

Aplikace MIG/MAG procesů pro svařování korozivzdorných ocelí v podniku FAURECIA EXHAUST SYSTEMS s.r.o.

Diplomová práce

Studijní program: N 2301 - Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 - Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: **Bc. Jaroslav Staněk**
Vedoucí práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.
Konzultant práce: Ondřej Jaroš

Applications of MIG/MAG processes for welding of stainless steels in the company FAURECIA EXHAUST SYSTEMS s.r.o.

Diploma thesis

Study programme: N 2301 – Mechanical engineering
Study branch: 2301T048 – Manufacturing Technology and Materials

Author: **Bc. Jaroslav Staněk**
Supervisor: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.
Consultant: Ondřej Jaroš

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Staněk**
Osobní číslo: **S13000530**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Aplikace MIG/MAG procesů pro svařování korozivzdorných ocelí v podniku FAURECIA EXHAUST SYSTEMS s.r.o.**
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

1. Zpracujte přehled svařovaných materiálů a konstrukčních dílů, pro které se bude rozbor provádět.
2. Specifikujte kritéria jakosti svarových spojů pro jednotlivé svarky.
3. Stanovte kritéria pro výběr vhodných procesů svařování sortimentu výrobků.
4. Provedte rozbor možných variant procesů svařování aplikovatelných v podniku FAURECIA.




Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

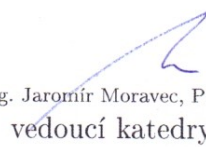
- [1] **ONDREJČEK, Peter.** *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou.* Bratislava 2003. 202 s.
[2] **Gas Metal Arc Welding. Product and Procedure Selection.** [cit. 2015-10-15].
Dostupné z: http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMAWwires-SuperArc-SuperArcLA-75/c4200.pdf
[3] **Normy ČSN, EN, ISO.**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. března 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych tímto způsobem poděkoval mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Heinzu Neumannovi, CSc., za cenné rady a připomínky při zpracovávání diplomové práce.

Dále bych chtěl také poděkovat konzultantovi panu Ondřeji Jarošovi a celému týmu programátorů v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou za spolupráci při experimentálních činnostech.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na výběr vhodného svařovacího MAG procesu, pro konkrétní druh výrobků vyráběných v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou. Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. Teoretická část se zabývá vývojem obloukového svařování v ochranných atmosférách, teorií svařování včetně druhů přenosu kovu, moderních procesů a jejich automatizací v praxi.

Experimentální část se věnuje popisu výroby třech kusů jednoho výrobku, přičemž na každý z nich je použit jiný proces svařování. Vybrané procesy jsou během svařování monitorovány a následně analyzovány. U výsledných svarů je provedena makrostrukturní zkouška, kterou se ověřuje jakost provedených svarů. Na závěr práce je uskutečněno porovnání, stanovena kritéria pro výběr a doporučen vhodný proces svařování.

Klíčová slova

Faurecia, korozivzdorná ocel, MAG procesy, přenos kovu, SKS svařovací systémy, svařování, vnesené teplo

Annotation

The aim of this thesis is to select a suitable welding MAG process for a production of specific items in the plant Faurecia Bakov nad Jizerou. The thesis is divided into theoretical and experimental part. The first part covers the development of arc welding in protective atmosphere, the theory of welding including metal transfer and modern welding processes and their automation in practice.

In the experimental part, firstly, three items are produced using three different welding processes which are monitored and afterwards analysed. In a second stage, a macroscopic test, by which the quality of welds is evaluated, is carried out on the final welds. Finally, a comparison is made, criteria for the selection of an appropriate process are established and a suitable process is recommended.

Key Words

Faurecia, stainless steel, MAG processes, transfer of metal, SKS Welding systems, welding, heat input

Obsah

Seznam zkratek	11
Seznam tabulek	15
Seznam obrázků	16
1. Úvod	18
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	21
2.1 Vývoj metod obloukového svařování v ochranných atmosférách.....	21
2.2 Svařování procesy MIG/MAG	23
2.3 Ochranné plyny používané při svařování metodou MIG/MAG.....	25
2.4 Způsoby přenosu kovu v oblouku při svařování MIG/MAG	26
2.4.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu.....	27
2.4.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.....	28
2.4.3 Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový).....	29
2.4.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem.....	29
2.4.5 Impulsní bezzkratový přenos.....	29
2.4.6 Moderovaný bezzkratový přenos	31
2.4.7 Rotující oblouk s bezzkratovým přenosem kovu	31
2.5 Svařovací sety pro robotické MIG/MAG svařování.....	31
2.5.1 Zdroj svařovacího proudu.....	32
2.5.2 Jednotka řízení svařovacího procesu	33
2.5.3 Podavač drátu	34
2.5.4 Svařovací hořák	35
2.6 Možné varianty MAG procesů robotického svařování dostupné v závodě Bakov.....	37
2.6.1 Proces MIG/MAG	37
2.6.2 Proces I-PULS a KF-PULS	38
2.6.3 Proces microMIG a microMIG-cc.....	41
2.7 Robotizace a automatizace v obloukovém svařování.....	43
2.7.1 Polohovadla	45

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	47
Úvod a cíl experimentální části	47
3.1 Zařízení, na kterém byl proveden experiment	49
3.2 Základní materiál, který byl použit při experimentu	51
3.3 Průběh experimentu - svařování vzorků.....	54
3.3.1 Svařování vzorků procesem MIG/MAG	56
3.3.2 Svařování vzorků procesem KF-PULS	59
3.3.3 Svařování vzorků procesem microMIG-cc	62
3.4 Výpočet vneseného tepla	66
3.5 Hodnocení kvality svarů	67
3.5.1 Přehled použitého zařízení	67
3.5.2 Postup přípravy vzorků.....	67
3.5.3 Vyhodnocení svarových spojů	70
3.6 Vyhodnocení experimentu a kritéria pro výběr vhodného procesu.....	75
4. Závěr	78
Seznam použité literatury	80
Seznam příloh.....	82
Příloha 1 Mezní hodnoty odchylky svaru 1/2 [21]	I
Příloha 2 Mezní hodnoty odchylky svaru 2/2 [21]	II

Seznam zkratek

Alarm time	Doba, po které dojde k vyhlášení poruchy [s]
Arc filter	Filtr kolísání oblouku určuje minimální dobu, než se spustí alarm [s]
Arc release	Uvolnění oblouku
AutoComp filter	Doba překročení limitu do spuštění alarmu pro svařovací napětí [s]
AutoComp limit	Limit pro svařovací napětí [V]
Base current	Základní proud [A]
Base current time	Doba trvání impulsu v dolní mezi [ms]
Burn back	Hodnota oddálení drátu po svařování [ms]
Correction	Korekce [V, A, ms]
Diameter	Průměr přídatného drátu [mm]
DownSlope	Rychlost sestupu intenzity proudu [%]
DP	Diplomová práce
End crater	Koncový kráter
End parameter	Parametry pro ukončení svařování
End pulse current	Proud koncového impulsu [A]
Field characteristic	Charakteristické pole [%]
Gas flow	Průtok plynu (monitorovací účel)
Gas past flow	Dofuk ochranného plynu [s]
Gas pre flow	Předfuk ochranného plynu [s]
Gas quantity	Množství ochranného plynu [l/min]
Hold off time	Doba čekání impulsu v milisekundách (jen u procesu microMIG)

I	Proud [A]
Ignition filter	Zapalovací filtr [s]
I-Ignition	Velikost startovacího proudu [A]
KF-PULS	Obchodní název MAG pulsního procesu společnosti SKS
Lift arc	Vytažení oblouku
MAG	Obloukové svařování v aktivním ochranném plynu s odtavující se elektrodou
Master mode	Hlavní uživatelský režim
Measure interval	Časový interval měření [s]
microMIG	Obchodní název speciálního MAG procesu společnosti SKS
MIG	Obloukové svařování v inertním ochranném plynu s odtavující se elektrodou
MIG/MAG	Obchodní název konvenčního MAG procesu společnosti SKS
Miscellaneous	Ostatní
Mode	Režim (volba aplikace s jednou nebo dvojitou elektrodou)
Motor filter	Doba trvání překročení proudového limitu motoru [s]
Motor limit	Proudový limit motoru podavače drátu [A]
Motor monitoring	Sledování proudového zatížení motoru podavače drátu
On AutoComp limit	Specifikace odezvy při překročení limitu
On lost arc	Povolení oblouku
Operation mode	Provozní režim
Polwender	Přepínač pólů
PR	Průmyslový robot
Process	Svařovací proces
Program duration	Doba trvání programu [s]

Program parameter	Parametry programů
Program slope	Funkce ovlivňující přechod mezi jednotlivými svařovacími programy
Pulse frequency	Frekvence impulsu [Hz]
Pulse series	Sekvence impulsů
Pulse time	Doba trvání impulsu v horní mezi [ms]
Release	Uvolnění
Reverse	Zpětný tah drátu
SKS	SKS Welding Systems
SKS base current	Základní proud SKS – proud aplikován během pokládání kapky (jen u procesu microMIG)
Start parameter	Startovací parametry svařování
Synchroweld	Automatická korekce postupové rychlosti robota
T-End puls	Délka koncového impulsu [ms]
Test AutoComp	Automatická kompenzace napětí
TIG	Obloukové svařování v inertním ochranném plynu s neodtavující se elektrodou
T-Ign. pulse	Startovací impuls [ms]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
TUL	Technická univerzita v Liberci
U	Napětí [V]
UpSlope	Rychlost vzestupu intenzity proudu [%]
User	Uživatel
Voltage	Svařovací napětí [V]
v _s	Postupová rychlost [m/min]

Water pump	Vodní čerpadlo
Welding current	Svařovací proud [A]
Wire feed	Rychlost podávání drátu [m/min]
Wire in speed	Výchozí nastavení rychlosti podávání drátu [m/min]

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vliv ochranných plynů na složení svarového kovu chromniklové oceli [4]	26
Tabulka 2: Příklad parametrů řídicí jednotky procesu MIG/MAG [16].....	38
Tabulka 3: Materiálový list feritické korozivzdorné oceli 1.4512 [19].....	53
Tabulka 4: Obecné parametry svařování	55
Tabulka 5: Tabulka nastavených parametrů procesu MIG/MAG [16].....	56
Tabulka 6: Tabulka nastavených parametrů procesu KF-PULS [16].....	59
Tabulka 7: Tabulka nastavených parametrů procesu microMIG-cc [16].....	62
Tabulka 8: Přehled naměřených parametrů a vypočítaného vneseného tepla	66
Tabulka 9: Kritéria jakosti svarových spojů - interní norma EED-S-PSE-0002 [21]	70
Tabulka 10: Přehled naměřených hodnot pro svar č. 1.....	72
Tabulka 11: Přehled naměřených hodnot pro svar číslo 5.....	74
Tabulka 12: Kritéria pro výběr vhodného procesu a jejich hodnocení.....	76

Seznam obrázků

Obrázek 1: Oblasti automobilových dílů, kterými se společnost Faurecia zabývá [15].	19
Obrázek 2: Příklad výfukové soustavy včetně popisu jeho částí [15]	20
Obrázek 3: Schéma svařování procesy MIG/MAG [7]	23
Obrázek 4: Svařovací zařízení pro ruční svařování metodami MIG/MAG [6]	24
Obrázek 5: Oblastí přenosu kovu v elektrickém oblouku [4]	27
Obrázek 6: Napětí a proud při svařování krátkým obloukem [8]	28
Obrázek 7: Přenos kovu při impulzním svařování [8]	30
Obrázek 8: Přehled částí svařovacího setu pro robotické MAG svařování [9]	33
Obrázek 9: Čtyřkladkový podavač Push-pull [9]	34
Obrázek 10: Čtyřkladkový podavač Frontpull [10]	35
Obrázek 11: Svařovací hořák Power clutch [9]	36
Obrázek 12: Svařovací hořák Frontpull s integrovaným podavačem drátu [10]	36
Obrázek 13: Graf procesu I-PULS [17]	39
Obrázek 14: Graf procesu KF-PULS [17]	40
Obrázek 15: Graf procesu microMIG [8]	42
Obrázek 16: Princip procesu microMIG-cc [8]	43
Obrázek 17: Robotizace svařování metodou MAG v praxi [11]	44
Obrázek 18: Přehled konstrukcí průmyslových robotů Motoman [11]	45
Obrázek 19: Polohovadla k robotickým pracovištím – otočné stoly [11]	46
Obrázek 20: Polohovadla k robotickým pracovištím – dvouosá polohovadla [11]	46
Obrázek 21: Svařovaný polotovár „vnitřní díl“ [18]	48
Obrázek 22: Výsledný produkt „tlumič výfukové soustavy“ [18]	48
Obrázek 23: Průmyslový šestiosý robot Motoman	49
Obrázek 24: Svařovací přípravek	51
Obrázek 25: Označení svařovaných komponentů [18]	52
Obrázek 26: Místo 1 a 6 - koutový svar vícevrstvý přeplátovaný [18]	54
Obrázek 27: Místo 2,3,4,5,7,8,9,10 – koutový svar jednovrstvý přeplátovaný [18]	54
Obrázek 28: Sklon hořáku vůči svařenci	55
Obrázek 29: Grafický záznam parametrů MIG/MAG, svar č. 1, program P2 [16]	57
Obrázek 30: Proces MIG/MAG, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný	57

Obrázek 31: Grafický záznam parametrů MIG/MAG, svar č. 5, program P3 [16].....	58
Obrázek 32: Proces MIG/MAG, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný.....	58
Obrázek 33: Grafický záznam parametrů KF-PULS, svar č. 1, program P2 [16].....	60
Obrázek 34: Proces KF-PULS, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný.....	60
Obrázek 35: Grafický záznam parametrů KF-PULS, svar č. 5, program P3 [16].....	61
Obrázek 36: Proces KF-PULS, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný.....	61
Obrázek 37: Grafický záznam parametrů microMIG, svar č. 1, program P2 [16].....	63
Obrázek 38: Proces microMIG-cc, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný.....	63
Obrázek 39: Grafický záznam parametrů microMIG, svar č. 5, program P4 [16].....	64
Obrázek 40: Proces microMIG-cc, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný.....	64
Obrázek 41: Příčný řez svarem.....	68
Obrázek 42: Laboratorní pila STRUERS Discotom-6	68
Obrázek 43: Lis CitoPress-20 (vlevo) a leštička LaboForce-50 (vpravo)	69
Obrázek 44: Proces MIG/MAG, svar č.1	71
Obrázek 45: Proces KF-PULS, svar č.1	71
Obrázek 46: Proces microMIG-cc, svar č.1	72
Obrázek 47: Proces MIG/MAG, svar č. 5	73
Obrázek 48: Proces KF-PULS, svar č. 5	73
Obrázek 49: Proces microMIG-cc, svar č. 5.....	74

1. Úvod

Cílem diplomové práce (dále DP) na téma „Aplikace MIG/MAG procesů pro svařování korozivzdorných ocelí v podniku FAURECIA EXHAUST SYSTEMS s.r.o. je doporučit vhodný proces MAG svařování, který bude splňovat všechny požadavky na jakost svařovaného dílce a zároveň bude produktivní. Tato problematika je nyní v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou aktuální. Dodavatel svařovacího zařízení pro průmyslové roboty SKS Welding Systems (dále SKS) nabízí širokou škálu svařovacích setů, které umožňují řídit proces efektivně dle zvoleného procesu, a lze dosahovat různých výsledků za různých podmínek svařování.

Práce je rozdělena do teoretické a experimentální části. V teoretické části bude krátce nastíněn vývoj metod obloukového svařování v ochranných atmosférách a teorie svařování metodou MIG/MAG včetně ochranných plynů, které mají na proces svařování v ochranných atmosférách zásadní vliv. Za důležité považuji kapitolu o způsobech přenosu kovu v oblouku při svařování MIG/MAG, a to z toho důvodu, jelikož se touto teorií v dnešní době výrobci svařovacích zařízení často zabývají. Přenos kovu má rozhodující vliv na výsledný produkt, tedy svar. Na to navazuje představení svařovacích setů včetně procesů, kterými disponují. Následně bude pojednáno o robotizaci a automatizaci ve svařování z důvodu použití průmyslového robota k experimentu, který bude popsán v části experimentální.

Část druhá se věnuje výrobě tří dílů. Na každém dílu byl aplikován jiný proces svařování. Detailně je rozebrán samotný díl i stroj, kde se experiment prováděl. Celý proces bude monitorován a z naměřených veličin bude možné pozorovat rozdíly mezi procesy při svařování za stejných, či podobných podmínek. Následně se provede makrostrukturní zkouška, v rámci které se ověří jakost vybraných svarů. Na konci budou stanovena kritéria výběru vhodného procesu.

Společnost Faurecia se zabývá vývojem a výrobou komponentů pro automobilový průmysl. Během své existence se stal šestým největším světovým dodavatelem pro automobilový průmysl, má více jak 99 000 zaměstnanců a působí ve třiceti čtyřech zemích po celém světě. Mezi zákazníky společnosti Faurecia patří

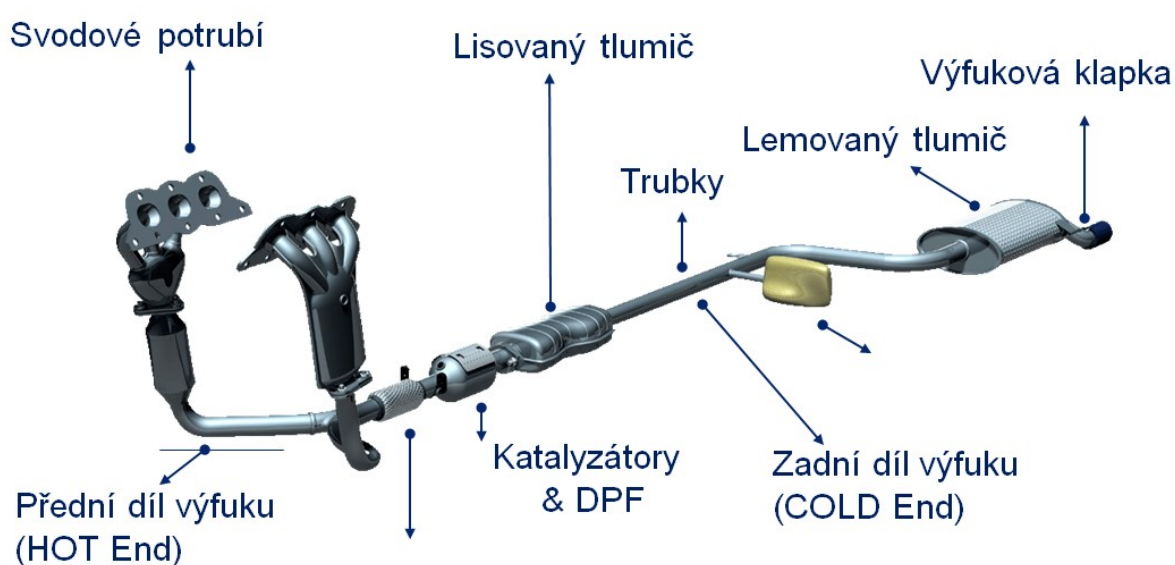
významní výrobci automobilů jako je Volkswagen Group, PSA Peugeot Citroen, General Motors Europe a Ford. Společnost Faurecia se skládá ze čtyř hlavních skupin - automobilová sedadla, interiéry, exteriéry a výfukové systémy viz obrázek 1. [15]



Obrázek 1: Oblasti automobilových dílů, kterými se společnost Faurecia zabývá [15]

Závod Faurecia v Bakově nad Jizerou patří do skupiny Emission Control Technologies, tedy výfukové systémy a systémy na snižování emisí. Stavba bakovského závodu začala koncem roku 1998 a dokončena byla o rok později. První výroba začala v lednu roku 2000. Závod má kolem 450 kmenových zaměstnanců. K hlavním zákazníkům patří Volkswagen group, Audi, Daimler, Kia, GM a PSA. Vyrábí se zde komponenty jako ohýbané trubky, rolované, lisované a svařované tlumiče. Dále také kompletní přední a zadní díly výfukové soustavy. K dispozici je šestnáct ohýbaček na trubky, čtyři linky na rolované tlumiče, jedna linka na tlumiče lisované, pět robotických pracovišť na tlumiče svařované a sedmnáct robotických pracovišť určené na svařování sestav a několik kabin pro manuální svařování. Specializací bakovského závodu je výroba výfukových klapek, která probíhá na čtyřech linkách. [15]

Výfuková soustava automobilu se skládá ze dvou hlavních částí. Obě části jsou zobrazeny a popsány na obrázku 2. První část, která nese název hotend, je část která obsahuje podčásti jako je svodové potrubí, pružné členy, katalyzátory či filtry pevných částic DPF. Za úkol má svést a přeměnit spaliny, které produkuje pohonná jednotka automobilu při spalování paliva. Tato část výfukové soustavy také musí odolat vysokým teplotám. Část druhá, nazývaná coldend, plní funkci hlavně akustickou. Tato část výfukové soustavy se skládá z vedení v podobě ohýbaných trubek a tlumičů.



Obrázek 2: Příklad výfukové soustavy včetně popisu jeho částí [15]

Pro experiment, který je popsán ve třetí kapitole „Experimentální část“, byl vybrán svařovaný tlumič. Vnitřní prostor takového tlumiče je vyplněn ohýbanými trubkami spolu s přepážkami, které jsou spojeny technologií svařování.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Vývoj metod obloukového svařování v ochranných atmosférách

Jako první z metod obloukového svařování byla vyvinuta metoda TIG a to díky rychlému rozvoji leteckého průmyslu ve 30. letech, kdy bylo zapotřebí svařovat hliník, hořčík a jejich slitiny. Do této doby svařování těchto materiálů probíhalo obalenou elektrodou, tedy metodou kde nejsme schopni ochránit svarovou lázeň dokonale před okolní atmosférou a svary tudíž měly nevyhovující mechanické vlastnosti. [1]

Metoda svařování v ochranné atmosféře inertního plynu TIG se dále vyvíjela, přišlo se na to, že používání nepřímé polarizace není příliš vhodné z důvodu nadměrného ohřívání wolframové elektrody, přešlo se tedy na polaritu přímou. Podobné to bylo se svařováním hliníku a jeho slitin. Použití zdrojů stejnosměrného proudu nahradily zdroje střídavého proudu s vysokofrekvenčním zapalováním oblouku. Z této metody svařování se v 50. letech vyvinula technologie známá jako plasmové svařování. [1]

Metoda TIG však měla své limity. Například neumožňovala svařovat produktivně materiály s velkou tepelnou vodivostí o větších tloušťkách, zejména hliníku a jeho slitin. Pro svařování těchto materiálů, byl nutný předehřev svarových spojů a to samozřejmě komplikovalo technologii výroby. V roce 1948 byla vyvinuta technologie svařování tavící se kovovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (argon, helium). Dnes tuto metodu známe pod mezinárodní zkratkou MIG (Metal Inert Gas). Tato nová technologie nám umožňovala nejen svařování hliníku a jeho slitin o větších tloušťkách, ale přinesla také zvýšení produktivity práce. Novinkou této metody bylo použití elektrody ve formě holého drátu, který bylo potřeba postupně odvíjet z cívky a podávat do svarové lázně určitou rychlostí. Tato metoda našla také značné využití při svařování legovaných i nelegovaných ocelí a jiných neželezných kovů. Z důvodu použití drahého ochranného plynu, se vývoj této technologie ubíral směrem k náhradě inertních plynů jinou cenově dostupnější ochrannou atmosférou. [2]

Myšlenka použít jako ochrannou atmosféru levnější oxid uhličitý byla převzata z patentu Johna C. Lincolna z roku 1918. Takto upravená technologie MIG se začala od roku 1955 postupně rozšiřovat pro svařování ocelí. A protože při použití oxidu uhličitého při svařování dochází k rozkladu na oxid uhelnatý a volný kyslík, který oxiduje a tím aktivně působí na svarový kov, dostala tato metoda mezinárodní označení MAG (Metal Active Gas). [2]

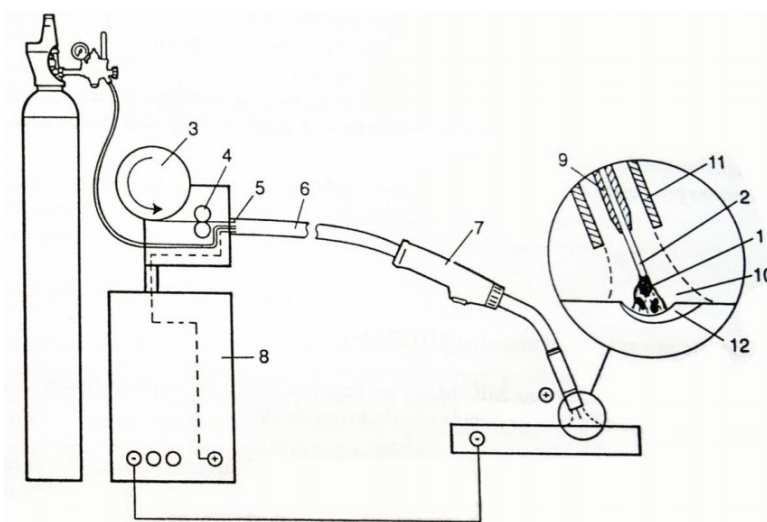
V následujících letech se technologie MIG a MAG masově rozvíjely, došlo také k rozšíření jejich průmyslové aplikace. Neustále se zkvalitňovalo zařízení pro svařování metodami MIG/MAG včetně regulace procesu. Byly to hlavně podavače (vícekladková podávání, zdvojené podávání, push-pull systémy), svařovací zdroje, často docházelo k mechanizaci a automatizaci průmyslových aplikací či nasazení průmyslových robotů. Z procesu to byly hlavně varianty přenosu kapek svarového kovu do tavné lázně - zkratový, sprchový a pulzní. Zvýšení stability oblouku a snížení rozstříku se docílilo použitím směsných plynů, např. Ar + CO₂, Ar + O₂, Ar + CO₂ + O₂ a Ar + H₂. [2]

Díky tomuto pokroku se technologie MIG a MAG staly koncem 80. let minulého století velmi dominantními technologiemi obloukového svařování. Nicméně během 90. let byly tyto technologie dále zdokonalovány. Došlo k dalšímu zvýšení produktivity práce při svařování použitím vícekomponentních ochranných plynů např. Ar + He + CO₂ + O₂ a svařování s vysokými rychlostmi podávání drátu (svařování rotujícím obloukem). V těchto letech zaznamenal také velký pokrok vývoj tzv. synergického zdroje svařovacího proudu. Výhoda tohoto zařízení je ve značném zjednodušení nastavování svařovacích parametrů (tzv. jednoprvkové ovládní). [2]

2.2 Svařování procesy MIG/MAG

Procesy MIG a MAG svařování v ochranných plynech tavící se elektrodou, nacházejí uplatnění ve výrobě ocelových konstrukcí, technických zařízení a při jejich opravách široké využití. V dnešní době jsou to důležité technologie spojování materiálů. Svařování MAG se využívá hlavně při spojování nelegovaných oceli a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG se využívá hlavně při spojování vysokolegovaných oceli a neželezných kovů. Přehled metod a jejich označování je dán normou ČSN EN ISO 4063. Číslovkou 131 se označuje proces MIG, proces MAG číslovkou 135. [3]

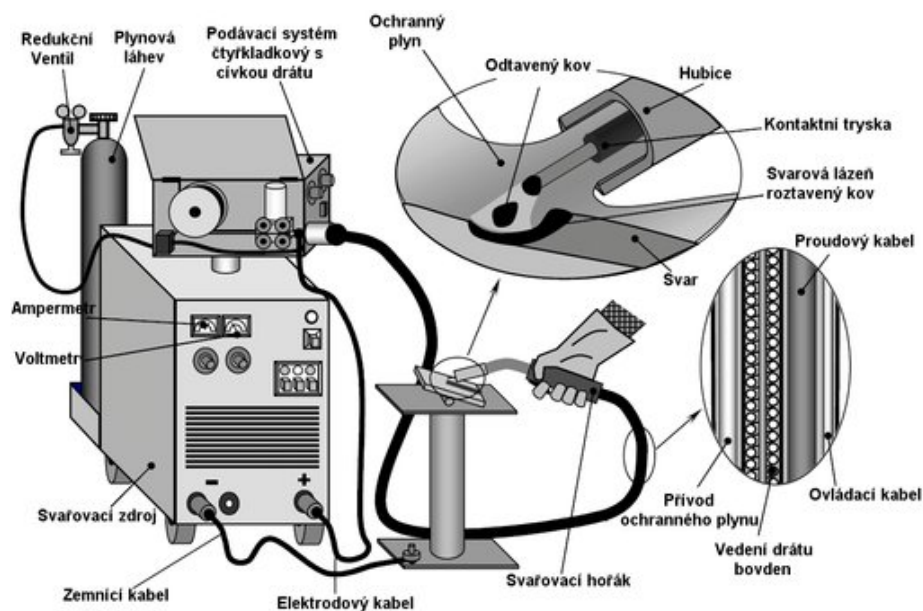
Do popředí se tyto dvě metody dostávají hlavně kvůli nesporným výhodám jako je vysoká produktivita a hospodárnost provádění spojů, dobrá operativnost i při svařování v polohách, vhodnost pro ruční, mechanizované a robotizované provádění procesu svařování, možnost využití metod svařování u širokého sortimentu konstrukčních materiálů, malé deformace svarových spojů a svařovaných konstrukcí, příznivé podmínky pro uplatnění v praxi (dostupnost svářečské techniky, přídavných materiálů a technických plynů). [3, 4]



- 1 – elektrický oblouk, 2 – drátová elektroda, 3 – zásobník drátu, 4 – podávací kladky,
5 – rychloupínací spojka, 6 – hořákový kabel, 7 – svařovací hořák,
8 – zdroj svařovacího proudu, 9 – kontaktní průvlak, 10 – ochranný plyn,
11 – plynová tryska, 12 – svarová lázeň

Obrázek 3: Schéma svařování procesy MIG/MAG [7]

Při svařování procesy MIG a MAG hoří elektrický oblouk mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem. Celý děj probíhá za přítomnosti ochranné atmosféry. V případě metody MIG v inertním plynu, u metody MAG potom v plynu aktivním. Přenos elektrického proudu na elektrodu (drát) probíhá pomocí třecího kontaktu elektrody s kontaktní špičkou, která je umístěna na konci hořáku, aby zatížená délka drátu byla co možná nejkratší. Drát je dopravován do místa svařování pomocí podávacích kladek, které jsou umístěny v podavači. Podavač drátu pak může být součástí zdroje, či umístěn na hořáku. Dnes jsou běžné i kombinace. Drát je odmotáván z cívky (nejčastěji 15 kg) či barelu (250 kg). Proudová hustota je u MAG svařování jedna z nejvyšších až $600 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Velikost použitého proudu pro svařování tenkých plechů s průměrem drátu 0,6 – 0,8 mm se pohybuje od 30 A. V případě vysokovýkonných mechanizovaných metod až do 800 A. Přenos kovu do lázně je závislý na parametrech svařování a použitém ochranném plynu. Obecně lze říci, že pro tenké plechy je běžný zkratový přenos a pro větší tloušťky svařovaných materiálů přenos sprchový. Dosahované teploty oddělujících se kapek svarového kovu se pohybují přibližně v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota svarové lázně 1600 až 2100 °C, přičemž závisí především na technologii, parametrech svařování, na chemickém složení a vlastnostech materiálu. [4]



Obrázek 4: Svařovací zařízení pro ruční svařování metodami MIG/MAG [6]

Jednou z výhod metod MIG/MAG je možnost automatizace a robotizace, což má kladný vliv na kvalitu svařenců, hygienu pracovního prostředí a na zlepšení pracovních podmínek personálu obsluhujícího svařovací zařízení. I z tohoto důvodu svařování metodami MIG/MAG získalo na základě svých technických a technologických předností hlavní postavení mezi obloukovými metodami svařování. Vývoj těchto metod svařování byl v poslední době zaměřen na zvýšení produktivity svařování, zvýšení stability procesu hoření oblouku, zvýšení jakosti provádění svařových spojů a zlepšení hygieny práce při svařování. [3, 4]

2.3 Ochranné plyny používané při svařování metodou MIG/MAG

Ochranné plyny při svařování MIG/MAG mají za úkol zamezit přístupu okolní atmosféry do oblasti svařování, hlavně ochránit oblouk, tavnou lázeň, elektrodu a kořen svaru před účinkem vzdušného kyslíku a dusíku, které způsobují oxidaci, pórovitost, naplynění a propal prvků. Ochranné plyny mají také velký vliv na typ a přenos kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, svařový rozstřík a rychlost svařování. [4]

V případě svařování metodou MIG, tedy elektrickým obloukem, který hoří mezi tavící se elektrodou a základním materiálem, v prostředí inertního (netečného) plynu argonu (Ar), helia (He), případně směsi Ar + He. Tavná svařová lázeň a její nejbližší okolí (tepelně ovlivněná oblast) je chráněna před nepříznivým vlivem okolní atmosféry (hlavně kyslíku – O₂ a dusíku N₂). [3]

V případě svařování metodou MAG i zde je zdrojem tepla pro svařování elektrický oblouk, který hoří mezi tavící se elektrodou a základním materiálem, v prostředí aktivního (reagujícího) plynu (CO₂, Ar + CO₂, Ar + CO₂ + O₂). Z důvodu jednokomponentního, případně více komponentního plynu se proto bude v závislosti na charakteru plynu měnit i chemické složení svařového kovu, zejména obsah C, Mn, Si a dalších prvků, a tím i jeho mechanické vlastnosti. Použitím směsných plynů, se podařilo podstatně zlepšit formování svaru, zvýšit stabilitu hoření oblouku a snížit rozstřík kovu. [3]

Pro svařování korozivzdorných ocelí metodou MAG, se zásadně používají směsné plyny (např. Ar + 2% CO₂, Ar + 1% O₂), aby nedocházelo k nežádoucímu nauhličování vysokolegovaného materiálu a tím poklesu odolnosti proti mezikrystalické korozi. V Tabulce 1 je uvedeno, jak složení plynu ovlivňuje chemické složení vysokolegované chromniklové oceli. Poměr Nb/C je kritérium odolnosti mezikrystalické koroze. [4]

Tabulka 1: Vliv ochranných plynů na složení svarového kovu chromniklové oceli [4]

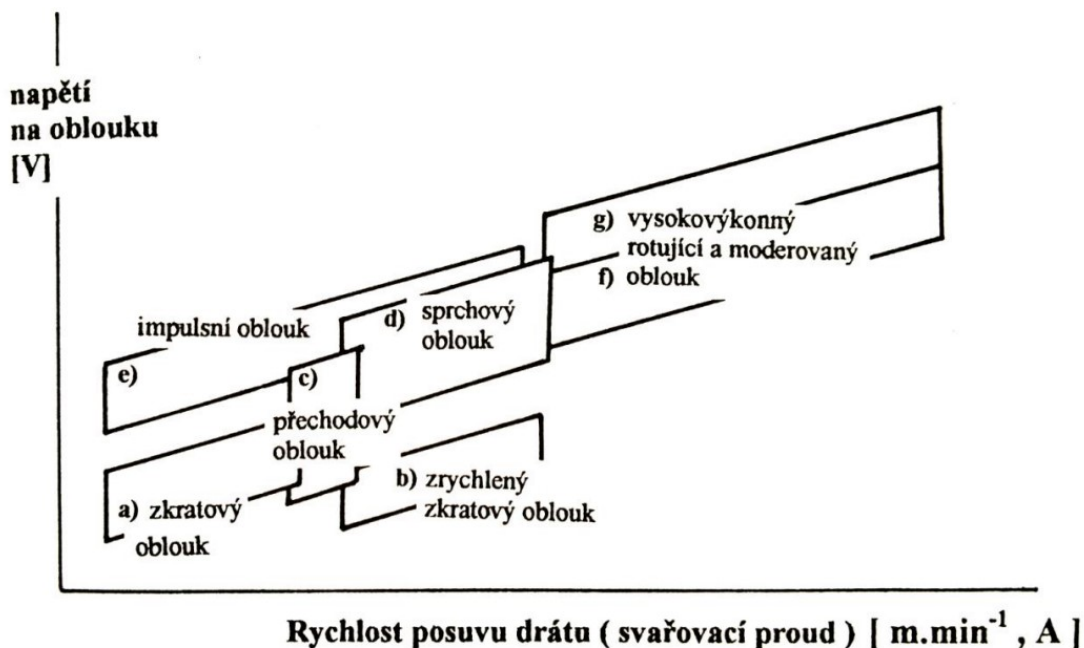
Chemické složení %							
Chemický prvek	C	Si	Mn	Ni	Cr	Nb	Nb/C
Svařovací drát	0,06	0,62	0,7	8,3	18,6	0,83	13,8
Složení ochrann. plynu	Chemické složení svarového kovu						
CO ₂	0,13	0,46	0,51	8,3	18,3	0,63	4,8
Ar + 1%O ₂	0,06	0,6	0,65	8,3	18,6	0,79	13,2
Ar + 15%CO ₂ +5O ₂	0,08	0,57	0,6	8,3	18,5	0,83	10,2
Ar + 20%CO ₂	0,1	0,56	0,62	8,3	18,5	0,79	7,9

2.4 Způsoby přenosu kovu v oblouku při svařování MIG/MAG

Při svařování procesy MIG/MAG, je přenos závislý na komplexu sil, které působí na konec drátu a na podmínkách svařování včetně parametrů, druhu a vlastnostech ochranného plynu i charakteristice svařovacích zdrojů. [4]

Charakteristika oblouku a přenos kovu lze rozdělit na následující typy

- krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- impulsní bezzkratový přenos
- moderovaný bezzkratový přenos
- rotující oblouk s bezzkratovým přenosem kovu



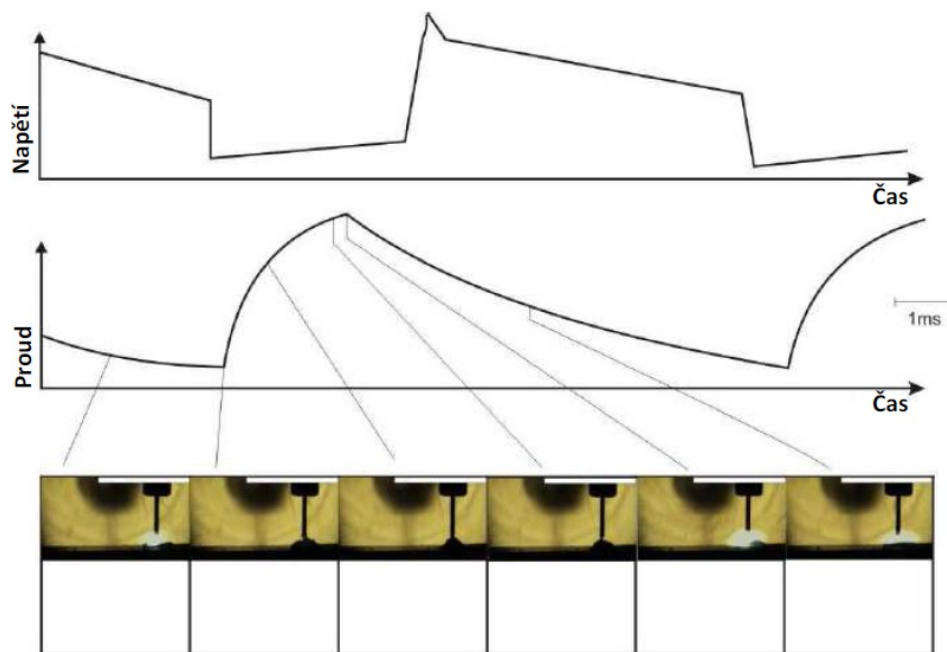
Obrázek 5: Oblastí přenosu kovu v elektrickém oblouku [4]

Pracovní body, které leží v daných oblastech, jsou dány správností vzájemného poměru napětí a rychlosti drátu. V případě že se rychlost drátu nemění a mění se pouze napětí, oblouk zůstane stabilní jen v určitých mezích, viz obrázek 5. Tento pracovní rozsah je přímo závislý na kombinaci použitého plynu a svařovacího drátu. [8]

2.4.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Zkratový přenos kovu nastává při použití nižších napětí. Při tomto přenosu kovu dochází k opakovanému přerušování oblouku zkratem. Během svařování se odděluje kov ve formě kapek, které jsou vtahovány do roztavené svarové lázně. Po spojení kapky kovu se základním materiálem oblouk zhasne, kapka se oddělí, oblouk se znovu zapálí a proces se opakuje. [8]

Podmínkou zkratového procesu jsou vhodné dynamické vlastnosti zdroje, které musejí umožňovat proudovou špičku. Správnost nastavení zdroje lze identifikovat také podle praskavého zvuku. Zkratový proces lze realizovat ve všech ochranných plynech včetně CO₂. Na obrázku 6 je znázorněna vazba napětí a proudu. [4]



Obrázek 6: Napětí a proud při svařování krátkým obloukem [8]

Z důvodu relativně nízké teploty svarové lázně je svařování krátkým obloukem vhodné ke svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, překlenutí širších mezer, svařování polohových svarů a pro svařování vysokolegovaných ocelí. [4,8]

2.4.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Tento proces svařování vykazuje prvky zkratového a sprchového procesu. Napětí odpovídá čistému zkratovému procesu, ale proud a rychlost podávání drátu procesu sprchovému. Svařovací proces probíhá za poměrně netypických podmínek. Drát je dopravován do lázně vysokou rychlostí pod vysokým sklonem hořáku a velké vzdálenosti plynové trysky od svařovaného materiálu (25 až 30mm). I z tohoto důvodu je nutno nastavit vyšší průtok ochranného plynu na cca 20-30 l.min⁻¹. Pro svařování se využívá směsný plyn Ar + 8% CO₂. Tímto procesem lze svařovat tenké plechy od 1mm vysokou rychlostí, kořeny svarů i polohové svary. [4]

2.4.3 Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový)

Tento typ procesu probíhá tak, že se konec elektrody vlivem vysokého proudu nataví do velké kapky, ta je vytlačena mimo osu drátu a oblouk putuje k roztavenému konci elektrody, dokud magnetická síla nepřeruší krček. Kapka je vtažena do svařové lázně vysokou rychlostí, ale s malou frekvencí 5 – 40 kapek za sekundu. Napětí se pohybuje v rozmezí 22 až 28 V a proud 190 až 300 A. Tento proces nemá široké využití z důvodu výrazného rozstříku a hrubé svarové housenky. [4]

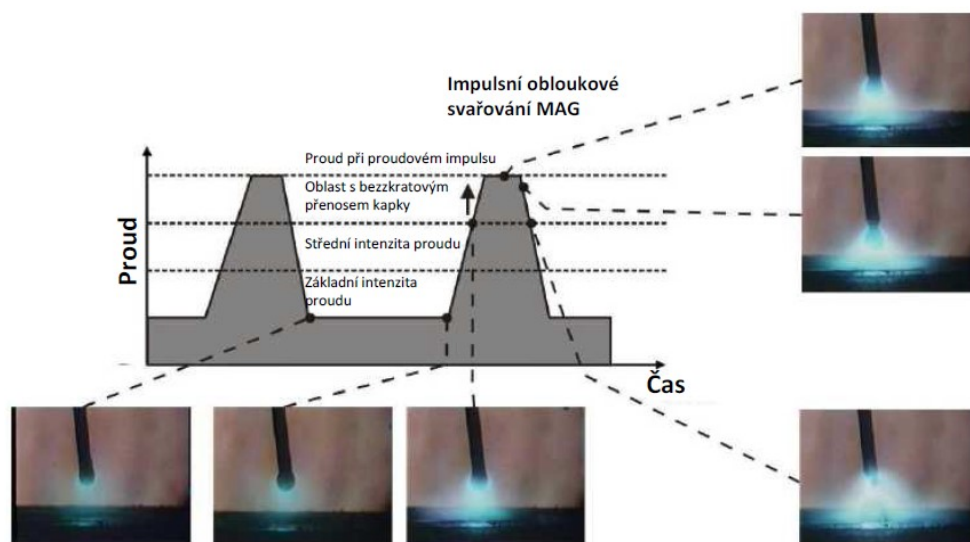
2.4.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

Pro sprchový proces je charakteristický rozsah proudu od 200 do 500 A při napětí 28 až 40 V. Zásadně se používají směsné plyny Ar s CO₂ či O₂. Pro svařování neželezných kovů pak v čistém Ar. Díky bohatému plynu o argon je usnadněna ionizace plynu a tím je zabezpečeno, že konec drátu je obklopován plazmou. Účinkem magnetického pole jsou utvářející se malé kapky oddělovány a vnášeny do svarové lázně ve vysoké frekvenci 150 – 350 Hz. Proud bývá konstantní během celého procesu, oblouk je stabilní bez zhasínání. Při sprchovém procesu vnášíme do základního materiálu velké množství tepla, které má za následek hluboký závar. Zvukový projev hoření sprchového oblouku lze identifikovat dle syčení. Výsledná svarová housenka je hladká s plynulým přechodem do základního materiálu a okolí bez rozstříku. Sprchový proces se používá pro svařování středních a větších tlouštěk materiálů ve vodorovné poloze a omezeně v polohách. [4]

2.4.5 Impulsní bezzkratový přenos

Jde o zvláštní formu bezzkratového přenosu kovu. Parametry používané při impulsním svařování překrývají oblast zkratového i sprchového přenosu. Svařovací proud se přepíná mezi nízkou a vysokou hodnotou. Základní proud bývá v rozmezí od 20 do 50 A a jeho úkol je udržení ionizace sloupce oblouku, a tím i vedení proudu. Impulsní proud je tvarově i časově řízený a na konci fáze jeho amplitudy dojde k oddělení kapky. Oblouk hoří v celém průběhu amplitudy impulsního proudu, to má za

následek ohřívání svarové lázně a přídavného materiálu. Ke svařování impulsním procesem se používají směsné plyny, v případě svařování neželezných kovů čistý Ar. Následující obrázek číslo 7 zobrazuje přenos kovu při impulzním svařování. [4]



Obrázek 7: Přenos kovu při impulzním svařování [8]

Průběh impulsního svařování začíná hořením oblouku při nízkém proudu, kdy se drát začíná tavit. Objem kapky na hrotu elektrody začíná růst díky vysokému proudovému impulsu a současně se zesiluje efekt zúžení kapky. Kapka se odděluje a přenáší se do svarové lázně bez vzniku zkratu. Potom proud klesá na základní úroveň. Oblouk dále hoří se základní hodnotou proudu až do dalšího proudového impulsu, který opět způsobí vytvoření a přenos kapky. [8]

Výhody svařování impulsním procesem:

- svařování tenkých ocelových plechů bez rozstříků
- je vhodný pro použití elektrod o větších průměrech
- méně vneseného tepla do základního materiálu
- jemná kresba povrchu svaru i kořene
- vhodný proces pro svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegované oceli
- je vhodný pro svařování v méně vhodných polohách

2.4.6 Moderovaný bezkratový přenos

Tento proces probíhá za vysokých proudů 450 – 750 A, napětích 40 až 50 V a vysokých rychlostech posuvu drátu od 20 do 45 m.min⁻¹. Pracovní oblast hoření oblouku leží v oblasti velmi vysokých výkonů svařování. Jako ochranný plyn se používají směsné plyny s vyšším průtokem ochranného plynu v rozmezí 18 – 25 l.min⁻¹. Roztavený svarový kov ve formě kapek kovu je odtavován vysokou frekvencí a následně vysokou rychlostí dopravován do tavné lázně. Tavná lázeň je plazmou oblouku a dopadem kapek vytvarována do úzkého hlubokého závaru. Při tomto procesu lze postupovat vysokou rychlostí svařování i při spojování tlustostěnných materiálů. [4]

2.4.7 Rotující oblouk s bezkratovým přenosem kovu

Tento proces je velmi podobný moderovanému bezkratovému procesu. Rotující oblouk se vyznačuje zvýšeným napětím až na 65 V a větší volné délce drátu nad 20 mm. Vzhledem k vysokému proudu a velké volné délce drátu je drát odporovým teplem přehříván téměř na teplotu tavení. Intenzivním silovým magnetickým polem je konec drátu v plastickém stavu roztáčen. Tímto přenosem je vytvářen široký a hluboký závar s miskovitým profilem. Tento proces se používá pro svařování materiálů velké tloušťky. [4]

2.5 Svařovací sety pro robotické MIG/MAG svařování

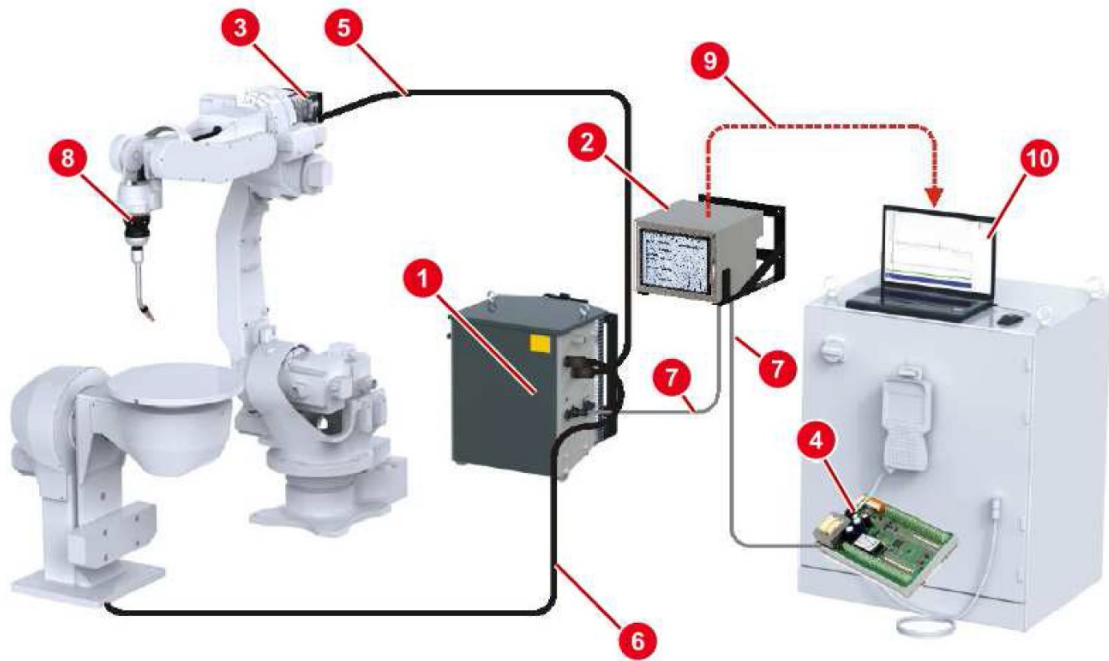
Základem celého procesu svařování je vybavení PR svařovacím setem. Části svařovacího setu jsou přehledně zobrazeny na obrázku 8. V podniku Faurecia Bakov jsou roboty vybaveny svařovacími sety od německého výrobce svařovacích zřízení SKS Welding systems GmbH. O jednotlivých částech setu bude pojednáno v následujících podkapitolách.

Výrobce SKS Welding systems nabízí hned několik variant setů pro roboty, každý set má svá specifika a je vhodný pro jiné použití:

Power Clutch™	Standardní svařovací set pro robota umožňující svařovací proces MIG/MAG, Puls, MIG pájení
Power Joint™	Svařovací set pro robota s dutým horním ramenem pro vedení proudového kabelu, umožňující svařovací proces MIG/MAG, Puls, MIG pájení
Frontpull 7™	Svařovací set pro robota umožňující svařovací proces MIG/MAG, Puls, MIG pájení, microMIG™, microMIG-cc™
Frontpull 8™	Svařovací set pro robota s dutým horním ramenem pro vedení proudového kabelu, umožňující svařovací proces MIG/MAG, Puls, MIG pájení, microMIG™, microMIG-cc™
Wire Select™	Svařovací set, který umožňuje rychlou automatickou výměnu svařovacího drátu, lze svařovat procesy MIG/MAG, Puls, MIG pájení
DualWire 2.0™	Svařovací set, který umožňuje svařování dvěma dráty současně

2.5.1 Zdroj svařovacího proudu

Úkolem napájecího zdroje je dodat elektrický proud potřebný pro proces svařování. Svařovací zdroj transformuje napájecí napětí ze sítě na nízké a poskytuje elektrický proud o vysoké intenzitě, který je potřeba během zkratové fáze. Střídavý elektrický proud je potřeba usměrnit na stejnosměrný pomocí usměrňovače a pomocí rychlých spínacích prvků tranzistorů. Řídící jednotka monitoruje svařovací proud a napětí a porovnává je s předvolenými hodnotami. V dnešní době se jako napájecí zdroje pro automatické svařování MIG/MAG používají měniče. Měniče umožňují přesnou regulaci procesu svařování a dávkování požadované energie. Měniče jsou spolehlivé i co se týče opakovatelnosti a přenositelnosti. Všechny dynamické i statické parametry se nastavují softwarem, tedy patřičné charakteristiky metody MIG/MAG jsou vypočteny řídicí jednotkou. Jednotlivé části svařovacího setu pro robota jsou zobrazeny na obrázku 8. [9]



1 – zdroj svařovacího proudu, 2 – jednotka řízení svařovacího procesu, 3 – podavač drátu, 4 – rozhraní mezi robotem a svářečkou, 5 – hadicový svazek, 6 – zemnicí vodič, 7 – regulační vedení, 8 – systém svařovacího hořáku, 9 – připojení jednotky řízení svařovacího procesu k PC, 10 – PC nebo laptop

Obrázek 8: Přehled částí svářovacího setu pro robotické MAG svařování [9]

Rozdělení statických (netočivých) zdrojů:

- zdroje se síťovým transformátorem – zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory) a zdroje stejnosměrného proudu (řízené a neřízené usměrňovače)
- zdroje bez síťového transformátoru – svařovací měniče (invertory) [4]

2.5.2 Jednotka řízení svařovacího procesu

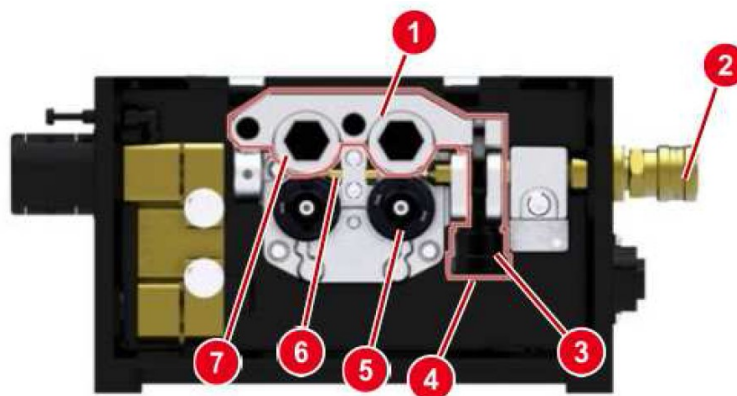
Funkce jednotky:

- Zadávání a nastavování svařovacích parametrů
- Poskytování svařovacích parametrů robotu
- Monitorování parametrů se záznamem

Jednotka řízení svařovacího procesu má za úkol řídit průběh proudu, maximální proud a přenos kapek během impulsního svařování. Lze je využít k automatickému přenosu nastavených parametrů do robota, slouží i jako úložiště parametrů odkud jsou parametry vyvolávány pomocí kódů. [9]

2.5.3 Podavač drátu

Funkce podavače je přisouvat rovnoměrnou rychlostí drátovou elektrodu do místa svařování pomocí podávacích a přítlačných kladek. Elektroda ve formě drátu se odvíjí z cívky, či sudu, je podávána do hadicového svazku a skrz hořák až do místa svaru. Podávání zajišťuje podávací kladka a potřebné tření vytváří kladka přítlačná. Přítlak drátu nesmí být příliš velký, aby drát nebyl deformován, ale zároveň dostatečně vysoký, aby bylo zajištěno podávání. Podávací kladky mají v sobě drážky a jsou poháněny nepřímo elektromotorem přes převodovku. Tvar drážky závisí na materiálu podávaného drátu a průměru drátu. Pro tvrdé dráty se používá V drážka, pro měkké U drážka. U setů Powerclutch™, Powerjoint™, Wire select™ a Dual wire™ je k dispozici push-pull podavač, který je umístěn na rameni robota viz obrázek 9. V případě použití setu Frontpull™ je podavač umístěn přímo u hořáku viz obrázek 10. Robot vybavený tímto podavačem nabízí další možnost volby procesu a to microMIG a microMIG-cc [9]



1 – čtyřkladkový podavač, 2 – jednotka vstupu drátu, 3 – rýhovaný šroub, 4 – páka pro přítlak kladek, 5 – podávací kladka, 6 – středové vedení, 7 – přítlačná kladka

Obrázek 9: Čtyřkladkový podavač Push-pull [9]



Obrázek 10: Čtyřkladkový podavač Frontpull [10]

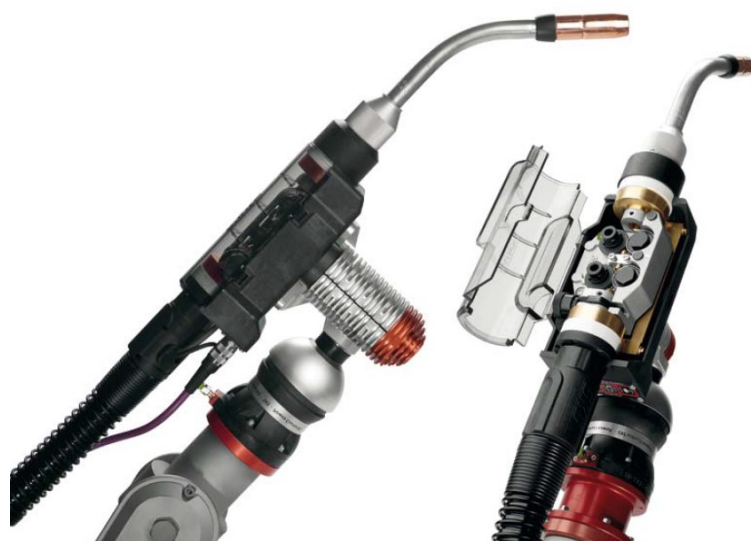
2.5.4 Svařovací hořák

Svařovací hořák je důležitou částí svařovacího setu. Části svařovacího hořáku jsou znázorněny na obrázku 11. Velmi důležitá část svařovacího hořáku je kontaktní špička (průvlak) a tryska ochranného plynu (hubice). Svařovací hořák a řídicí jednotka jsou vzájemně propojeny. Při práci s hořákem je nutná opatrnost, ohnutí, či jiné poškození vede k problémům během svařování. Svařovací hořáky lze rozdělit dle chlazení a to buď plynem, nebo vodou. Vodou chlazené hořáky se doporučují používat při vyšším zatížení překračující 300A. V případě použití svařovacího setu Frontpull, je součástí svařovacího hořáku zároveň podavač viz obrázek 12. [9]



1 – držák hořáku Powerclutch, 2 – Napájecí kabel, 3 – připojovací příruba, 4 – bezpečnostní skojka, 5 – bajonetové víčko, 6 – tělo hořáku, 7 – izolace těla hořáku, 8 – dyfuzor, 9 – kontaktní špička (průvlak), 10 – plynová tryska (hubice)

Obrázek 11: Svařovací hořák Power clutch [9]



Obrázek 12: Svařovací hořák Frontpull s integrovaným podavačem drátu [10]

2.6 Možné varianty MAG procesů robotického svařování dostupné v závodě Bakov

Stabilita hoření oblouku a výsledná kvalita svaru jsou závislé na vhodné volbě svařovacího procesu (přenosu kovu), na způsobu vedení hořáku a nastavení řídicí jednotky, tedy nastavení parametrů svařování. K nejdůležitějším parametrům, které ovlivňují proces svařování, patří svařovací proud [A], napětí oblouku [V], postupová rychlost [m/min], rychlost podávání drátu [m/min], vzdálenost špičky průvlaku od svařovaného materiálu [mm], mezera mezi hubicí a svařovaným dílem [mm], použité množství ochranného plynu [l/min] a poloha hořáku. Svařovací parametry a vhodná volba procesu mají také rozhodující vliv na výskyt nežádoucího rozstříku.

Nejširší rozsah procesů nabízí svařovací set Frontpull od výrobce svařovacích zařízení SKS. Tento set jako jediný z výše uvedených nabízí možnost použití jak standardních procesů MIG/MAG, I-PULS, KF PULS, tak i speciálních procesů microMIG a microMIG-cc. O těchto procesech bude pojednáno v následujících podkapitolách. [9]

2.6.1 Proces MIG/MAG

Procesy MIG/MAG jsou nejčastěji používanými metodami svařování a to hlavně pro jednoduché nastavení svařovacích parametrů a široké možnosti využití. Jde o svařování zkratovým a sprchovým obloukem. Řídicí jednotka při volbě procesu MIG/MAG pracuje v synergickém režimu, čili hlavní dva parametry, kterými uživatel ovlivňuje samotný průběh svařování a vlastnosti svarového spoje je rychlost podávání drátu [m/min] a korekce napětí [V]. Velikost svařovacího proudu [A] a napětí [V] je automaticky dopočítáno řídicí jednotkou. Aby řídicí jednotka mohla správně dopočítat tyto parametry, je nutné zadat základní vstupní informace do řídicí jednotky. Jde hlavně o průměr a jakost přídavného materiálu a druh ochranného plynu. Tyto důležité parametry a i mnohé méně důležité jsou příkladně uvedeny v tabulce 2. Tabulka je vlastně obrazovka řídicí jednotky, pomocí které uživatel komunikuje se svářečkou a

podavařem drátu. Řídící jednotka bohužel nekomunikuje s uživatelem v českém jazyce. Překlad všech termínů je uveden v seznamu zkratk na začátku práce. [9]

Tabulka 2: Příklad parametrů řídicí jednotky procesu MIG/MAG [16]

		Start	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Unit
MAGm CrNi 1,0 MIX		4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	m/min
MIG Extern									
CRNI 2-S 1.0 mm									
Ar<9%CO2 G 00 T 01									
Process MIG/MAGm		SynchroWeld OFF							
User Expert	Start parameter	Window width 0.0 ±%							
Operation mode Extern	Ignition filter 2.00 s	Voltage 13.8 15.2 16.6 17.8 19.2 20.2 21.2 V							
CRNI 2-S	T-ign.pulse 5.0 ms	Correction -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 V							
Diameter 1.0 mm	I-ignition 400 A								
Ar<9%CO2	Wire in speed 5.0 m/min								
Gas pre flow 0.20 s	Program parameter								
Gas past flow 0.20 s	UpSlope 51.2 %								
Gas quantity 12.0 l/min	DownSlope 51.2 %								
Miscellaneous	EndParameter								
Mode Single wire	T-End pulse 2.0 ms								
Motor 1/2 Motor 1	Burn back 2.0 mm								
Lift Arc OFF	End crater (P7) 0								
Polwender OFF	End pulse current 370 A								
Program Slope OFF									
Master mode Master									
Arc release after ignition									
Gas flow Don't test									
Water pump OFF									
Measure interval 0.10 s									
Alarm time 2.00 s									
		Test AutoComp	ON	ON	ON	ON	ON	ON	
		On AutoComp limit	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	
		AutoComp limit	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	V
		AutoComp filter	1.00						s
		On lost arc	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	
		Arc filter	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	s
		Motor monitoring	ON	ON	ON	ON	ON	ON	
		Motor limit	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	A
		Motor filter	2.00						s

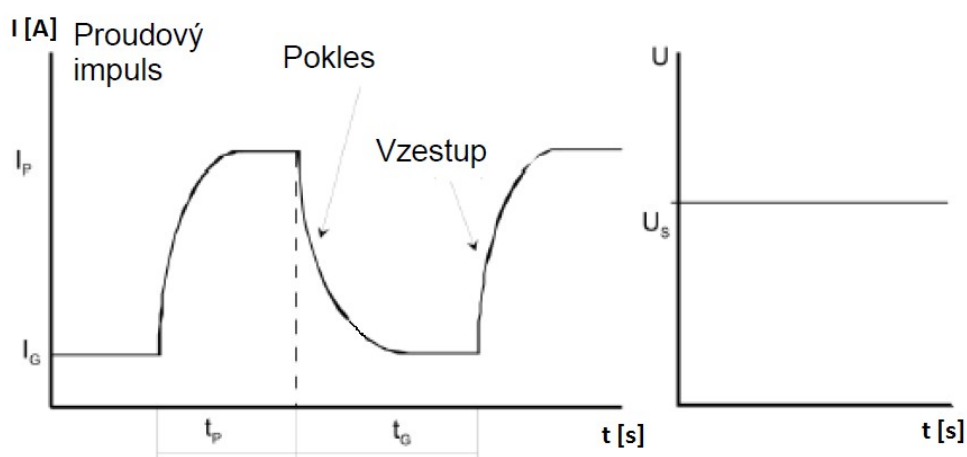
2.6.2 Proces I-PULS a KF-PULS

Procesy I-PULS a KF-PULS spadají do kategorie impulsních obloukových metod svařování. Impulsní oblouk pracuje s pulsujícím proudem, tedy hodnotu základního a impulsního proudu uživatel nastavuje. Při impulsním svařování nedochází ke zkratům, a proto je i rozstřík nepatrný. Předpokladem použití impulsních procesů je použití ochranného plynu s maximálním obsahem aktivní složky 12% CO₂, či O₂. [17]

- **I-PULS**

Nastavení procesu I-Puls nebývá zpravidla obtížné podobně jako proces MIG/MAG. Dle nastavené jakosti, průměru svařovacího drátu a ochranné

atmosféry se automaticky vyvolá vhodný synergický režim. Potom tedy dle rychlosti podávání drátu [m/min] se dopočítává napětí [V] a proud [A] automaticky. Jak základní, tak i impulsní proud [A] lze zpravidla upravovat. Dále lze upravit dobu impulsu [ms], ručně provést korekci napětí do kladných hodnot i do hodnot záporných [V] a nastavit pokles a vzestup intenzity proudu [%]. Co nelze nastavit uživatelem je čas základního proudu, ten je kalkulován automaticky dle synergického režimu. Graf proudového impulsu je znázorněn na obrázku 13. [17]



I_G – základní proud, I_P – impulsní proud,
 t_G – doba základního proudu, t_P – doba impulsu

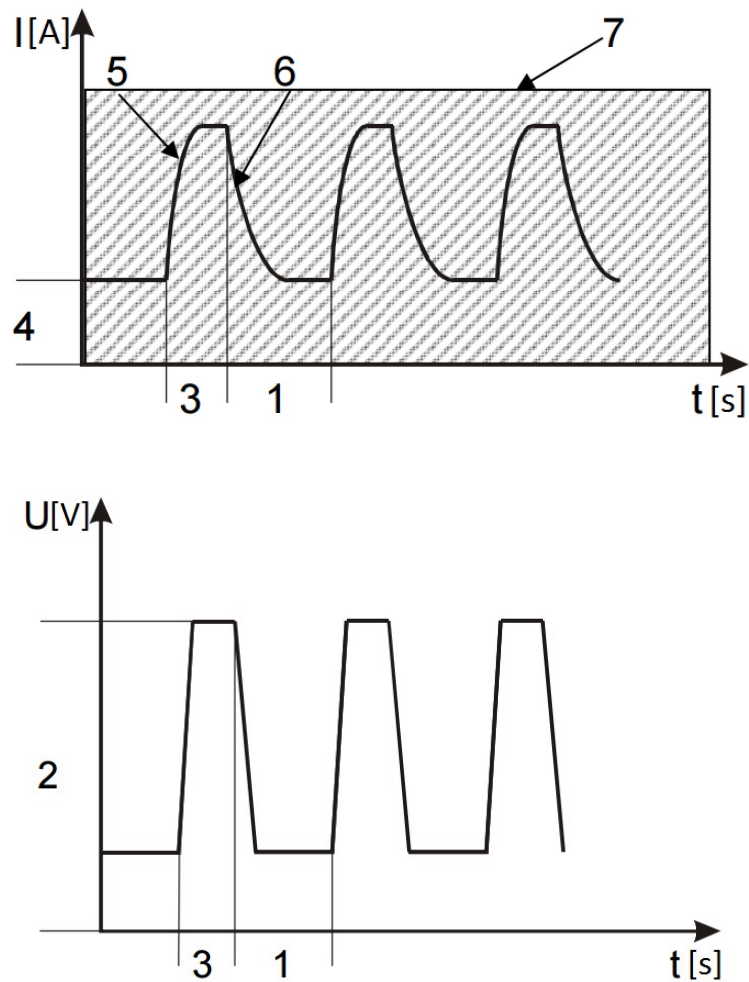
Obrázek 13: Graf procesu I-PULS [17]

Proces lze aplikovat při svařování nízko i vysoko legované oceli, hliníku, či bronzu. Dále je tento proces vhodný i pro pájení. K výhodám procesu patří, jak již bylo zmíněno, jednoduchost nastavení svařovacích parametrů a nízký rozstřík. Z nevýhod bych zmínil špatné přemostění mezer, výskyt zápalů na výsledných svarech při nevhodně vedeném hořáku, nemožnost svařovat v pozici PG. [17]

- **KF-PULS**

Jde o speciální impulsní proces svařování, který je tvořen přepínáním napěťového pulsu a základního proudu. I přesto, že je synergický režim aktivní,

lze spoustu parametrů svařování upravovat ručně. Jde hlavně o rychlost podávání drátu [m/min], základní proud [A], napětí impulsu [V], charakteristické pole výkonu svářecího zdroje [%], doba impulsu [ms], základní čas (proudová základna) [ms] a obecný parametr svařování pokles impulsu [%]. Graf impulsu KF je znázorněn na obrázku 14. [17]



1 – základní čas, 2 – pulsní napětí, 3 – doba impulsu, 4 - základní proud, 5 – rychlost vzestupu proudu, 6 – rychlost sestupu proudu, 7 – charakteristické pole

Obrázek 14: Graf procesu KF-PULS [17]

Výhoda procesu je možnost úpravy spousty parametrů, čímž se proces stává široce použitelným, zároveň ale zvyšuje nároky na obsluhu. Nastavení parametrů je obtížnější ve srovnání s procesy MIG/MAG a I-Puls. Proces je schopen lépe přemostovat mezery a redukovat rozstřík, zároveň je ale citlivý na změnu vzdálenosti mezi hořákem a svařovaným dílcem. Nelze zde využít funkci autokompensace napětí. Tímto procesem lze svařovat nízko i vysoko legované oceli, hliník a bronz. I tento proces je vhodný pro pájení. [17]

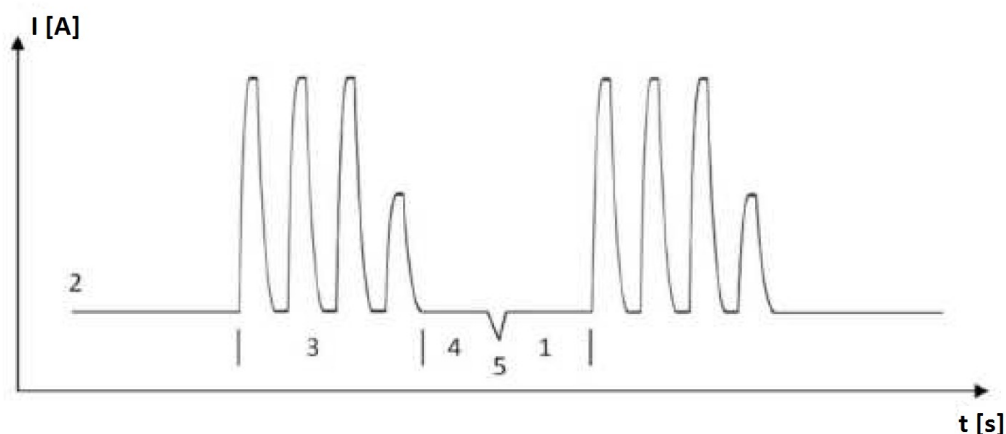
2.6.3 Proces microMIG a microMIG-cc

- **microMIG**

Proces microMIG je speciální impulsní proces. Předpokladem použití tohoto procesu je průmyslový robot osazený setem Frontpull, který obsahuje speciální podavač, jenž je součástí hořáku a je umístěn na poslední ose robota. Jde o složitější proces a obdobně jako u impulsní metody KF-PULS je nutno více parametrů upravit ručně. K hlavním parametrům patří rychlost podávání drátu [m/min], základní proud [A], napětí impulsu [V], charakteristické pole výkonu svařovacího zdroje [%], doba impulsu [ms], základní čas (proudová základna) [ms], zpětný pohyb drátu [-], a počet pulsů [-]. [10]

Princip procesu microMIG je následující. Řada napěťových impulsů (specifický počet) nepřímo určuje rychlost podávání drátu a tvoří svarovou lázeň, poslední impuls vytvoří pouze kapku na konci drátu. Přichází vysunutí elektrody s nízkým proudem až do dosažení kontaktu elektrody s komponentou a dochází k odložení kapky do svarové lázně. Při dosažení kontaktu se mění směr pohybu drátu a tím se drát na stanovenou dobu oddálí s nižším proudem. Po obnovení oblouku se opět mění směr pohybu drátu a po krátké době se spouští sekvence impulsů. [8]

K hlavním výhodám procesu microMIG patří bezrozstříkový proces a nízké vložené teplo do základního materiálu. Metoda je vhodná ke svařování hliníku, nízko a vysokolegované oceli a to hlavně tenkých plechů. [8,10]



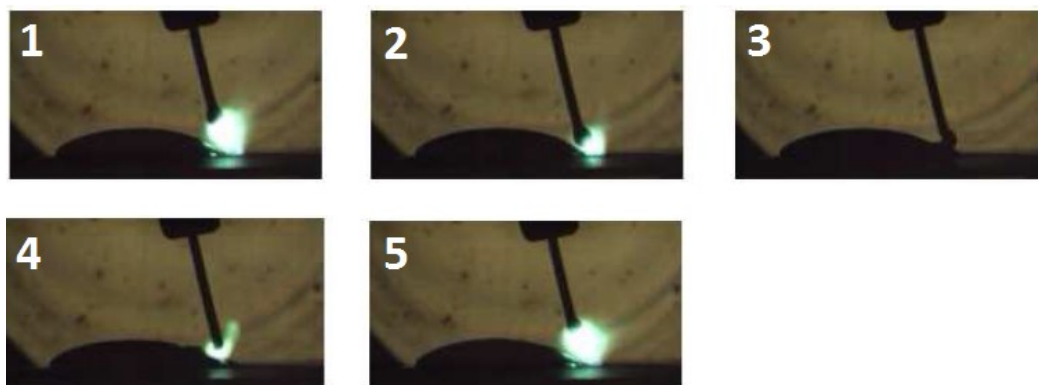
1 – doba čekání na impuls, 2 – základní proud, 3 – sekvence impulsů, 4 – čas oddalování, 5 – pokles základního proudu

Obrázek 15: Graf procesu microMIG [8]

- **microMIG-cc**

Proces microMIG-cc vychází z procesu microMIG, o kterém bylo pojednáno výše. U tohoto procesu se svarová housenka tvoří bez impulsů a to za pomoci mechanického pohybu drátu tam a zpět. Předpokladem použití tohoto procesu jsou stejné hardwarové požadavky jako pro microMig. K hlavním parametrům procesu patří rychlost podávání drátu [m/min], základní proud [A] a zpětný pohyb drátu [-]. Doba impulsu [ms] je vždy nula. [8]

Při procesu microMIG-cc oblouk hoří mezi podávaným přídavným drátem a svařovaným dílcem. Relativně vysoký základní proud způsobuje tavení elektrody a vytvoření kapky. Tato kapka je při pokračujícím přísouvání drátu přenesena do svarové lázně. Oblouk zhasne, zatímco svařovací proud zůstává stále konstantní. Následně se směr pohybu drátu změní, drát se oddaluje a kapka se přenáší do svarové lázně následkem mechanického působení. Zkrat se přerušuje a oblouk se znovu zapaluje. Po dosažení správné vzdálenosti drátu od svařence, dojde opět ke změně pohybu a drát se začne přísouvat vpřed. Takto se celý proces se opakuje. Obrázek 16 znázorňuje proces microMig-cc v grafické formě. [8]



Obrázek 16: Princip procesu microMIG-cc [8]

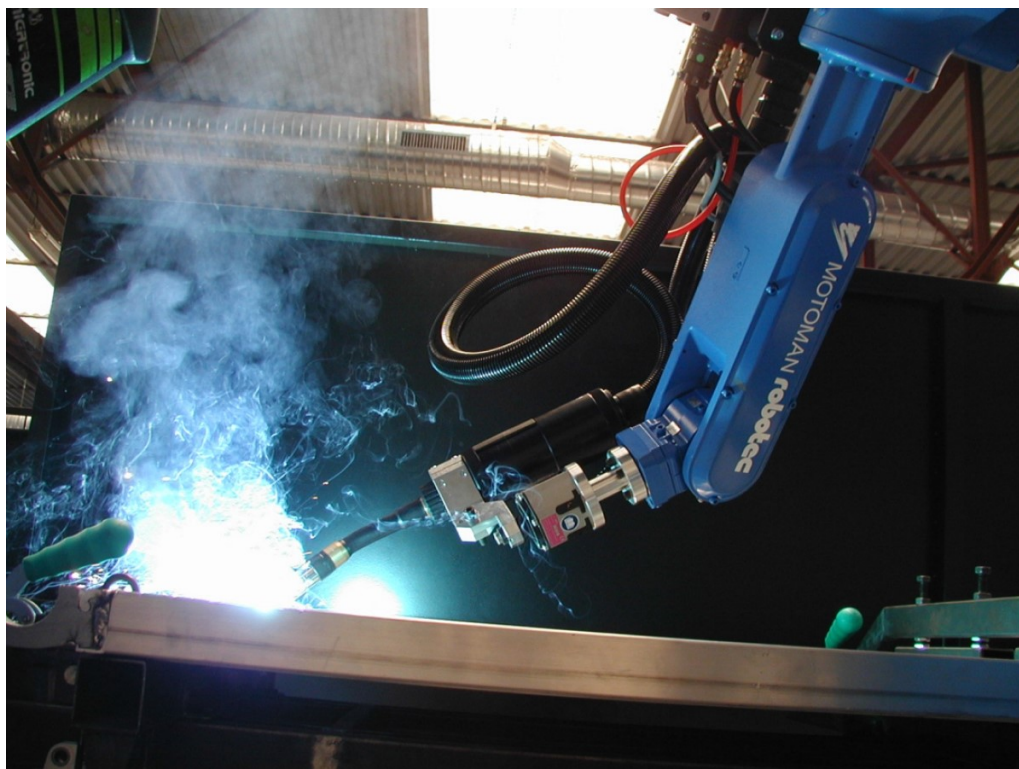
Hlavní výhodou tohoto procesu je velmi omezený rozstřík při svařování, či pájení a možnost regulace vneseného tepla do základního materiálu. Regulace se provádí hlavně nastavením základního proudu, rychlost podávání drátu potom určuje rychlost tavení. Další výhodou je jednoduchost nastavení parametrů. [8, 10]

2.7 Robotizace a automatizace v obloukovém svařování

Robotizace a automatizace svařování je v dnešní době velmi populární a to hned z několika hledisek. Hlavní výhody spočívají ve vysoké produktivitě výroby, jakosti provedených svarů a bezpečnosti práce pro člověka. Ve srovnání s ručním svařováním je robot schopen pracovat s vyšší postupovou rychlostí (až o 30%). Robot projede vždy svoji naprogramovanou dráhu s vysokou přesností a právě to napomáhá k vyšší jakosti svarů a dobré opakovatelnosti. Toto má velký význam např. při svařování dílců pro automobilový průmysl, nábytkářský průmysl, pro stavební stroje a zařízení. [11]

Robotizované svařování má však i své úskalí. Hned při návrhu robotického pracoviště bývá problémem správná volba modelu robotizovaného pracoviště. Je potřeba dobře zvážit potřebné investice oproti počtu vyráběných kusů, životnosti projektu a potřebného cyklového času na výrobu jednoho kusu. Jeden z dalších problémů bývá opakovatelná přesnost přípravy komponentů pro svařování. Je potřeba si uvědomit, že robot „nevidí“, zkrátka jen opakuje svůj pohyb svařovacím

hořákem vždy stejně, tak jak byl naprogramován. Programování probíhá většinou metodou „Teach-in“ tedy programování robota přímo na pracovišti na prvním upnutém kusu. Operátor pak upne do přípravku druhý kus, a pokud je rozměrová přesnost komponentů nevyhovující, robot provede svar v jiných podmínkách a mohou vzniknout vady svaru. Proto je potřeba dopředu zjistit, zda rozměrová přesnost daných komponentů je vůbec vyhovující pro robotické svařování. [11]



Obrázek 17: Robotizace svařování metodou MAG v praxi [11]

Průmyslové roboty se dělí podle jejich použití na univerzální, svařovací, manipulační, lakovací a speciální. Roboty univerzální a svařovací jsou nejrozšířenější a obecně nejpoužívanější. Standardně se používá šestiosé provedení, které pro většinu aplikací dostačuje. Nosnost průmyslových svařovacích robotů se pohybuje v rozmezí 3 – 6 kg. Dále je lze dělit dle dosahu na malé kolem 1 400 mm a velké kolem 1 900 mm. [12]

Novinkou v oblasti vývoje průmyslových robotů pro obloukové svařování je například integrace přívodní kabeláže svařovacího hořáku do horního ramene robota.

První robot na světě s touto novinkou byl představen v roce 2007. Výhodou je, že je kabelový svazek méně namáhán a nezabírá místo kolem příruby robota. Tím prakticky zanikla pravděpodobnost kolize mezi kabelem a přípravkem či svařencem, navíc je možné otáčet svařovacím hořákem kolem své osy o více než 360°. V roce 2008 byl představen společností Motoman robot sedmiosý. Výhodou tohoto řešení je zvýšení dosahu robota při svařování členitých svařenců. Robot dostal schopnost dostat se “za roh” a zároveň vzrostla jeho rychlost. [14]



Robot HP20D - klasický univerzální 6-osý robot s vedením kabeláže svařovacího hořáku vně horního ramene robota.

Robot MA1440 - svařovací 6-osý robot s vedením kabeláže svařovacího hořáku uvnitř horního ramene robota.

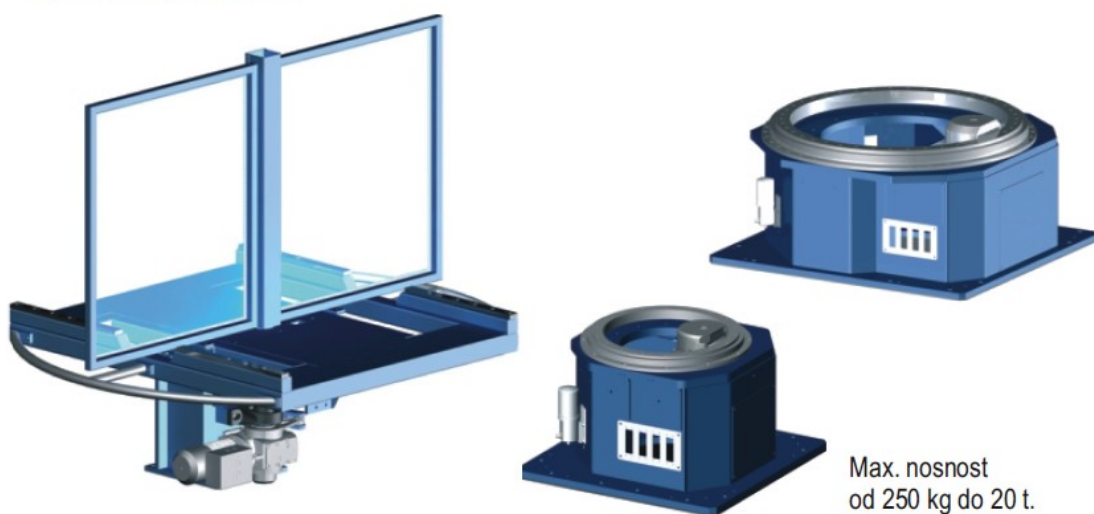
Robot VA1400 - novinka. Tento robot má 7 os, kabeláž svařovacího hořáku je rovněž vedená horním ramenem robota.

Obrázek 18: Přehled konstrukcí průmyslových robotů Motoman [11]

2.7.1 Polohovadla

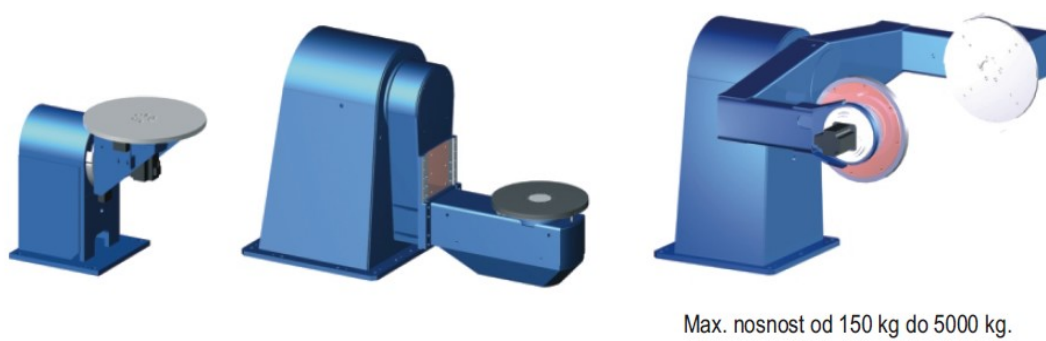
Polohovadla jsou v dnešní době hojně používána právě ve spojení s průmyslovými roboty. Jejich úkol je polohovat svarek do nejvýhodnějších poloh při svařování. Nejčastější jsou polohovadla z pevného rámu, na kterém je kotvena pracovní část polohovadla, která je vytvořena rotačními polohovacími osami doplněnými posuvnými mechanismy v nejrůznější vzájemné kombinaci. Příklady polohovadel jsou znázorněny na obrázcích 19 a 20. [13]

OTOČNÉ STOLY



Obrázek 19: Polohovadla k robotickým pracovištím – otočné stoly [11]

DVOUOSÁ POLOHOVADLA



Obrázek 20: Polohovadla k robotickým pracovištím – dvouosá polohovadla [11]

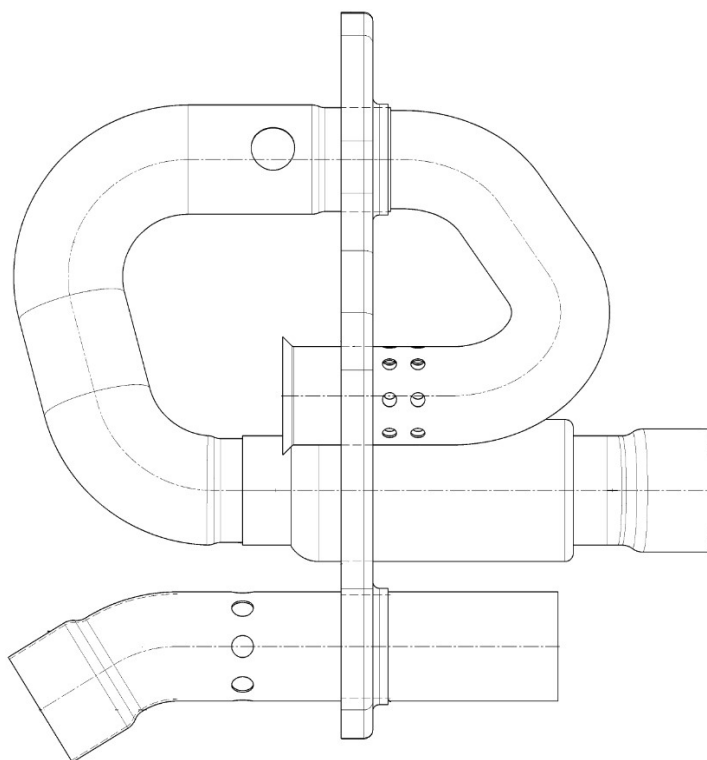
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Úvod a cíl experimentální části

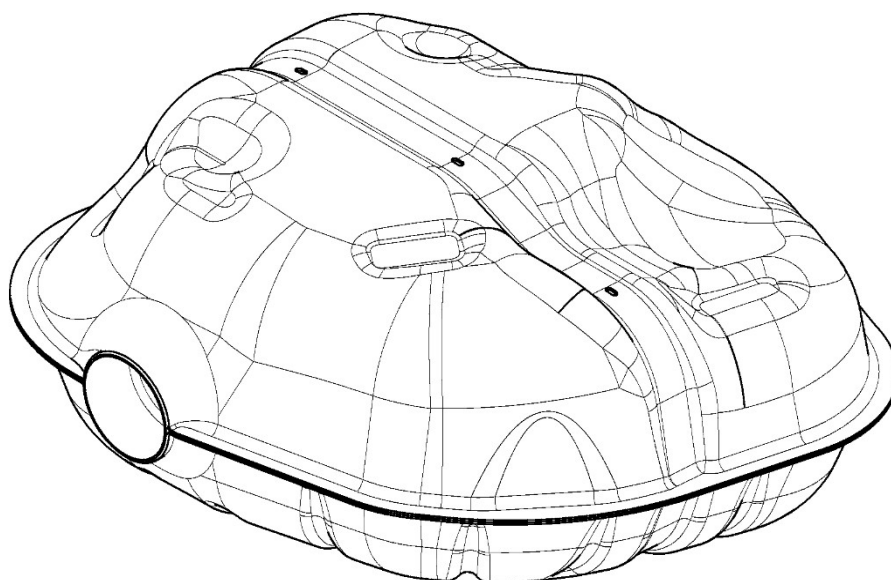
Cílem práce bylo stanovit vhodný proces svařování výrobku na daném zařízení a za daných podmínek. Experiment probíhal ve společnosti Faurecia exhaust systems s.r.o. na robotickém pracovišti tlumičů. Experimentální část práce se zabývá zhotovením kontrolních svarů metodou MAG avšak různými procesy, které byly následně porovnány. Experimentem byly ověřeny jak některé informace již známé z části teoretické, tak zjištěny informace nové s ohledem na konkrétní aplikaci.

Na základě rozboru v teoretické části a dlouhodobých zkušeností byly k experimentu vybrány procesy MIG/MAG, KF-PULS a microMIG-cc. Proces MIG/MAG byl vybrán z toho důvodu, že jde klasický proces se zkratovým přenosem kovu, který nevyžaduje žádné speciální hardwarové nároky na svařovací zařízení a je jednoduchý na nastavení. Proces KF-PULS pak proto, že jde o impulsní svařování, kde lze svarový spoj poměrně hodně ovlivnit spoustou parametrů, které lze upravovat. Pro speciální proces microMIG-cc jsem se rozhodl, jelikož nastavení procesu svařování je poměrně nenáročné a protože jedno z kritérií u výběru procesu půjde hlavně o omezení rozstříku, je tento proces zajímavý.

K experimentu byl vybrán jeden zástupce výrobků, který bude reprezentovat i ostatní stávající a budoucí výrobky tohoto typu. Výrobek se nazývá „vnitřní díl“, viz obrázek 21. Jde o část tlumiče, která se dále zpracovává. Celek tvoří tlumič výfukové soustavy, viz obrázek 22. Je to vlastně soubor ohýbaných, formovaných, perforovaných, řezaných trubek a lisovaných přepážek, které jsou vzájemně spojeny v jeden celek, technologií svařování MAG. Mezi komponenty vznikají různé typy spojů. Nejčastěji to je však svar koutový přeplátovaný (jednovrstvý, či vícevrstvý), nebo svar děrový.



Obrázek 21: Svařovaný polotovár „vnitřní díl“ [18]



Obrázek 22: Výsledný produkt „tlumič výfukové soustavy“ [18]

3.1 Zařízení, na kterém byl proveden experiment

K realizaci experimentu byl použit průmyslový šestiosý robot značky Yaskawa Motoman s řízením XRC z roku 2000, který byl osazen svařovacím setem Frontpull 7 od společnosti SKS Welding systems viz obrázek 23. Jak již bylo pojednáno v teoretické části, tento set umožňuje všechny již podrobně popsané procesy z kapitoly 2.6.



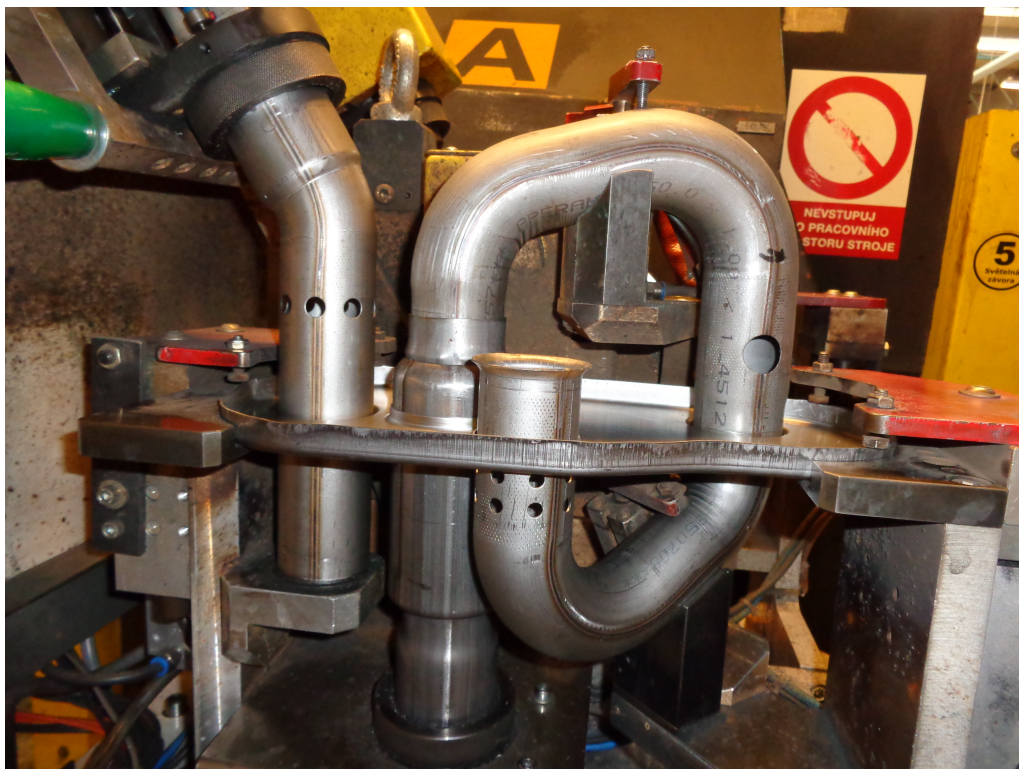
Obrázek 23: Průmyslový šestiosý robot Motoman

Průmyslový robot je usazen ve svařovací buňce společně s otočným dvouosým stolem nosností 250kg, na kterém je umístěn svařovací přípravek. Hlavní výhodou otočného stolu při výrobě je, že během doby svařování robota obsluha vykládá svařený dílec a následně zakládá komponenty pro další cyklus. Zároveň je potřeba aby to stihla do dokončení cyklu svařování, tak aby robot zbytečně nečekal a neztrácela se kapacita stroje. Cyklový čas na jeden kus je potom dán jedním otočením stolu a dobou svařování (pohyby robota a stolu). Externí osa s dvěma rotačními osami dovoluje polohování přípravku s dílcem do výhodných poloh pro svařování. Dále je v buňce umístěna čistící

stanice, která každý desátý cyklus čistí plynovou trysku (hubici) od ulpělého rozstříku a tím zabezpečuje nerušené proudění ochranného plynu ke svarové lázni během procesu svařování. Pravidelnou výměnu kontaktní špičky (průvlaku) zabezpečuje obsluha, robot si ji však vyvolává po osmdesáti svařených kusech světelným signálem.

Výrobní celek tvoří buňka oplocena pevnými zábranami. Přední část je zabezpečena bezpečnostními prvky společnosti SICK, jako jsou světelné bariéry a scannery. K bezpečnosti také patří potvrzovací tlačítka, zamykání servisních dveří a odsávání. Měření skutečných parametrů procesu svařování probíhalo na připojeném PC k řídicí jednotce svářečky pomocí softwaru Q8Tool4 2.9.9.9.

Důležitou část soustavy tvoří svařovací přípravek. Svařovací přípravek slouží k přesnému ustavování a upínání komponentů, které se mají svařovat. Dostatečná síla upnutí, opakovatelnost, přesnost, respektování referenčních bodů dílu, odolnost proti rozstříku, dostatečný přístup hořáku k místům kde se bude svařovat, to jsou všechno důležité vlastnosti svařovacího přípravku. Svařovací přípravek také musí zabezpečovat snadné založení komponentů a snadné vyložení dílce po zavaření a rychlou změnu verze. Tyto požadavky však není vždy jednoduché splnit na sto procent. Omezení vždy přináší samotná konstrukce dílu a v některých případech i samotný stroj.

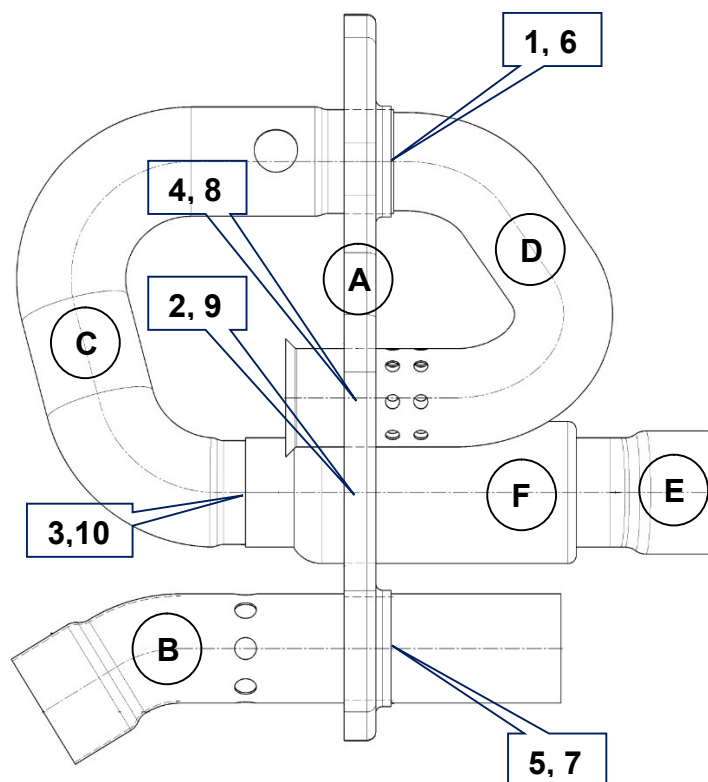


Obrázek 24: Svařovací přípravek

Svařovací přípravek pro díl, na kterém se prováděl experiment, je zobrazen na obrázku 24. Přesné ustavení komponentů na svařovacím přípravku zabezpečují prizmata a dorazy na přepážku a na trubky. Upnutí přepážek a trubek je zabezpečeno pneumatickými válci. Ty jsou však naplněny vzduchem až na povel obsluhy při stlačení tlačítka a to ve chvíli, kdy není nikdo přítomen v nebezpečném prostoru stroje a nehrozí tedy úraz.

3.2 Základní materiál, který byl použit při experimentu

Na obrázku 25 je zobrazen díl, na kterém byl proveden experiment. Všechna místa styku komponentů, kde se svařovalo, byla určena výkresem a na všech místech vznikl přeplátovaný koutový svar. Komponenty A až F, ze kterých se skládá vnitřní díl, jsou vyrobeny tvářením za studena z korozi-vzdorné feritické oceli jakosti 1.4512 (X2CrTi12) dle EN 10088-2:2005 tloušťky 1mm. [18]



A – F ... označení komponentů

1 – 10 ... označení míst svarů

Obrázek 25: Označení svařovaných komponentů [18]

Materiál jakosti 1.4512 patří do skupiny feritických korozivzdorných ocelí, které jsou stabilizovány titanem. Všechny feritické oceli mají v TOO tendenci k růstu zrna, je tedy vhodné při svařování redukovat množství vneseného tepla. To lze ovlivnit správnou volbou procesu svařování. Korozivzdorná ocel jakosti 1.4512 (spolu s 1.4509, 1.4510, 1.4511, 1.4520, 1.4521, 1.4589) disponuje velmi dobrou odolností proti mezikrystalové korozi. Svařování probíhá bez předehřevu a to z důvodu, že v TOO vzniká čistě feritická struktura a nehrozí přeměna zbytkového austenitu na martenzit. U feritických ocelí se obecně doporučuje používat při svařování austenitické přídavné materiály. [20]

Korozní odolnost korozivzdorné oceli jakosti 1.4512 je omezena jen na atmosferické podmínky, nebo na prostředí s nižší vlhkostí a to z důvodu nízkého obsahu

chromu (10,5-12,5%Cr). Chemické složení, ale i mechanické a fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 3. [20]

Tabulka 3: Materiálový list feritické korozivzdorné oceli 1.4512 [19]

1.4512 feritická korozivzdorná ocel X2CrTi12						
Chemické složení [hm. %]						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
max 0,03	max 1,00	max 1,00	max 0,04	max 0,015	max 10,5-12,5	max 6x(C+N)
Normy DIN						
DIN EN 10088-2:2005						
Mechanické vlastnosti 20°C						
Tvrdość HB $30 \leq \text{HB}$				180		
Mez kluzu $R_e 0,2$ [MPa]				220		
Mez pevnosti R_m [MPa]				390-560		
Modul pružnosti [GPa]				220		
Fyzikální vlastnosti 20°C						
Hustota ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]				7 700		
Měrné teplo C_p [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]				460		
Tepelná vodivost λ_t [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]				25		
Rezistivita [$\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$]				0,6		

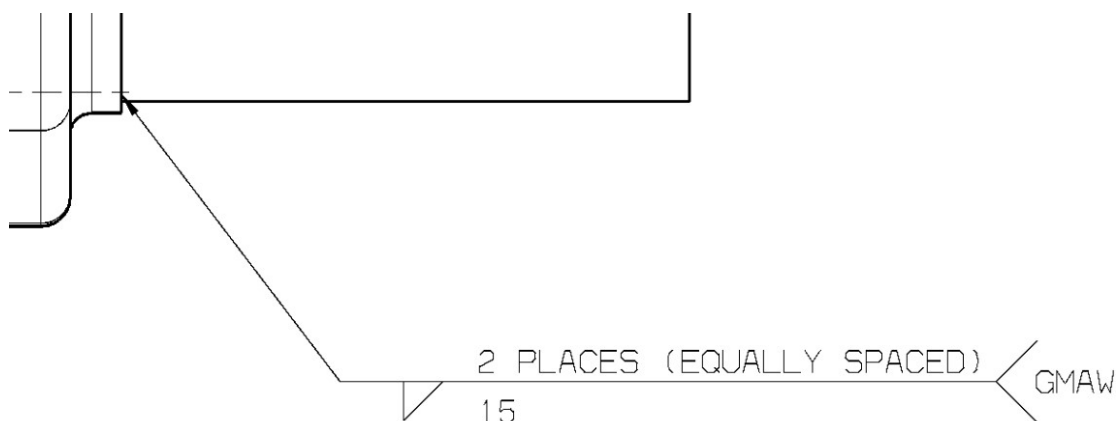
Korozivzdorná feritická ocel jakosti 1.4512 nachází využití v automobilovém průmyslu při výrobě výfukových systémů a to při výrobě trubek, tlumičů, katalizátorů a svodového potrubí, nebo i v jiných konstrukcích, které pracují v prostředí se zvýšenou teplotou. [19, 20]

Na díle, který byl použit pro experiment, bylo potřeba vyhotovit v každém místě spoje dvě svarové housenky metodou MAG umístěné proti sobě, minimální délky 15mm. Celkově tak na každém dílu vzniklo 10 svarových housenek. V místě svaru 1 a 6, vznikl koutový svar vícevrstvý přeplátovaný, viz obrázek 26.



Obrázek 26: Místo 1 a 6 - koutový svar vícevrstvý přeplátovaný [18]

V místech 2,3,4,5,7,8,9,10 vznikl koutový svar jednovrstvý přeplátovaný, viz obrázek 27.



Obrázek 27: Místo 2,3,4,5,7,8,9,10 – koutový svar jednovrstvý přeplátovaný [18]

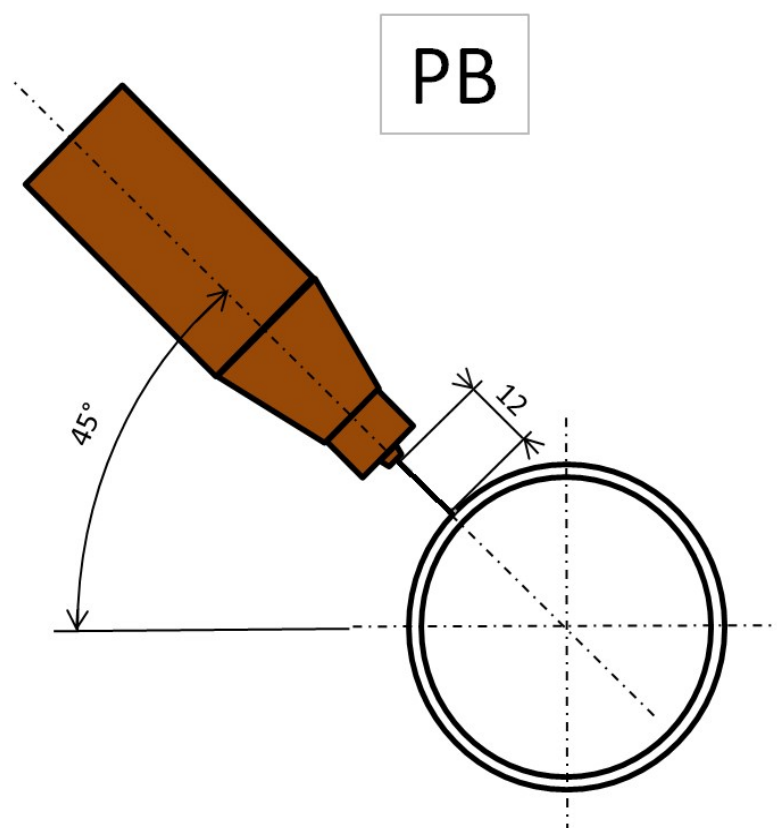
3.3 Průběh experimentu - svařování vzorků

Před svařováním zkušebních dílů byly procesy předem odzkoušeny. Než mohlo proběhnout svařování vzorků, bylo potřeba na několika kusech materiálu jednotlivé procesy odladit. Poté byly zavařeny a svařeny celkem 3 kusy vnitřních dílů, z nichž na každém bylo 10 svarů. V následujících kapitolách jsou uvedeny nastavené parametry svařování a skutečně naměřené parametry k jednotlivým procesům pro vybrané svary číslo 1 a 5. Svar číslo 1 je zástupce skupiny koutového svaru vícevrstvého

přeplátovaného a svar číslo 5 zástupce koutového svaru jednovrstvého přeplátovaného. V tabulce 4 jsou uvedeny obecné parametry svařování pro všechny procesy.

Tabulka 4: Obecné parametry svařování

Použitá ochranná atmosféra	98%Ar + 2%CO ₂
Množství ochranné atmosféry	12 l.min ⁻¹
Svařovaný materiál	Trubky + přepážka tl.1,2mm, 1.4512
Přídavný materiál	ESAB OK Autrod 19.95 φ1,0mm, 1.4370
Postupová rychlost	1 m.min ⁻¹ = 16,66mm.s ⁻¹ (vyjímka - microMIG svar 1 a 6 0,8 m.min ⁻¹ = 13,32mm.s ⁻¹)
Vzdálenost průvlaku ke svařenci	12mm



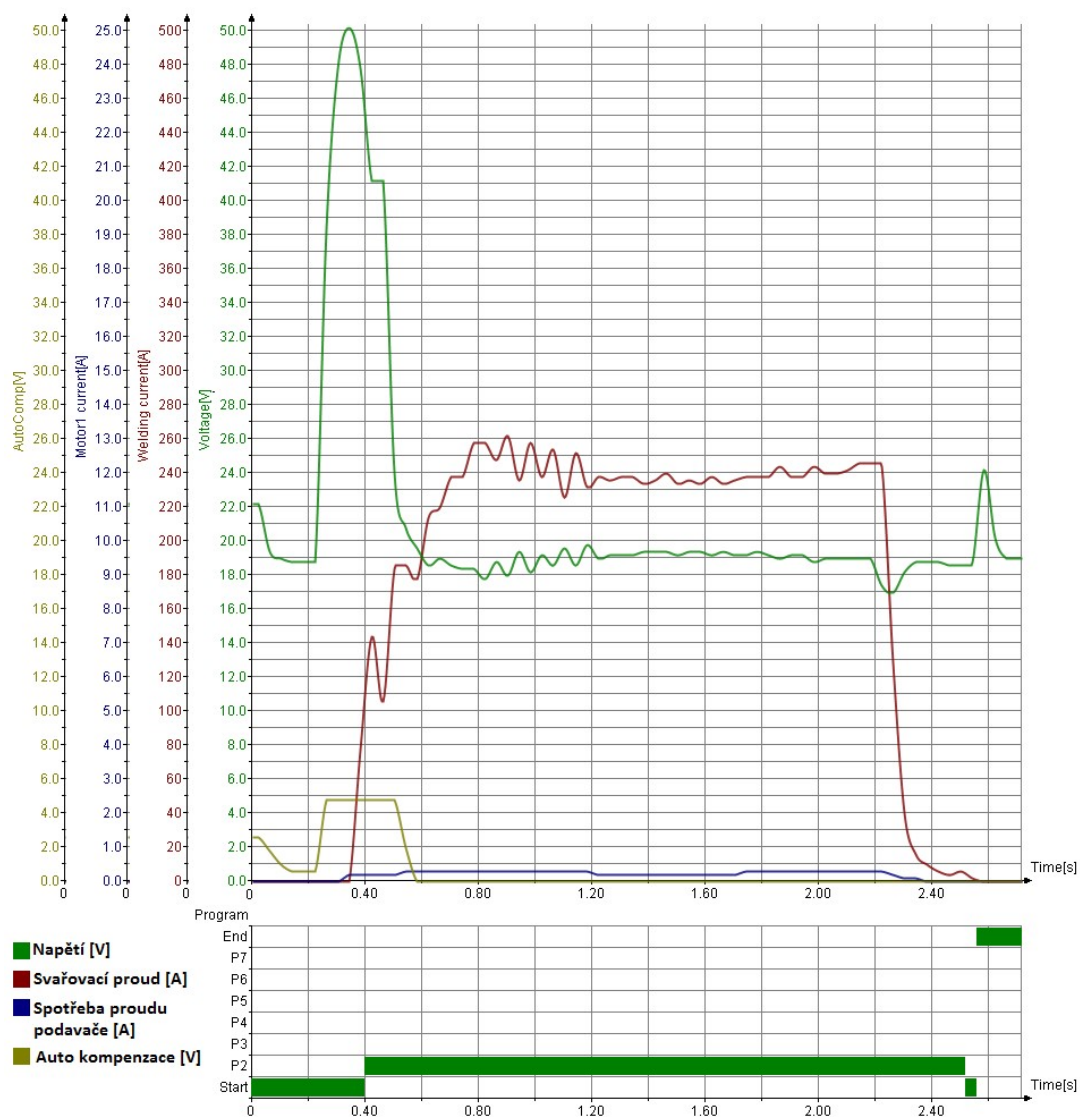
Obrázek 28: Sklon hořáku vůči svařenci

3.3.1 Svařování vzorků procesem MIG/MAG

Nastavené parametry procesu MIG/MAG jsou uvedeny v tabulce 5. Nejprve bylo potřeba zadat do řídicí jednotky základní informace (průměr drátu 1mm, jakost drátu CRNI 2-S, druh ochranné atmosféry Ar < 9% CO₂ a množství 12 l/min včetně předfuku 0,2s a dofuku 0,3s). Z těchto informací řídicí jednotka přednastavila vhodné parametry, které bylo potřeba dále před svařením vzorků doladit na náš konkrétní dílec. Proces pracuje v synergickém režimu, proto stačilo pouze upravit rychlost podávání drátu [m/min]. Napětí [V] a proud [A] se doplnil automaticky. Dále byla provedena korekce napětí [V] do záporných hodnot, tím byl docílen chladnější oblouk (vhodné pro tenkostěnné materiály). V modrém rámečku je zvýrazněn program P2, který byl použit pro svařování svarů 1 a 6, v zeleném pak program P3, který byl použit pro svařování všech zbylých svarů, tedy svarů 2,3,4,5,7,8,9,10. Pod každým z grafů je časová osa s vyznačenou oblastí programu, který byl použit v daném časovém okamžiku.

Tabulka 5: Tabulka nastavených parametrů procesu MIG/MAG [16]

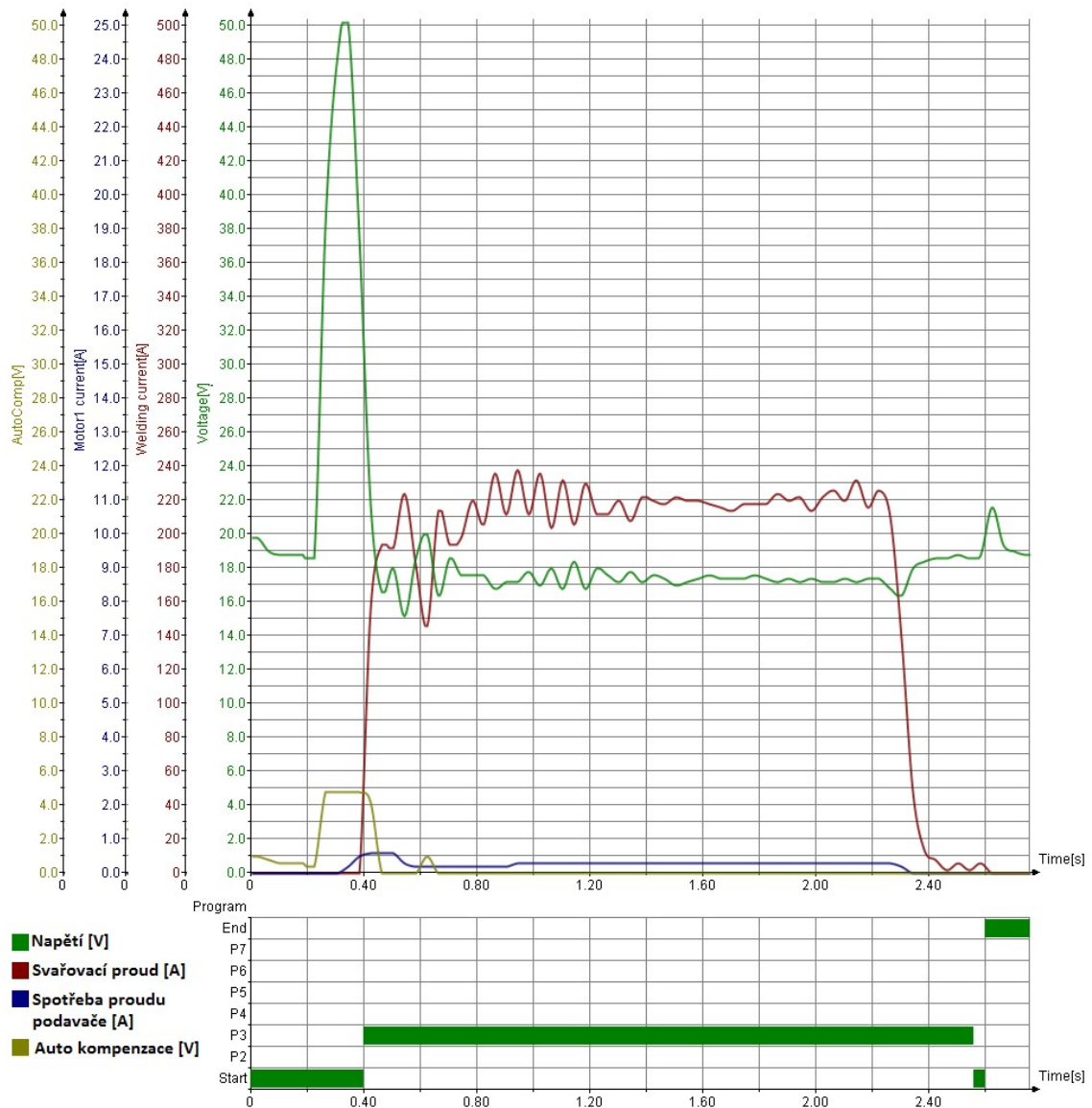
		Start	P2	P3	P4	P5	OFF	END	Unit
MIG/MAGm Extern		7.0	11.0	8.7					
CRNI 2-S 1.0 mm									
Ar<9%CO2 G 00 T 15									
Process	MIG/MAGm								
User	Expert								
Operation mode	Extern								
CRNI 2-S									
Diameter	1.0 mm								
Ar<9%CO2									
Gas pre flow	0.20 s								
Gas past flow	0.30 s								
Gas quantity	12.0 l/min								
Miscellaneous									
Mode	Single wire								
Motor 1/2	Motor 1								
Lift Arc	OFF								
Polwender	OFF								
Program Slope	OFF								
Master mode	Master								
Arc release	after ignition								
Gas flow	Don't test								
Water pump	OFF								
Measure interval	0.04 s								
Alarm time	2.00 s								
Start parameter									
Ignition filter	2.00 s								
T-Ign.pulse	3.0 ms								
I-Ignition	252 A								
Wire in speed	2.0 m/min								
Program parameter									
UpSlope	4.0 %								
DownSlope	4.0 %								
EndParameter									
T-End pulse	2.2 ms								
Burn back	3.2 mm								
End crater (P7)	2								
End pulse current	300 A								
Wire feed 1		7.0	11.0	8.7				6.0	m/min
SynchroWeld	OFF								
Window width					0.0				±%
Voltage		18.2	20.4	18.8				15.8	V
Correction		-0.6	-2.8	-2.2				-1.8	V
Welding current		146	184	164				136	A
Char. (Manual)		5.00	5.00	5.00				5.00	V/100A
Release		ON	ON	ON				ON	
Program duration		0.2						0.4	s
Test AutoComp		OFF	ON					OFF	
On AutoComp limit			STOP						
AutoComp limit			2.0						V
AutoComp filter					1.00				s
On lost arc		STOP	STOP	STOP				STOP	
Arc filter		1.50	1.00	1.00				1.50	s
Motor monitoring			ON	ON				ON	
Motor limit			3.0	3.0				3.0	A
Motor filter					2.00				s



Obrázek 29: Grafický záznam parametrů MIG/MAG, svar č. 1, program P2 [16]



Obrázek 30: Proces MIG/MAG, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný



Obrázek 31: Grafický záznam parametrů MIG/MAG, svar č. 5, program P3 [16]



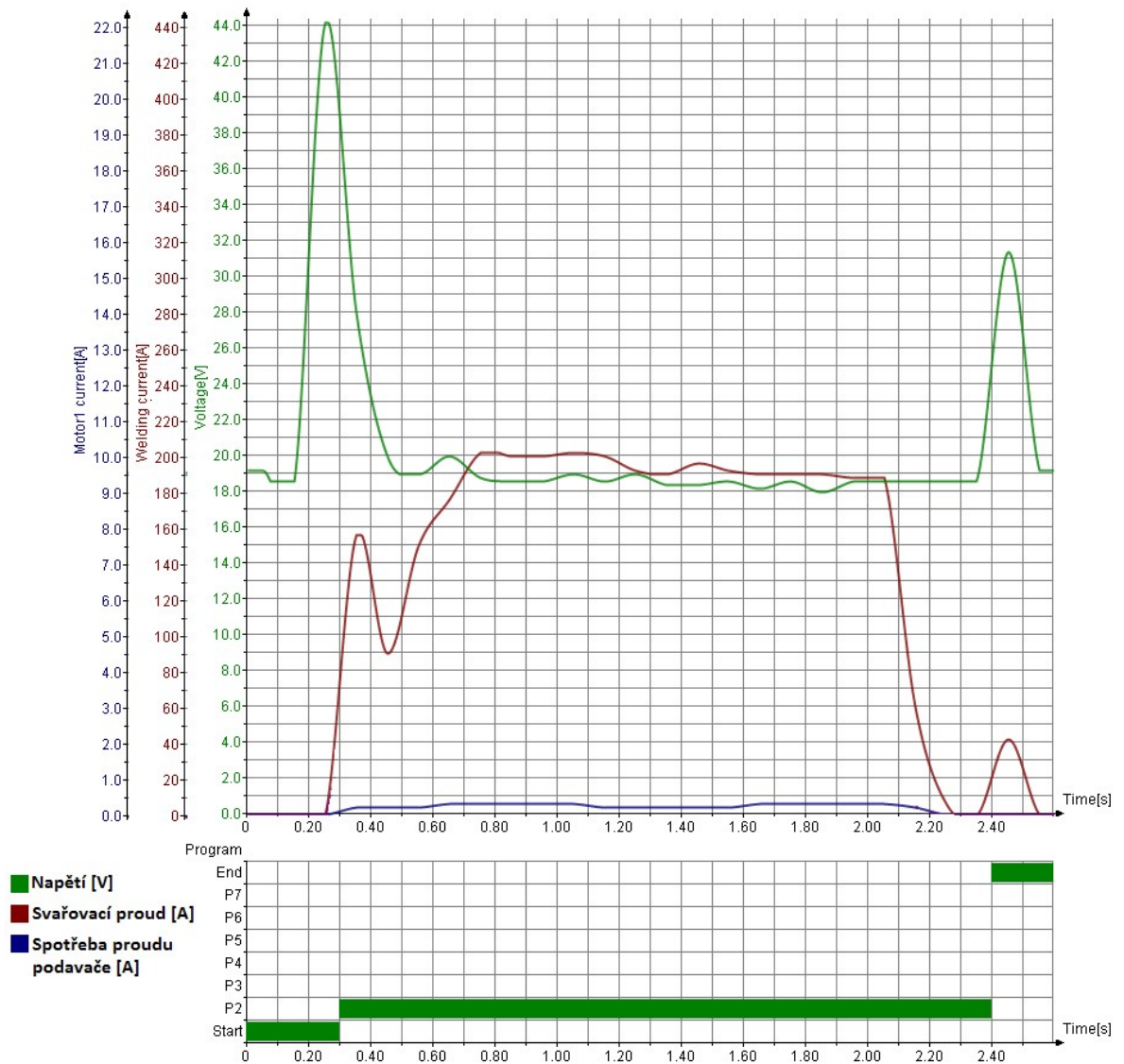
Obrázek 32: Proces MIG/MAG, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný

3.3.2 Svařování vzorků procesem KF-PULS

Nastavené parametry procesu KF-PULS jsou uvedeny v tabulce 6. Podobně jako u předchozího procesu bylo potřeba zadat do řídicí jednotky základní informace (průměr drátu 1mm, jakost drátu KU03 1.0, druh ochranné atmosféry Ar < 9% CO₂ a množství 12 l/min včetně předfuku 0,2s a dofuku 0,2s). Z těchto informací řídicí jednotka přednastavila vhodné parametry, které bylo potřeba dál doladit na několika zkušebních svarech. Šlo hlavně o rychlost podávání drátu [m/min], základní proud [A], dobu impulsu [ms], základní čas (proudová základna) [ms] a obecný parametr svařování pokles impulsu (sestup intenzity proudu) [%]. V modrém rámečku je zvýrazněn program P2, který byl použit pro svařování svarů 1 a 6, v zeleném pak program P3, který byl použit pro svařování všech zbylých svarů, tedy svarů 2,3,4,5,7,8,9,10.

Tabulka 6: Tabulka nastavených parametrů procesu KF-PULS [16]

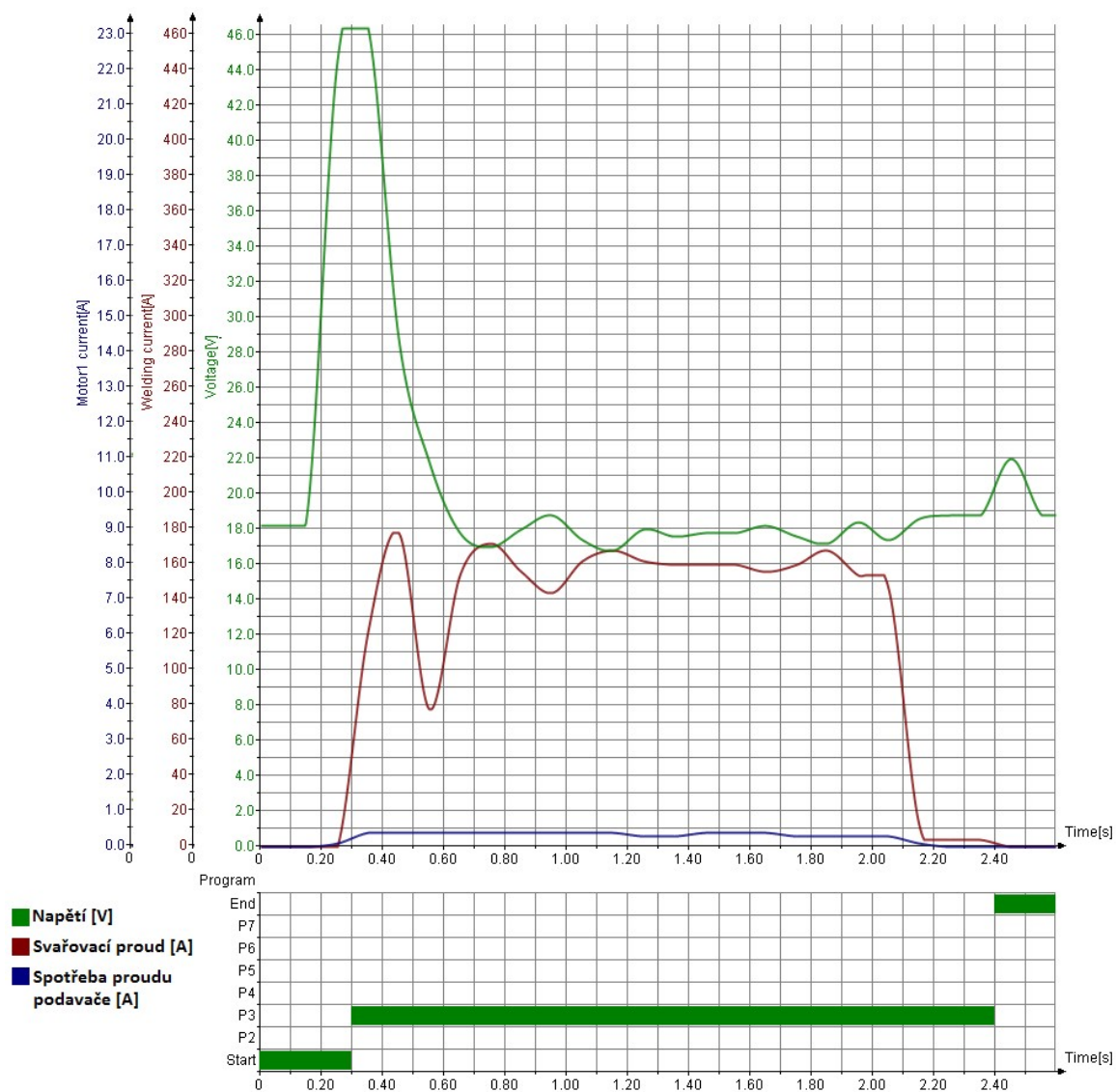
MIG/MAGm Extern		Start parameter		Start	P2	P3	OFF				Unit
FE 2-S 0.9 mm		Ignition filter	2.00 s	Wire feed 1	5.0	9.0	7.0				m/min
Ar>9%CO2 G 00 T 31		T-Ign.pulse	3.0 ms								
Process	KF-Puls	I-Ignition	300 A	SynchroWeld	OFF						
User	Expert	Wire in speed	5.0 m/min	Window width				0.0			±%
Operation mode	Extern	Program parameter		Pulse voltage	31.0	31.0	31.0				V
KU03 1.0		KF Dynamics	0	Field charact.	74.0	74.0	74.0				%
Diameter	1.0 mm	DownSlope	40.0 %	Base current	20	58	32				A
Ar>9%CO2				Correction	0	-10	-16				A
Gas pre flow	0.20 s			Pulse time	2.0	2.0	2.0				ms
Gas past flow	0.20 s			Base current time	8.4	3.8	5.4				ms
Gas quantity	12.0 l/min			Correction	0.0	0.0	0.0				ms
Miscellaneous				Pulse frequency	96.2	172.4	135.1				Hz
Mode	Single wire	EndParameter		Release	ON	ON	ON				
Motor 1/2	Motor 1	Burn back	2.0 mm	Program duration	0.2						s
Lift Arc	OFF	End crater (P7)	0								
Polwender	OFF			On lost arc	STOP	STOP	STOP				
Program Slope	OFF			Arc filter	0.50	0.50	0.50				s
Master mode	Master			Motor monitoring		ON	ON				
Arc release	after ignition			Motor limit		3.0	3.0				A
Gas flow	Don't test			Motor filter				2.00			s
Water pump	OFF										
Measure interval	0.10 s										
Alarm time	2.00 s										



Obrázek 33: Grafický záznam parametrů KF-PULS, svar č. 1, program P2 [16]



Obrázek 34: Proces KF-PULS, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný



Obrázek 35: Grafický záznam parametrů KF-PULS, svar č. 5, program P3 [16]



Obrázek 36: Proces KF-PULS, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný

3.3.3 Svařování vzorků procesem microMIG-cc

Nastavené parametry procesu microMIG-cc jsou uvedeny v tabulce 7. Stejně jako u předchozích dvou procesů, i zde bylo potřeba zadat do řídicí jednotky základní informace (průměr drátu 1mm, jakost drátu KU03 1.0, druh ochranné atmosféry Ar < 9% CO₂ a množství 12 l/min včetně předfuku 0,5s a dofuku 0,5s). Z těchto informací řídicí jednotka přednastavila vhodné parametry, které bylo potřeba dále doladit na několika svarech. I tento proces pracuje v synergickém režimu, proto bylo potřeba upravit pouze rychlost podávání drátu [m/min], provést korekci základního proudu [A] a zpětný tah drátu. Doba pulsu musí být vždy nula. Pokud bychom tam zadali jakoukoli hodnotu vyšší než nula, šlo by o pulsní proces microMig. V modrém rámečku je zvýrazněn program P2, který byl použit pro svařování svarů 1 a 6, v zeleném pak program P4, který byl použit pro svařování všech zbylých svarů, tedy svarů 2,3,4,5,7,8,9,10.

Tabulka 7: Tabulka nastavených parametrů procesu microMIG-cc [16]

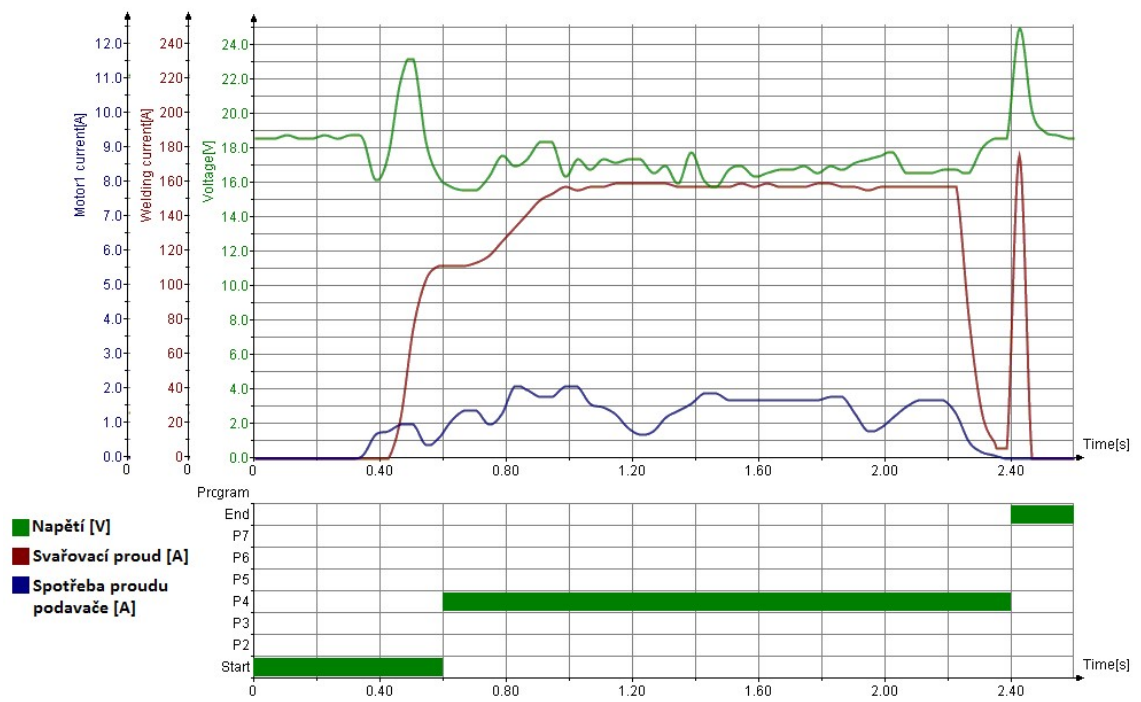
		Start	P2	P3	P4	P5	OFF	Unit
microMIG Extern		12.0	21.0		19.0			m/min
KU03 1.0 1.0 mm								
Ar<9%CO2 G 00 T 22								
Process	microMIG							
User	Expert							
Operation mode	Extern							
KU03 1.0								
Diameter	1.0 mm							
Ar<9%CO2								
Gas pre flow	0.50 s							
Gas post flow	0.50 s							
Gas quantity	12.0 l/min							
Miscellaneous								
Motor 1/2	Motor 1							
Polwender	OFF							
Master mode	Master							
Arc release	after ignition							
Gas flow	Don't test							
Water pump	OFF							
Measure interval	0.04 s							
Alarm time	2.00 s							
Start parameter								
Ignition filter	2.00 s							
T-ign.pulse	14.0 ms							
I-ignition	40 A							
Wire in speed	2.0 m/min							
Program parameter								
Characteristic	manual							
DownSlope	10.0 %							
Hold off time	15 ms							
SKS base current	40 A							
EndParameter								
Burn back	0.4 mm							
End crater (P7)	0							
Window width	0.0							±%
Pulse series								
Reverse	3 4 3							
Pulse voltage								V
Field charact.								%
Base current	114 172 160							A
Correction	20 20 18							A
Pulse time	0.0 0.0 0.0							ms
Base current time								ms
Correction								ms
Pulse frequency								Hz
Release	ON ON ON							
Program duration	0.2							s
On lost arc	STOP STOP STOP							
Arc filter	1.50 1.50 1.50							s
Motor monitoring	ON ON							
Motor limit	3.0 3.0							A
Motor filter	2.00							s



Obrázek 37: Grafický záznam parametrů microMIG, svar č. 1, program P2 [16]



Obrázek 38: Proces microMIG-cc, svar č. 1 koutový vícevrstvý přeplátovaný



Obrázek 39: Grafický záznam parametrů microMIG, svar č. 5, program P4 [16]



Obrázek 40: Proces microMIG-cc, svar č. 5 koutový jednovrstvý přeplátovaný

Popis grafů:

Zelená křivka zobrazuje průběh efektivních hodnot naměřeného napětí při jednotlivých procesech. U všech procesů lze pozorovat, jak se napětí prudce zvýší při zapálení. Největší zvýšení, až o 30V je vidět u procesů MIG/MAG a KF-PULS. Naopak nízké je u procesu microMIG-cc.

Červenou křivkou je znázorněn průběh efektivních hodnot svařovacího proudu, který kolísal u procesu MIG/MAG a KF-PULS. Naopak při procesu microMIG-cc je téměř konstantní, viz obrázek 37 a 39.

Modrá křivka je určena pro průběh spotřebovávaného proudu motoru podavače drátu. U procesu microMIG-cc lze z obrázků 37 a 39 pozorovat vyšší odběr proudu podavače drátu. V některých místech je odběr až na hodnotě 2A. Je to dáno neustálou změnou směru pohybu drátu vpřed a vzad. Normální odběr, při procesech kde se tato schopnost neuplatňuje (MIG/MAG a KF-PULS), je odběr kolem 0,4A.

Žlutá křivka je autokompensace napětí. Tato funkce je dostupná při svařování procesem MIG/MAG. Její funkce je vyrovnávat napětí při situacích kdy se přibližuje, či oddaluje svařovací hořák od svařence. Tato funkce se dá uživatelem vypnout. V grafu je k vidění na obrázku 29 a 31, kde se tato funkce aktivovala pouze při zapalování.

Naměřené hodnoty svařovacího napětí a proudu nám posloužili jako vstupní data pro výpočet vneseného tepla. Výpočet je zobrazen v následující kapitole. Uvedené grafické výstupy jsou vhodné spíše pro dílenské potřeby při aplikacích, kde je například potřeba sledovat minimální a maximální hodnoty napětí či proudu, hodnoty odběru motoru podavače drátu, či dobu svařování.

3.4 Výpočet vneseného tepla

Aby bylo možné procesy porovnat i z hlediska vneseného tepla do svařovaného materiálu, bylo potřeba vnesené teplo vypočítat. Průměrné naměřené hodnoty svařovacího proudu I a svařovacího napětí U pro každý proces, uvedené v grafických záznamech v předchozí kapitole, byly použity jako vstupní data pro výpočet. V tabulce 8 jsou uvedeny jak parametry naměřené během svařování vzorků na robotu (hodnoty stanoveny odhadem z grafů), tak i vypočítané vnesené teplo pro každý proces.

Tabulka 8: Přehled naměřených parametrů a vypočítaného vneseného tepla

Proces \ Parametry	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Postupová rychlost [m/min]	Vypočítané vnesené teplo Q [kJ.mm ⁻¹]
Svar číslo 1, koutový vícevrstvý přepřátovaný				
MIG/MAG	240	19	1	0,219
KF-PULS	195	19	1	0,178
microMIG-cc	170	18	0,8	0,184
Svar číslo 5, koutový jednovrstvý přepřátovaný				
MIG/MAG	220	17,5	1	0,185
KF-PULS	160	17,5	1	0,134
microMIG-cc	158	17	1	0,129

Vnesené teplo do svaru bylo vypočítáno dle vztahu (1)

$$Q = \eta \cdot \frac{60 \cdot U \cdot I}{1 \cdot 10^6 \cdot v_s} \quad (1)$$

- kde:
- Q [kJ.mm⁻¹] - vnesené teplo,
 - η [-] - účinnost přenosu tepla (MAG $\eta=0,8$),
 - I [A] - svařovací proud,
 - U [V] - svařovací napětí,
 - v_s [m.s⁻¹] - postupová rychlost svařování

3.5 Hodnocení kvality svarů

Jako první zkouška jakosti provedených svarů proběhla nedestruktivní zkouška zvaná vizuální kontrola. Vizuální kontrolou byla vyloučena celá řada defektů, jejichž přítomnost by další pokračování zkoušky znemožnila. Svary byly bez zápalů, bez viditelných pórů na povrchu housenek, nevykazovaly nevyhovující přechodový úhel, nepravidelnosti výšek a šířek, špatnou pozici svaru. Vizuální kontrolou se také posuzuje rozstřík ulpěný na okolním materiálu. Pro posouzení geometrie svaru byla provedena destruktivní zkouška makrostruktury. Makrostrukturní zkouška proběhla v laboratoři závodu Faurecia Bakov nad Jizerou. V následujících podkapitolách byl popsán postup celé zkoušky včetně vyhodnocení jakosti svarových spojů dle daných kritérií, které udává interní norma společnosti EED-S-PSE-0002. Tato norma byla vytvořena na základě normy ISO 5817 Svarové spoje oceli, niklu, titanu, a jejich slitiny zhotovené tavným svařováním – Určování stupňů kvality, ISO 6520-1 Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad a kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování a také různých zákaznických norem.

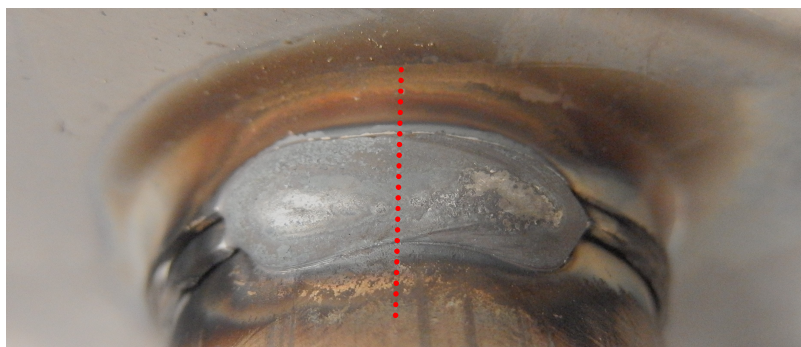
3.5.1 Přehled použitého zařízení

- Úhlová bruska BOSCH 115
- Laboratorní pila STRUERS Discotom-6
- Lis pro zapouzdřování vzorků STRUERS CitoPress-20
- Leštička STRUERS LaboForce-50
- Optický mikroskop LEICA Z16 APO
- Software LEICA IM50 4.0

3.5.2 Postup přípravy vzorků

Z každého svařence byly vyřezány úhlovou bruskou BOSCH 115 sledované svary z předchozí kapitoly číslo 1 a 5 viz obrázek 26, které byly zároveň jednoznačně označeny. Bylo získáno tedy šest vzorků, které byly dále zpracovávány.

Nyní bylo potřeba jednotlivé svary rozbrousit tak, aby nám vnikl příčný řez. Dle interní normy EED-S-PSE-0002 dostačuje jeden příčný řez uprostřed pro délku svarů do 40mm, což byl náš případ. Na obrázku 41 je znázorněn příčný řez svarem.



Obrázek 41: Příčný řez svarem

K rozbroušení jednotlivých svarů byla použita laboratorní pila STRUERS Discotom-6 obrázek 42. Při rozbroušování byla přiváděna chladicí emulze přímo do místa řezu k zabránění tepelného ovlivnění vzorků. Výsledný řez vykazuje rovný a jemný povrch řezu, který je důležitý pro další operace.



Obrázek 42: Laboratorní pila STRUERS Discotom-6

Následně se rozbroušené vzorky zalévaly do termosetu technologií zalévání za tepla pomocí zařízení STRUERS CitoPress-20, viz obrázek 43 vlevo. Tento lis je

schopen zalévání dvou vzorků současně přibližně za sedm minut. Avšak doba zalévání závisí zejména na nastavených parametrech.



Obrázek 43: Lis CitoPress-20 (vlevo) a leštička LaboForce-50 (vpravo)

Pro broušení bylo k dispozici zařízení STRUERS LaboForce-50, které obsahuje hlavu pro broušení až čtyřech vzorků současně, viz obrázek 43 vpravo. Broušení probíhalo v několika krocích. Nejprve bylo zapotřebí použít hrubší brusnou folii SiC Foil #220, která odstranila větší nerovnosti. Až poté bylo možné použít jemnější zrnitosti SiC Foil #500 a SiC Foil #1000. Před samotným broušením se nastavuje přítlak leštící hlavy pro každý vzorek zvlášť a také otáčky. Během procesu broušení byla přiváděna voda mezi brusnou folii a broušené vzorky.

Následoval proces leštění. Leštění probíhalo na stejném zařízení jako broušení. S tím že se namísto brusných folií použila textilní podložka, na kterou se přiváděla leštící diamantová emulze se zrnitostí 3μ .

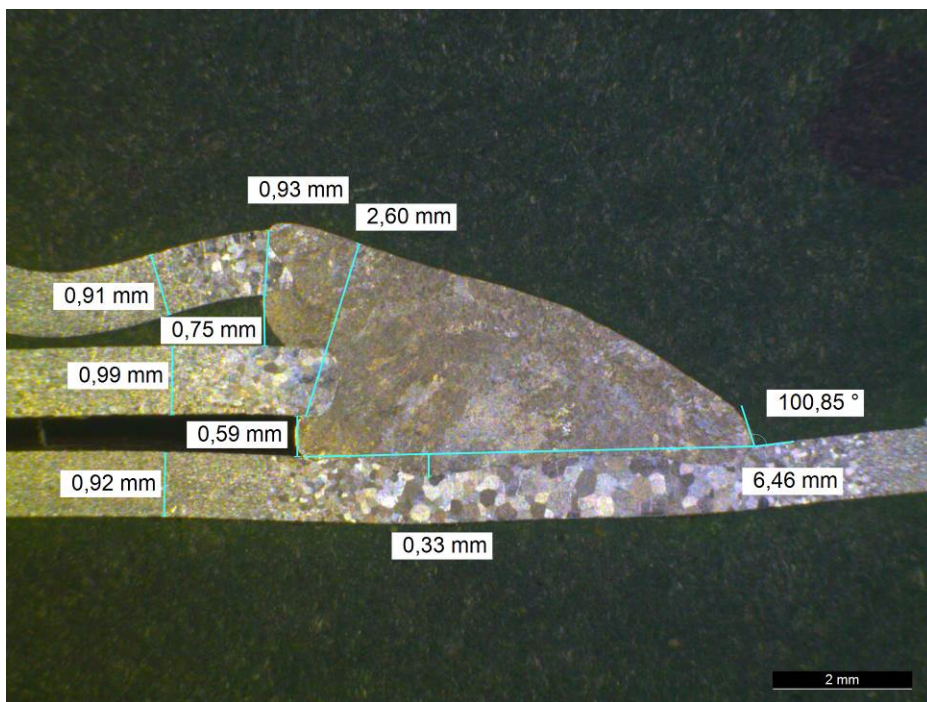
V dalším kroku přípravy vzorků bylo potřeba vyleštěné vzorky naleptat vhodným chemickým roztokem. Ke zvýraznění struktury byl použit chemický roztok kyseliny chlorovodíkové a chloridu železitého, která nese obchodní název ADLER. Leptání proběhlo v odsávané digestoři nanesením slabé vrstvičky leptadla na několik sekund. Následný oplach technickým lihem a vysušení stlačeným vzduchem zabezpečil čistotu vzorků pro následný proces.

3.5.3 Vyhodnocení svarových spojů

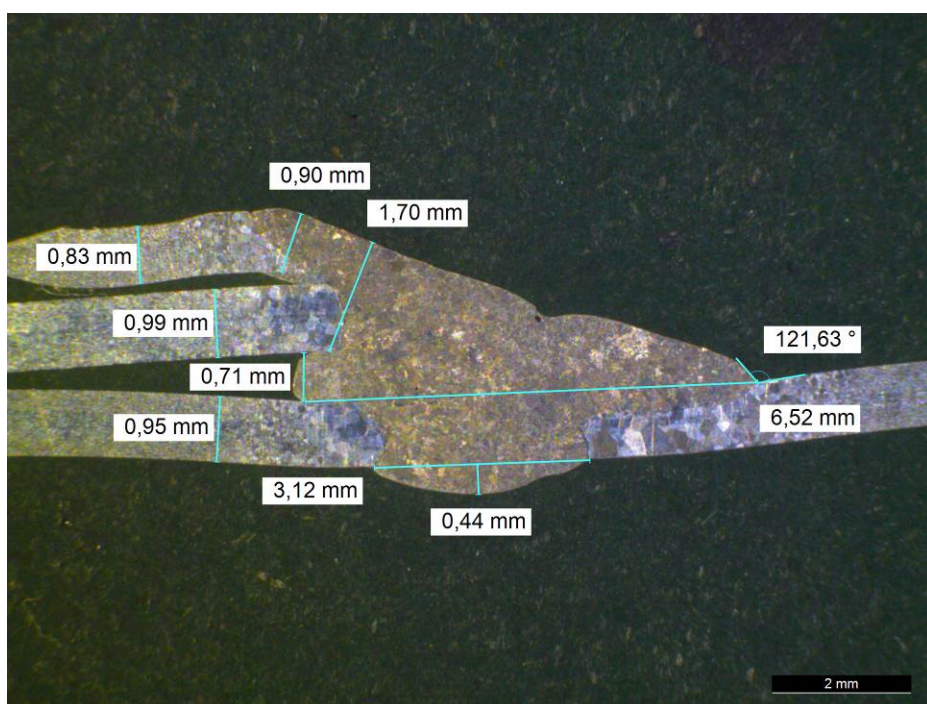
K makroskopickému vyhodnocení byl k dispozici mikroskop LIECA Z16 APO, který byl vybaven kamerou pro snímání obrazu. Obraz mohl být tedy přímo pozorován na obrazovce. Každý vzorek byl vyfotografován při desetinásobném zvětšení. Potom bylo provedeno měření pořízených snímků pomocí softwaru LEICA IM50 4.0. Bylo provedeno měření jak tloušťek svařovaných materiálů, tak důležitých rozměrů, které udává interní norma EED-S-PSE-0002, viz výtažek z normy v tabulce 9. Jednotlivé snímky s naměřenými hodnotami jsou zobrazeny na obrázcích 44 až 49 s tím, že na prvních třech snímcích je zachycen svar číslo 1, tedy svar koutový vícevrstvý přepřátovaný zavařením procesy MIG/MAG, KF-PULS a microMIG-cc. Na druhých třech snímcích svar číslo 5, tedy svar koutový jednovrstvý přepřátovaný svařený stejnými procesy.

Tabulka 9: Kritéria jakosti svarových spojů - interní norma EED-S-PSE-0002 [21]

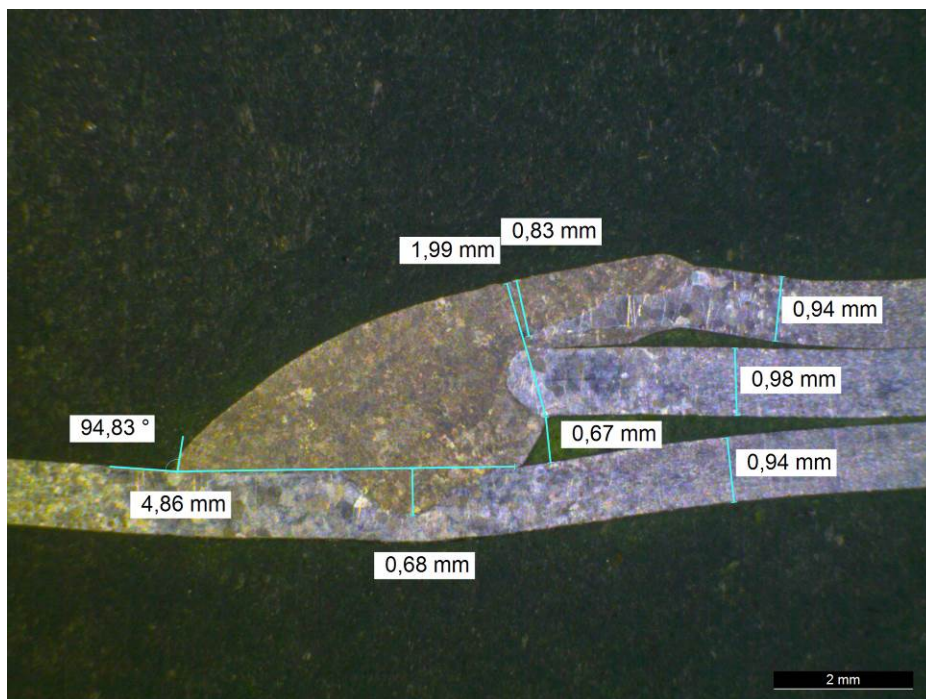
Geometrie svaru	Požadavky
<p>koutový svar přepřátovaný Platí pro $\alpha \leq 30^\circ$</p> <p>konkávní svar (převýšený) konvexní svar (prolákly)</p> <p>svar více vrstev materiálu</p>	<ul style="list-style-type: none"> • hloubka závaru $f_1 \geq 0.2\text{mm}$ • 100% natavení hrany • délka závaru $f_L \geq t_{\min}$ • výška svaru $s_n \geq 0.7 \times t_{\min}$ • Nepřípustné vady viz Příloha I



Obrázek 44: Proces MIG/MAG, svar č.1



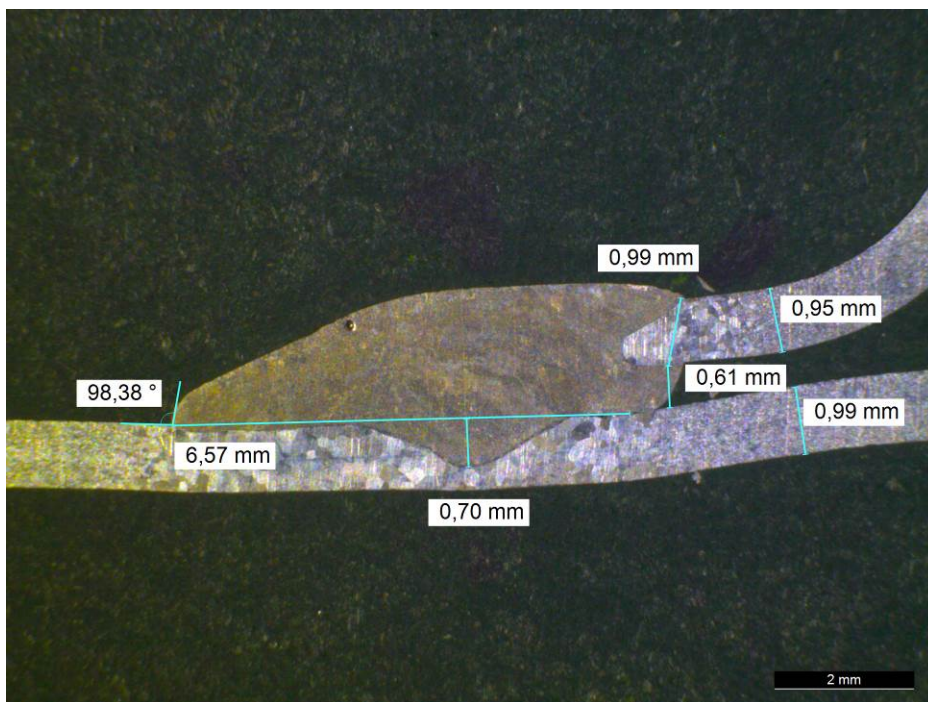
Obrázek 45: Proces KF-PULS, svar č.1



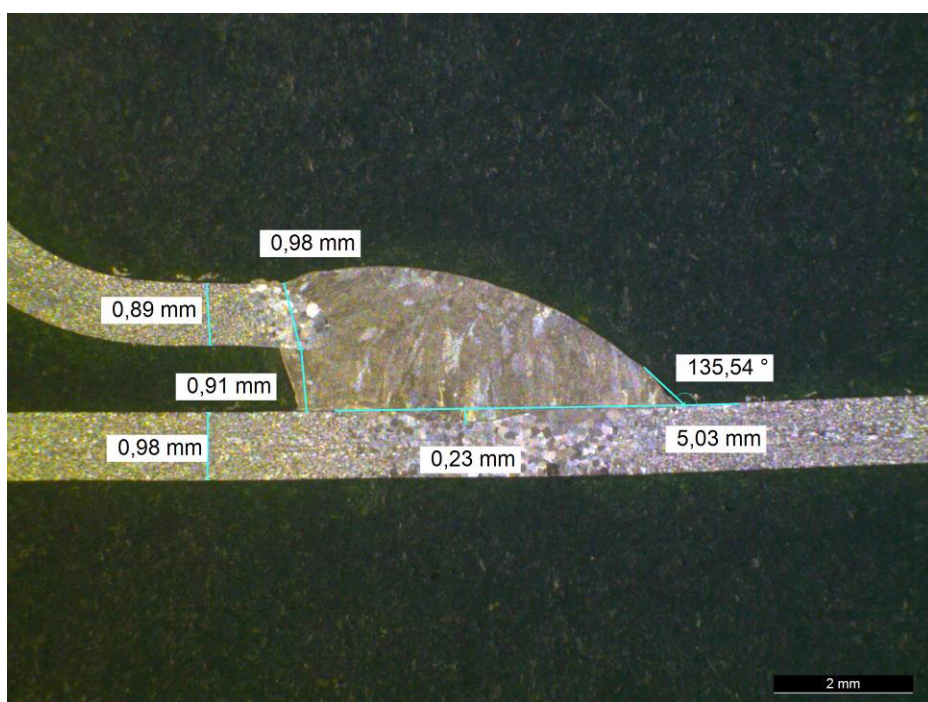
Obrázek 46: Proces microMIG-cc, svar č.1

Tabulka 10: Přehled naměřených hodnot pro svar č. 1

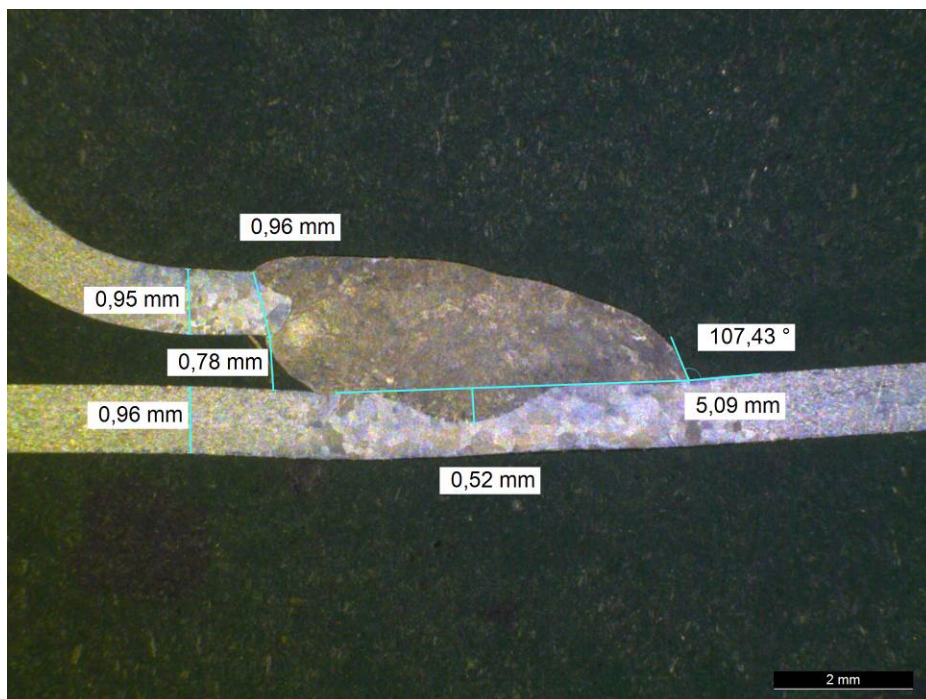
Přehled naměřených hodnot pro svar číslo 1			
	MIG/MAG	KF-PULS	microMIG-cc
hloubka závaru $f_l \geq 0,2\text{mm}$ [mm]	0,33	1,39	0,68
100% natavení hrany [%]	100	100	100
délka závaru $f_L \geq 1\text{mm}$ [mm]	6,46	6,52	4,86
výška svaru $S_n \geq 0,7 \times 1\text{mm}$ [mm]	2,6	1,7	1,99
Výsledné hodnocení	OK	OK	OK



Obrázek 47: Proces MIG/MAG, svar č. 5



Obrázek 48: Proces KF-PULS, svar č. 5



Obrázek 49: Proces microMIG-cc, svar č. 5

Tabulka 11: Přehled naměřených hodnot pro svar číslo 5

Přehled naměřených hodnot pro svar číslo 5			
	MIG/MAG	KF-PULS	microMIG-cc
hloubka závaru $f_l \geq 0,2\text{mm}$ [mm]	0,70	0,23	0,52
100% natavení hrany [%]	100	100	100
délka závaru $f_L \geq 1\text{mm}$ [mm]	6,57	5,03	5,09
výška svaru $S_n \geq 0,7 \times 1\text{mm}$ [mm]	0,99	0,98	0,96
Výsledné hodnocení	OK	OK	OK

3.6 Vyhodnocení experimentu a kritéria pro výběr vhodného procesu

Jeden z procesů, který byl vybrán pro porovnání, byl microMIG-cc. Z důvodu výběru tohoto procesu bylo potřeba, aby vybraný stroj pro experiment obsahoval speciální svářecí set „Frontpull“, který je dražší a složitější na řízení oproti setu „Powerclutch“, či „Powerjoint“. Pro proces MIG/MAG a KF-PULS by nebyl potřeba. První kritérium pro výběr vhodného procesu je tedy požadavek na speciální vybavení. Hodnocení kritérií je uvedeno v tabulce 12. Hodnocení probíhá od 1 (nejlepší) do 5 (nejhorší).

Před samotným zhotovením vzorků na vybraném svařenci bylo potřeba jednotlivé parametry procesů odladit tak, aby vzniklé svary nevykazovaly žádné zásadní vizuální vady (například propálený plech), kvůli kterým by nemělo význam v experimentu pokračovat. Nejsnadněji se nastavovaly procesy MIG/MAG a microMIG-cc. Nejdůležitější parametr, který je pro oba procesy společný, je rychlost podávání drátu [m/min], ze kterého řídicí jednotka vypočítala velikost svařovacího proudu [A] a napětí [V]. Zbylé dva parametry se liší dle procesu. U procesu KF-PULS i přes synergický režim bylo potřeba spoustu parametrů upravovat ručně, což nebylo příliš komfortní. Dalším kritériem byla tedy zvolena jednoduchost nastavení parametrů.

Třetí kritériem je postupová rychlost při svařování. Postupová rychlost je jeden z nejdůležitějších parametrů. V seriové výrobě potom zásadně ovlivňuje čas cyklu stroje na výrobu jednoho kusu. Při svařování vzorků procesy MIG/MAG a KF-PULS nebyl problém dosáhnout postupové rychlosti 1 m/min, oproti tomu při svařování procesem microMIG-cc tato rychlost byla dosažena pouze u koutových jednovrstvých přeplátovaných svarů. U svarů koutových vícevrstvých tato rychlost dosažena nebyla. To bylo způsobeno hlavně tím, že již při rychlosti 0,8 m/min, která byla použita při svařování vzorků 1 a 6, bylo dosaženo vysoké hodnoty nastavení rychlosti podávání drátu [m/min].

Jako čtvrté kritérium byla zvolena redukce rozstříku a to hlavně z toho důvodu, že při určitých aplikacích je přítomnost rozstříku na svařenci nežádoucí. V některých

případech dokonce zakázána. V případě naší aplikace svařování vnitřního dílu je rozstřík na svařenci nežádoucí. Rozstřík se může kdykoliv ze svařence uvolnit a následně se objevuje potencionální riziko hlučného dílu, tedy riziko reklamace od zákazníka. Z tohoto hlediska byl svařenec téměř bez jediného rozstříku při svařování procesem microMIG-cc. Díl svařen procesem MIG/MAG a KF-PULS vykazoval v obou případech značný řozstřík. I těmito procesy se dá svařovat s minimem rozstříku, avšak jsou velmi citlivé na změnu podmínek při svařování (např. rozměrová přesnost a čistota komponentů, vzdálenost kontaktní špičky od svařence).

Následující kritérium pro výběr vhodného procesu je vnesené teplo do svařovaného materiálu z toho důvodu, že v naší aplikaci byly svařovány komponenty vyrobené z feritické korozivzdorné oceli. Feritická korozivzdorná ocel je známá zvýšenou citlivostí k růstu zrna v TOO. V této oblasti nejlépe dopadl proces KF-PULS spolu s procesem microMIG-cc. Proces MIG/MAG v tomto ohledu dopadl nejhůře. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.

V poslední části experimentu byla provedena kontrola makrostruktury, jejíž cílem bylo ověřit, zda zkoumané svary vyhovují požadavkům. V jednotlivých průřezech svarových housenek nebyly nalezeny žádné kvalitativní nedostatky, které by byly v rozporu s interní normou EED-S-PSE-0002. Avšak profily svarů, vzniklých rozdílnými procesy svařování, jsou různé. Dále je možno pozorovat nestejně podmínky pro svařování dle nestabilní mezery mezi svařovanými komponenty.

Tabulka 12: Kritéria pro výběr vhodného procesu a jejich hodnocení

Kritéria pro výběr vhodného procesu a jejich hodnocení			
	MIG/MAG	KF-PULS	microMIG-cc
Nepožadované speciální vybavení	1	1	3
Jednoduchost nastavení parametrů	1	4	1
Rychlost svařování	1	1	3
Redukce svarového rozstříku	4	3	1
Množství vneseného tepla	4	1	1
Kontrola makrostruktury	1	1	1
Výsledek	12	11	10

V komparaci jednotlivých procesů nejlépe vychází proces microMIG-cc a to i přesto, že náklady na pořízení svařovacího setu Frontpull jsou vyšší přibližně o 25% oproti setu Powerclutch či Powerjoint. Zároveň bylo dosaženo o 20% nižší rychlosti svařování u svarů koutových vícevrstvých přeplátovaných oproti ostatním použitým procesům. Při pohledu na konkrétní aplikaci (svařování vnitřního dílu) patří mezi nejdůležitější kritéria redukce rozstříku. Okolí svarů zhotovené procesem microMIG-cc bylo v tomto ohledu nejčistší. Hlavně z tohoto důvodu bych doporučil svařování vnitřních dílů do tlumičů procesem microMIG-cc.

4. Závěr

Cílem diplomové práce bylo stanovit nejvhodnější MAG proces pro svařování vnitřního dílu do tlumiče v podniku Faurecia Bakov nad Jizerou.

Teoretická část si kladla za cíl popsat technologii obloukového svařování v ochranných atmosférách zahrnující stručný vývoj jednotlivých metod a přehled používaných ochranných plynů. Následující kapitola pojednávala o jednotlivých způsobech přenosu kovu při svařování, na kterou navazoval přehled svařovacích setů a popis moderních procesů společnosti SKS Welding systems. Procesy MIG/MAG, I-PULS, KF-PULS, microMIG a microMIG-cc se v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou používají na robotických pracovištích. Závěr teoretické části byl věnován možnostem robotizace obloukového svařování.

Díl, který byl vybrán pro experiment, se dá považovat za zástupce daných typů svařovaných dílů vyráběných v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou. Tento díl obsahoval typ svaru koutový přeplátovaný a to jak jednovrstvý, tak vícevrstvý. Pro svařování dílu byly použity tři vybrané MAG procesy svařování. Pro každý proces byly analyzovány oba typy svarů. Proces svařování byl proveden pomocí průmyslového robota za použití vybraných procesů MIG/MAG, KF-PULS a microMIG-cc. Celý průběh svařování vzorků byl monitorován pomocí řídicí jednotky Q80 a PC se softwarem Q8Tool4, který zaznamenával skutečný průběh svařovacího napětí, proudu a proudové zátížení motoru podavače. Tyto zaznamenané parametry pak sloužily jako výstupní data ze svařování a zároveň byly použity pro výpočet vneseného tepla do základního materiálu. Pro jednotlivé typy svarů z každého procesu byla provedena makrostrukturní zkouška, kterou byla ověřena jakost jednotlivých svarů. V porovnání s interní normou společnosti EED-S-PSE-0002 nebyly nalezeny žádné závažné nedostatky, kvůli kterým by některý z analyzovaných svarů nevyhověl.

V závěrečném hodnocení experimentu byly jednotlivé procesy porovnány a zároveň stanovena kritéria výběru vhodného procesu. Výsledek nedopadl příliš jednoznačně, ale z důvodu důležitosti redukce svarového rozstříku doporučuji svařování vnitřních dílů v závodě Faurecia Bakov nad Jizerou procesem microMIG-cc. Ostatní

použité procesy jsou velmi citlivé na změnu podmínek svařování, a tedy nestabilní, což se redukuje rozstříku týče.

Pokud však porovnáme konvenční proces MIG/MAG s procesy KF-PULS a microMIG-cc je zřejmé, že vývoj svařovacích procesů má nadále velký potenciál do budoucna. Oběma inovativními procesy lze dobře redukovat vnesené teplo do základního materiálu a jejich možnosti použití jsou široké.

Seznam použité literatury

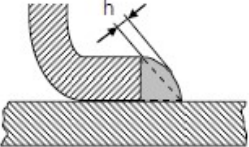
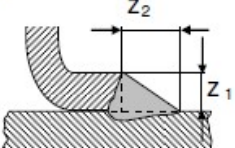
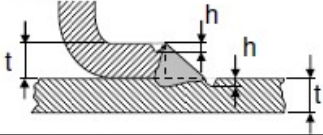
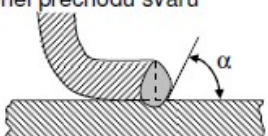
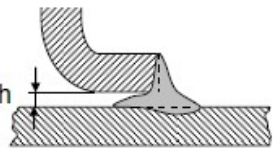
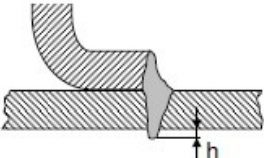
- [1] KOUKAL, J. SVĚT SVARU, *Historie tavného svařování kovů.*, roc. 2011, c. 2, s. 10–13. ISSN 1214-4983.
- [2] KOUKAL, J. SVĚT SVARU, *Historie a současnost metod svařování MIG/MAG.*, roc. 2015, c. 1, s. 4–5. ISSN 1214-4983.
- [3] BARTÁK, J. aj. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory.* Ostrava: ZEROSS, 2002. 418 s. ISBN 80-85771-97-7
- [4] AMBROŽ, O., KANDUS B. a KUBÍČEK J. *Technologie svařování a zařízení.* Ostrava: ZEROSS, 2001, 395s. ISBN 80-877-81-0
- [5] FOLDYNA, V. aj. *Materiály a jejich svařitelnost.* Ostrava: ZEROSS, 1999, 396s. ISBN 80-85771-63-2
- [6] HAVELKA, P. *AUTOMIG internetový magazín* 17.8.2015, Dostupný z WWW: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [7] Autor neznámý, Elektronická učebnice, *Schéma svařování metodou MIG/MAG* 17.8.2015, Dostupný z WWW: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1807>
- [8] SKS Welding Systems, Školící manuál pro modul A1: *Základní principy svařování s SKS Systems*, TRA-0124EN I V1.0
- [9] SKS Welding Systems, Školící manuál pro modul A2: *Metoda svařování MIG/MAG na zařízeních SKS*, TRA-0125EN I V1.0
- [10] SKS Welding Systems, Školící manuál pro modul C2: *microMIG*, TRA-0133EN I V1.0
- [11] HADYNA, D. – International, spol. s.r.o., *Robotizace svařování kovů*, Ostrava: ver.:13-20
- [12] HADYNA, D. SVĚT SVARU, *Nástup 7osých průmyslových robotů do praxe.*, roc. 2010, c. 1, s. 16–17. ISSN 1214-4983.
- [13] BARTÁK, J. aj. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování.* Ostrava: ZEROSS, 2000. 213 s. ISBN 80-85771-72-1

- [14] NÁGL, R. SVĚT SVARU, *Nová generace svařovacích robotů Motoman.*, roc. 2015, c. 2, s. 18–19. ISSN 1214-4983.
- [15] Interní zdroj Faurecia – informace o společnosti
- [16] Leipold+Co GmbH, Software pro správu a měření Q8Tool4 2.9.9.9, 2000-2011
- [17] SKS Welding Systems, Školící manuál pro modul B1: *Jednotky řízení svařovacího procesu*, TRA-0128EN I V1.0
- [18] Interní zdroj Faurecia - výkres součásti
- [19] METALCOR GmbH, *materiálový list 1.4512*, 1.11.2015, Dostupný z WWW: <http://www.metalcor.de/en/datenblatt/27/>
- [20] EURO INOX, *Korozivzdorné oceli – vlastnosti*. Lucembursko: Euro Inox, 2002, 23s. ISBN 2-87997-082-2
- [21] Interní norma - Požadavky na svarové spoje EED-S-PSE-0002.

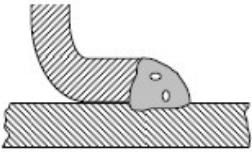
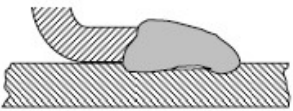
Seznam příloh

Příloha 1	Mezní hodnoty odchytky svaru 1/2 [21]	I
Příloha 2	Mezní hodnoty odchytky svaru 2/2 [21]	II

Příloha 1 Mezní hodnoty odchytky svaru 1/2 [21]

Č.	Znak	Mezní hodnoty vady OK svaru	Dle ISO 6520								
4.1	Převýšení svaru 	<ul style="list-style-type: none"> $h < 2 \text{ mm}$ 	503								
4.2	Asymetrie koutového svaru 	<ul style="list-style-type: none"> $z_2 > z_1$ 	512								
4.3	Zápal 	Požadován plynulý přechod, pokud: <ul style="list-style-type: none"> $h \leq 0,1t$ 	5012								
4.4	Úhel přechodu svaru 	Standard: <ul style="list-style-type: none"> $\alpha \geq 90^\circ$ Třída A: <ul style="list-style-type: none"> $\alpha \geq 110^\circ$ 	505								
4.5	Mezera mezi částmi 	Standard: <ul style="list-style-type: none"> $h \leq 1,0 \text{ mm}$ Výjimka: Pro sváření trubek je tolerována mezera dle výkresové tolerance. Třída A: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Min. síla stěny (mm)</th> <th>Max mezera (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t \geq 1,5$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$1,5 > t \geq 1,2$</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>$t < 1,2$</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table>	Min. síla stěny (mm)	Max mezera (mm)	$t \geq 1,5$	1	$1,5 > t \geq 1,2$	0,7	$t < 1,2$	0,5	617
Min. síla stěny (mm)	Max mezera (mm)										
$t \geq 1,5$	1										
$1,5 > t \geq 1,2$	0,7										
$t < 1,2$	0,5										
4.6	Nadměrné řevýšení kořene 	<ul style="list-style-type: none"> Krátká vada $\dot{\cdot}$: $h \leq 1,0 \text{ mm}$ Výjimka: U svarů na tlumičích je tolerováno převýšení kořene po celé délce svaru.	504								

Příloha 2 Mezní hodnoty odchytky svaru 2/2 [21]

Č.	Znak	Mezní hodnoty vady OK svaru	Dle ISO 6520
4.7	Pór, shluk pórů, červovitý pór 	Povrchové vady nepřipustné: <ul style="list-style-type: none"> Shluk pórů, červovitý pór, povrchový pór Podpovrchové vady: <ul style="list-style-type: none"> max 2% plochy řezu svaru max velikost: $d \leq 0,3 t_{\min}$ 	2013, 2016, 2017 2011, 2012, 2014
4.8	Koncový kráter	<ul style="list-style-type: none"> Hloubka $\leq 0,1 t_{\min}$ Délka $\leq 15\text{mm}$ Šířka \leq šířka svaru 	2025
4.9	Rozstřík	Následující rozstříky nejsou povoleny: <ul style="list-style-type: none"> těsnící povrch (čelo příruby, šroubení...) pohledové díly (leštěné koncovky...) závity, oplety vlnovce, funkční ploch držáku...) Podrobně definováno ve výkrese	602
4.10	Foukání oblouku	Nepřipustné mimo oblast svaru	601
4.11	Trhlina, kráterová trhlina	Nepřipustné (kromě mikrotrhlin = viditelná pouze pod mikroskopem, 50x zvětšení)	101 ;102 ;103; 104 ;105 ;106 1001
4.12	Nedostatečné natavení ploch/hran 	Nedostatečné natavení v nosné části svaru nepřipustné	401 (4011, 4014, 4013)
4.13	Díra, propálení	Nepřipustné	510