Při pálení se vlivem koncentrace tepla může objevit pnutí. To má za následek deformaci materiálu. V našem případě dochází většinou k tepelnému ovlivnění a následnému pnutí v okrajovém materiálu tato situace je zachycena na obr. 4-3. Pokud okrajový materiál sousedí s dvěma výpalky, dochází při řezání druhého výpalku k nepříznivým projevům. Působením dalšího tepla se okrajový materiál zvedne nad ostatní materiál. Tato změna v řezném procesu zapříčiní zvednutí hořáku, protože výška hořáku je adaptivně řízena pomocí napětí. Při takto špatně vyhodnocené situaci dojde změnou výšky hořáku i k změně řezaného rozměru plechu. Zvednutí okraje je plynulé a nedochází tudíž ani k náhlému odskoku v délkovém rozměru.



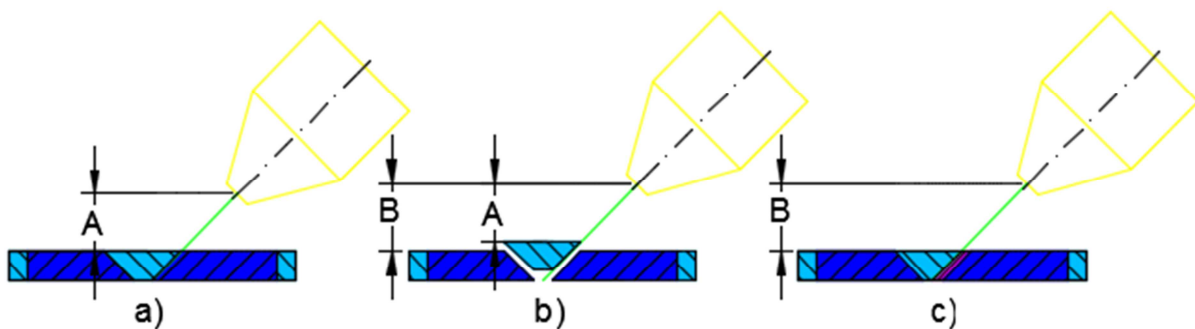
Obr. 4-3 Zdvih okrajového materiálu

Pro lepší pochopení se musí celý řezný proces rozkreslit a mírně zvětšit asi na velikost plazmového paprsku. Občas během řezání je jasně viditelné zvednutí plechu a je velmi výrazné. Nastavená výška hořáku může být ovlivněna, ale pouze zdvihem okrajového materiálu v právě probíhající místě řezu. Obr. 4-4 znázorňuje, kdy plazmový paprsek vniká do tabule plechu a jak dochází k postupnému zdvihům okraje již během řezání. Pro bližší pochopení je nutné si představit dva řezy paprskem plazmy. První řez bude, začátek plazmového paprsku, který vniká do materiálu. Druhý řez bude zachycovat paprsek, kde jsou již oddělené materiály.



Obr. 4-4 Zvětšený proces řezání a zdvihu

Na začátku procesu řezání, před oddělením vypáleného dílce od okrajového materiálu se nemůže okrajový samovolně zvedat. Tento stav je na obr 4-5 a), c). Obr. 4-5 a) zobrazuje optimální stav, kdy nedochází k zvedání okrajového materiálu a je vypálen i správný rozměr. Snahou je tento optimální stav udržet po celý čas pálení. Druhý řez nemusí být až na samotném konci paprsku, výpalek by měl být oddělen už dříve, proto se může okrajový materiál deformovat v této části. Druhý řez na obr. 4-5 b) zachycuje zdvih okrajového materiálu. Tato deformace způsobí zdvih hořáku, který vypálí větší dílec obr. 4-5 c). Jev na obr. 4-5 a),c) se objevuje na začátku paprsku, jev na obr. 4-5 b) se neobjevuje na začátku paprsku.



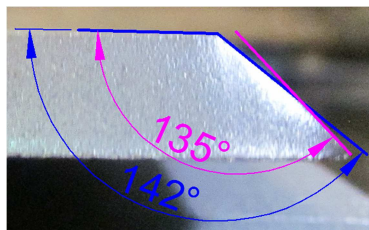
Obr. 4-5 Fáze řezání

Obr. 4-6 ukazuje reálný zdvih okrajového materiálu po i při řezání plazmou. Jak je vidět tepelné ovlivnění okrajového materiálu je natolik velké, že i po vypálení dílce je okraj ještě zvednutý. Po vychladnutí se vrátí zpět do původní pozice, příčinu pnutí již dodávaného materiálu můžeme zamítnout. Samotné zachycení zdvihu okrajového materiálu v průběhu řezání bylo velmi obtížné a byl problém vybrat fotografii, která by byla vypovídající. Detailnější sledování bylo velice komplikované a zachytit na běžném fotoaparátu nemožné.



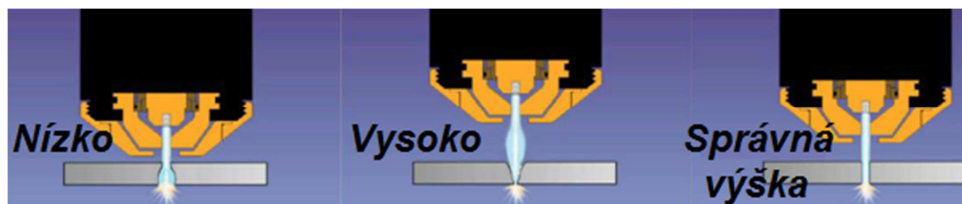
Obr. 4-6 Zdvih okrajového materiálu na plazmovém stroji

Při již stanoveném řezném proudu má na kvalitu boční plochy výpalku rychlost řezání a výška hořáku. Na obr. 4-7 jsou zakótovány úkosity výpalku. Výpalek by měl mít zkosení, 45° (respektive 135° zakótovaný od horní hrany) Tento úhel svírá však až na samotném konci výpalku. Směrem k horní hraně výpalku je úhel jiný, než se požaduje. Tento defekt vzniká pouze na straně vypalovaného dílce, kde dochází při pálení k zdvihnutí okrajového materiálu.



Obr. 4-7 Úhlová odchylka výpalku

Při pohledu na obr. 4-8 je vidět, že tyto odchylky mohou vznikat jinou řeznou výškou, než jaká je optimální. V tomto případě dochází k širšímu řezu v horní části plechu. Je to pravděpodobně zapříčiněno, již zmíněnou změnou výšky hořáku v důsledku zvednutí okrajového materiálu. Řez tedy probíhá ve větší výšce, než by měl. Jako primární příčinu lze s největší pravděpodobností označit špatně zvolené řezné podmínky. Je nutno podotknout, že některé materiály jsou mnohem náchylnější na deformace.

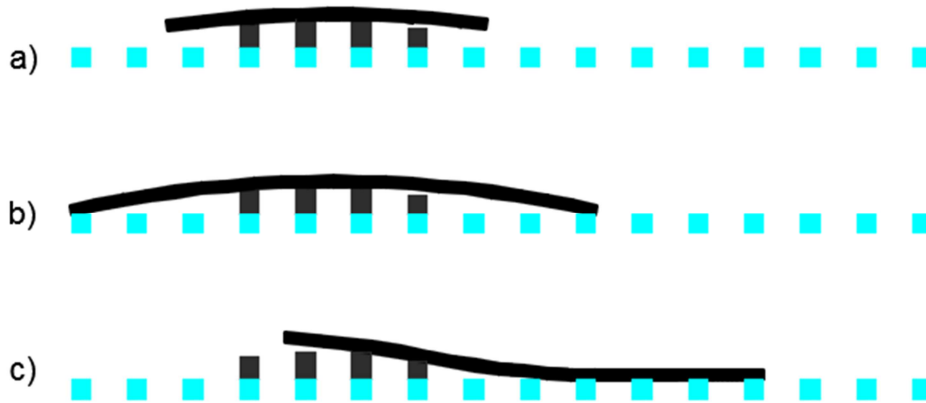


Obr. 4-8 Vliv výšky hořáku na řeznou plochu [5]

4.1.4 Vliv znečištění roštu

Ke znečištění roštu dochází při pálení, kdy je materiál z řezné spáry vyfukován. Část takto vyfouknutého materiálu ulpí na roštu a zde vychladne. Již během půl roku se takto vytvoří znatelná vrstva. Rošt byl v minulosti ze 2/3 šířky vyměněn nebo očištěn. Na té části, kde se rošt nečistil, vznikla vrstva kolem 3 cm. Takovéto vyvýšení způsobuje dle šířky a umístění plechu na rošt několik možností, které mohou nastat. Na obr. 4-9 za a), b) se plech vlivem gravitace ohýbá a může se opírat o holý rošt. Varianta c) zachycuje, kdy materiál mírně stoupá i bez podpory. Při ohybu plechu může docházet k délkové odchylce do 1 mm, která

se vztahuje k celkové šířce plechu. Na jednotlivých výpalcích se tedy může podílet maximálně v řádu desetin milimetru. Může se, ale podílet také na zvětšování rozměru výpalku.



Obr. 4-9 Chování plechu na znečištěném roštu

Na obr. 4-10 je reálné znečištění roštu, které má za následek výše zmíněné jevy. Proč však nepodceňovat důležitost péče o rošty a jejich čištění je následující. Při řezání materiálu, který není opřen o rošt a visí tzv. ve „vzduchu“ jako na obr. 4-11 může dojít velmi jednoduše ke kolizi hořáku s materiálem. Hned po dohotovení výpalku, který dopadne na rošt, dochází k odlehčení zbytku materiálu. Tím se tato část rozkmitá. V případě velké amplitudy kmitu dochází ke kolizi, kdy by mělo následně dojít k automatické kalibraci rotační hlavy hořáku. Pokud se kalibrace neprovede, může docházet k značným výrobním odchylkám.



Obr. 4-10 Znečištění roštu



Obr. 4-11 Nedosednutí plechu na rošt

4.1.5 Vlnitost plechu

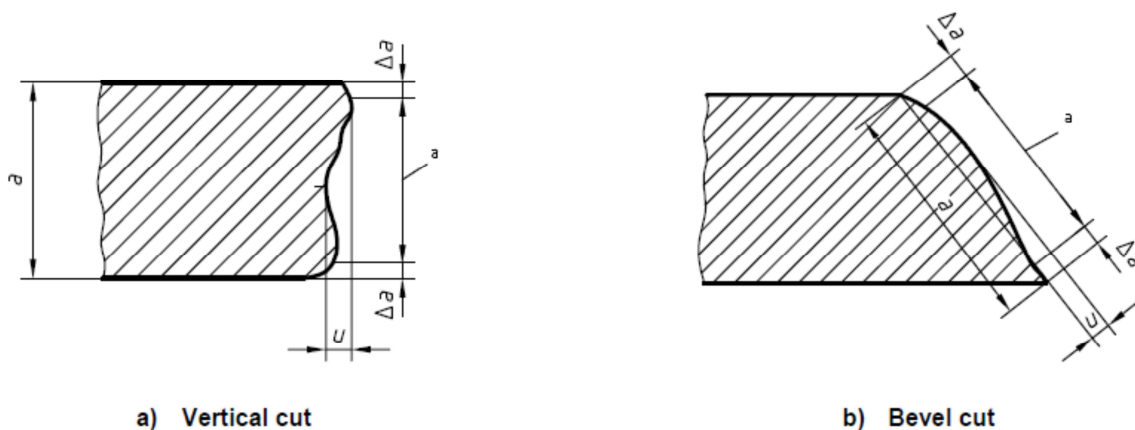
S přihlédnutím, jaký vliv má ohnutý plech od zaneseného roštu na šířkový rozměr. Nedáváme vlnitosti materiálu skoro žádnou váhu. Při správném skladování a manipulaci nebyla zaznamenána nějaká větší vlnitost plechu, která by mohla mít nějaký vliv.

4.1.6 Přesnost stroje Microstep

Deklarované hodnoty výrobcem jsou pro přesnost polohování $\pm 0,1$ mm a opakovanou přesnost najetí $\pm 0,05$ mm. Vše dle normy DIN 28 206. V ose X se nachází 2 pohony. Při servisním výjezdu 14. 10. 2014 bylo opraveno uchycení kompenzačního pohonu osy XX1 (levá část stroje). Tato oprava byla důležitá, protože při požadovaném posunutí v ose X se posunutí v levé i pravé ose X liší. Kompenzační pohon snižuje odchylky od požadované polohy. Protože při kolmém řezání nevzniká žádná nepřiměřená odchylka, není důvod zpochybňovat přesnost stroje při úhlovém řezání a to minimálně v rovině XY. [3]

4.1.7 Přesnost plazmové technologie Kjellberg

Pro technologii Kjellberg HiFocus 360i (hořák PerCut 440) je odchylka kolmosti stanovena v rozmezí 2 až 4 třídy dle DIN EN ISO 9013. Samotná technologie tedy dle zdrojů ovlivňuje kolmost řezné plochy a nic dalšího nezmiňuje. Kolmost řezné plochy dílců nečiní zásadní potíže a nebudeme se jí zabývat. V normě je „kolmost“, resp. šikmost uvedena i pro řezání pod úhlem jak je vidět na obr. 4-12. [6], [7]



Obr. 4-12 Odchylka kolmosti [8]

4.1.8 Přesnost rotační hlavičky Microstep

Rotační hlavička má za úkol naklápět hořák, který může vyrábět úkosity. Tato rotační hlavička je dle dokumentace schopna vyrábět dílce v délkové toleranční třídě 2 podle DIN EN ISO 9013. Při řezání dílce o tloušťce nad 10 mm a délce nad 1 m je maximální dovolená odchylka dle obr. 4-13 až 3 mm. To není vůbec zanedbatelná hodnota (pro běžně vyráběné dílce)! Na nepřesnosti výroby se dále podílejí i kolize hořáku s materiálem. [9]

Table 7 — Limit deviations for nominal dimensions tolerance class 2

Dimensions in millimetres

Work piece thickness	Nominal dimensions							
	> 0 < 3	≥ 3 < 10	≥ 10 < 35	≥ 35 < 125	≥ 125 < 315	≥ 315 < 1 000	≥ 1 000 < 2 000	≥ 2 000 < 4 000
Limit deviations								
> 0 ≤ 1	± 0,1	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 0,9
> 1 ≤ 3,15	± 0,2	± 0,4	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 1	± 1,1
> 3,15 ≤ 6,3	± 0,5	± 0,7	± 0,8	± 0,9	± 1,1	± 1,2	± 1,3	± 1,3
> 6,3 ≤ 10	—	± 1	± 1,1	± 1,3	± 1,4	± 1,5	± 1,6	± 1,7
> 10 ≤ 50	—	± 1,8	± 1,8	± 1,8	± 1,9	± 2,3	± 3	± 4,2
> 50 ≤ 100	—	—	± 2,5	± 2,5	± 2,6	± 3	± 3,7	± 4,9
> 100 ≤ 150	—	—	± 3,2	± 3,3	± 3,4	± 3,7	± 4,4	± 5,7
> 150 ≤ 200	—	—	± 4	± 4	± 4,1	± 4,5	± 5,2	± 6,4
> 200 ≤ 250	—	—	—	—	—	± 5,2	± 5,9	± 7,2
> 250 ≤ 300	—	—	—	—	—	± 6	± 6,7	± 7,9

Obr. 4-13 Odchylka délkových rozměrů v toleranční třídě 2 [8]

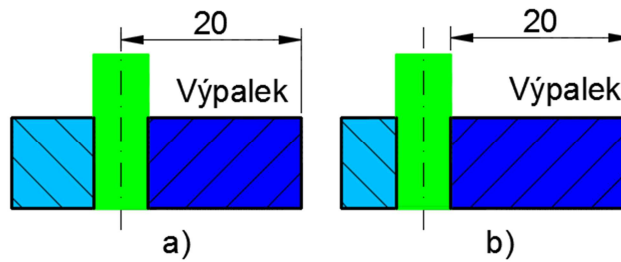
4.1.9 Kontrola požadavků ve výběrovém řízení

Při výběrovém řízení byly zadané mimo jiné i technicko - provozní podmínky, které považují za zásadní. Dle normy ČSN ISO 9013:2002 bylo požadováno dodržení tolerancí pro výpalky pro kolmé řezání v toleranční třídě 1: ISO 9013-321 a pro úkosové řezání v toleranční třídě 2: ISO 9013-322. Ze zadaných požadavků lze vyčíst, že pro kolmé řezání je požadovaná třída kolmosti 3, drsnost v toleranční třídě 2 a délkové odchylky v toleranční třídě 1. Při úkosovém řezání je třída kolmosti 3, drsnost v toleranční třídě 2 a délková odchylka se nachází v 2 třídě. Jak bylo zmiňováno v kapitole 4.1.8, tak v 2 toleranční třídě může docházet k odchylkám až 3 mm. Na toto se mělo myslet už při výběrovém řízení a požadovat, jestli není na trhu zařízení v 1 toleranční třídě. Zhoršení toleranční třídy z 1 na 2 má na svědomí nejpravděpodobněji rotační hlava. [3]

Požadavek na přenosnost polohování dle DIN 28206 do $\pm 0,15$ mm byl splněn a je dle dokumentace pouze $\pm 0,1$ mm. [3]

4.1.10 Šířka řezné štěrbin

Pokud je v řezném plánu uvedena instrukce pro kompenzaci šířky řezné štěrbin. Stroj používá tuto hodnotu jako korekční parametr, aby vyráběl výpalky o správném rozměru. Pro správný rozměr výpalku je nutné nastavit reálnou šířku řezné štěrbin. Při opomenutí zmíněného parametru může docházet k výpalkům, které mají menší nebo větší rozměr, než je požadováno. Výhodou zadání korekce je, že lze rozměry z výkresů (ve formátu dxf) rychleji převést na řezný program a špatný rozměr výpalku řešíme pouze přepsáním korekce. Výhody plynoucí pro programátora jsou velmi dobře zřetelné na obr. 4-14. Vlevo se nachází situace, kdy programátor zapomene započítat šířku řezné štěrbin a vypálí menší dílec. V pravé části obrázku nemusí programátor znát šířku štěrbin, ale odvolává se na zadanou hodnotu ze stroje, která je správně nastavená. Potom vznikne vypálený dílec o požadovaném rozměru v našem případě 20 mm. [10]



Obr. 4-14 Vliv korekce šířky řezné štěrbin

4.2 Odskok od obrysu výpalku

Při pálení delších dílců, které mají nad 1 m, vzniká odskok od materiálu. Vada se projevuje pouze u řezání pod úhlem. Před odskokem je šířka dílce v pořádku, po odskoku je šířka větší. Odskok poznáme dle typického schodu, ten ovlivňuje šířku výpalku, ale znemožňuje i správné ustavení pro svařování. Pokud tedy vznikne odskok od požadované kontury, musí se schod zbrusit. Tento odskok vzniká při pálení u rovnoběžných řezů položených blízko sebe. Vzniká pouze na jedné straně výpalku a to při pálení druhé kontury z dvou. Tento jev je pozorován pouze v ose X, protože tímto směrem na délku stroje se orientují dlouhé výpalky. Typový příklad podlouhlých výpalků, kde vzniká odskok, jsou výpalky na obr. 4-15. Odskok je mnohem lépe viditelný až po odstranění okrajového materiálu.

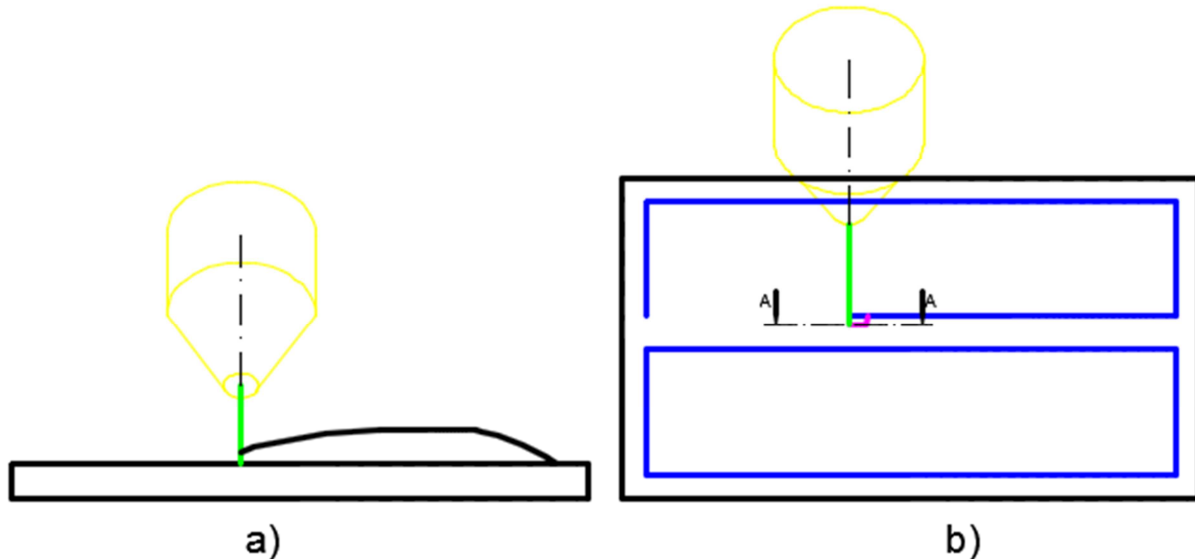


Obr. 4-15 Typové dílce, kde vzniká odskok

4.2.1 Deformace okrajového materiálu

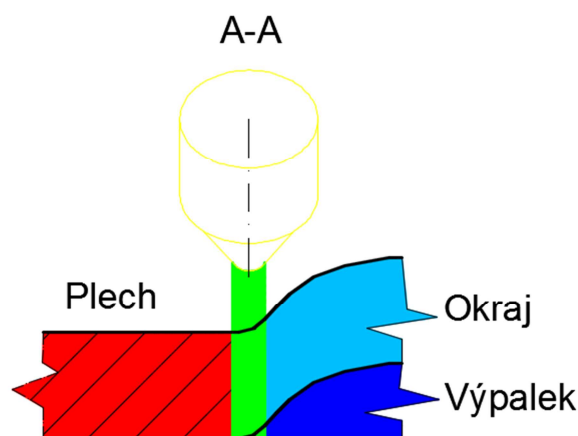
K deformaci okraje nedochází při řezání prvního výpalku, ale při řezání druhého a dalších. Zdvih okrajového materiálu nad vypalovaný dílec se projevuje až v průběhu řezného procesu. Při pálení prvního dílce je do okrajového materiálu mezi prvním a druhým dílcem vnášeno teplo. Při řezání druhého dílce se do tohoto okrajového materiálu vnáší další teplo. Šířka okrajového materiálu se pohybuje kolem 2 cm a není schopna pojmout nebo odevzdat tolik tepelné energie. Tepelná energie způsobí v materiálu pnutí a v průběhu řezání sousedního dílce dojde ke zdvihu okraje nad zbytek plechu. Při řezání nadkosu okrajový materiál nic nepřidrží a může se při pnutí materiálu libovolně zvedat vzhůru. Hořák je adaptivně řízen

a zareaguje na zdvih okrajového materiálu zdvihem hořáku a změni tím náhle řezanou šířku materiálu a vznikne i viditelný odskok obr. 4-16.



Obr. 4-16 Odskok zapříčiněný zdvihem okrajového materiálu

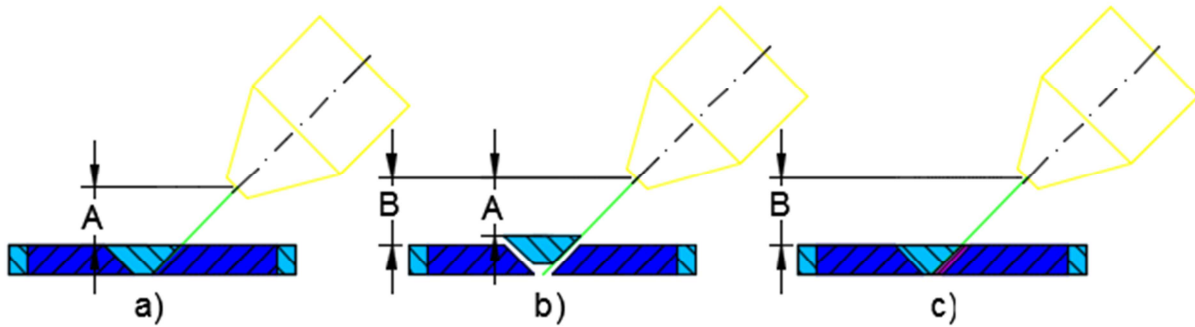
U tvorby odskoku je jistota, že vzniká zvednutím okrajového materiálu a následnou změnou výšky hořáku. Při pečlivém sledování procesu v místě, kde vzniká odskok, můžeme pozorovat i mírný zdvih hořáku. Náhlý zdvih okrajového materiálu a případný zákmit může mít i slyšitelný projev. Zdvih materiálu a následné projevy jsou relativně dobře viditelné pozorné obsluze, to co se děje v proudu paprsku je však jen velmi obtížně pozorovatelné, spíše nemožné. Paprsek resp. řezná spára má šířku v jednotkách mm, na řešeném stroji se řeže paprskem cca 3 mm. K mírnému zdvihu okraje musí docházet ještě v oblasti plazmového paprsku obr. 4-17. Pouze zde je totiž možné ovlivnit výšku hořáku. Pokud není okrajový materiál viditelně nadzvednutý, tak pravděpodobně neproběhl žádný velký zdvih ani v části paprsku, který by měl výrazný vliv na řezání.



Obr. 4-17 Odskok od materiálu

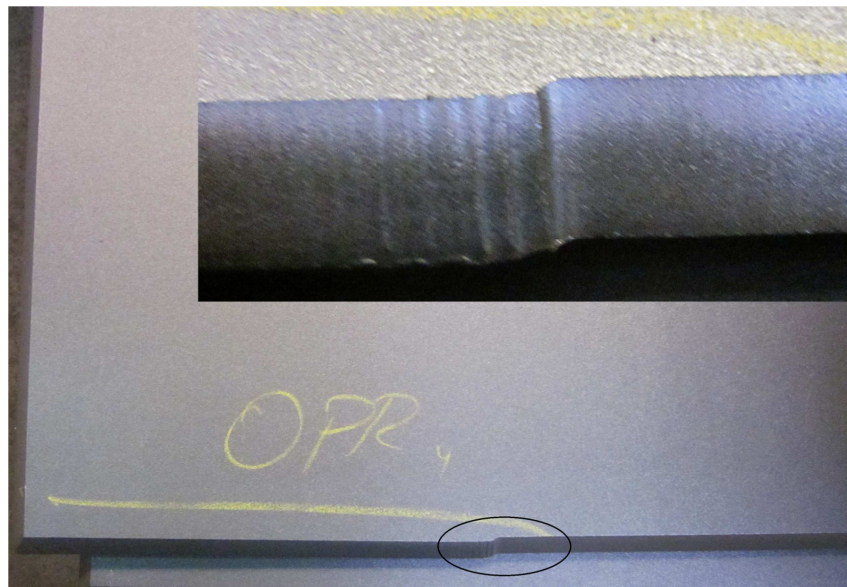
První dílec bývá vypálen v pořádku, jde tedy říci, že paprsek pálí dílec, tak jak je uvedeno na obr. 4-18 a). Pálení okraje mezi současným a předchozím výpalkem je místo, kde dochází k požadovanému řezu dle obr. 4-18 a), ale nahromaděním tepelné energie dojde náhle k deformaci okraje a zdvihu hořáku. Situaci dobře vystihuje obr. 4-18 b), kvůli zdvihu, pak hořák řeže větší rozměr výpalku obr. 4-18 c). Jev na obr. 4-18 a) si můžeme představit

v jakékoliv části paprsku před deformací okraje, jev na obr. 4-18 b) se neobjevuje na začátku paprsku, jev na obr. 4-18 c) se objevuje zásadně na začátku paprsku po deformaci okraje.



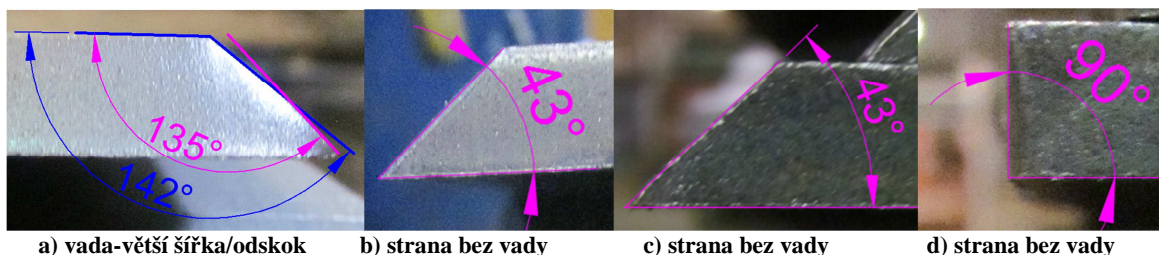
Obr. 4-18 Odskok od materiálu

Reálný odskok lze vidět na obr. 4-19. Horní pravý roh poskytuje detailnější pohled odskoku s patrným rýhováním.



Obr. 4-19 Vruby na osdkoku

Výpalky o správném rozměru obr. 4-20 b), c), d) mají úhlovou odchylku max. do 2° , což je přijatelné. U těchto výrobků nedochází k viditelné deformaci okrajového materiálu. Kolmé pálení bývá dokonce přesnější. Výpalek s odskokem nebo i nesprávným rozměrem obr. 4-20 a) (předchozí vada) mívá na jedné straně značně jiné úhlové rozměry. Před začátkem odskoku je tedy i úhlový rozměr v pořádku, pouze rozšířená část odskokem je postižena značnou odchylkou. Horní část výpalku je rozšířená, vada vznikla větší vzdáleností hořáku od materiálu. To potvrzuje i kapitola 3.2.2 a nabízí řešení.



a) vada-větší šířka/odskok

b) strana bez vady

c) strana bez vady

d) strana bez vady

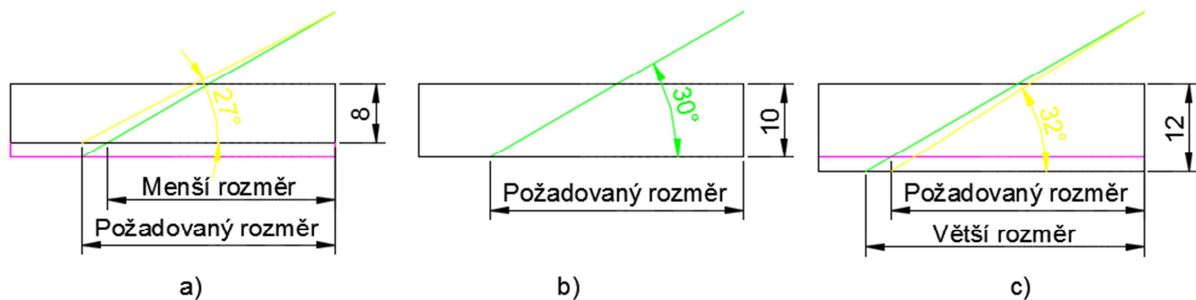
Obr. 4-20 Úhlové odchylky

5 Návrh nápravných opatření

Pro možné, zjištěné příčiny se budou hledat nápravná opatření, kde bude snahou tyto příčiny zmírňovat nebo zcela eliminovat. Mezi možné návrhy patří úprava technologie řezání, ale i částečná úprava stroje, či softwaru PC nebo řídicího systému stroje. Firma si však nepřeje provádět úpravy řezných parametrů, které má přednastavené od servisní firmy. Nebude tedy možné měnit např. řezný proud, či rychlost posuvu.

5.1 Rozdílná tloušťka plechu

Rozdílná tloušťka materiálu je nepříjemná, protože při pálení pod úhlem vzniká jiný, než požadovaný rozměr. Pokud má celý plech jinou tloušťku, může se dosáhnout správných rozměrů změnou úhlu pálení. Tato úprava lze nastavit přímo na stroji, ale je potřeba vypálit zkušební vzorek, popř. poté nastavit nějakou korekci. Úprava úhlu by přirozeně šla provádět i v CAM programu, ale nastavení na stroji je více operativní. Při skládání sestavy bývá výsledný produkt ohraničen celkovou rozměrovou tolerancí. Je tedy menší „zlo“ změnit úhel paprsku, resp. výpalku. Zkosení výpalků se provádí, kvůli budoucímu svaru. Ideální tloušťku a při správném nastavení i rozměr má dílec na obr. 5-1 b). Dílec více vlevo tedy za a) má menší tloušťku a zkosení musí být více ostré. U větší tloušťky tedy za c) je tomu naopak. Úhel zkosení se zvětšuje. U variant a), c) je původní nastavení (zamýšlené pro tloušťku 10 mm) značeno zeleným paprskem, nové nastavení paprskem žlutým.



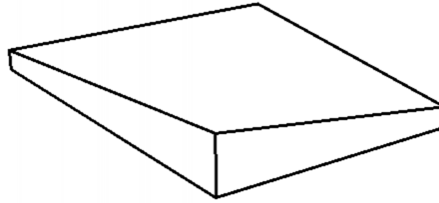
Obr. 5-1 Korekce šířky změnou úhlu

Při výskytu jiné, konstantní tloušťky plechu, než na jakou je napsán program je možné vyrobit vzorky. Vzorky je vhodné vyrobit ze stejného plechu pro snadné naměření rozměru, aby se obsluha vyhnula potencionální chybě. Zkušební vzorky obr. 5-2 mohou být velmi malé, protože dochází pouze k ladění úhlu a tím rozměru. Nastavení korekce by bylo vhodné začlenit v případě, když obsluha naměří větší odchylku tloušťky plechu.



Obr. 5-2 Vzorky pro nastavení šířky

Pokud je tloušťka materiálu v různých jeho částech velmi proměnlivá obr. 5-3, není v současné době možné stroj nastavit, aby vypaloval dílce požadovaných rozměrů. Plech by se musel např. orovnat na frézce, bylo by však nutné zvážit, jestli se nevyplatí kupovat kvalitnější plechy, popř. plechy od jiných dodavatelů. Zmíněná problematika byla konzultována i s výrobcem stroje.



Obr. 5-3 Proměnlivá tloušťka plechu

Pro orovnění plochy XY by bylo zapotřebí opravdu velkého pracovního stolu, ale ani tato varianta řešení není nerealizovatelná. Přímo v ČR máme hned několik výrobců velkých obráběcích strojů, které mají své stroje na našem trhu. Bylo by tedy možné využít kooperaci s firmami, které tyto stroje mají. Obr. 5-4 je důkazem, že by bylo možno obrábět i rozměrově náročné dílce podlouhlého tvaru.



Obr. 5-4 Portálové obráběcí centrum [28]

5.2 Zdvih okrajového materiálu

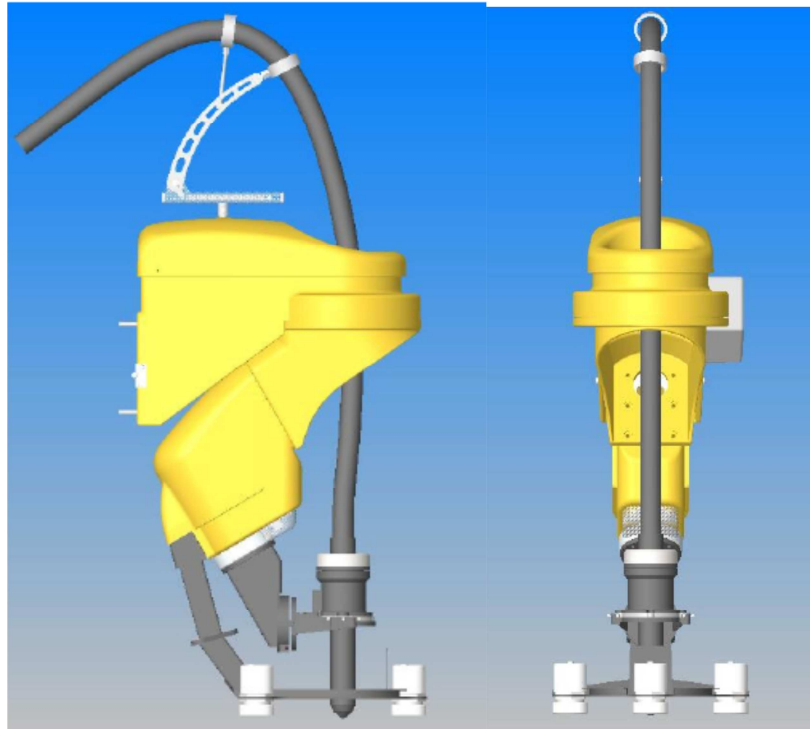
Zdvih okrajového materiálu má za následek výrobu neshodných výpalku, proto je nutné najít vhodné řešení. Toto řešení by mělo být ekonomicky výhodnější, než vynaložené náklady na opravu těchto dílců.

5.2.1 Využití snímačů

Stroj v současnosti využívá adaptivní řízení výšky hořáku, špatně vyhodnocené hodnoty však mají za příčinu výrobu neshodných dílců. Adaptivní řízení měří napětí elektrického oblouku plazmy, napětí se snaží zachovat konstantní, tím i vzájemnou vzdálenost plechu vzhledem k hořáku. Cílem výrobce stroje bylo to, že zmíněné řízení mělo řešit problémy při řezání vlnitých plechů. Relativně snadným řešením by bylo vypnutí adaptivního řízení, to není však zcela možné, protože je pro některé strategie řezání zcela nevyhnutelné. Bylo by tedy vhodné zařadit nějaký typ snímače/ů, který by rozlišoval zvlnění a zdvih okrajového materiálu.

Dříve výrobce stroje instaloval na své stroje tři indukční snímače obr. 5-5, které zajišťovaly správné nastavení výšky. Od tohoto řešení však výrobce v současné době upustil a nenabízí ho. Bylo by tedy možná vhodné vybrat snímač, který by mapoval profil plechu malý kousek před hořákem, kde ještě nemůže docházet k zvednutí okraje. Současné řešení, adaptivního řízení by bylo přenastaveno, aby nedocházelo k zdvihu zapříčiněného deformací okraje. Zároveň by ale získané naměřené hodnoty použil k tomu, aby nedošlo ke kolizi hořáku

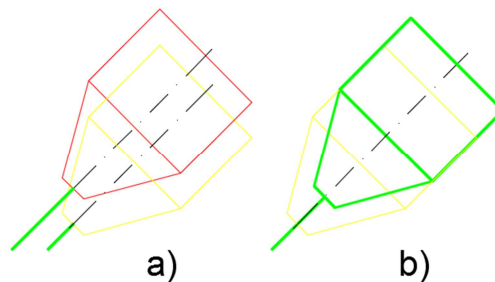
a nadzvednutého okraje, tudíž by v krajním případě mohl mírně změnit výšku hořáku. Z předešlého tvrzení vyplývají i jisté nevýhody tohoto řešení. Zmíněné řešení není však nutno zcela zahrnout, musí se ale upravit odjezdy hořáku. Zmíněnou úpravou se zabývá následující kapitola 5.2.2.



Obr. 5-5 Indukční snímače Balluff BAW

5.2.2 Změna řídicího systému

Při případné investici do dalšího snímače by bylo vhodné upravit i případné odjezdy hořáku pro kritické případy, aby nedocházelo ke kolizi plechu s hořákem. Při zvlnění plechu hořák zareaguje, tak že změni výšku. Snaží se zachovat konstantní vzdálenost mezi hořákem a plechem. Toto nastavení je zcela vyhovující, problém nastává, že takto reaguje i na zvednutí okraje a vznikají opravitelné zmetky. Při současném nastavení by hořák na zvlnění okraje reagoval již známým způsobem. Žlutý hořák obr. 5-6 a) je ve standartní pozici, když nastane zvlnění plechu, dochází k posunutí pouze v horizontálním směru. Ve zmíněném obrázku se červený hořák posunul nahoru a snaží si stále udržet konstantní vzdálenost od plechu. Nové nastavení by však umožňovalo. Pokud by se zvedal okrajový materiál a bylo by nutné zabránit kolizi, tak by se žlutý hořák obr. 5-6 b) posunul ve směru osy paprsku. Zmíněným posuvem ve směru osy paprsku ale dojde ke změně vypalovaného úhlu od horní hrany výpalku, pro připomenutí vzniklé situace se podívejme zpět na obr. 4-8. I přes mírnou geometrickou změnu v horní části výpalku je schopna tato metoda zvýšit kvalitu vyráběných dílců.



Obr. 5-6 Úprava odjezdů hořáku

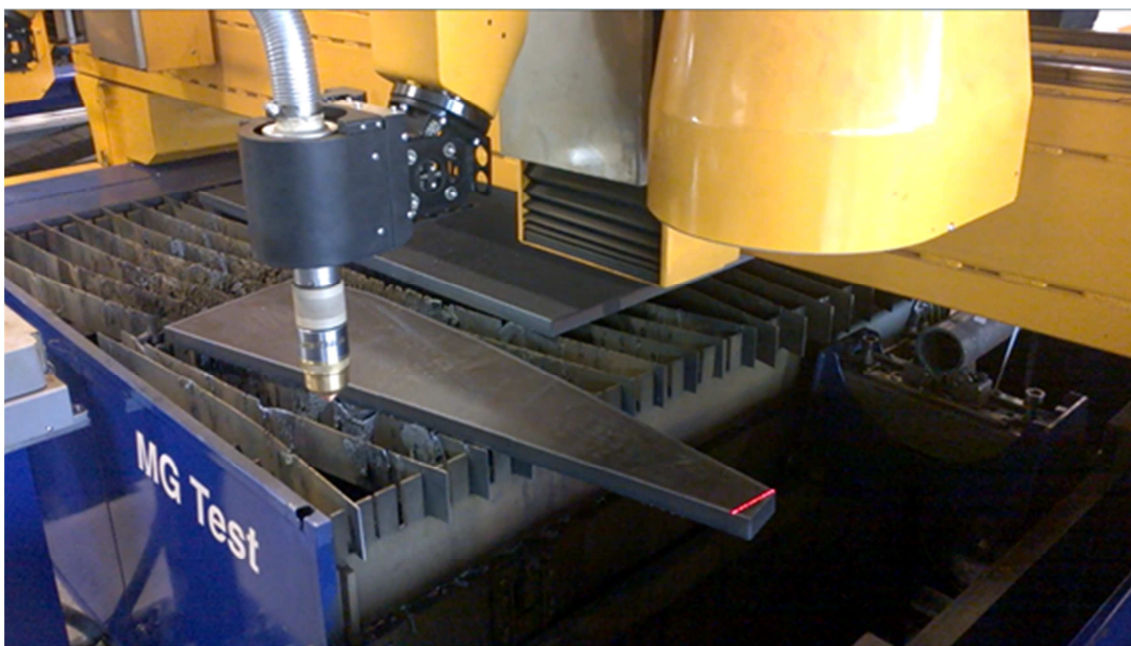
5.2.3 Změna technologie – dodatečné úkosování

Je dobré, pokud je možnost nahlédnout, jak dělá podobné věci i konkurence a jak čelí stejným výzvám. Konkurence nejprve řeže dílec kolmo obr. 5-7. Kolmé řezání je výborné pro vypálení požadovaných rozměrů, v případě zdvihu okrajového materiálu dojde pouze k změně úhlu v horní části výpalku. Tento defekt by nevadil, protože se na dílci provede ještě zkosení.



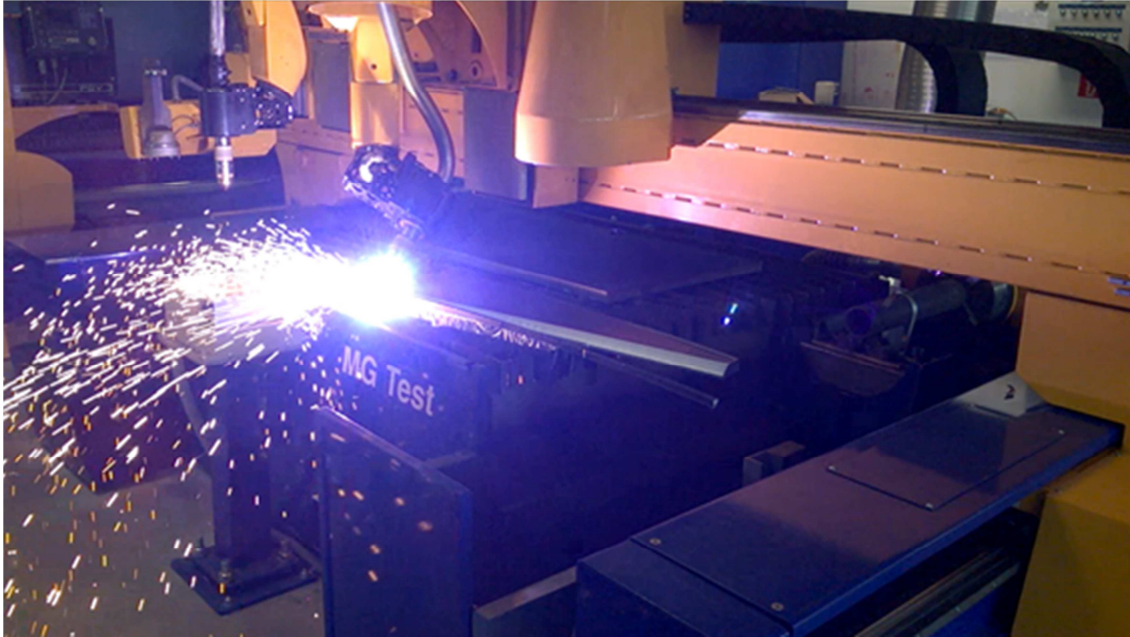
Obr. 5-7 Kolmé řezání

Po kolmém pálení se odstraní okrajový materiál nebo je možné výjmout dílec a libovolně položit. Orientace dílce je zjištěna laserovým skenerem obr. 5-8. Liniový skener provonává tvar dle dodaného výkresu se skutečností.



Obr. 5-8 Skenování ustavení součástí

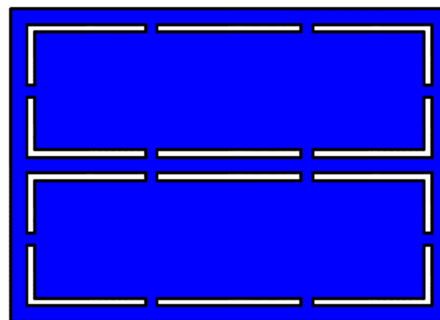
Po naskenování součásti stroj začíná s pálením úkosu obr. 5-9. Okrajový materiál má volný konec, to má tu výhodu, že může měnit svou délku. Místo řezu tedy není ovlivněno deformací okrajového materiálu. Konec okraje ohýbá k zemi, ale na řezání to nemá vliv. Z hlediska efektivity zde dochází k dvěma řezům, což není ideální. Pokud je požadován úkos je časově i ekonomicky výhodnější řezat rovnou úkos. Jestliže by se tímto způsobem pářily úkosy s ustavovacím kolmým nosem, tak by tato metoda byla akceptovatelná. Pokud by si vedení zvolilo tuto variantu, bylo by po dokoupení skeneru možné realizovat zmíněný postup. Uvedená technologie se stala inspirací, aby se v průběhu řezání postupně odřezával okraj nebo vyřízla dilatační mezera. Tyto úpravy zajistí, aby se okraj nezvedal a neovlivňoval řezání. Technologie bude probána podrobněji až dále.



Obr. 5-9 Dodatečné pálení úkosu

5.2.4 Změna technologie – tvorba můstků

Jednou ze standartních úprav, aby nedocházelo k nadměrné deformaci okraje, je tvorba můstků resp. mostků. Četnost se volí experimentálně, tak aby nedocházelo k výrazné deformaci. Zdvihu okraje by měl tedy zabránit můstek, který zasahuje do vypalovaného dílce. Pro lepší názornost jsou můstky vytvořeny na výpalcích řezaných kolmo obr. 5-10.

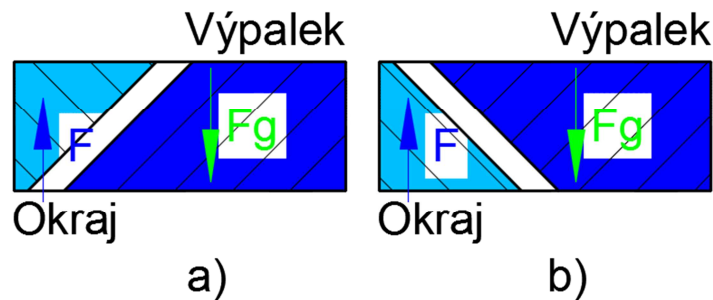


Obr. 5-10 Vymůstkovaný plech

CAM systémy jsou vybaveny různými moduly. Tyto moduly se snaží zrychlit tvorbu programu, proto zde lze najít často využívané funkce. Jedná se např. o modul generování náběhů, či výběhů u technologií, které to potřebují. Dalším běžným modulem je ale i modul generování mostků. Lze tedy říci, že tvorba programu není o nic náročnější. Velkým negativem, ale zůstává nutnost odřezat vzniklé mostky obsluhou stroje a zarovnání plochy.

5.2.5 Změna technologie – otočení úkosu

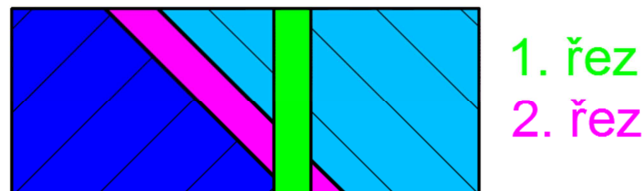
Při pálení nadkosu obr. 5-11 a) se může okraj snáze deformovat a zvedá se. Deformační síla okraje je natolik vysoká, že gravitační síla okraje nezabrání deformaci. Pokud místo nadkosu se bude pálit podkos obr. 5-12 b), tak se okrajový materiál může svou deformační silou zvednout pouze o výšku dělicí mezery. Dalšímu zdvihu již zabrání silový účinek výpalku. Tato úprava je velice vhodná, zmenšením zdvihu, by mělo dojít k zmenšení výrobních odchylek. Tuto úpravu by bylo nutné nejprve vyzkoušet, protože při případném zdvihu by docházelo k zmenšení výpalku! Další výhodou je stejná doba řezu.



Obr. 5-11 Pálení nadkosu, podkosu

Pokud je zapotřebí pálit více zkosení, pak je nutno dodržet následující zásadu, která má zásadní vliv na kvalitu řezu. Je vhodné uspořádat pořadí řezů tak, aby na straně výpalku paprsek řezal do plného materiálu. Je nevhodné, pokud se paprsek kříží s již vyrobenou řeznou spárou a musí pokračovat v dělení výpalku.

Nejprve je nutné vypálit opěrnou plošku, která slouží k správnému ustavení pro svařování. Kolmý řez zaručí požadovaný rozměr. Potom se vypálí zkosení, tedy nadkos. Tento postup znázorněný na obr. 5-12 je vhodné použít pro větší rozměry ustavovacího nosu.



Obr. 5-12 Pořadí pálení úkosů před úpravou

Pomyslným otočením budoucího výpalku obr. 5-13 je nutné začít řez podkosem, který může v případě malého zdvihu vyrobit dílec menších rozměrů. Sekundární řez vytváří ustavovací nos. Zmíněná metoda má tedy dvě nevýhody. Vyrobení menších rozměrů u kterých nevíme, jestli budou v toleranci a relativně zbytečný kolmý řez pro malé ustavovací nosy.



Obr. 5-13 Pořadí pálení úkosů po úpravě

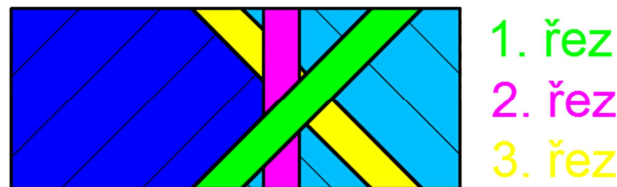
Existuje řešení, kdy k tvorbě malých nosů není nutné provádět kolmý řez. Jestli jsou ustavovací plošky malé a není požadována jejich kolmost, lze využít při podkosu, neboli řezu

typu A charakteristických vlastností plazmy. Při řezání podkosu vzniká na horní hraně výpalku zaoblení obr. 5-14, které je možno využít k ustavení dílců.



Obr. 5-14 Zaoblení výpalku u zkosení typu A [2]

Pootáčet dílce postrádá smysl u výpalků s relativně symetrickým podkosem a nadkosem. Při otočení takového výpalku obr. 5-15 je pořadí řezů stále stejné.



Obr. 5-15 Pořadí pálení dílec typu K, X

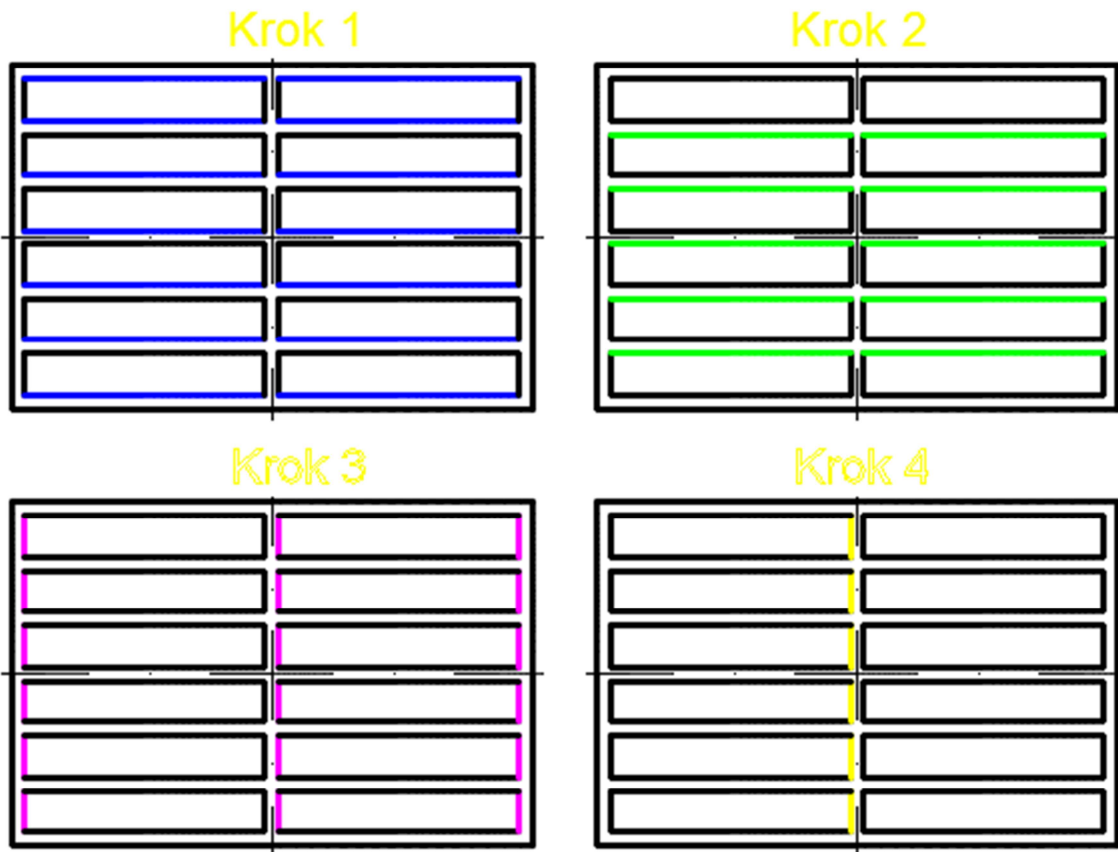
5.2.6 Změna technologie – změna postupu řezání

Vnější kontury výpalků se pálí po směru hodinových ručiček, aby nedocházelo k nadměrnému ohřevu okrajů, byl řezný proces rozdělen na jednotlivé úseky obr. 5-16. V prvním kroku začne stroj řezat v levém horním rohu a postupuje doprava po modré pálicí přímce. Potom přejde na pálení pravého dílce. Po vypálení linky pravého dílce se hořák zastaví v horním pravém rohu. Je nutné, aby zachoval směr pálení po směru hodinových ručiček. Přesune se tedy o šířku dílce a začne pálit tentokrát z pravé strany doleva. Zbývající přímky prvního kroku se pálí opět zprava doleva.

Krok dva umožňuje dopálení zbývajících, délkových přímek, aniž by se zvedal okrajový materiál, ten stihl již dostatečně vychladnout. Pohyb hořáku je v tomto kroku z levé strany doprava po zelených úsečkách.

Dalším krokem je vypálení bočních stran výpalku tedy šířky. V ukázkovém příkladu začíná dělení po prostřední fialové úsečce zdola směrem nahoru. Po vypálení všech prostředních úseček hořák přejede doprava a začíná pálit z vrchu dolů. Potom se hořák přesune zcela doleva, kde začne pálit z dolní pozice směrem nahoru.

Poslední krok vypálí zbývající žluté úseky, které stihly vychladnout a nemělo by dojít k zdvihu okraje. Směr pálení nyní z vrchu dolů.



Obr. 5-16 Úsekové dělení

Metoda zig-zag dělí vnější konturu výpalku po směru hodinových ručiček. Může mít pouze jeden nájezd a výjezd, který není pro přehlednost opět znázorněn. Dílce jsou vypáleny na přeskáčku obr. 5-17, aby nedošlo k nadměrnému ohřevu okraje. Při pálení kroku dva vzniká při pálení dílců po všech stranách tenký okraj. Ten by měl být schopen bez problémů absorbovat teplo, aniž by vznikla deformace, protože stihl dostatečně zchladnout.

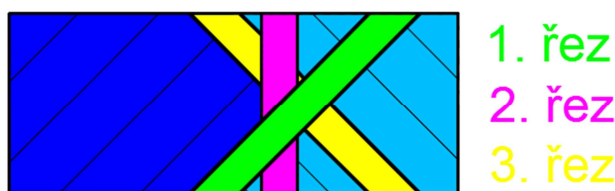


Obr. 5-17 Dělení zig-zag

5.2.7 Změna technologie – řezání okraje

Dalšími způsoby jak zabránit zdvihu okrajového materiálu je hned několik. Prvním opatřením může být postupné řezání okrajového materiálu, vytvoření dilatační spáry nebo provést řez, který umožní materiálu se bez vedlejších účinků prodlužovat. Zmíněné úpravy budou předvedeny na poměrně složitém trojnásobném řezu. Složitější dílce se zatím ve firmě nevyrobějí.

Pro správné pochopení řezů na obr. 5-19 je zapotřebí pochopit obr. 5-18, kde je vysvětlen správný sled řezů. Pořadí řezů je pro přehlednost rozděleno barevně. Tmavě modrá, vyšrafovaná část znázorňuje výpalek, světlejší okrajový materiál. Řezy na obr. 5-19 jsou zobrazeny, tak jak jsou viditelné při pohledu shora, když jsou položeny na pálicí rošt. Při zpětném pohledu na obr. 5-18 lze dle barvy čáry zjistit o jaký řez se jedná. Pro upřesnění nutno dodat, že na ukázkových příkladech nejsou pro větší přehlednost zobrazeny možné nájezdy, či výjezdy.



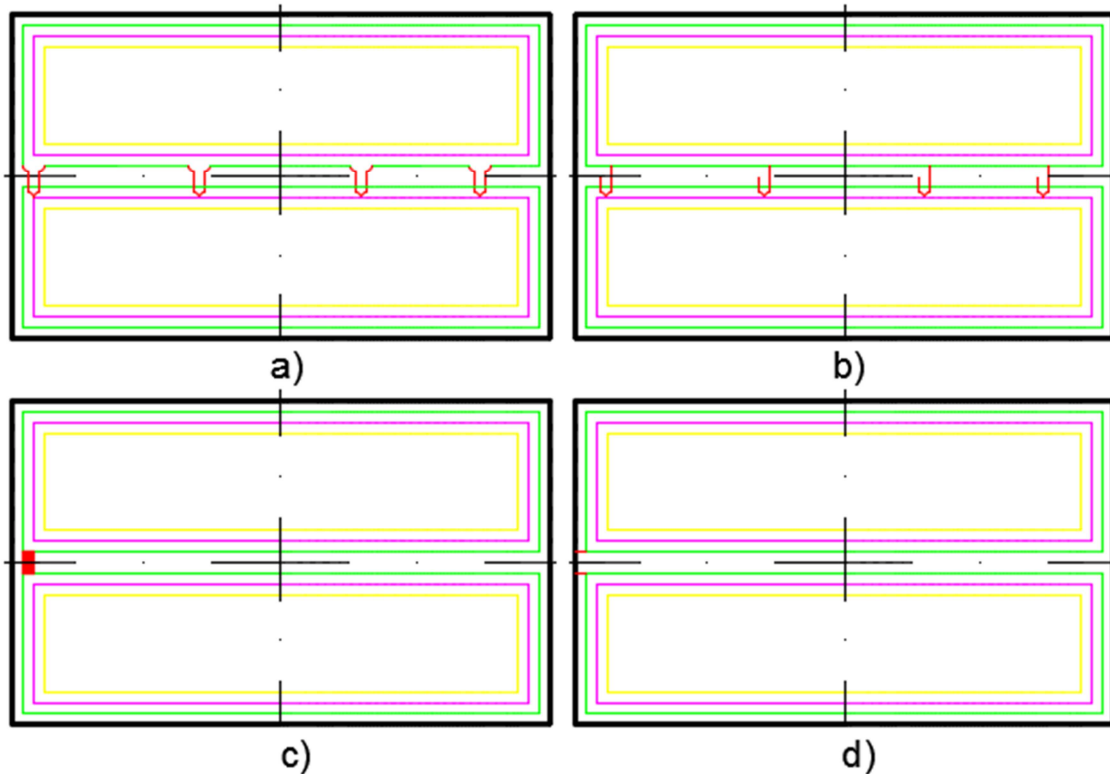
Obr. 5-18 Kroky řezání

Upravená technologie dle obr. 5-19 a) při prvním řezu výpalku již dělí okrajový materiál ve tvaru „zkumavky“. Tento zbytkový materiál je nutné následně odstranit a nepřináší zásadní výhodu oproti můstkování, které by bylo provedeno třeba také pouze na jedné straně. Výhodou by byla možnost nepřerušování prvního řezu a plynulý přechod na řez okrajového materiálu. Změna pálení pod úhlem na kolmý řez a zpět na pálení pod úhlem probíhá za řezu. Přenastavení na kolmý řez musí proběhnout před nájezdem na fialovou konturu. Správné nastavení úhlového řezu je však také velmi důležité, aby došlo k celkovému odříznutí okraje. Celkem výraznou nevýhodou je to, že okraj se může prodloužit o možnou šířku řezné spáry. Vyjmutí hotového výpalku při pálení druhého není vhodné.

Technologie dle obr. 5-19 b) je výhodnější, že nevyžaduje dodatečné úpravy výpalků. Nejprve se provede propíchnutí uprostřed šířky okrajového materiálu a provede řez ve tvaru „fajfky“. Řez nejprve začíná jako kolmý, ale přenastaví se na pálení pod úhlem. Tímto způsobem jsou nejprve vypáleny všechny dělicí řezy, poté nastává řez dílce, dle barevné předlohy po směru hodinových ručiček. Roztažnost materiálu je omezena šířkou řezné spáry, ale v průběhu pálení lze rozřezané části okraje odstranit.

Vyříznutí dilatační spáry je na obr. 5-19 c). K částečnému vyříznutí dojde po zhotovení prvního výpalku, zbývající 3 strany se dohotoví. Mohlo by se stát, že výpalek nepropadne a bude ho přidržovat rošt, tím nevznikne dostatečná dilatační mezera. Pro začátek dělení druhého dílce lze využít prostor spáry a zapálit v něm hořák. Hořák lze totiž zapálit i bez kontaktu s materiálem, nemusí se dělat klasický propich a nájezd. Při pálení zleva doprava bude schopna dilatační mezera případnou délkovou roztažnost pojmout.

Poslední varianta d) je asi nejvýhodnější ze zde zmiňovaných úprav. Při pálení prvního dílce lze při ukončování prvního řezu využít horizontální, červený výjezd mimo materiál. Začátek pálení druhého dílce bude mimo materiál a opět lze vyrobít dělicí červený řez, který poté přechází do zeleného. Výhodou tohoto řešení je jednodušší naprogramování, dělicí řezy lze plynule napojit na plánovanou konturu dílce a v neposlední řadě minimální časová náročnost. Výraznou výhodou je také to, že okrajový materiál není omežován v délkové roztažnosti.

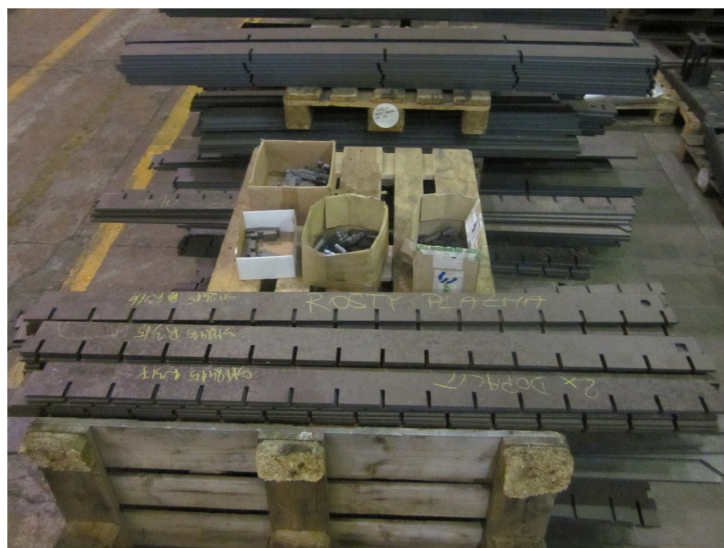


Obr. 5-19 Způsoby řezu okrajového materiálu

5.3 Znečištění roštu

Čištění roštů je velmi namáhavá a zdlouhavá činnost, pokud se nedělá pravidelně. Bohužel se i zde se tato údržba odkládá a stává se z ní velmi nepříjemná činnost. V současné době se několika měsíční nános odstraňuje kladivem a majzlíkem. Na trhu je možné vidět sofistikované, ale nákladné řešení, kdy se vymění hořák za hlavici, která provede odstranění strusky. Existují, ale i mnohem obvyčejnější řešení a to aplikace kapalin pro ochranu roštů. Tyto kapaliny zabraňují ulpívání strusky na roštu. V případě, že struska na roštu ulpí lze ji mnohem snáze odstranit. Nevýhodou nástřiku je, že se musí aplikovat minimálně 1x týdně.

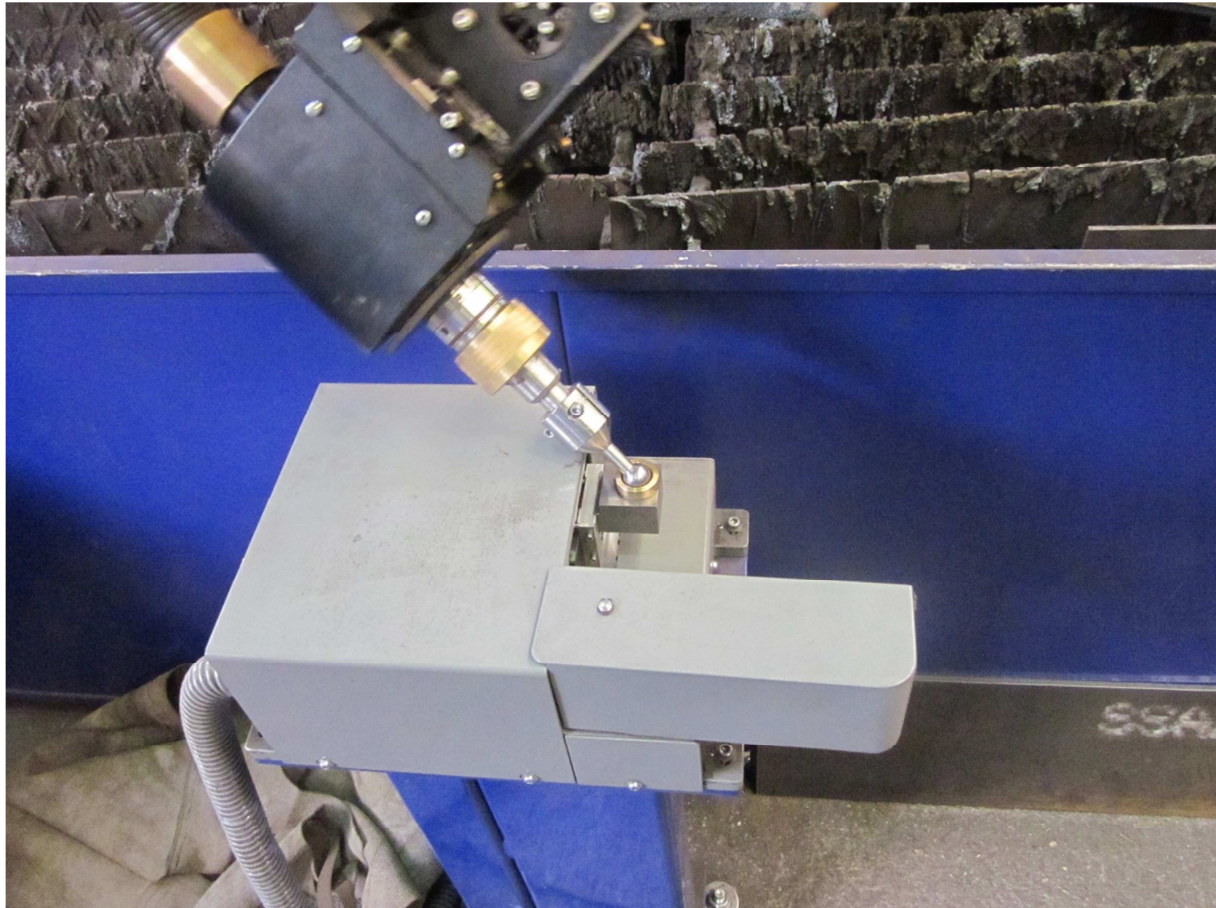
Po určitém čase se i při důkladné péči o rošty nelze vyhnout jejich výměně za nové. Výhodou podniku je, že si rošty zvládne vyrobít sám obr. 5-20.



Obr. 5-20 Dílce pro nový rošt stolu

5.4 Přesnost rotační hlavice Microstep

Pro zvýšení přesnosti by bylo vhodné provést automatickou kalibraci před začátkem směny a při zvýšeném výskytu závažnějších kolizí hořáku s materiálem. Kalibrační stanice je v bezprostřední blízkosti stroje obr. 5-21. Bezproblémová příprava na kalibraci trvá cca 3 minuty. Kalibrace jedné rotační hlavy trvá cca 4 minuty. Celkový čas pro nastavení a kalibraci rotačních hlav jde tedy zvládnout do 15 minut. Zjištěné odchylky je schopen stroj softwarově kompenzovat.



Obr. 5-21 Kalibrační stanice

5.5 Šířka řezné spáry (štěrbiny)

Šířku řezné štěrby je potřeba na reálném výpalku změřit. Poloměr štěrby je zadán jako korekce na stroji, aby vyráběl správný rozměr výpalku. Stroj si tohoto parametru všímá pouze, pokud je uveden v řezném plánu jako instrukce pro kompenzaci šířky štěrby. Nejlepší je vyřezat zkušební výpalek o nulové šířce řezné štěrby. Změří se šířka výpalku a odchylku od požadované hodnoty zapíšeme jako šířku řezné štěrby.

6 Technickoekonomické hodnocení

Navrhovat nebo měnit současný stav výroby by nemělo smysl, pokud by nevedlo ke snížení výrobních nákladů. Pokud se v návrhu počítá i s investicemi, musí se vyčíslit jejich návratnost. Dříve popsaná nápravná opatření jsou dvou typů. V prvním případě zajistí bezproblémový chod stroje technologickým pozměněním programu pálení. V druhém případě se stejného výsledku dosáhne úpravou stroje, je tedy potřeba investice. Výsledné řešení může být kombinací obou variant.

Na stroji se vyrábí nespočet rozdílných dílců, bylo by proto velmi obtížné vyčíslit náklady na jednotlivé druhy výrobků. Na stroj a jeho výrobní náklady je možné pohlédnout více z makro pohledu. Jednotlivé náklady jsou tedy vztaženy k nějakému časovému období. Porovnávat se tedy bude změna nákladů na výrobu jako celku za 1 rok.

6.1 Stanovení strojní hodinové sazby

Všechny náklady se budou uvádět jako roční. Pro vyčíslení ročních nákladů za stroj je nejprve nutno vyčíslit strojní hodinovou sazbu.

Využitelný časový fond

Výroba probíhá v 2 směnném provozu, délka směny trvá 8 hodin. Rok má k dispozici 220 pracovních dnů. Výpočtem dle (6.1) lze získat nominální časový fond stroje. Tato hodnota představuje maximální dobu, po kterou je stroj k dispozici. Praxe se této hodnotě snaží, co nejvíce přiblížit.

$$T_n = S \times \check{C} \times D \quad (6.1)$$

$$T_n = 2 \times 8 \times 220 = 3\,520 \text{ hod/rok}$$

T_n – nominální časový fond [hod/období]

S – směnnost [-]

\check{C} – délka směny [hod]

D – počet pracovních dnů v roce [dny]

Znát využitelný časový fond je důležité pro plánování objemu zakázek, aby bylo možné zakázku v požadovaném termínu dokončit nebo nedocházelo k zbytečnému poddymenzování výroby. Je také nutné si uvědomit, že při růstu ztrátových časů se zvyšuje cena hodinové sazby stroje, tedy i nákladů na výrobu páleného dílce. Využití pálicího stroje je 72% T_n , z této hodnoty se získá ztrátový čas, tedy 28% T_n .

$$ZT = (1 - \mu) T_n \quad (6.2)$$

$$ZT = (1 - 0,72) T_n = 985,6 \text{ hod}$$

ZT – časové ztráty [hod/období]

μ – časové využití stroje [-]

$$T_v = T_n - ZT \quad (6.3)$$

$$T_v = 3\,520 - 985,6 \doteq 2\,534 \text{ hod/rok}$$

T_v – využitelný časový fond [hod/období]

Kalkulované odpisy

Obráběcí, tvářecí stroje spadají do odpisové skupiny č. 2. Zařazení je důležité znát pro určení minimální doby daňového odpisu. V tomto případě je minimální délka daňového odpisu 5 let. Stanovení délky účetního odpisu je plně v kompetenci podniku. Stanoví se dle předpokládaného opotřebení, kdy se může jednat o fyzické opotřebení nebo i morální. Jako doba životnosti (doba účetního odpisu) byla stanovena na 10 let. Stroj byl dodán na konci roku 2013 za cenu 13 610 145 Kč.

$$KO = \frac{RC}{D\check{Z}} \quad (6.4)$$

$$KO = \frac{13\,610\,145}{10} = 1\,361\,015 \text{ Kč/rok}$$

KO – kalkulované odpisy [Kč/rok]

RC – reprodukční cena [Kč]

D \check{Z} – doba životnosti [roky]

Kalkulované úroky

Při počítání kalkulovaných úroků se vyčísluje, jak by se již zainvestované peníze mohly zhodnotit např. v bance. Roční úroková sazba je 2,7 %.

$$K\acute{U} = \frac{RC}{2} \times \acute{U}R \quad (6.5)$$

$$K\acute{U} = \frac{13\,610\,145}{2} \times 0,027 = 183\,737 \text{ Kč}$$

K \acute{U} – kalkulované úroky [Kč]

$\acute{U}R$ – roční úroková sazba [%]

Prostorové náklady

Konkrétní prostorové náklady nebylo možné zjistit, proto byla cena podnájmu za 1 m² stanovena dle nabídek z blízkého okolí. Jednalo se o budovy nabízené pro sklad, či výrobu. Cena podnájmu 1 m² plochy činí 1200 Kč/rok. Rozměry výrobního stanoviště jsou 30 m

na délku a 12 m na šířku. Na této ploše je umístěn stroj, potřebné zázemí pro obsluhu a přístupové cesty pro obsluhu stroje.

$$PN = PL \times NR \quad (6.6)$$

$$PN = 360 \times 1\,200 = 432\,000 \text{ Kč/rok}$$

PN – roční prostorové náklady [Kč/rok]

PL – potřebná plocha [m²]

NR – roční náklady na 1 m² [Kč]

Náklady na energii

Cena elektrické energie pro firmy je značně odlišná, než pro domácnosti. Dodavatelé energií jsou schopni pro velkoodběratele nabídnout zajímavé slevy. Příkon stroje je 200kW, cena 1 kWh činí 2,7 Kč pro velkoodběratele. Pomocí vzorce (6.7) se vypočtou roční náklady na elektrickou energii, ty převyšují částku 1,3 mil. Kč. Protože firma disponuje mnohem více energeticky náročnými zařízeními, je vhodné sledovat aktuální cenovou nabídku. Cena energie je jednou z největších nákladových položek. Ještě dalšímu snížení ceny za energie by šlo docílit sdružením více firem z technologického parku a tím posílit vyjednávací pozici.

$$NE = T_v \times CE \quad (6.7)$$

$$NE = 2\,534 \times 540 = 1\,368\,360 \text{ Kč/rok}$$

NE – roční náklady na energii [Kč/rok]

CE – energetické náklady na hodinu provozu [Kč/hod]

Náklady na opravy

V prvním roce provozu byly servisní prohlídky a případné opravy zahrnuty do pořizovací ceny stroje. Předpokládá se, že náklady na opravy stroje (za celou životnost stroje) nepřevýší 2 500 000 Kč. Pokud by poškození stroje bylo zapříčiněno chybou obsluhy, tak ta je na tyto případy většinou pojištěna, ale může nést na pojistné události různou míru spoluúčasti. Pojištění si hradí sám zaměstnanec. Částka 2,5 mil. Kč je tedy určena na běžné opravy vzniklé opotřebením a preventivní údržbu. Výpočet ročních nákladů je možno vypočítat vynásobením kalkulovaných odpisů a faktoru (koeficientu) oprav, jak uvádí vzorec (6.9). Faktor oprav je pro určitou kategorii strojů stejný a může být uveden jako tabulková hodnota. Lze také vypočítat, pokud přibližně známe nebo odhadneme náklady na opravy po dobu životnosti stroje. Výpočet uvádí vzorec (6.8).

$$f = \frac{O\check{Z}}{RC} \quad (6.8)$$

$$f = \frac{2\,500\,000}{13\,610\,145} = 0,18$$

f – faktor oprav [-]

OŽ – očekávané náklady na opravy za celou dobu životnosti stroje [Kč]

$$NO = KO \times f \quad (6.9)$$

$$NO = 1\,361\,015 \times 0,18 = 244\,983 \text{ Kč}$$

NO – roční náklady na opravy [Kč]

Strojní hodinová sazba

Po vyčíslení předchozích hodnot je možné vyčíslit i strojní hodinovou sazbu dle vzorce (6.10). Cena sazby cca 1400 Kč/hod se může zdát trochu vyšší, ale je nutno si uvědomit o jaký typ stroje se jedná. Hodinová sazba stroje by se mohla snížit, pokud by bylo více zakázek a mohla se otevřít i 3. směna. Lze ale předpokládat, že by došlo nejen k navýšení nákladů za energii a zvýšení fondu využitelných hodin, ale i navýšení nákladů vynaložených na opravy stroje. Ostatní nákladové položky by zůstaly stejné, proto by došlo ke snížení hodinové sazby stroje.

$$S_{hs} = \frac{KO + KÚ + PN + NE + NO}{T_v} \quad (6.10)$$

$$S_{hs} = \frac{1\,361\,015 + 183\,737 + 432\,000 + 1\,368\,360 + 244\,983}{2534} \doteq 1417 \text{ Kč/hod}$$

S_{hs} – strojní hodinová sazba [Kč/hod]

6.2 Vyčíslení nákladů, úspor

Pro následné porovnání variant není nutné vyčíslit celkové náklady na výrobu, ale pouze ty které nebudou konstantní. Navrhovaná nápravná opatření nebudou zvyšovat nebo snižovat spotřebu řezaného plechu, proto lze za neměnné náklady považovat náklady na řezaný materiál. Nezmění se ani časové vytížení THP pracovníků jako programátor, kontrolor atd. Tvorba pálicího programu by neměla být nějak výrazněji časově náročná.

Jednou z dalších nákladových položek jsou mzdy obsluhy a manipulanta. K operátorovi je přidělen i manipulační pracovník, který zabezpečuje dodávky plechů a odběr vypálených dílců. Na opravu neshodných dílců je třeba vyčlenit brusiče, snahou bude tuto vícepráci odstranit. Platy zaměstnanců firma nezveřejňuje, proto byla výše mzdy vytvořena dle průměru pro danou pozici a místa výkonu práce. Získaná data jsou uvedena v tabulce 6-1.

Personální výdaje			
	Hrubá mzda [Kč]	Čistá mzda [Kč]	Mzdové náklady [Kč]
obsluha stroje	25 000	19 295	33 500
manipulant	16 000	13 085	21 440
brusič	17 500	14 119	23 450

Tabulka 6-1 Obvyklá měsíční mzda [29]

Vyčíslení strojní hodinové sazby pro ruční úhlovou brusku bude provedeno dle výpočtových vzorců (6.1) až (6.10). Pro delší životnost ručního elektrického nářadí je lepší, když brusič má vlastní vybavení. Více si ho váží a lépe se o něj stará, proto vydrží mnohem déle. Při šetrném zacházení je životnost brusky 5 let, pořizovací cena 5 000 Kč, spotřeba energie 2,4 kW. Bruska je přidělena konkrétnímu zaměstnanci, tudíž je využívána po dobu 1 směny. Využití úhlové brusky je jen 40% T_n . Náklady na opravy nevznikají žádné, protože se pořizuje vždy nové nářadí. Plocha stanoviště je 100 m². Ostatní dosazované hodnoty jsou shodné pro výpočet pálicího stroje. Jednotlivé nákladové položky jsou v tabulce 6-2.

Náklady - elektrická ruční bruska						
T_n [hod/rok]	T_v [hod/rok]	KO [Kč/rok]	KÚ [Kč]	PN [Kč/rok]	NE [Kč/rok]	S_{hs} [Kč/hod]
1 760	704	1 000	68	120 000	4 562	178

Tabulka 6-2 Strojní hodinová sazba pro ruční brusku

Náklady za stroj

Každá z nově navrhovaných technologií se liší v provozních nákladech od současné, protože dochází k odstranění nákladů za opravy, prodloužení nebo zkrácení doby výroby. Pro objektivní porovnání výhodnosti jsou náklady vztaženy k současnému objemu výroby. Při zrychlení výroby se předpokládá, že po dosažení předchozího, ročního objemu výroby je stále co vyrábět a náklady se rozloží do většího objemu zakázek. Proto je nutné do rovnice (6.11) dosadit případné zkrácení nebo prodloužení doby výroby. Tabulka 6-3 obsahuje mimo jiné právě odhad změny délky pálení pro roční objem výroby. Stanovení změny délky pálení bylo určeno hrubým odhadem, protože u některých dílců dojde k výrazné časové úspoře u jiných zase ne. Pod rovnicí (6.11) je uveden vzorový výpočet nákladů za stroj při použití současné technologie výroby pro současný objem výroby. Objem výroby je zde zastoupen hodinovou náročností. Další hodnoty výpočtu jsou vždy dohledatelné v tabulce 6-3. Nejvýraznější časové úspory lze docílit vhodnou kombinací jednotlivých nápravných opatření.

$$NS = (1 \pm PD) \times T_v \times S_{hs} \quad (6.11)$$

$$NS = (1 \pm 0) \times 2\,534 \times 1\,417 = 3\,590\,678 \text{ Kč}$$

NS – náklady za stroj (vztaženo k současnému ročnímu objemu výroby) [Kč]

PD – prodloužení nebo zkrácení doby výroby [-]

Mzdové náklady na výrobu

Protože je u jednotlivých technologických variant různá časová náročnost, tak je nutné pro každou technologii spočítat i vlastní mzdové náklady na výrobu.

$$MV = (M_o + M_m) \times S \times M \times (1 \pm PD) \quad (6.12)$$

$$MV = (33\,500 + 21\,440) \times 2 \times 12 \times (1 \pm 0) = 1\,318\,560 \text{ Kč}$$

MV – mzdové náklady na výrobu (vztaženo k současnému ročnímu objemu výroby) [Kč]

M_o – měsíční mzdové náklady na obsluhu stroje [Kč]

M_m – měsíční mzdové náklady na manipulanta [Kč]

M – počet měsíců [měsíce]

Mzdové náklady na opravu dílců

Jednotlivá nápravná opatření by měla směřovat v ideálním případě k úplnému odstranění vzniku neshodných výrobků. To by mělo přinést úsporu nejen mzdových nákladů za opravu dílců, ale i nákladů na brusku. Nicméně musíme tyto náklady vyčíslit pro současný technologický postup, kdy dochází k výrobě opravitelných zmetků.

$$N_{opr} = M_b \times M \times \check{C}N \quad (6.13)$$

$$N_{opr} = 23\,450 \times 12 \times 0,5 = 140\,700 \text{ Kč}$$

N_{opr} – mzdové náklady na opravu dílců (vztaženo k současnému roč. obj. výroby) [Kč]

M_b – měsíční mzdové náklady na brusku [Kč]

ČN – část směny potřebná pro opravu dílců [-]

Náklady na nástroje

Do nákladů za nástroje spadají spotřební díly hořáku, ale i řezné plyny. Protože by firma nechtěla experimentovat s již přednastavenými řeznými podmínkami a měnit je, tak jedinou možností, jak snížit čas pálení a i náklady za nástroje, by bylo snížit počet řezů. To je možné, ale je potřeba vynechat kolmé řezání ustavovacího nosu a tento malý nos vyrobit již při šikmém pálení, kdy vznikne zaoblený roh (obr. 5-14) a ten využít k ustavení. Tento krok sice neeliminuje vznik neshodných dílců, ale je vhodné ho použít s ostatními technologiemi, kterými se zajistí zkrácení výrobního času a požadovaná kvalita výrobků.

$$NN = (1 \pm PD) \times N_n \quad (6.14)$$

$$NN = (1 \pm 0) \times 2\,000\,000 = 2\,000\,000 \text{ Kč}$$

NN – náklady na nástroje (vztaženo k současnému ročnímu objemu výroby) [Kč]

N_n – současné roční náklady na nástroje, plyn [Kč]

Náklady na brusku

Náklady za brusku je nutné vyčíslit pro současné řešení. Opravy probíhají po nahromadění neshodných dílců. Délka oprav vychází asi na půl směny denně. Navrhovaná nápravná opatření již s touto položkou nepočítají

$$NB = \check{C}_o \times T_v \times S_{hs} \quad (6.15)$$

$$NB = 0,5 \times 704 \times 178 = 62\,656 \text{ Kč}$$

NB – náklady za brusku (vztaženo k současnému ročnímu objemu výroby) [Kč]

\check{C}_o – část směny vyčleněná na opravu dílců [-]

Provozní náklady

Provozní náklady tvoří součet nákladů za stroje, mzdy a nástroje (plyny). Náklady za materiál budou konstantní, proto nejsou započteny.

$$P_n = NS + NV + N_{opr} + NN + NB \quad (6.16)$$

$$P_n = 3\,590\,678 + 1\,318\,560 + 140\,700 + 2\,000\,000 + 62\,656 = 7\,112\,594 \text{ Kč}$$

P_n – provozní náklady (vztaženo k současnému ročnímu objemu výroby) [Kč]

Úspora nákladů

Úspora nákladů je vyčíslena rozdílem současných provozních nákladů od provozních nákladů, kde je již využito nápravných opatření.

$$\check{U} = P_{n0} - P_{n1} \quad (6.17)$$

$$\check{U} = 7\,112\,594 - 6\,909\,238 = 203\,356 \text{ Kč}$$

\check{U} – úspora ročních nákladů [Kč]

P_{n0} – provozní náklady pro současný roční objem výroby [Kč]

P_{n1} – provozní náklady pro navrhovaná řešení [Kč]

Zvolená technologie		stará tech- nologie	úsekové dělení	naříznutí okraje	otočení dílce, zaoblení + úseko- vé dělení	otočení dílce, zaoblení + naříz- nutí okraje	Investice do změn- y ŘS, nová čidla
		Prodloužení doby pálení	procent. [%]	0	0	1	-10
	časové [hod/rok]	0	0	25	-253	-228	0
Náklady za stroj (před- chozí roční objem výro- by) [Kč]		3590678	3590678	3626103	3232177	3267602	3590678
Mzdové náklady (výro- ba) [Kč]		1318560	1318560	1331746	1186704	1199890	1318560
Mzdové náklady (opra- vy) [Kč/rok]		140700	0	0	0	0	0
Náklady za nástroje, plyn [Kč]		2000000	2000000	2020000	1800000	1820000	2000000
Roční náklady (investice do snímačů, ŘS) [Kč]		0	0	0	0	0	62305,56
Roční náklady bruska (opravy) [Kč]		62656	0	0	0	0	0
Provozní náklady [Kč]		7112594	6909238	6977849	6218881	6287492	6971544
Úspora [Kč]		0	203356	134745,4	893713	825102,4	141050,4

Tabulka 6-3 Náklady navrhovaných technologií

Investice do změny ŘS a senzorů

Změnou řídicího systému stroje, přesněji jeho odjezdů a pořízením senzorů je možné zabránit vzniku neshodných dílců. Výhoda tohoto řešení spočívá v okamžitém zvýšení kvality výroby a není nutno předělávat programy pro staré zakázky. Výrobce stroje však tento zásah do systému ještě nikdy nedělal a bylo by složité ho přesvědčit k realizaci. Náklady na tuto realizaci by však byly minimálně 0,5 milionu korun. Zde je nutné spočítat, jak je rychlá návratnost investice. Bod zvratu nastane po 2,5 letech. Doba životnosti pálicího stroje je 10 let, stroj je asi rok v provozu. Nepsaným pravidlem je, že by měla být návratnost investice do 4 až 5 let a poté by měla přinášet jen úspory. Toto řešení tento všeobecný požadavek splňuje.

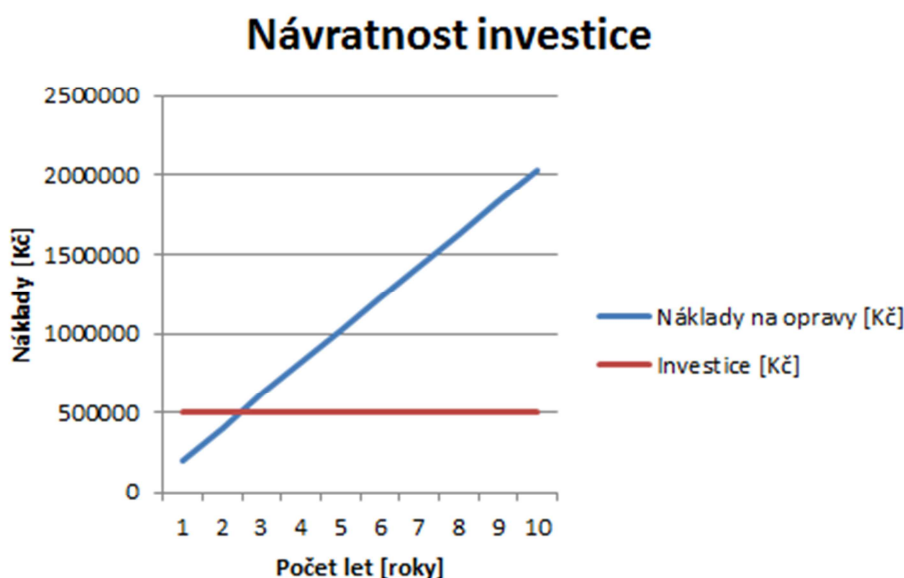
$$BZ = \frac{I}{N_{opr} + NB} \quad (6.18)$$

$$BZ = \frac{500\,000}{140\,700 + 62\,656} = 2,46 \text{ roků}$$

I – investiční náklady [Kč]

BZ – bod zvratu [roky]

Na grafu 6-1 je názorně vidět, že investiční náklady jsou pouze na počátku. Bez nápravných opatření a při zachování stejného objemu výroby by náklady za opravy převýšily investiční náklady za 2,5 roku. Protože se počítá, že stroj bude v provozu ještě minimálně 9 let, mohly by být náklady za opravy přibližně 2. miliony korun. Tak jak ukazuje graf 6-1, tak by byly provozní náklady první dva roky stejné v případě investice i stávajícího stavu. V případě investice by v průběhu třetího roku došlo k úspoře poloviny již „imaginárních“ nákladů na opravy, které by jinak nutné platit. V dalších letech by byla uspořena celá částka vyčleněná na opravy dílců. K samotné investici je nutné připočítat kalkulované úroky, tedy jakoby ušlé investiční příležitosti. Tato roční úroková sazba je počítaná dle vzorce 6.5 se stejnou sazbou.



Graf 6-1 Návratnost investice do ŘS a senzorů

6.3 Porovnání variant

Do bližšího technickoekonomického hodnocení nebyly zařazeny technologie, které sice splňují technické požadavky, ale jsou evidentně nevyhovující po stránce ekonomické nebo z jiného hlediska. Mezi tyto technologie patří dodatečné úkosování a tvorba můstků. Tyto dvě technologie jsou v praxi využívány u konkurenčních firem.

6.3.1 Vyřazené technologie z porovnání

Technologii úkosování můžeme rovnou vyřadit z porovnání, protože nejprve dochází ke kolmému pálení, které vypálí správný rozměr. U čistě šikmého pálení by tento krok byl oproti současné technologii navíc, náklady za toto kolmé pálení by výrazně převýšily náklady za opravu dílců. Poté by bylo nutné ještě dokoupit skener pro nastavení stroje k dodatečnému úkosování. Technologie je však vhodná, pokud je potřeba u šikmého řezu zhotovit i kolmou

dorazovou plochu (nos). Tento nos z hlediska rychlosti pálení by bylo však rychlejší vyrobit až po šikmém pálení, kdy by nemusel paprsek procházet celou tloušťku materiálu. Většina nosů je totiž velmi malá.

Můstkování není vhodné. Odstraňování můstků přímo na stroji nepřipadá v úvahu, opět by výrazně převýšilo náklady na opravy. Musíme si totiž uvědomit, že pouze strojní hodina plazmové řezačky vychází na 1400 Kč. Odřezání můstků mimo stroj není v současné době možné, chybí vhodné prostory v okolí stroje, kde by bylo možné plech transportovat za pomoci jeřábu. Tato technologie by šla jedinečně využít, pokud by manipulát prováděl odřezání můstků na již hotovém dílci a stroj by zatím páлил další dílec. Je nutno však podotknout, že by vstupem na plech manipulát mohl ohrozit kvalitu výroby a toto chování by pravděpodobně nebylo zcela v pořádku z hlediska bezpečnosti práce. Proto je tato varianta zavrhnuta také.

Dělení metodou zig-zag má hlavní nevýhodu, pokud by pálení probíhalo na jednom plechu. Pokud by dílce byly zároveň i ve dvou řadách, stroj by nemohl využít pálení dvěma hořáky zároveň. Muselo by být více řad k pálení nebo dva plechy, aspoň s dvěma řadami. Toto omezení zcela oprávněně vyřazuje tuto technologii z porovnání.

6.3.2 Zvolené technologie k porovnání

Při pohledu na graf 6-2, který vychází z tabulky 6-3 je jasně patrné, že u současné technologie tvoří náklady na opravy v celkovém souhrnu relativně malou položku. Náklady jsou vztaženy na současný roční objem výroby. Není tedy možné, aby se neúměrně zvyšovala doba pálení, tedy výrobní náklady a převýšily cenu oprav. Vybraná řešení mají relativně stejnou dobu pálení nebo nepatrně delší. Pro nějakou výraznější časovou i ekonomickou úsporu je tedy nutné použít kombinaci navrhovaných řešení a docílit snížení počtu technologických operací.

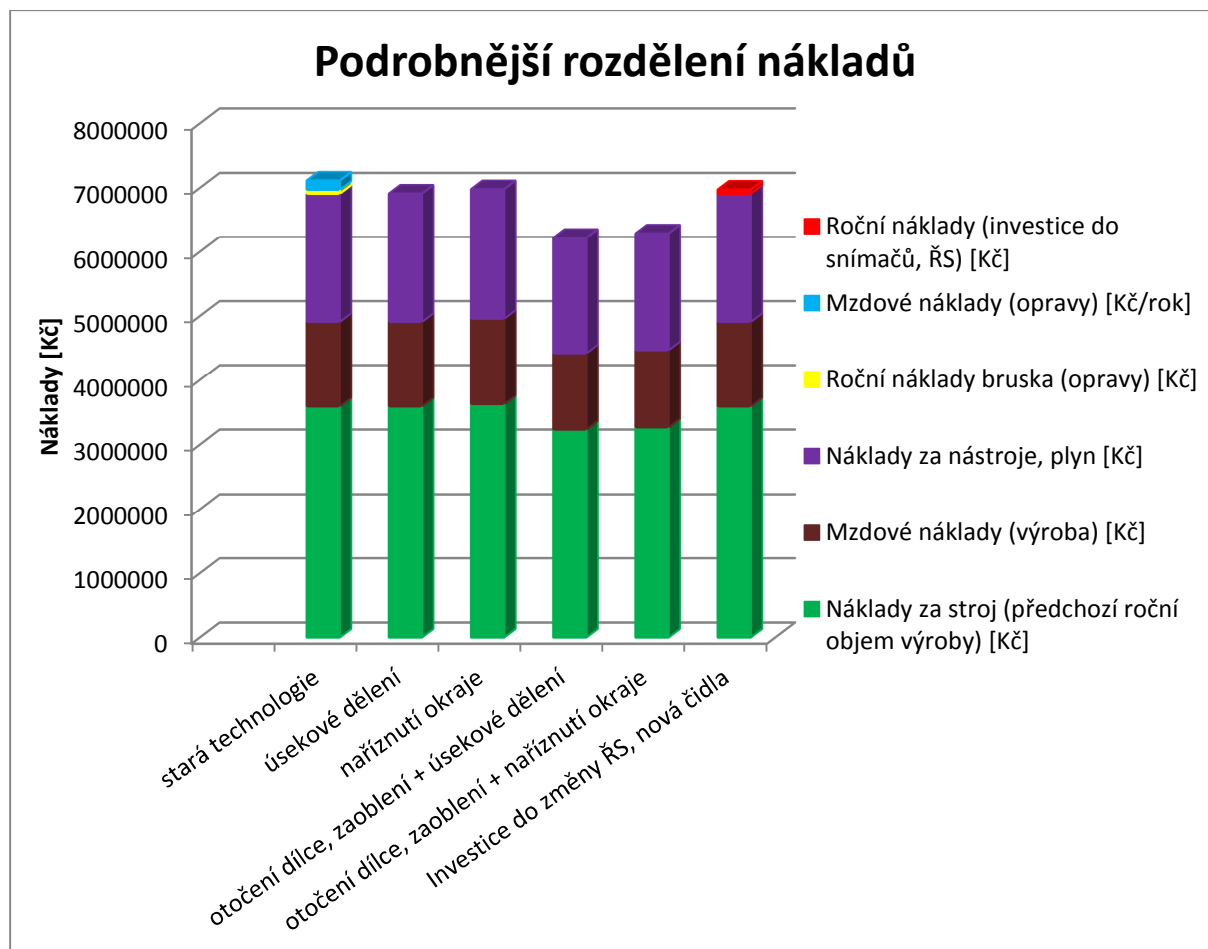
Investice do indukčních snímačů a přepracování řídicího systému stroje by bylo vhodné, protože by se nemusely přepracovávat současné pálicí programy stroje. Výhodou by bylo i okamžité zvýšení kvality a okamžitá, maximální úspora. Došlo by, ale pouze k úspoře mzdových nákladů za opravy a ročních nákladů za brusku. Zachování současné rychlosti výroby by nemuselo vadit, pokud by bylo dopředu zřejmé, že se objem roční výroby nezvýší. Problémem je spíše přesvědčit výrobce stroje aby tuto úpravu stroje provedl, protože ji standardně nedělá.

Úsekové dělení je bez problémů realizovatelné a na základě konzultace doporučeno i výrobcem stroje. Tato úprava technologie by měla vést k odstranění výroby neshodných dílů, ale nedojde ke zrychlení výroby a výraznější úspoře nákladů.

Další možností je uvolnit napětí okrajového materiálu, aby nedocházelo k deformaci. Tuto možnost nám poskytují technologie, kdy je možné vyříznout dilatační mezeru nebo provést řez až k okraji materiálu. Opět, ale nedojde ke zrychlení výroby.

Vhodnou kombinací technologií např. úsekového dělení a otočením součástí (úkosu) lze docílit zaoblení horní hrany součásti, která může sloužit jako ustavovací ploška. Lze ušetřit původně nutný kolmý řez. Tímto dojde ke zvýšení kvality výroby, ale i již výrazné úspoře nákladů. Tato varianta je jak z hlediska ekonomického, tak i technického nejlepší volbou. V případě vhodného nasazení je možné ročně ušetřit téměř 900 tisíc Kč.

Velmi dobrého výsledku lze docílit i kombinací technologií, kdy dojde naříznutí okrajového materiálu nebo vytvoření dilatační spáry, potom se opět správně naorientují, otočí úkosy. Úsekové dělení je však lépe aplikovatelné a univerzálnější. Nicméně i tento postup je velmi výhodný.



Graf 6-2 Detailní rozbor nákladů

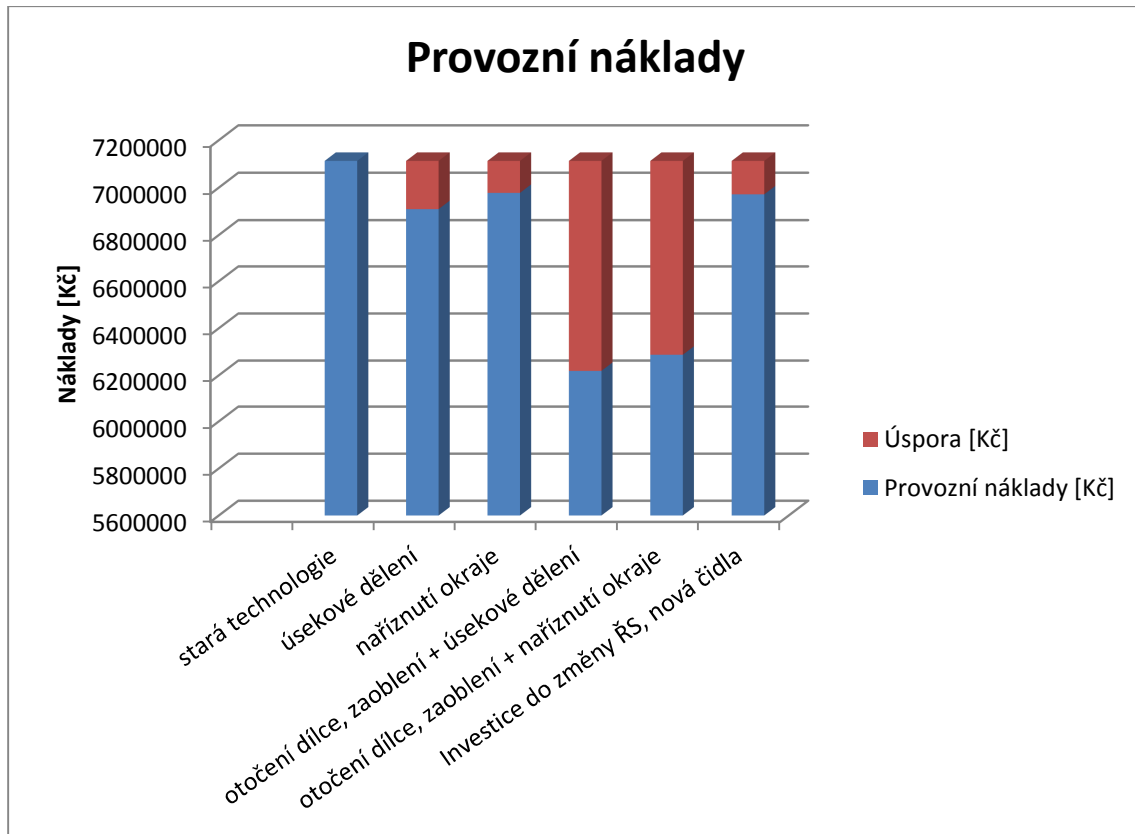
6.4 Volba nápravného opatření

Konečné rozhodnutí, jaké nápravné opatření zvolit zaleží i na plánovaném objemu výroby. Pokud bude zachován současný objem výroby, tak není nutné zrychlovat výrobu a je vhodné zvolit pouze úsekové dělení, kde dojde k odstranění nákladů za opravy.

Pokud by bylo potřeba zvýšit objem výroby, tak je nutné výrobu zrychlit, to umožňuje úsekové dělení, při správné orientaci úkosu dochází na horní hraně k zaoblení a tvorbě ustavovací plošky. Plech je nutno naorientovat, tak aby místo nadkosu (pozitivní úkos) se páčil podkos (negativní úkos). V grafu 6-3 je vidět, jaké náklady byly vynaloženy (objem výroby staré technologie), aby bylo možné dosáhnout takových úspor, je nutné mít vyšší objem výroby. Tato technologie potom přináší bezkonkurenčně nejvyšší úsporu nákladů.

Dalším hlediskem může být nedostatek kvalifikovaných technologů, které by zbytečně zatěžovalo přepracování starých programů. Pokud by se tedy nezměnil současný roční objem výroby, tak je možné doporučit investici do změny řídicího systému stroje a nákup senzorů.

Pro dosažení vysoké kvality výroby je však nutné, ale i dodržovat čištění nebo výměnu pálících roštů, kalibraci hořáků na začátku směny nebo po závažnějších kolizích, kupovat kvalitní vstupní materiály ke zpracování atd.



Graf 6-3 Provozní náklady

7 Závěr

Asi před rokem byl zakoupen stroj, který je schopen zároveň řezat dvěma rotačními hlavice. Stroj využívá pro řezání plazmové technologie poslední generace, označované jako „Hy Definition“. Při šikmém pálení se vyskytují na výrobcích dva typy vad. Stroj vyrábí větší rozměry výpalku a to až o 4 mm. Toto se vyskytuje zvláště u dlouhých výpalků. Další vadou je výroba schodku, odskoku od požadovaného obrysu výpalku.

Před samotným řešením, co je příčinou těchto vad, byla zjištěna vhodnost použití této technologie, především pak po ekonomické stránce. Porovnáním se zjistilo, že je technologie zvolena správně.

Sledováním vzniku vad byly stanoveny možné příčiny, které byly podloženy dostupnou odbornou literaturou. Byly zmíněny také jiné běžně se vyskytující vady na výrobcích pálených plazmou a jejich řešení. Hlavní příčinou nekvalitních výrobků bylo pnutí okrajového materiálu zapříčiněné nadměrným ohřevem. Pnutí se buď projevilo až v průběhu řezání, kdy se okrajový materiál nadzvedl nebo hned od začátku pálení. Podle toho vznikl druh vady. Hochařák si hlídá pomocí elektrického napětí na oblouku konstantní vzdálenost od plechu, proto při nazdvihnutí okrajového materiálu zareaguje a umožní vznik vady. Tento typ odměřování nelze zcela vypnout, některé technologie ho vyžadují. Zásadní pochybení nastalo špatným zvolením parametrů stroje ve výběrovém řízení.

Jako nápravná opatření byla zvolena nejen řešení používaná běžně v praxi nebo konkurencí, ale i řešení zcela nová. Firma si nepřála upravovat řezné podmínky jako proud, či posuv. Bylo tedy možné navrhnout pouze změnu postupu pálení nebo zainvestovat a změnit vlastnosti, či vybavení stroje. Vyčísly se podrobněji náklady současné technologie, aby bylo možné porovnat nápravná opatření nejen z technického hlediska, ale i ekonomického.

Relativně náročným technickým a ekonomickým požadavkům vyhovělo pár navrhovaných technologií, kdy výběr konkrétního řešení záleží na momentálních potřebách a preferencích firmy. Pro konečné rozhodnutí a konkrétní doporučení by bylo nutné znát citlivé, interní informace o stavu firmy.

- [1] *Schäfer-Menk s.r.o.* [online]. © 2014 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.schmenk.cz/>
- [2] *Rezanie. MicroStep, spol. s r.o.* [online]. © 2010-2014 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.microstep.sk/rezanie/>
- [3] *Nabídka stroje pro výběrové řízení: CNC plazmový stroj pro úhlové řezání s příslušenstvím.* Havlíčkův Brod, 2013.
- [4] *IMSNC: CNC REZACÍ STROJ TECHNOLOGIA PLAZMOVÉHO REZANIA.* Bratislava, 2009.
- [5] VARGA, Alexander a Michal KOVÁČ. *Inovatívne delenie plazmou tvarovo členitých povrchov zvarových plôch.* Spišské Podhradie, 2012.
- [6] *PLAZMATECH SYSTEMS* [online]. 2014 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://kjellberg.cz/content/text/cz/>
- [7] List výrobku - HiFocus 360i. *METALES* [online]. 2009 [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: http://www.metales.sk/pdf/hiFocus360_sk.pdf
- [8] ISO 9013:2012(E). *Thermal cutting — Classification of thermal cuts — Geometrical product specification and quality tolerances.* Geneva: ISO copyright office, © 2009.
- [9] *Rotator tool station - YZAB axes, Infinite, ITH for MG.* Bratislava, 2013.
- [10] *IMSNC: CNC REZACÍ STROJ PARAMETRE NÁSTROJOV NA REZANIE PLAMEŇOM.* Bratislava, 2009.
- [11] JANDÍK, Radim. *VÝROBA ŠTÍTKU MOTOCYKLU TECHNOLOGIÍ POSTUPOVÉHO STRÍHÁNÍ.* BRNO, 2012. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing, Eva Šmehlíková, Ph.D.
- [12] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 3. ČÁST.* Brno, 2005.
- [13] KUDĚLKA, J. *Analýza nekonvenčních technologií se zaměřením na elektrotepelné principy.* Zlín, 2008.
- [14] KUBÍČEK, J. *Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K.* Brno, 2010.
- [15] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie.* 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
- [16] HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA a Sergej HLOCH. *Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom,* 1. vydání. Jiří Pustina: Ostrava – Poruba, 2007, 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.
- [17] MATĚJKA, D. a B. BANKO. *Plazmové striekanie kovových a keramických práškov.* Banská Bystrica: SNP, 1988. ISBN 063-062-87.
- [18] LINDE. *Facts about. Plasma technology.* Linde Gas Division, Linde Gas Headquarters, Seitnerstrasse 70, 82049 Pullach, Germany. [pdf dokument].
- [19] KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [20] *Hypertherm* [online]. 2014 [cit. 2014-10-12]. Dostupné z: <http://hypertherm.com/>

- [21] HLA VATÝ, Ivo. Technologie svařování: Řezání plazmou – 82. *SVĚT SVARU*. 2014, č. 02.
- [22] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0399-3.
- [23] *MM Průmyslové spektrum* [online]. © 2014 [cit. 2014-12-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/uvod.html>
- [24] DVOŘÁK, Jaromír. *Integrita rozhraní materiálů obráběných progresivními technologiemi*. Brno, 2009. Disertační práce. VUT Brno.
- [25] ESAB *Plasma cutting process* [online]. [cit. 2014-10-3]. Dostupné z: <http://www.esab-cutting.com/index.php?id=530>
- [26] ZALOUS, Jan. Tepelné dělení materiálu v průmyslové výrobě. *Dělení, spojování, svařování*. 2005, roč. 7, 5-6, s. 22-26.
- [27] SEDLÁK, Ondřej. *Technologie řezání plazmovým paprskem*. Brno, 2011. Diplomová práce. VUT Brno.
- [28] Fotogalerie. *TOS Kuřim a.s.* [online]. © 2013 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/fotogalerie/gallery-02-FRU-obrabeci-centrum-s-posuvnym-portalem/>
- [29] Dotazník pro průzkum platů. *Jobs CZ* [online]. © 2015 [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.platy.cz/survey/choice/layout/jobs>