



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ NA ROBOTECH PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

WELDING PARAMETERS OPTIMALIZATION OF ROBOTIC WELDING FOR CAR INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Valeriia Soprunenko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Valeriia Soprunenko
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Marián Sigmund, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Optimalizace parametrů svařování na robotech pro automobilový průmysl

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat studiem nových procesů svařování "konkrétně FRONIUS TPSi". K zvoleným procesům svařování (synergickým křivkám), materiálům, použitým plynům a svařovaným tloušťkám, provést optimalizaci parametrů svařování pro tupé i koutové svary. Vše provést s ohledem na požadovanou kvalitu svarů svařovaných na robotech. Případně pro konkrétní požadovanou geometrii svarového spoje a kvalitu svarů podle automobilových norem může student optimalizovat procesní parametry, s cílem dosažení co nejlepších parametrů svařování.

Cíle diplomové práce:

Vypracovat literární rešerši o daných materiálech a technologiích svařování vhodných pro automobilový průmysl.

Experimentálně ověřit vhodné svařovací parametry pro dané podmínky svařování na robotu.

Pro požadovanou geometrii a kvalitu svarového spoje optimalizovat procesní parametry.

Pro daný typ, geometrii a kvalitu spoje vyhodnotit vhodný proces svařování.

Závěry shrnout do přehledné návodky pro operátory svařování.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

BÖHM, Jiří. Svařovací roboty a manipulátory pro obloukové svařování pod ochrannými plyny. Praha: ČÚV komitétu pro svařování ČSVTS, 1981.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

SOPRUNENKO Valeriia: Optimalizace parametrů svařování na robotech pro automobilový průmysl.

Práce se zabývá jednotlivými studiem nových procesů svařování "konkrétně FRONIUS TPSi". Největší důraz je kladen na technologie svařování, především na rozdíly mezi jednotlivými metodami. Experimentální část práce je zaměřena na nalezení vhodných parametrů pro svařování koutových svarů s ohledem na požadovanou kvalitu svarů svařovaných na robotech. Získané vzorky byly vyhodnoceny z hlediska hloubky průvaru, množství vneseného tepla a podle vzniklých vad.

Klíčová slova: obloukové svařování, Fronius, CMT, svarový spoj

ABSTRACT

SOPRUNENKO Valeriia: Welding parameters optimization of robotic welding for car industry.

Thesis deals with individual technology of new welding processes "specifically FRONIUS TPSi". The greatest emphasis is on welding technology, especially on the differences between the individual methods. The experimental part of the thesis is focused on finding suitable parameters for welding filled welds. Everything with respect to required welds quality welded by robotic welding. The samples were evaluated in terms of penetration depth, amount of heat introduced and the number of defects.

Keywords: arc welding, Fronius, CMT, weld joint

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOPRUNENKO, Valeriia. *Optimalizace parametrů svařování na robotech pro automobilový průmysl* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124690>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marián Sigmund.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 20.6.2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce, panu Ing. Mikeši Davidovi ze společnosti AWL-Techniek za ochotu a vysvětlení problematiky spojené s řešením této práce. Také bych ráda poděkovala mé rodině a příteli za podporu během celého studia.

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Materiály v automobilovém průmyslu	12
1.1.2 Charakteristika použitých materiálů a jejich svařitelnost	14
1.2 Zkoušky svarů	16
1.2.1 Vizuelní kontrola	17
1.2.2 Metalografické hodnocení	17
1.3 Představení společnosti AWL	19
2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ TAVÍCÍ SE ELEKTRODOU V OCHRANNÝCH PLYNECH GMAW	21
2.1 Synergický režim svařování	23
2.2 Svařovací zdroj MIG/MAG TPSi od společnosti Fronius	24
2.2.1 Svařovací proces LSC – Low Spatter Control	24
2.2.2 Svařovací proces PMC – Pulse Multi Control	28
2.2.3 Svařovací proces CMT – Pulse Multi Control	30
2.3 Robotizované svařování společnosti Fronius	33
2.3.1 Svařovací zdroj	34
2.3.2 Podavač drátu	34
2.3.3 Svařovací hořák	35
2.2.4 Ochranné plyny	35
2.2.4 Přídavné materiály	36
2.2.5 Svařovací roboty	37
3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PROGRAMU	39
3.1 Popis dílu a svařovacích parametrů	39
3.2 Zkušební vzorky	40
3.3 Použité zařízení	41
3.4 Kontrola zkušebních vzorků	44
3.4.1 Provozní zkouška makrostruktury	44
3.5 Výsledky experimentu	44
3.6 Zhodnocení výsledků	54
4 Ekonomické zhodnocení	56
5 ZAVĚR	58
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Česká republika vždy byla jedním z předních výrobců automobilů díky své tradici v této oblasti výroby a výhodnému postavení, navíc dlouhodobě dochází k vysokému růstu prodeje a produktivity práce.

Výroba automobilů je však relativně komplikovaný proces. Zahrnuje všechny typy technologických procesů od lisování, svařování a odlévání až po lepení a montáž komponentů. V dnešním rychle se rozvíjejícím světě existuje mnoho požadavků na všechny tyto procesy. Největší požadavky jsou kladeny na kvalitu a výrobní čas. V automobilovém průmyslu se uplatňují konvenční a nekonvenční metody svařování. Celkově je metody svařování možné rozdělit podle vzájemného působení tepla a tlaku nebo jenom jednoho parametru.

Jednou z nejpoužívanějších technologií je odporové svařování, zejména bodové. Také se používá svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou MIG a MAG. Z nekonvenčních metod jsou nejpoužívanější laserové svařování nebo pájení a přivařování svorníků. Svařovací proces se také neobejde bez robotizace a automatizace. Na svařový spoj je kladeno mnoho různých požadavků. Především musí být zaručena jeho pevnost a absence vad. Pokud je svar na viditelném místě, je potřeba dodržet požadavek na vizuální vzhled.

V současné době se robotické svařování rychle vyvíjí. Každý svařový spoj je monitorován a pomocí počítačového softwaru jsou veškeré informace o těchto spojkách evidovány a parametry se optimalizují, aby se získaly spoje nejvyšší kvality.

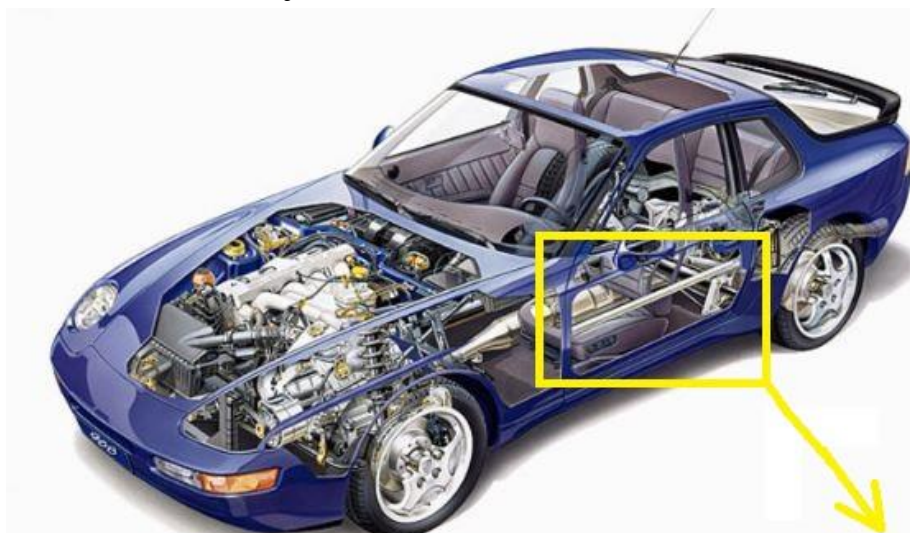


Obr. 1 Robotizovaná buňka [4]

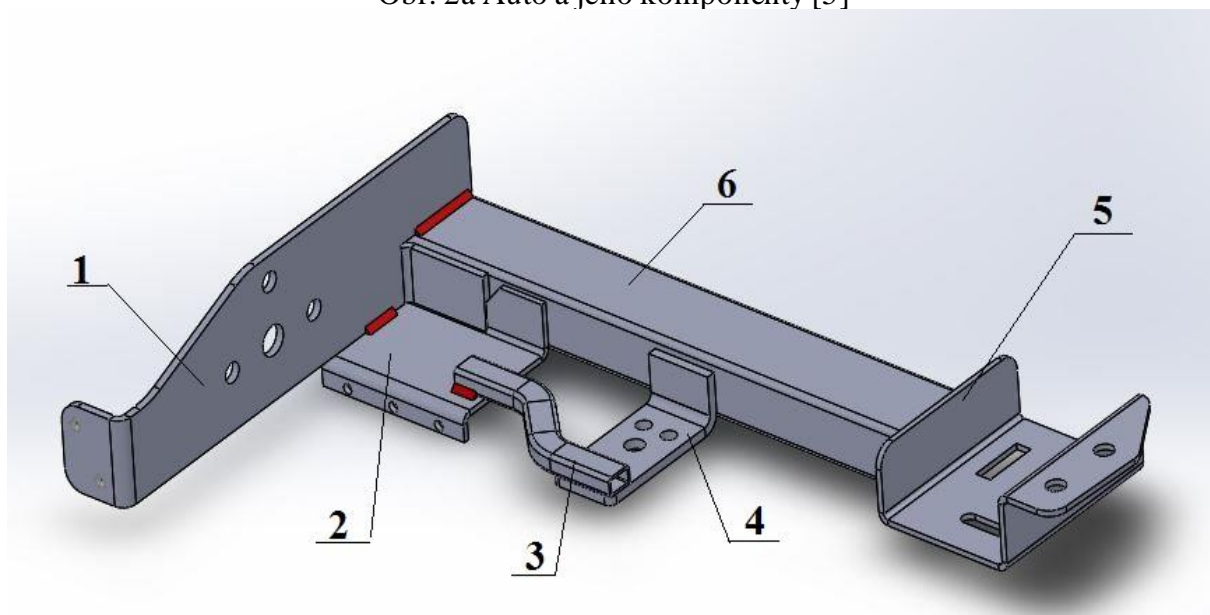
1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]

Výroba automobilů je velmi komplikovaný technický proces. Vysoké nároky na přesnost a kvalitu konstrukce neustále nutí inženýry hledat nové technologie. Při výrobě automobilů je svařování jednou z hlavních technologií. Svět automobilů se mění a konstrukce nových automobilů je stále složitější. Rivalita v oblasti pasivní bezpečnosti vybízí výrobce automobilů k úzké spolupráci s metalurgy vyvíjejícími nové typy oceli. Když se objeví nové materiály, je také nutné optimalizovat svařovací procesy s ohledem na nové vlastnosti a chemické složení materiálu. Proto se čím dál více nových technologií vyvíjí za použití synergetiky.

Ke zvoleným procesům svařování, které jsou definované synergickými křivkami, navrženým materiálům, použitým plynům a svařovaným tloušťkám je třeba provést optimalizaci parametrů svařování pro koutové svary. Optimalizaci je nutno provést s ohledem na požadovanou kvalitu svarových spojů při svařování na robotech. Na obrázku 2a je představeno auto a na obrázku 2b je znázorněna svařovaná součástka.



Obr. 2a Auto a jeho komponenty [5]



Obr. 2b Svařenec

Součástka na obrázku 2b je zjednodušená verze reálného dílu karoserie automobilu (dále svařenec). Soustava se skládá ze šesti samostatných dílů, které se následně svařují metodou obloukového svařování GMAW. Na obrázku 2b jsou označeny a popsány díly dané součástky.

Čísly 1 a 4 jsou označeny součástky, které se vyrábějí z plechů o tloušťce 4 mm. Nejprve se z plechu o velikosti 1000 x 1500 mm vystříhne potřebný tvar a následně se ohýbá. Součástky 1 a 4 se vyrábějí z jemnozrnné mikrolegované oceli S420 MC, která je termomechanicky válcována. Pod číslem 2 a 5 jsou součástky, které se také vyrábějí z jemnozrnné mikrolegované oceli S420 MC termomechanicky válcované. Z plechu o velikosti 1000 x 1500 mm o tloušťce 3 mm se vystříhne požadovaný tvar a následně se ohýbá. Pod číslem 3 a 6 jsou profily čtvercového tvaru. Dané součástky se vyrábějí z konstrukční oceli E355 JR. Tloušťka stěny profilů je 1,5 mm. V modelu jsou označeny také svarové spoje, které následně budou optimalizovány.

Pro požadovanou geometrii a kvalitu svarového spoje je třeba optimalizovat procesní parametry. Svařovací zařízení pro odladění svarů představeno společností Fronius řady TSPi.

Podle informace obdržené od společnosti AWL-Techniek se standardně svařuje rychlostí 12 mm/s při použití standardního svařovacího procesu bez úpravy nebo s částečnou úpravou dalších parametrů. Svarové spoje budou odladěny prostřednictvím simulací svařovacího procesu. Pro simulaci se použijí plechy o rozměru 150 x 75 mm a tloušťce 1,5–4 mm. Pro definované svary se provedou optimalizace parametrů svařování tak, aby rychlost svařování byla 18 mm/s nebo i vyšší. Pro svařování byly zvoleny oceli E355 a S420. Jsou to konstrukční oceli. E355 je ocel pro strojní součástky a ocel S420 s vyšší mezí kluzu. V tabulce 1 je uvedeno chemické složení oceli E355. Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 840–870 °C s ochlazením na vzduchu, popouštění se provádí za teplot 670–700 °C také s ochlazením na vzduchu. Mez pevnosti R_m je u tepelně nezpracované oceli udávána v rozmezí 590–705 MPa, tvrdost maximálně 295 HB. ČSN značení této oceli je ČSN 11 600, dle EN norem E335, dle Wnr. čísla 1.0060.

Tab. 1 Chemické složení oceli E335JR [9].

Obsah prvků – ve hmotnosti [% max.]				
C max	Si max	Mn max	P max	S max
0,22	0,55	1,6	0,025	0,025

V tabulce 2 je uvedeno chemické složení oceli S420MC. Je vhodná pro tváření za studena a dodávaná ve stavu termomechanicky válcována. Pro plechy s vysokou mezí kluzu. Mez pevnosti R_m je u tepelně nezpracované oceli udávána v rozmezí 480–620 MPa. Ocel může být dodána s minimálními hodnotami nárazové práce při teplotách do –20 °C, označovaná jako N, nebo do –50 °C, označovaná jako NL.

Tab. 2 Chemické složení oceli S420 MC [10].

Obsah prvků – ve hmotnosti [% max.]							
C max	Si max	Mn max	P max	S max	Al cel.min	Nb max	Ti max
0,12	0,5	1,6	0,025	0,015	0,015	0,09	0,15

Při simulaci svařovacího procesu byl použit univerzální svařovací inventar od společnosti Fronius TSP 400i ve výkonnostní třídě 400 A. Robotický svařovací hořák je taky představen společností Fronius, těleso hořáku je chlazené vodou. Použije se směsný plyn klasifikace M21 ArC 18 – je to směs plynu argonu a CO₂ s procentuálním podílem 82 % Ar – argonu a 18 % CO₂ – oxidu uhličitého. Podávání drátu je uskutečněno pomocí drátěného podavače robotů WF 25i R. Drát je z oceli OK AristoRod 12.50 o průměru 1 mm od společnosti ESAB Item

No. 1A50106910. Samotné svařování proběhne prostřednictvím svařovacího robota od společnosti Fanuc ARC Mate 120iC. Záznam svařovacího procesu a celkový průběh svařování bude monitorován pomocí systému WeldCube.

Metod zvýšení rychlosti svařování je celá řada. Mohou se použít plněné elektrody na zvýšení rychlosti svařování, mění se směs plynů s větším podílem hélia nebo vodíku nebo se vyvíjejí nové tzv. hybridní metody svařování. Také je možné upravovat parametry svařování, jako jsou proud, napětí, rychlost posuvu drátu a mnoho dalších. Společnost Fronius v generaci TSPi představila nové možnosti řízení přenosu kovu a nové možnosti odladění svařovacích procesů.

V diplomové práci se pro docílení rychlosti svařování 18 mm/s použijí procesy PMC (Pulse Multi Control) a taky CMT (Cold Metal Transfer). Všechny ostatní parametry, které mají vliv na proces svařování, zůstávají stejné. Procesní parametry musejí být odladěny tak, aby svarové spoje splňovaly požadavky na kvalitu.

1.1 Materiály v automobilovém průmyslu [1], [12], [13], [14], [15], [16]

Automobilový průmysl odvádí velkou práci na zlepšení designu, zlepšení technologie výroby a použití nových materiálů. To všechno přispěje ke zlepšení spolehlivosti a životnosti automobilů.

Materiály používané pro výrobu karoserie automobilu musejí splňovat řadu důležitých požadavků, mnohdy i protichůdných. Vlastnosti materiálů spadají do tří hlavních kategorií: mechanické, fyzikální a chemické. Nově vyvinuté materiály musejí také splňovat všechny kladené požadavky ohledně pevnosti, lomové houževnatosti, obrobitelnosti a mnoha dalších. Základní požadavky na karoserie jsou popsány v tabulce 3.

Tab. 3 Požadavky na karoserie v automobilovém průmyslu [15].

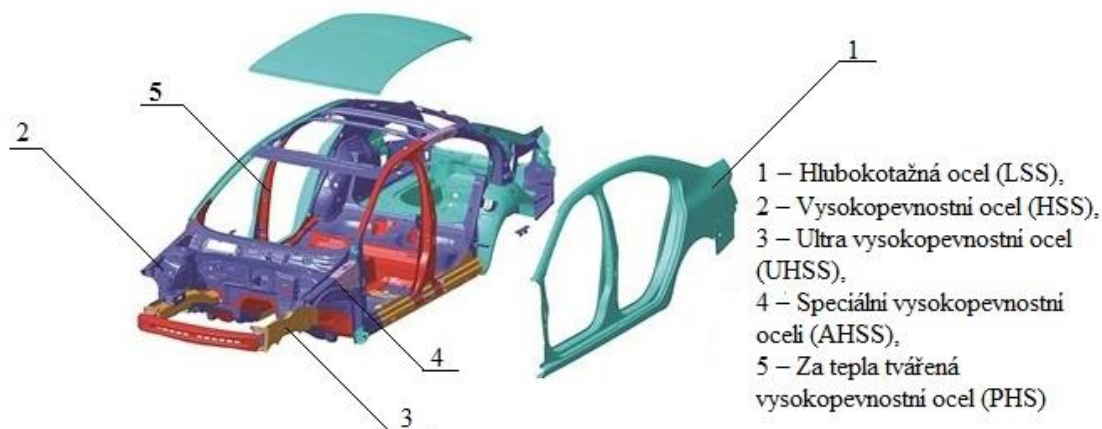
pevnost a tuhost	Je to základní požadavek. Konstrukce musí být odolná vůči různým druhům namáhání.
bezpečnost	Musí být zaručena bezpečnost osob ve vozu za různých okolností.
odolnost vůči korozi a opotřebení	Schopnost materiálů odolávat korozi.
kvalitní těsnost	Tento požadavek musejí plnit zejména dveře, kapota. Musí se minimalizovat možnost průniku vody a prachu.
snadná a rychlá demontáž	Musí být zajištěna snadná a rychlá demontáž vadných dílů.
minimální hmotnost	Má vliv na menší spotřebu pohonných hmot a menší spotřebu materiálu při výrobě – tím se zmenší náklady.

Nejčastěji se používají různé typy oceli, pozinkované ocelové plechy, hliníkové plechy, plasty a kompozitní materiály. Na výběr materiálu má největší vliv především cena a měrná hmotnost materiálu.

Hliníková konstrukce je dražší a složitější na výrobu z technologického hlediska, ale je stále až o 43 % lehčí než karoserie ocelová. Proto metalurgický průmysl stále vyvíjí vysokopevnostní ocelové materiály, aby automobilová karoserie měla co nejnižší možnou hmotnost a mohla konkurovat karoserii hliníkové. Svařitelnost je také ovlivněna různými povlaky, různými typy procesních maziv a podstatný vliv na ni mají také povrchové úpravy. Takže musí být svařovací proces odpovídajícím způsobem změněn.

V dnešní době je auto čím dál tím víc vyrobeno z různých druhů ocelových plechů, hliníkových plechů nebo profilů a kombinovaných materiálů, označených na obrázku 5. Každý

z těchto dílů je vyroben z různých materiálů, které odpovídají požadavkům na konkrétní díl. Také v dnešní době musí výrobce automobilů dodržovat legislativu EU. Moderní vozy musejí splňovat požadavky kladené na životní prostředí, především na snižování emisí.



Obr. 3 Karoserie modelu ŠKODA Octavia [16]

Na obrázku 3 jsou díly karoserie auta modelu Škoda Octavia a barevně jsou odlišeny druhy materiálů, ze kterých byly příslušné díly vyrobeny: Číslem 1 jsou označeny boční panely a vyrábějí se z hlubokotažných ocelí. Ze stejných materiálů se vyrábí i střecha. Číslem 2 jsou označeny sloupky C a D a přední příčná stěna karoserie. Tyto díly se vyrábějí z vysokopevnostních ocelí. Podlahová skupina a podběh kola pod číslem 3 jsou vyráběny z ultra vysokopevnostních ocelí. Boční střešní rám je ze speciální vysokopevnostní oceli a sloupky A i B jsou vyráběny z vysokopevnostní oceli tvářené za tepla, ty jsou na obrázku označeny číslem 5. Materiály a jejich meze kluzu jsou uvedeny a popsány v tabulce 4.

Tab. 4 Materiálový koncept karoserie modelu ŠKODA Octavia [16].

N ^o	Název skupiny materiálů	Rozsah meze pevnosti materiálu
1	hlubokotažná ocel (LSS)	< 250 MPa
2	vysokopevnostní ocel (HSS)	200–400 MPa
3	ultra vysokopevnostní ocel (UHSS)	400–700 MPa
4	speciální vysokopevnostní oceli (AHSS)	700–1000 MPa
5	za tepla tvářená vysokopevnostní ocel (PHS)	1000–1200 MPa

Z obrázku 3 a tabulky 4 je zřejmé, že koncern Škoda ve svých vozidlech pro výrobu karoserie používá spíše různé druhy ocelí. Ale za poslední deset let ve většině automobilových podniků začali používat nekovové materiály. Nejpopulárnější z nekovových materiálů je hliník.

Z výše uvedených dat můžeme usoudit, že materiály, které se používají v automobilovém průmyslu, se stále mění. S tendencí ke snížení váhy automobilu se vyvíjejí i nové materiály, které budou schopné splnit tyto požadavky. Ale stejně tak se používají již známé a vyzkoušené materiály jako konvenční a hlubokotažné oceli.

1.1.2 Charakteristika použitých materiálů a jejich svařitelnost [9], [10], [12], [17], [18], [19], [20]

Svařování je proces, který slouží k vytvoření nerozebíratelného spojení dvou a více součástí. Svařovat lze kovové i nekovové materiály, materiály podobných i různých vlastností, ale při použití různých metod svařování. Na proces svařování má vliv mnoho faktorů a jednou charakteristikou, která definuje vhodnost materiálů pro svařování, je svařitelnost.

Svařitelnost je kompletní charakteristika, která vyjadřuje vhodnost kovu ke zhotovení svarového spoje za požadovaným účelem, požadovaných vlastností za určitých technologických a konstrukčních možností. Pro různé typy ocelí je tato charakteristika odlišná. Pro prvotní předpověď svařitelnosti slouží norma ČSN EN 1011-2. Tato norma popisuje hodnocení svařitelnosti feritických ocelí obloukovou metodou svařování. Norma obsahuje tři postupy pro stanovení teploty přehřevu. Teplota přehřevu se stanovuje na základě chemického složení ocelí a známých svařovacích parametrů.

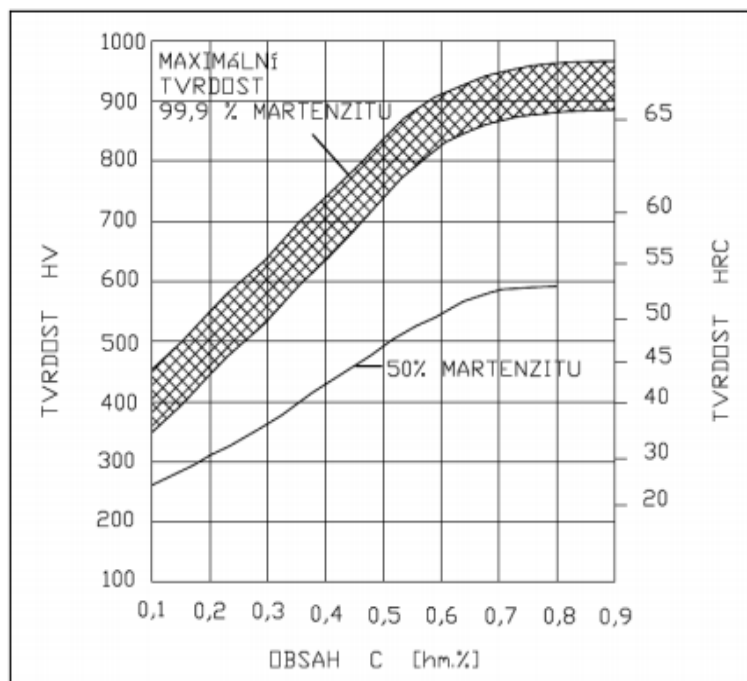
V automobilovém průmyslu jsou různé typy ocelí základním materiálem a používají se na různé součásti karoserie, sedaček, na konstrukční díly a na elektrické komponenty. Různé díly a komponenty auta musejí splňovat odlišné podmínky a k jejich výrobě se používají naprosto odlišné oceli. Tyto oceli mají různé chemické složení, mechanické vlastnosti, a proto se při jejich svařování musejí použít odlišné metody svařování. Dnešní materiály používané pro výrobu karoserií jsou obvykle konstrukční oceli a vysokopevnostní oceli.

Ocel E355 je nelegovanou konstrukční ocelí obvyklé jakosti. Daná ocel je vhodná na strojní součásti, které jsou namáhané dynamicky nebo staticky. Také se používá na součásti, které jsou vystaveny velkému měrnému tlaku, dále se používá ve šroubovaných, nýtovaných a svařovaných konstrukcích. Tyto oceli nemají zaručeny obsahy doprovodných prvků, jen maximální obsah C. Je svařitelná obvyklými metodami svařování. Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 1 a mechanické vlastnosti jsou představeny v tabulce 5.

Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli E355 [9].

Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A5 [%]
355	490–až 630	22

Při svařování nelegovaných ocelí je třeba mít na zřeteli to, že uhlík v tepelně ovlivněné oblasti způsobuje snížení plasticity a zároveň zvýšení tvrdosti. To znamená, že vnitřní pnutí může způsobit vznik trhlin. Mechanické vlastnosti a tvrdost materiálu rostou se zvyšujícím se obsahem uhlíku. Čím větší je podíl uhlíku, tím větší je tvrdost vznikajícího martenzitu a klesají plastické vlastnosti oceli. Na obrázku 4 je zachycen graf závislosti tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO.



Obr. 4 Závislost tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO [20]

Z obrázku 4 je patrná závislost tvrdosti oceli na obsahu uhlíku a procentu martenzitu ve struktuře. Jako maximální tvrdost tepelně ovlivněné oblasti je stanovena tvrdost 350 HV. Pro dosažení této tvrdosti nesmí být obsah uhlíku v oceli vyšší než 0,25 % při obsahu martenzitu ve struktuře 50 %.

Z tabulky 1 vyplývá, že obsah uhlíku v této oceli je maximálně 0,2 % a svařovaná konstrukce má menší tloušťky materiálu. To znamená, že pro svařování dané oceli není nutné zajišťovat zvláštní podmínky. V praxi se proto nepoužívá přehřev.

Ocel S420 je jemnozrnná mikrolegovaná jakostní ocel s nízkým obsahem uhlíku. Tato ocel má vyšší mez kluzu a je zvláště vhodná k tváření za studena. Používá se pro ploché a dlouhé výrobky za tepla válcované, například plechy, pasy. Mikrolegované prvky působí na velikost zrna. Růst zrn způsobuje zpevnění oceli a zvýšení meze kluzu. Dál také snížení náchylnosti ke stárnutí oceli s nízkým obsahem uhlíku. Je svařitelná obvyklými metodami svařování. Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 2 a mechanické vlastnosti jsou ukázány v tabulce 6. Celkové množství legujících prvků v těchto ocelích je v rozmezí 0,15–0,25 %. Al je důležitým prvkem pro tento typ oceli. Vzniklý AlN snižuje náchylnost oceli ke stárnutí. Další legující prvky jsou Nb, V, B. Vytváří s dusíkem karbidy, karbonitridy nebo nitridy.

Tab. 6 Mechanické vlastnosti oceli S420 [10].

Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A5 [%]
420	480 až 620	16

Vzhledem k tomu, že chemické složení svařování jemnozrnných legovaných ocelí je podobné chemickému složení nelegovaných konstrukčních uhlíkových ocelí, dá se říct, že svařitelnost těchto ocelí je podobná, ale má nějaké odlišnosti.

Při svařování jemnozrnných legovaných ocelí lze očekávat pokles plastických vlastností v tepelně ovlivněné oblasti. Je to způsobeno tím, že v TOO zrna rostou a plastické vlastnosti

klesají. Proto se doporučuje svařovat bez přehřevu, pokud to je možné. Pokud je nutností použít přehřev, doporučené teploty jsou 100–150 °C.

Mikrolegující prvky v oceli mění složení sulfidické fáze. Proto je při svařování těchto ocelí zvýšena náchylnost ke vzniku teplejších likvačních trhlin. Proto je jedním z důležitých požadavků na výrobu mikrolegovaných ocelí zajištění obsahu síry maximálně 0,02 %. Tyto oceli jsou ve výrobě automobilů nejrozšířenější, ovšem jejich podíl ve výrobě karoserie klesá.

1.2 Zkoušky svarů [1], [18], [21]

Ve strojírenském průmyslu je velmi důležité zajištění požadované kvality procesu. Zajištění její opakovatelnosti je nezbytné pro všechny výrobce. Proto je kontrola svarů velmi důležitou částí svařovacího procesu. Metodika zkoušení svarů závisí na mnoha aspektech, především na aplikaci svařence a počtu kusů.

Existuje mnoho způsobů kontroly svarového spoje, které se liší principem, schopností detekovat určité typy vad a technickým vybavením. Metody zkoušení svarových spojů se dělí na destruktivní a nedestruktivní. Vzhledem k aplikaci svařence je možno vybrat vhodný způsob zkoušení.

Nedestruktivní metody zkoušení svarových spojů:

- VT – vizuální
- PT – penetrační (kapilární)
- MT – magnetické práškové
- ET – vířivými proudy
- RT – radiografické
- UT – ultrazvukové

Destruktivní zkoušky svarových spojů:

- zkouška tahem
- zkouška vrubové houževnatosti
- zkoušky tvrdosti
- zkouška v ohybu
- speciální zkoušky

Pracovník, který provádí nedestruktivní kontroly, musí být kvalifikovaný a být držitelem certifikátu pro daný obor zkoušení. Certifikace a kvalifikace se dělí do tří stupňů.

Stupeň 1 – je základním stupněm, držitel této kvalifikace nemůže vybírat zkušební metody a výsledky zkoušky hodnotit samostatně. Také nesmí vystavovat protokol o zkoušce. Může provádět zkoušky podle instrukcí a pod dozorem pracovníka s certifikací ve stupni 2 nebo 3.

Stupeň 2 – je nejrozšířenějším stupněm, který se používá v praxi. Osoba této kvalifikace může provádět nedestruktivní zkoušky. Zkoušky se provádějí podle stanovených postupů nebo také může samostatně vyhodnotit výsledky podle norem, předpisů a vystavit protokol o provedení zkoušky.

Stupeň 3 – pracovník s tímto stupněm kvalifikace je oprávněn vést a provádět jakoukoliv činnost v nedestruktivním zkoušení. Ale je to platné pouze pro metodu, na kterou je pracovník certifikován.

1.2.1 Vizuální kontrola [1], [22], [23]

Vizuální kontrola je nejjednodušší a nejpoužívanější nedestruktivní kontrolou. Kontrolují se povrchové vady, nepřipustné převýšení svaru, zápaly, studené spoje a trhliny. Vizuální kontrola se dělí podle použitých kontrolních prostředků na přímou a nepřímou. Přímá metoda je kontrola pouhým okem nebo s použitím lupy při tříkarátovém zvětšení. Požadavkem je dobrá osvětlenost a dobrá zraková schopnost pracovníka. Nepřímá kontrola se provádí pomocí optických přístrojů. Používá se při kontrole nepřístupných vnitřních povrchů, které nejsou přístupné z důvodu geometrie nebo kvůli ochraně zdraví pracovníka.

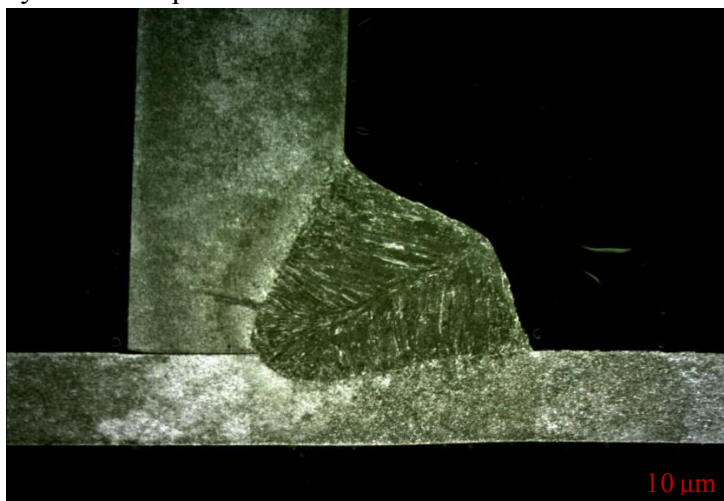
Vizuální kontrola se může provádět před svařováním, například kontrola materiálu, geometrie a rozměrů svařovaných dílů; během samotného svařování, například kontrola svarové housenky; a po svařování, což je celková pohledová kontrola svaru, kontrolují se deformace, vady vzhledu.

Vady a jejich mezní hodnoty jsou posuzovány dle ČSN EN ISO 5817. Norma uvádí tři stupně kvality, označené B, C, D. Stupeň kvality B odpovídá nejvyšším požadavkům na kvalitu svarového spoje.

1.2.2 Metalografické hodnocení [22], [23], [24], [25]

Metalografické hodnocení je běžně používaná metoda ověřování stavu struktury materiálu nebo svarových spojů. Metalografické zkoušky se dělí podle použitého zvětšení na hodnocení makrostruktury a mikrostruktury.

Před porovnáním posuzovaných vzorků je ve většině případů metalografických analýz nezbytně nutné provést přípravu zkušebních vzorků. Na začátku je třeba odebrat vzorek například mechanicky a následně studovaný povrch obrousit. Dalším krokem je leštění mechanicky nebo elektrolyticky s použitím vhodného leptání. Výsledkem metalografických zkoušek je obvykle také fotografická reprodukce. Na obrázku 5 je ukázán příklad makrovýbrusu po vyleštění a leptání.

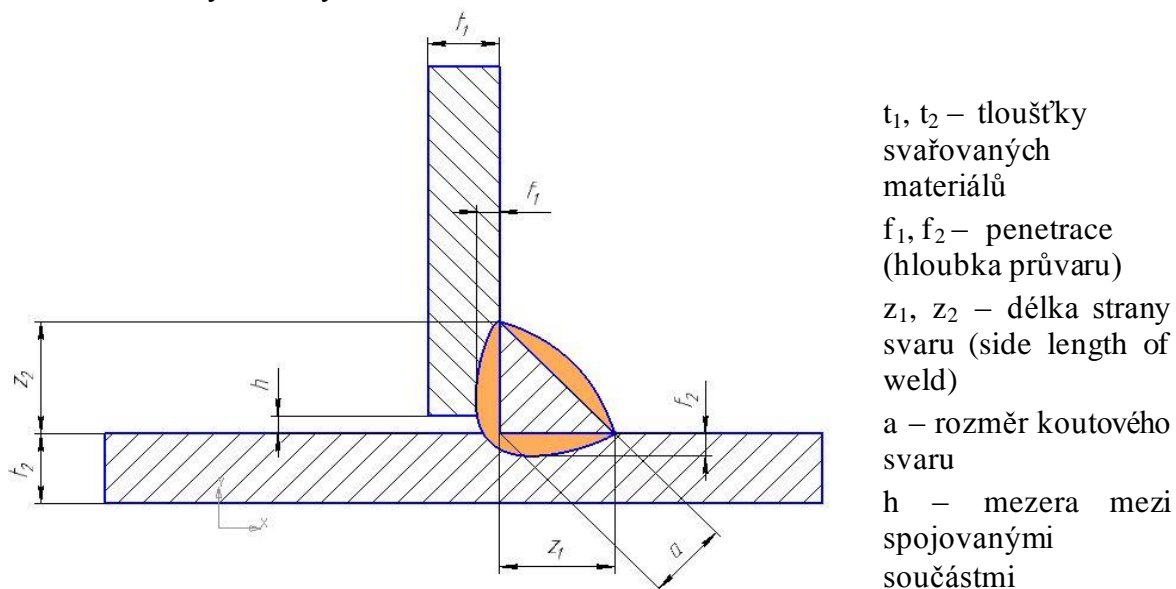


Obr. 5 Makrovýbrus vzorku

Hodnocení makrostruktury

Často používanou a jednoduchou metodou kontroly svarových spojů je makroskopická kontrola. Provádí se vizuálním pozorováním připraveného vzorku pouhým okem, případně pod lupou se zvětšením maximálně 30x. Tato zkouška se často používá k hodnocení tvaru svarů, tvaru a charakteru tepelně ovlivněné oblasti. V dané diplomové práci se k posuzování makrostruktury svarových spojů použije interní předpis společnosti, se kterou bylo při psaní

diplovové práce spolupracováno. Na obrázku 6 jsou schematicky zobrazeny parametry pro posuzování kvality koutových svarů.



t_1, t_2 – tloušťky svařovaných materiálů
 f_1, f_2 – penetrace (hloubka průvaru)
 z_1, z_2 – délka strany svaru (side length of weld)
 a – rozměr koutového svaru
 h – mezera mezi spojovanými součástmi

Obr. 6 Parametry koutového svarového spoje.

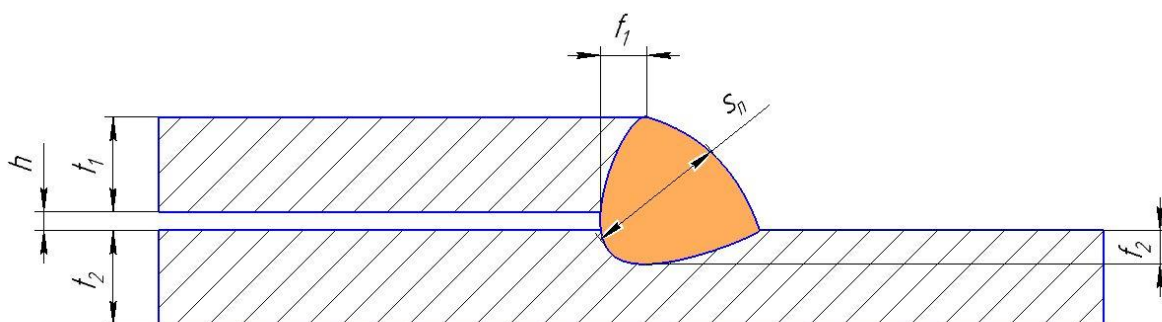
Účinný rozměr svaru je roven výšce největšího trojúhelníka, vepsaného mezi tavné plochy a povrch svaru.

V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty minimální penetrace svarů podle toho, do jaké třídy kvality patří svarový spoj.

Tab. 7 Hodnoty minimální penetrace svarového spoje.

	Třída kvality svaru dle CSN EN ISO 5817	Minimální penetrace svaru [mm]
kritická bezpečnost	B	$\geq 0,20$
funkční	C	$\geq 0,15$
nekritická	D	$\geq 0,10$

Pro vyhodnocení přeplátovaných svarů se používají jiné parametry. Na obrázku 7 jsou schematicky znázorněny parametry pro vyhodnocení svarů.



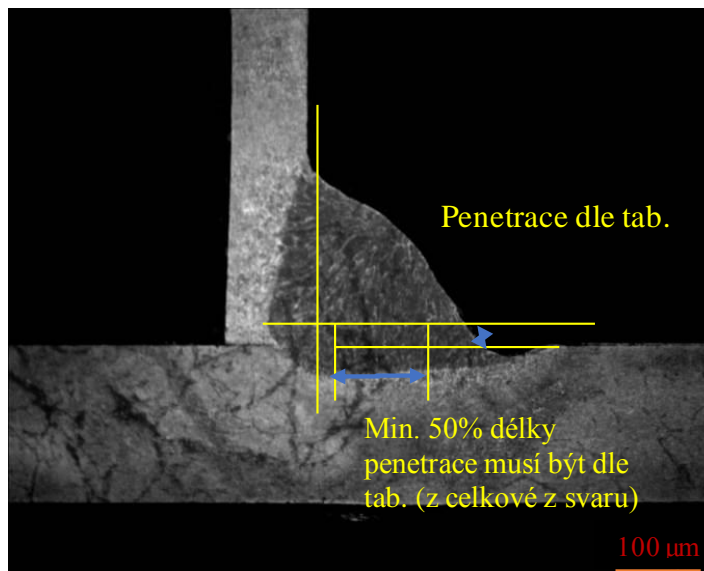
Obr. 7 Parametry přeplátovaného svarového spoje

t_1, t_2 – tloušťka svařovaných materiálů
 f_2 – penetrace
 S_n – délka strany svaru (side length of weld)

h – mezera mezi spojovanými součástmi

Koncová plocha t_1 musí být 100% natavena. Také převýšení svaru v místě t_1 je přípustné. Rozměru S_n je používáno pro měření koutových svarů, když nemůže být změřen a -rozměr. Nejnižší běžná tloušťka svaru je nejkratší vzdálenost mezi hranou svařované součásti a povrchem svaru. Použití rozměru S_n místo a -rozměru musí být specifikováno na výkresu.

Měření musí být vždy prováděno z kořenového bodu. Také velikost průvaru dle tabulky 7 musí být minimálně na 50 % celkové délky svarů z . Je to ukázáno na obrázku 8.



Obr. 8 Velikost penetrace v závislosti na délce svaru

1.3 Představení společnosti AWL [25], [26]

Společnost AWL je holandská firma se sídlem v Harderwijk a pobočkami v Nizozemsku, České republice, Číně, Mexiku, Spojených státech a Spojeném království. AWL je soukromá společnost s více než 775 zaměstnanci na celém světě.

Podnik působí v těchto oborech:

- spojovací metody – obloukové, laserové, odporové svařování a lepení;
- systémová integrace – modulární řešení, bezpečnost strojů;
- laserové aplikace – svařování a řezání;
- manipulace s materiálem – AMR (Autonomní mobilní roboty), automatizace logistiky;
- monitoring – řešení pro sledovatelnost, systém sledování svarových švů.

AWL působí v České republice od roku 2006 pod názvem AWL-Techniek CZ, s.r.o. Následně byla v roce 2014 a 2016 česká pobočka rozšířena o další výrobní závod. V závodě se vyrábějí svařovací buňky pro různé aplikace v automobilovém průmyslu. Na obrázku 9 je hlavní budova společnosti AWL-Techniek CZ, s.r.o, a výrobní hala. Společnost v České republice zaměstnává více než 110 pracovníků a nabízí zákazníkům kompletní balíček služeb:

- poskytuje odborné poradenství v oblasti bodového a obloukového svařování a laserového svařování;
- automatizační technologie, jako jsou systémy počítačového vidění, manipulace s produktem, kontrola kvality a sledovatelnost;

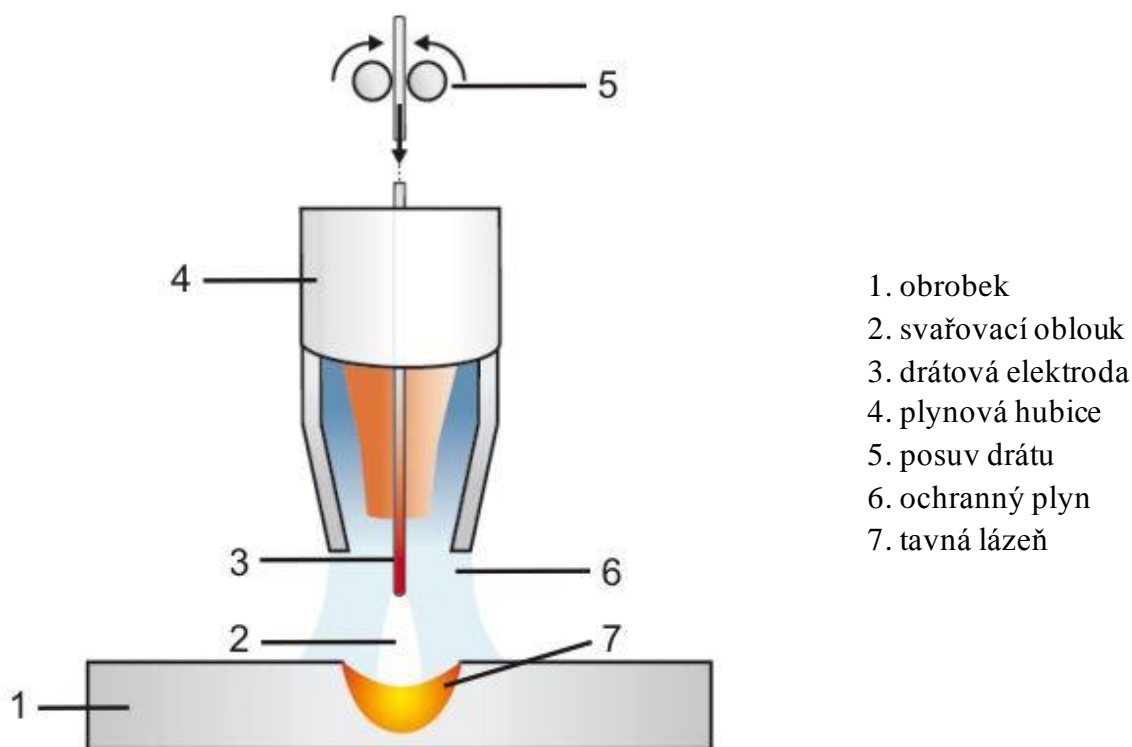
- koncepce modulární výroby a přípravy M-Line;
- návrh a realizace automatizovaných svařovacích pracovišť pro obloukové nebo odporové svařování.



Obr. 9 Pobočka společnosti AWL-Techniek CZ, s.r.o, v Napajedlech [26]

2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ TAVÍCÍ SE ELEKTRODOU V OCHRANNÝCH PLYNECH GMAW [1], [3], [4], [5], [12], [27], [28], [29], [30], [31], [32]

V závislosti na typu materiálu nebo na konstrukci výrobků se volí různé způsoby svařování, například MMA (Manual Metal Arc Welding) – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou, nebo TIG (Tungsten Inert Gas) – svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. Nejčastěji se však používalo svařování GMAW. Zkratku MIG (131) (Metal Inert Gas) lze přeložit jako svařování za použití inertního neboli netečného plynu (Ar, He...). MAG (135) (Metal Activ Gas) přeložíme jako svařování za použití aktivního plynu (O₂, CO₂...).

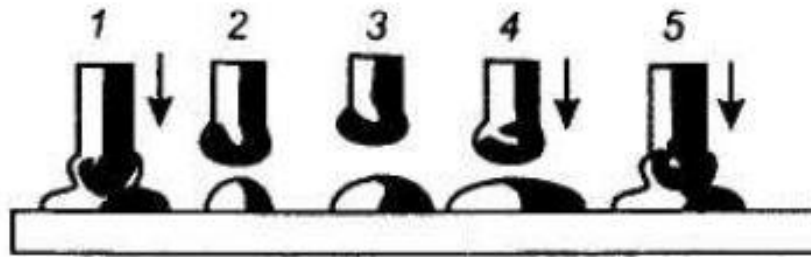


Obr. 10 Schéma svařování v ochranné atmosféře tavicí se elektrodou GMAW [28]

GMAW princip svařování je na obrázku 10. Je to technologie obloukového svařování tavicí se elektrodou (drátem) v prostředí inertního nebo aktivního plynu s automatickým podáváním drátu. Toto poloautomatické svařování v prostředí ochranného plynu je nejuniverzálnější a nejběžnější metodou svařování v průmyslu. Použití termínu „poloautomatický“ není zcela správné, protože mluvíme pouze o automatizaci podávání plnicího drátu. Metoda GMAW byla úspěšně použita v automatizovaném a robotickém svařování.

V závislosti na svařovaném kovu a jeho tloušťce se jako ochranné plyny používají inertní, aktivní plyny nebo jejich směsi. Při tradiční metodě svařování lze rozlišit dvě hlavní formy tavení elektrod a přenosu kovu do svarové lázně.

- Svařovací proces s periodickými zkraty je typický pro svařování elektrodou o průměru 0,5–1,6 mm pro krátký oblouk s napětím 15–22 V. Po dalším zkratu se silou povrchového napětí roztavený kov na konci elektrody stahuje do kapky. Na obrázku 11 je daný proces schematičky zobrazen a označen 1 a 2. Výsledkem je maximální délka a napětí oblouku.

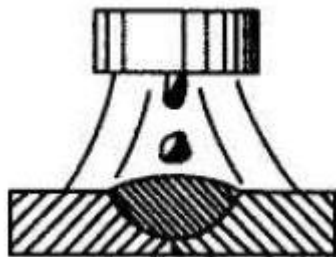


Obr. 11 Schéma procesu tavení a zkratového přenosu kovu [29]

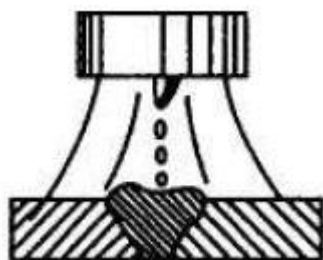
Ve všech fázích procesu je rychlost posuvu drátu konstantní a rychlost jeho tavení se mění a v periodách 3 a 4 je menší než rychlost posuvu. Proto se konec elektrody s kapkou přiblíží ke svarové lázni (délka oblouku a její napětí klesá) ke zkratu (5). Při zkratu se svařovací proud prudce zvyšuje a v důsledku toho se zvyšuje kompresní účinek elektromagnetických sil, jejichž společný účinek narušuje spojení tekutého kovu mezi elektrodou a svařencem. Během zkratu vstupuje kapka roztaveného kovu do svarové lázně. Proces se pak opakuje.

Pro různé průměry elektrodového drátu v závislosti na materiálu, ochranném plynu existuje rozptyl svařovacích proudů, ve kterých je možný zkratový svařovací proces. S optimálními parametry procesu je svařování možné v různých prostorových polohách a ztráta kovu elektrody rozstříkáním nepřesahuje 7 %.

- Vyšší hodnota svařovacího proudu a délky (napětí) oblouku vede ke změně povahy tavení a přenosu kovu od svařování krátkým obloukem se zkraty k procesu s ojedinělými zkraty nebo bez nich. Jak je vidět na obrázku 12, kov je nepravidelně přenášen do svarové lázně oddělenými kapkami různých velikostí.



Obr. 12 Schéma procesu impulzního přenosu kovu [27]



Obr. 13 Schéma procesu sprchového přenosu kovu [29]

Ke zlepšení technologických vlastností oblouku se používá periodická změna jeho okamžitého výkonu. Teplo generované hlavním obloukem je nedostatečné pro tavení elektrody rychlostí rovnající se jeho rychlosti posuvu. V důsledku toho se zmenší délka oblouku. Pod vlivem proudového impulsu dochází k urychlenému tavení elektrody, což zajišťuje tvorbu kapky na jejím konci. Prudký nárůst elektrodynamických sil zužuje krček kapky a přenáší ji ve směru svaru v jakékoli prostorové poloze. Mohou se použít jednotlivé impulzy nebo skupina impulzů se stejnými nebo odlišnými parametry. Stabilita procesu závisí na poměru hlavních parametrů (velikost a trvání pulzů a pauz). Vhodným výběrem hlavního proudu a pulzu je možné zvýšit rychlost tavení elektrody, změnit tvar a rozměry svaru a také snížit spodní hranici svařovacího proudu, což zajišťuje stabilitu hoření oblouku.

Při dostatečně vysokých hodnotách (bez pulzů nebo s pulzy) svařovacího proudu a při hoření oblouku v inertních plynech lze pozorovat velmi malý přenos kapek kovu. Tento jev dostal název sprchový přenos, protože se při pohledu na daný typ přenosu zdá, že roztavený kov

proudí do svarové lázně od konce elektrody kontinuálním proudem. Tento proces je schematicky zachycen na obrázku 13. Změna povahy přenosu kovu elektrody z kapičky v proud nastává, když je svařovací proud zvýšen na kritickou hodnotu pro daný průměr elektrody.

Svařovací parametry

Vzhled svařovacího oblouku a svarové lázně je určován svařovacími parametry, proto není nutné, aby svářeč neustále používal tabulky a schémata poměrů různých svařovacích parametrů.

- Svařovací proud I [A] – má největší vliv na charakter přenosu kovu a na tvar průřezu svarové housenky. Se zvětšením proudu roste velikost a tekutost svarové lázně, hustota proudu a odbavovací výkon.
- Svařovací napětí U [V] – má výrazný vliv na šířku svarové housenky. Také ovlivňuje tvar a rozměr oblouku a má velký vliv na typ přenosu kovu.
- Rychlost posuvu drátu v [m/min] je úměrná svařovacímu proudu.
- Vnesené teplo Q [kJ.mm⁻¹]

$$Q = \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v_s} \quad (1)$$

kde: Q [kJ.mm⁻¹] – vnesené teplo do svarového spoje

U [V] – svařovací napětí

I [A] – svařovací proud

v_s [mm/s⁻¹] – rychlost svařování.

Pro svařování GMAW jsou v závislosti na použitých svařovacích zdrojích k dispozici jednoduchá a rychlá synergická nastavení. V synergickém režimu se svařovací parametry nastavují automaticky na základě provozních podmínek (materiál, tloušťka, plyn, drát, rychlost) a řízením mikroprocesoru jsou dynamicky řízeny a udržovány v rovnováze během svařovacího procesu. Toto nastavení umožní získat výjimečné výsledky svařování co do množství, kvality a vzhledu svaru pro všechny podmínky a aplikace. Modifikací těchto základních typů přenosu kovu firmy vyvíjejí další typy přenosu kovu.

2.1 Synergický režim svařování [1], [33], [34]

Ideálního průběhu svařovacího procesu od fáze zapálení oblouku až po fázi zhasnutí oblouku je možné dosáhnout jenom pomocí velkého počtu plynule nastavitelných parametrů. Nastavení velkého množství parametrů zabere hodně času a špatné nastavení některého z parametrů by mohlo vést k fatálním chybám. S pomocí tzv. synergického režimu (ovládání jedním regulačním prvkem) umožňuje soustředit se výhradně na provedení svařování, aniž by bylo nutné používat speciální techniky svařování při změně prostorových poloh, dalších změn podmínek svařování. Synergické řízení znamená použití mikroprocesorových systémů mikrokontrolerů k výběru a zajištění optimálního cyklogramu, jako jsou parametry pulzů a svařovacího proudu s ohledem na tloušťky a vlastnosti svařovaných výrobků, průměr a materiál drátu, typ a složení ochranného plynu atd. Pokud se například na zařízení změni složení ochranného plynu, bude to mít za následek změnu svařovacího napětí a rychlosti posuvu drátu, což ovlivní indukčnost oblouku a počet impulzů.

2.2. Svařovací zdroj MIG/MAG TPSi od společnosti Fronius [35], [36]

Univerzální platforma TPSi využívá individuálně nastavitelné zařízení s vylepšenými komunikačními schopnostmi mezi člověkem a zařízením. Modulární konstrukce umožňuje přizpůsobit systém specifickým potřebám výroby. Systém registruje větší množství informací o svařovacím oblouku a přesněji reguluje jeho vlastnosti. Vysokorychlostní sběrnice SpeedNet spojující svařovací hořák a mechanismus podávání drátu se zdrojem energie poskytuje vysokou rychlost reakce a vysoký stupeň kontroly.

TSPi je první systém, který na základě aktuální teploty na konci drátové elektrody vypočítává potřebnou (sníženou) energii zapálení oblouku a poté automaticky nastavuje parametry zdroje energie pro jeho neúčinnější stabilizaci. Na obrázku 14 je představen systém TSPi a jeho komponenty. Pokročilý řídicí systém a motor s vysokými dynamickými charakteristikami umožňují rychlé a přesné nastavení rychlosti posuvu drátu v souladu se zadanou vzdáleností mezi kontaktní špičkou a součástkou. V tomto případě je prakticky vyloučeno kolísání hloubky průvaru základního kovu. Ovládání mechanismu podávání drátu zaručuje vynikající kvalitu každé svařovací operace. Na konci svařování je drátová elektroda vtažena současně se snížením svařovacího proudu, což zabraňuje postříku a tvorbě nežádoucí kapky ztuhlého kovu na konci drátu.



Obr. 14 Zdroj Fronius TSPi a jeho komponenty [36]

Optimalizace svařovacích parametrů poskytuje výhody jak standardních, tak dvou zásadně nových svařovacích procesů, možné pouze díky systému TPSi:

- vysoce stabilní obloukové svařování LSC (Low Spatter Control) s extrémně nízkým rozstříkem;
- vysokorychlostní svařování PMC (Pulse Multi Control) s optimálním přenosem kovu a nízkou tendencí k zápalu.

Také inventar TSPi podporuje svařování procesem standard pulzní metodu svařování a taky CMT (Cold Metal Transfer) svařovací proces studným drátem.

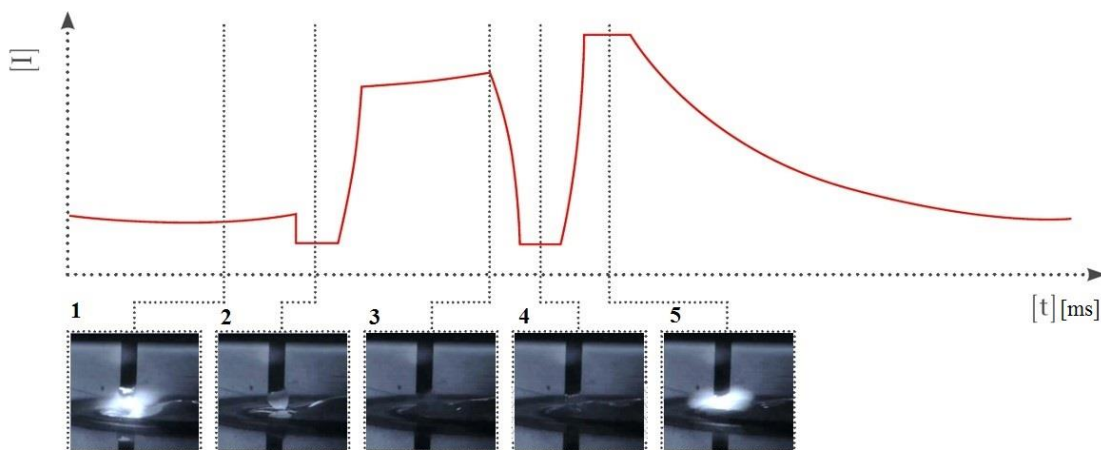
Svařovací systém TPSi může být kombinován podle schopnosti hardwaru, svařovacích procesů a softwaru na individuální procesy svařování.

2.2.1 Svařovací proces LSC – Low Spatter Control [37], [38], [39]

Proces svařování LSC od společnosti Fronius využívá pro svařování krátký oblouk. Ale krátký oblouk byl modifikován tak, aby poskytoval velmi vysokou stabilitu. Princip procesu LSC je, že zkrat na rozdíl od standardního procesu nastává při relativně nízké intenzitě proudu. To umožňuje snadné opětovné zapálení a stabilní proces svařování. Největší výhodou procesu LSC je zajištění minimálního rozstříku. I tento proces má vysokou rychlost tavení materiálu, je to možné díky tomu, že ke zkratu dochází při nízkých hodnotách proudu. Výsledkem je měkké

opětovné zapálení a stabilní svařovací proces, který se velmi liší od standardního procesu s krátkým obloukem. Na daný moment existují 3 nové charakteristiky LSC:

- **LSC Universal** – zcela nový algoritmus, který efektivně využívá vysoký výpočetní výkon, velkou paměť, extrémně rychlou systémovou sběrnici a vysoce dynamickou rychlost podávání drátu nejnovější platformy zdroje energie MIG / MAG, aby se zajistil extrémně stabilní oblouk s minimálním rozstříkem. Je vhodný zvláště pro koutové, rohové i přeplátované svarové spoje a rovněž pro navařování plnicích i krycích vrstev a pro pájení.
- **LSC Root** – tato charakteristika je určena pro kořenové svary, a garantuje proto spolehlivé provaření kořene, při kterém prakticky vylučuje možnost vzniku svarových chyb.
- **LSC Universal Advanced a LSC Universal Advanced** – při robotizovaném svařování je často nezbytné použití dlouhých hadicových vedení a při svařování v režimu LSC, stejně tak jako u ostatních charakteristik pro krátký oblouk, má tato délka velký vliv na výsledky svařovacích operací. Je to způsobeno tím, že čím jsou delší kabely, tím vyšší mají indukčnost, přičemž čím vyšší je hodnota indukčnosti svařovacího okruhu, tím pomaleji může proud klesat. To znamená, že například když dojde ke zkratu, proud nemůže v průběhu času dostatečně klesnout a v důsledku toho nastane rozstřík. Společnost Fronius z tohoto důvodu vyvinula speciální hardwarový doplněk, který umožňuje svařovacím zdrojům s odpovídajícím vybavením proud snížit. Funkce LSC Root Advanced a LSC Universal Advanced používají tento hardware a umožňují tak použít delší hadicová vedení k ještě lepším svařovacím vlastnostem. Na obrázku 12 je znázorněn procesní diagram a zobrazen postup přenosu kovu během svařování v procesu LSC Universal Advanced.

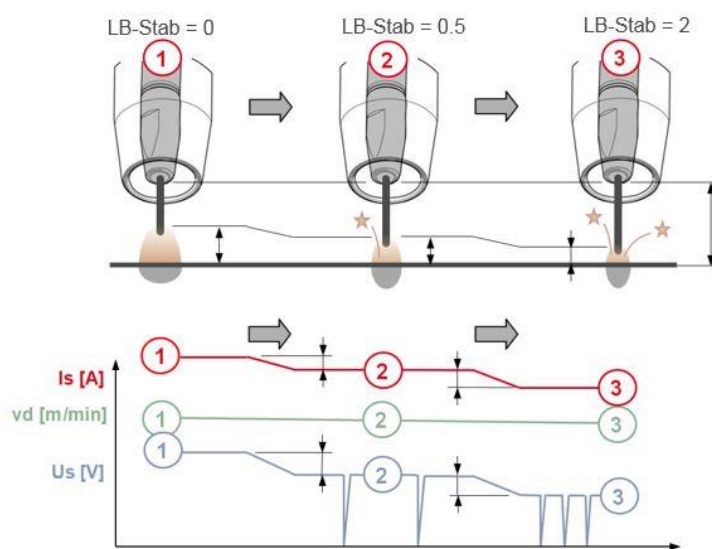


Obr. 15 Procesní diagram a přenos kovu během procesu LSC [37]

Během svařování v režimu LSC se elektrický proud mění v několika klíčových okamžicích, aby se dosáhlo nízkého příkonu tepla a sníženého rozstříku. Na začátku je fáze tvorby kapiček, tento proces je na obrázku 15 označen číslem 1. Pak se proud sníží na minimum, aby se eliminoval vznik rozstříku, to je označeno číslem 2, a velká kapička se dotkne svarové lázně. Proud se pak zvyšuje, aby se kapička drátu sevřela, tento proces je pod číslem 3. Pak nastává druhé snížení proudu pro přenos kapičky do svarové lázně, na obrázku 12 je to pod číslem 4. Tato redukce proudu zajišťuje nízký přenos tepla do základního kovu, což je dobré pro kovy,

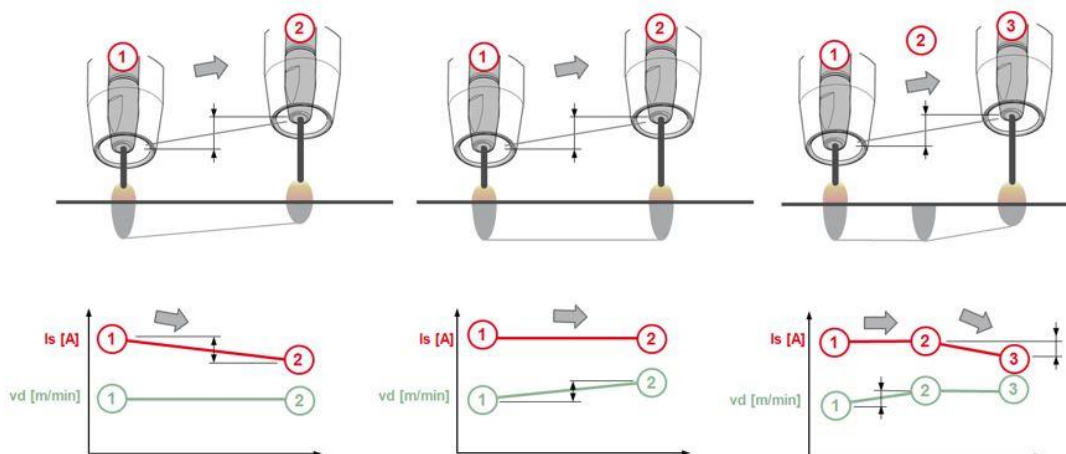
kteřé jsou náchylné k deformacím. Nakonec se proud extrémně zvýší a vytvoří velký tlak na svarovou lázeň, tím se dosáhne lepšího provaření kořene. Na obrázku 12 je to označeno číslem 5. Při robotickém svařování se tento proces používá v aplikacích, jako je svařování rámu automobilových sedadel. Tyto rámy používají tenčí oceli s vysokou pevností, které se snadno deformují nadměrným teplem. I když charakteristika LSC poskytuje extrémně stabilní oblouk, společnost Fronius nabízí další možnost úpravy svařovacích parametrů prostřednictvím dalších funkcí.

Funkce Stabilizátor délky oblouku – tato funkce umožňuje neustále udržovat krátký oblouk, zvětšuje penetraci bez zápalu. Tato funkce udržuje oblouk konstantně krátký a tím zajišťuje stabilitu oblouku. To umožňuje svařování při vyšší rychlosti, což je zvláště důležité při robotickém svařování. Na obrázku 16 je ukázán princip, jak tato funkce funguje.



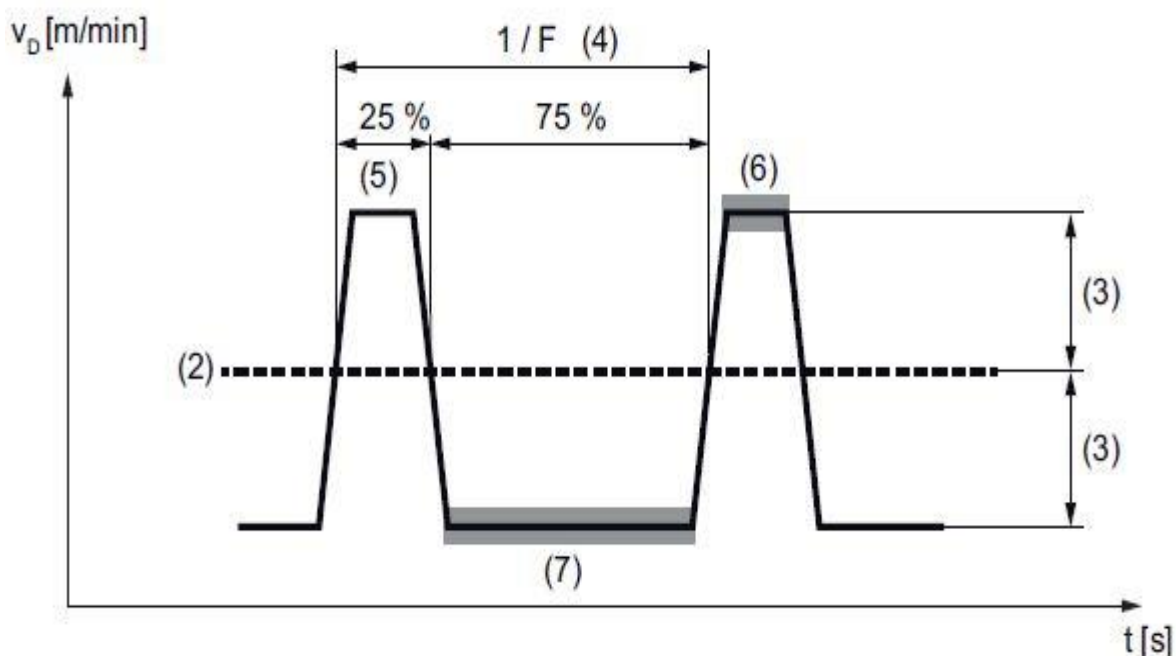
Obr. 16 Princip procesu funkce Stabilizátor délky oblouku [37]

Funkce Stabilizátor průvaru – garantuje konstantní hloubku průvaru. Tento parametr je důležitý zejména při svařování koutových svarů. Průvar ve stále stejné hloubce je udržován prostřednictvím regulace rychlosti drátu. Bez konstantního posuvu drátu by proud kolísal mezi maximální a minimální hodnotou vyložení drátu a také by kolísal průvar. Stabilizátor průvaru tyto změny vyrovnává, a to tím způsobem, že průběžně mění rychlost drátu až o 10 cm/min. Na obrázku 17 je ukázán princip procesu stabilizátoru průvaru.



Obr. 17 Princip procesu funkce Stabilizátor průvaru [38]

Funkce SynchronPulse – umožňuje kontrolu tepelného zatížení. Tato funkce je k dispozici pro všechny procesy (standardní / pulzní / LSC / PMC). Díky cyklické změně svařovacího výkonu mezi dvěma operačními body SynchronPulse dosahuje vzhledu šupinového svaru a nepřetržitého přívodu tepla. Závislost rychlosti podávání drátu na čase a možnosti jejího nastavení při použití této funkce jsou ukázány na obrázku 15.



Obr. 18 Příklad aplikace funkce SynchronPulse [38]

Na obrázku 18 je zachycen graf závislosti rychlosti podávání drátu (2) na čase. Pod číslem 3 je uveden rozptyl podávání drátu. Funkce Delta wire feed nastavuje střídavý pohyb drátu a další parametry se tomuto parametru přizpůsobí. Číslem 4 je označena frekvence kmitu. Trvání pracovního cyklu řídí parametr Duty Cycle a je označen číslem 5. Je to doba trvání horního bodu v periodě SynchronPulse. Pod čísly 6 a 7 jsou parametry korekce oblouku v horním a dolním bodě.

Parametr Duty Cycle – tento parametr odpovídá za časový poměr mezi fází zvýšeného tepelného zatížení, což má vliv na dobré provaření kořene, a fází ochlazování, což umožňuje zmenšit množství vneseného tepla. V předchozích generacích přístrojů byl tento parametr nastaven pevně na hodnoty 50/50.

Funkce Korekce dynamiky – tato funkce je obzvlášť užitečná při provařování kořene. Jejím prostřednictvím je možné nastavit tlak oblouku a docílit tím většího průvaru.

Proces LSC má spoustu výhod, například umožňuje redukci rozstříku, lepší separaci kapek, zvýšenou stabilitu oblouku a rychlosti svařování. Všechny tyto výhody jsou důležité při robotickém svařování v automobilovém průmyslu.

Vylepšení platformy TPSi výrazně zlepšilo řízení svařovacího oblouku. TPSi rychle rozpoznává fáze procesu během zkratu a podle toho reaguje. Její aktivace zahrnuje skok svařovací síly mezi dvěma provozními body vybrané charakteristiky. Díky tomu a také díky novým stabilizátorům může svařovací proces dosáhnout vynikajících výsledků.

2.2.2 Svařovací proces PMC – Pulse Multi Control [39], [40], [41], [42]

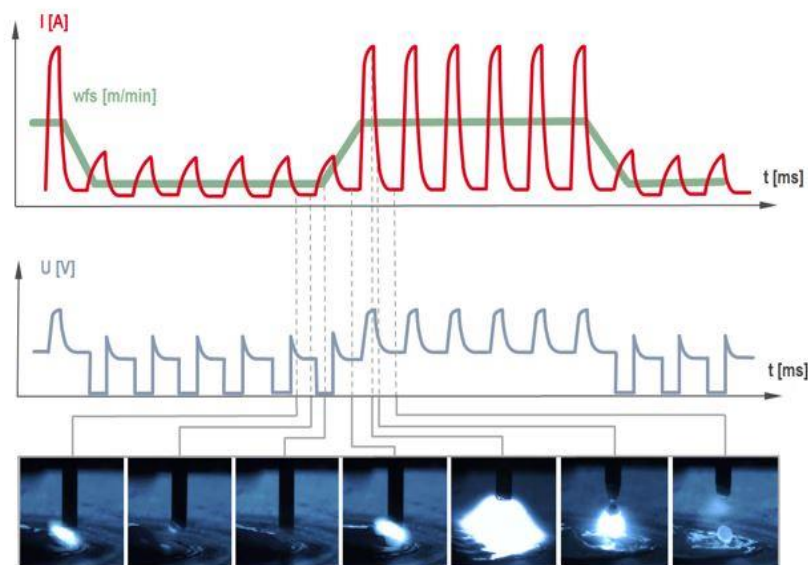
Proces svařování PMC od společnosti Fronius využívá při svařování pulzní oblouk. Výkonné vybavení zaručuje velmi rychlou odezvu během svařování, která umožní ovládat oblouk efektivněji. Nově vyvinuté a upravené funkce poskytují podstatně větší kontrolu nad pulzním obloukem. Svařování oceli, hliníku a chromniklových ocelí inertním plynem sotva způsobuje rozstřík. Při svařování procesem PMC je zaručena dobrá penetrace, dochází k menším zápalům a je možné svařovat rychleji a ekonomičtěji. Stejně jako proces PLS se i proces PMC dělí na různé charakteristiky:

- **PMC mix** – je zcela nový algoritmus pro proces PMC. Svařovací proces nejen přechází tam a zpět mezi dvěma provozními body charakteristiky, jako je tomu u SynchronPulse, ale mění proces mezi impulzem (PMC) a standardním krátkým obloukem (LSC). Zaručuje vysokou rychlost svařování s optimálním oddělením kapiček během pulzního svařování a zajišťuje konstantní průvar. PMC mix je tedy ideálním řešením i pro automatizované svařovací aplikace. Proces PMC mix a všechny procesy mix mají také svoje parametry, kterými je možné regulovat proces. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 18.

Tab. 8 Parametry procesu PMC [40].

Název funkce	Popis funkce
horní korekce doby trvání výkonu	Nastavení doby trvání horké fáze v procesu PMC mix a CMT mix. Se zvýšením daného parametru klesá frekvence procesu a fáze PMC se prodlužuje. Při snižování horní korekce doby trvání výkonu se frekvence procesu zvyšuje a fáze PMC se zkrátí.
dolní korekce doby trvání výkonu	Nastavení doby trvání studené fáze v procesu PMC mix a CMT mix. Pokud se dolní korekce času výkonu zvýší, frekvence procesu klesá a pro proces CMT mix je prodloužena fáze LSC. Pokud se dolní korekce doby trvání výkonu sníží, frekvence procesu se zvyšuje a pro CMT mix je zkrácena fáze LSC.
dolní korekce výkonu	Umožňuje měnit vnesenou energii ve studené fázi v procesu PMC mix a CMT mix. Tento parametr umožňuje přesnější řízení přívodu tepla.

V procesu PMC mix je střídavý proces mezi svařováním PMC a LSC, tento proces byl popsán v kapitole 2.2.1. Studená fáze procesu LSC následuje po horkém procesu PMC. Na obrázku 19 je ukázán proces PMC mix a závislost proudu a napětí na čase.



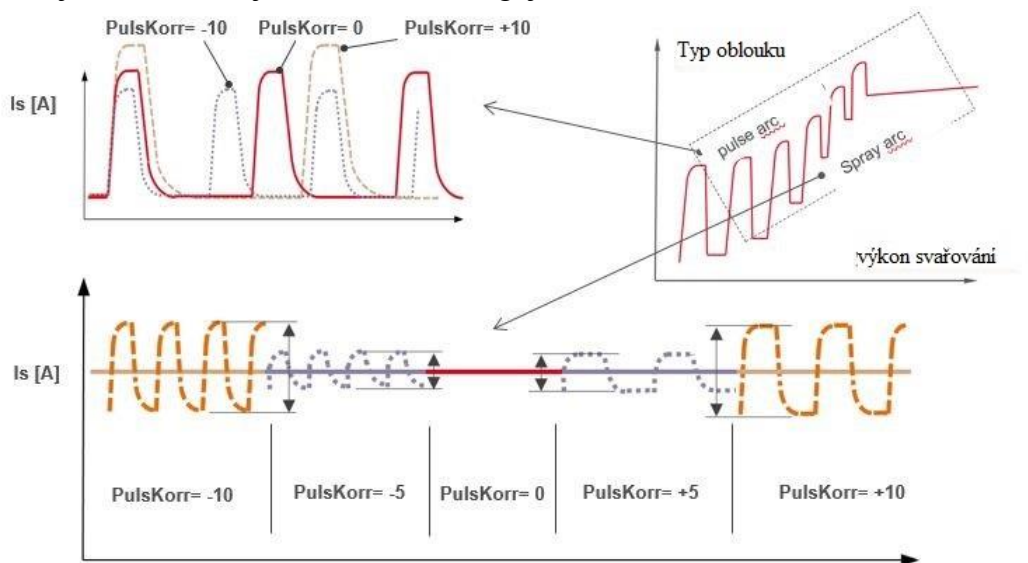
Obr. 19 Proces PMC mix [41]

Proces PMC má stejně jako proces LSC možnost nastavovat další parametry. Je možné upravovat parametr stabilizátor průvaru, který byl popsán v kapitole 2.2.1, má stejné funkce jako při svařování procesem LSC. Stabilizátor průvaru poskytuje konstantní hloubku průvaru úpravou rychlosti podávání drátu i při kolísáních vyložení elektrody, například v těžko přístupných rozích nebo při robotickém svařování. Také v procesu PMC je možné nastavovat parametr stabilizátor délky oblouku. Pomocí této funkce se může přímo upravit délka oblouku změnou svařovacího napětí. Výsledkem je, že při zkratu je oblouk zmenšen, což zajišťuje bezpečný přechod kapek bez vlivu vnějších faktorů. Funkce rychlého monitorování minimalizuje časy zkratů a snižuje napětí na optimální dobu, což zajišťuje svařování s menším rozstříkáním a průvarem. Ale proces PMC má také další parametry, kterými je možné proces svařování doladit. V procesu PMC zůstává také funkce SynchroPulse a nový svařovací parametr Duty Cycle, které byly popsány v kapitole 2.2.1. Z tohoto důvodu může uživatel při svařování SynchroPulse nastavit dobu trvání aktuálního pulzu v procentech délky trvání každého cyklu. V důsledku toho lze regulovat přívod tepla přesněji.

- **PMC mix drive** – tento proces nabízí přesnější řízení tepelného příkonu ve srovnání s PMC mix. Je charakterizován fází s nízkým výkonem, která je generována pomocí svařovacího hořáku s push-pull pohonnou jednotkou (WF 25i Robacta Drive), který během studené fáze procesu provádí zpětný pohyb. To znamená, že po každém zkratu se elektroda pohybuje dozadu. Výkonná regulace procesu „rozpoznává“ zkratový bod a pomáhá uvolňování kapiček zatažením. Je to prakticky proces bezproudového přenosu materiálu, přerušovaný oblouky poskytují větší podíl studené fáze v procesu. Délka oblouku je extrémně rychle korigována v každém cyklu díky výkonným regulačním obvodům TPSi, což znamená, že pohon PMC mixu je obzvláště spolehlivý. K dispozici jsou také stejné korekční funkce jako pro PMC mix.
- **PMC Rippel Drive** – tento proces se používá, pokud je vzhled svarové housenky nejdůležitějším kritériem pro vyhodnocení svaru. Používá se na přeplátované svary a taky je to proces pro svařování hliníkových konstrukcí.

Funkce Pulse/dynamic correction – tuto funkci lze v systémech TPSi použít k urychlení (nebo zpomalení) oddělení kapiček. Kromě toho tato funkce udržuje konstantní přísun energie.

Charakteristika PCS – Pulse Controlled Spray-Arc – tato vlastnost umožňuje plynule přecházet mezi pulzním a zkratovým obloukem, čímž se eliminuje nestabilní přechodový oblouk. V nižším výkonovém rozsahu funguje funkce korekce pulzu jako pulzní oblouk. Na obrázku 20 je znázorněno, jak tato funkce funguje.

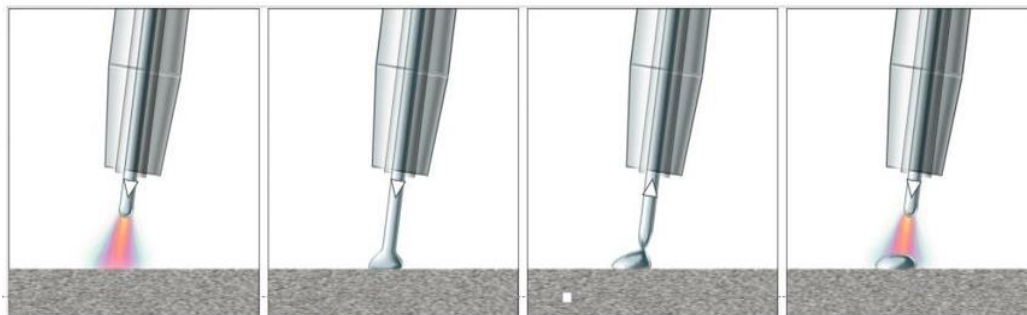


Obr. 20 Charakteristika PCS – Pulse Controlled Spray-Arc [42]

Kromě toho společnost Fronius také významně vylepšila začátek a konec svařování. Energie zapalování nyní závisí na teplotě drátu, a pokud je drát stále horký, spotřebuje se na další zapalování méně energie. Při svařování v procesu PMC je drát na konci procesu svařování zatažen. To také snižuje proud, což likviduje odpálení drátu. Obě funkce nejen zlepšují energetickou rovnováhu a zmenšují opotřebení nástrojů, ale také zlepšují kvalitu svarů.

2.2.3 Svařovací proces CMT – Pulse Multi Control [43], [44], [45], [46]

Tento proces svařování funguje většinou v režimu zkratového přenosu, pro který je charakteristický nízký proud a napětí, což znamená nízký tepelný příkon. Důležitým rozdílem CMT procesu oproti konvenčním procesům svařování obloukovými metodami je úplné digitální řízení svařovacího procesu. Mikrokontroler řídí podávání drátu pro proces CMT přes motory. Počáteční proud, který tvoří oblouk mezi elektrodou a svařencem, je vysoký. Proud se sníží, jakmile je indikován zkrat, napětí se sníží, proud se dále snižuje na nízkou hodnotu a drát je stažen, což vede k oddělení roztavené kapičky. Tento proces se nazývá CMT kvůli přenosu kovu, který nastává, když je proud velmi nízký. Jeden cyklus procesu CMT je uveden na obrázku 21.

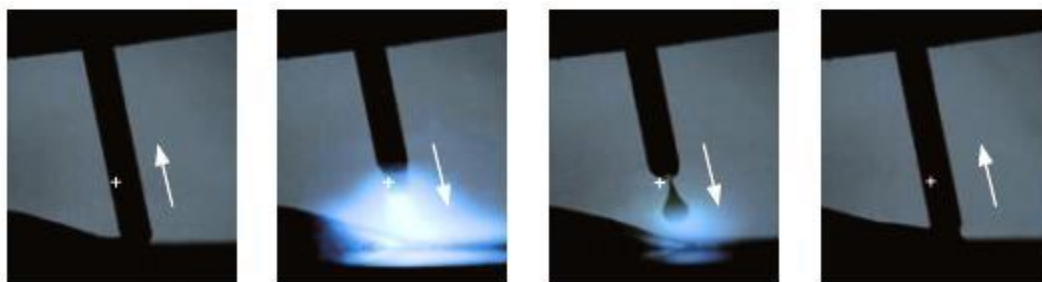


Obr. 21 Jeden cyklus procesu CMT [44]

V první fázi se drát pohybuje směrem ke svařové lázni vytvořené obloukem. Když odtavený kov vstoupí do svařovací lázně, zhasne oblouk a svařovací proud se sníží. Během zkratu dojde dále k oddělení kapiček, které je podporováno pohybem drátu směrem dozadu. Ve zkratové fázi je proud nízký. Poté cyklus začne znovu, jakmile se zapálí oblouk a podavač se posune směrem ke svařovací lázni. Délka tohoto cyklu není předem nastavena. Cyklus je optimalizován podle předem stanovených charakteristik oblouku. Na pohyb drátu a jeho řízení má vliv to, co se děje ve svaru a naopak. Z tohoto důvodu nelze stanovit přesnou hodnotu frekvence pohybu drátu, ale střední hodnota je cca 70 Hz.

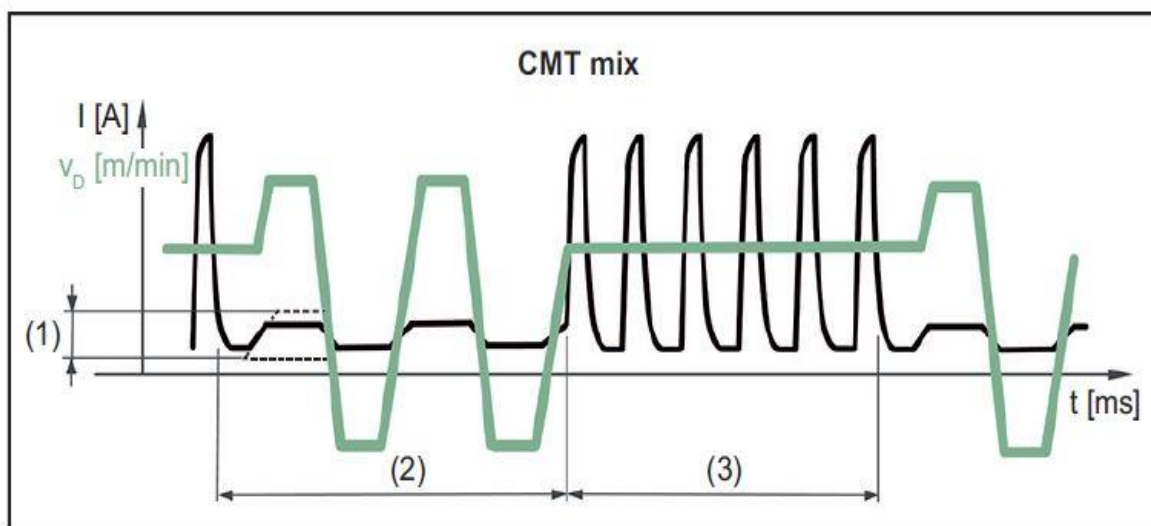
Základní proces CMT je víceúčelová metoda svařování a může být široce používána v různých druzích aplikací. Proces CMT má také další charakteristiky jako procesy popsané v kapitolách 2.2.1 a 2.2.2.

- **CMT Pulse/mix** – je proces studeného přenosu kovu, do kterého je ale přidán pulzní cyklus. Při svařování metodou CMT mix pulzní cyklus dává více tepla a to také znamená vyšší tepelný příkon. To přidává více oddělených kapiček do každého cyklu, což vede ke zvýšení rychlosti. Na obrázku 22 je zobrazen jeden cyklus procesu CMT mix.



Obr. 22 Jeden cyklus procesu CMT mix [44]

V první fázi je drát zatažen, zatímco oblouk je pozitivní, jako v procesu CMT. Potom přichází fáze pulzního oblouku, kde se drát pohybuje směrem k obrobku a současně se kapka odpojí. V tomto bodě je oblouk zhasnut a normální cyklus CMT pokračuje znovu. Proces CMT mix je smíšený proces svařování CMT a PMC. Horké fáze procesu PMC následují studené fáze procesu CMT. Tento průběh je zobrazen na obrázku 23.



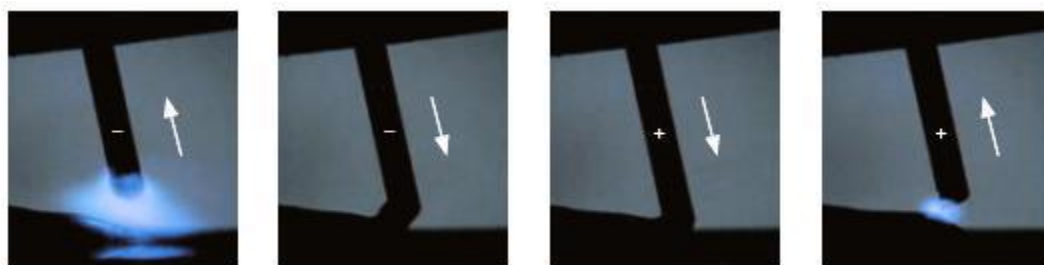
Obr. 45 Proces CMT mix smíšený proces svařování CMT a PMC; horké fáze procesu PMC následují studené fáze procesu CMT [23]

Na obrázku 24 je vidět, že studený proces CMT následuje horká fáze procesu PMC, je to pulzní metoda, která byla popsána v kapitole 2.2.2. Pod číslem 1 je parametr dolní

korekce výkonu a koriguje množství vnesené energie ve studené fázi. Pod číslem 2 je parametr dolní korekce doby trvání výkonu a řídí dobu trvání studené fáze. Číslem 3 je označen parametr horní korekce doby trvání výkonu a tento parametr řídí dobu trvání horké fáze v procesech mix. Podrobněji jsou tyto parametry popsány v tabulce 8. V_D je rychlost podávání drátu.

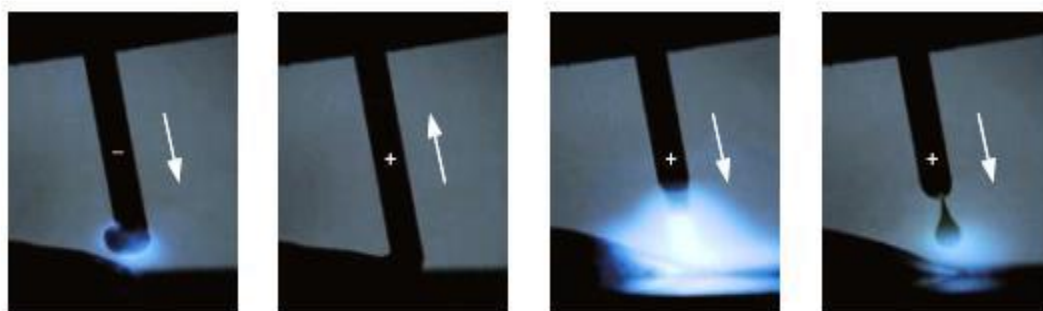
CMT Pulse poskytuje velmi úzkou patu svaru a používá se hlavně pro svařování hliníku. Nedoporučuje se pro navařování, protože je výrazně zvýšený přívod tepla oproti procesu CMT universal, což ovlivňuje ředění a tím i složení povlaku. Umožňuje vyšší rychlosti svařování se zvýšeným vneseným teplem.

- **CMT Dynamic** – je nejnovější vývoj v řadě CMT. Tento proces byl navržen pro svařování tlustších plechů. Frekvence zpětného pohybu drátu byla zvýšena až na 130 Hz. Toto zvýšení pohybu drátu umožňuje hlubší penetraci a umožňuje vyšší rychlost svařování. CMT Dynamic vnáší více tepla a má větší tepelný příkon, zvýšený tlak v oblouku a tím více energie.
- **CMT Advanced** – posledním vývojem v technologii CMT je CMT Advanced a princip této varianty je znázorněn na obrázku 24. Proces probíhá s pozitivními a negativními cykly CMT a kombinuje tyto dva typy procesu. Díky tomu je proces ještě chladnější než normální proces CMT. Ke změně polarity svařovacího proudu dochází ve zkratové fázi a oblouk zůstává stabilnější. Toto má za následek nižší tepelný příkon a lepší přemostění spár. A předání kapky probíhá přesně.



Obr. 24 Jeden cyklus procesu CMT Advanced [44].

- **CMT Pulse Advanced** – dalším procesem CMT je Pulse Advanced CMT. Tento proces kombinuje cykly CMT se zápornými a kladnými polarizovanými cykly. Tato kombinace je ukázána na obrázku 25. Nejprve je negativní fáze CMT, kde se drát pohybuje směrem k obrobku. Při tomto procesu dosahuje postup vyššího odtavného výkonu při dost malém vnosu tepla. Dále následuje přepólování na kladné pulzní cykly a probíhá při zkratu. Během této fáze je dosaženo bezzkratového přechodu kapky a vnáší se větší množství tepla. Poměr mezi kladnými a zápornými procesními cykly je volně volitelný.



Obr. 25 Jeden cyklus procesu CMT Pulse Advanced [44]

Procesy CMT umožňují provádět aplikace, které byly dříve považovány za neproveditelné. Předností těchto procesů je stabilní oblouk a dobré přemostitelnosti svarové spáry. Tyto procesy se používají ve třech hlavních oblastech. První je svařování tenkých plechů různých materiálů, druhá oblast aplikace je bezroztříkové MIG-pájení a třetí spojování ocelových a hliníkových dílů. CMT procesy je možno aplikovat na různé druhy materiálů a různé geometrie svarů.

2.3 Robotizované svařování společnosti Fronius [41], [47], [48], [49]

Průmyslová sériová výroba vyžaduje splnění určitých pravidel: vysoká kvalita, definované doby zpracování, přesné náklady. A teoreticky neomezená reprodukovatelnost. Ve skutečnosti však existuje mnoho ovlivňujících faktorů, které mohou mít vliv na výrobní proces a ovlivnit tak celkovou ziskovost výrobní operace. Vyhnout se chybám a stabilizovat proces pomáhají svařovací roboty.

Robotické svařování je plně automatizovaný proces, který je realizován pomocí speciálních robotických manipulátorů a dalšího svařovacího zařízení. Hlavními výhodami svařování robotem jsou prvotřídní kvalita hotových výrobků a vysoká produktivita.

Společnost Fronius nabízí tři typy systémů svařovacích robotů a dalšího svařovacího zařízení. Jsou to systémy Push, PushPull a PowerDrive. Systém Push se vyznačuje tím, že má jednoduchou manipulaci a náklady na údržbu systémů jsou relativně nízké. Používá se při standardním svařování oceli nebo CrN oceli. Podporuje svařovací procesy LSC a PMC. Další systém PushPull je systém se dvěma podávacími dráty. Také podporuje procesy svařování PMC a LSC, ale i proces CMT, který zajišťuje téměř bezroztříkový svařovací proces s vysokou rychlostí svařování a kvalitou. A systém PowerDrive je alternativou systému PushPull. Má jeden podavač drátů, který je umístěn u oblouku. Na obrázku 26 je zobrazen systém PushPull.



1 – zdroj svařovacího proudu, 2 – podavač drátů, 3 – pufrovací zásobník drátu, 4 – SpeedNet,
6 – svařovací hořák

Obr. 26 Systém PushPull [47]

2.3.1 Svařovací zdroj [48], [49]

Při robotickém svařování je důležité dodržet kvalitu a velkou opakovatelnost. Ale to může ovlivnit spousta faktorů. Patří k nim provozní chyby, změny v kvalitě materiálu nebo účinky tepelné deformace během svařovacího procesu. Pokud není závada objevena a odstraněna okamžitě, robot ji bude reprodukovat po celé montážní lince.

Proto se používají středofrekvenční tyristorové nebo vysokofrekvenční tranzistorové střídače – invertory. Špičkové invertory řízené mikroprocesorem patří do skupiny tzv. synergických zdrojů.



Obr. 27 Inventor TSPi [48]

Zdroj energie MIG / MAG TPSi je na obrázku 27. Inventor je zdroj energie řízení mikroprocesorem. Mikroprocesor automaticky nastaví svařovací parametry v závislosti na svařovacím materiálu, použitém plynu, průměru drátů a jedním z parametrů, například rychlost podávání drátů. Inventor umožňuje nastavit a použít svařovací programy. Nesmírnou výhodou je také možnost připojení zdroje k počítači a měřit během svařovacího procesu skutečná data nepřetržitě. Pak je tato data možné uložit a použít pro technickou dokumentaci.

2.3.2 Podavač drátu [50], [51], [52]

Existují tři typy zařízení pro podávání drátů, které se liší způsobem vedení drátu. Tlačné podávání drátu je nejběžnějším typem podávání. Nezatežuje svařovací hořák a usnadňuje svařovací proces. Při tlačném podávání je možné drát uspokojivě podávat na vzdálenost maximálně 5 m (pro dráty 1,0–1,6 mm). Tažné podávání drátů – takový mechanismus je sestaven uvnitř poloautomatického zařízení v těle hořáku. Nevýhodou je, že hořák je těžší, což má vliv na výkon svářeče a zpomaluje proces. Kombinované podávání drátů – kombinuje tažné a tlačné mechanismy.

Při volbě podavače je také důležitý počet kladek, které podávají svařovací drát. Podavače se dělí na dvoukladkové nebo čtyřkladkové (obrázek 28).



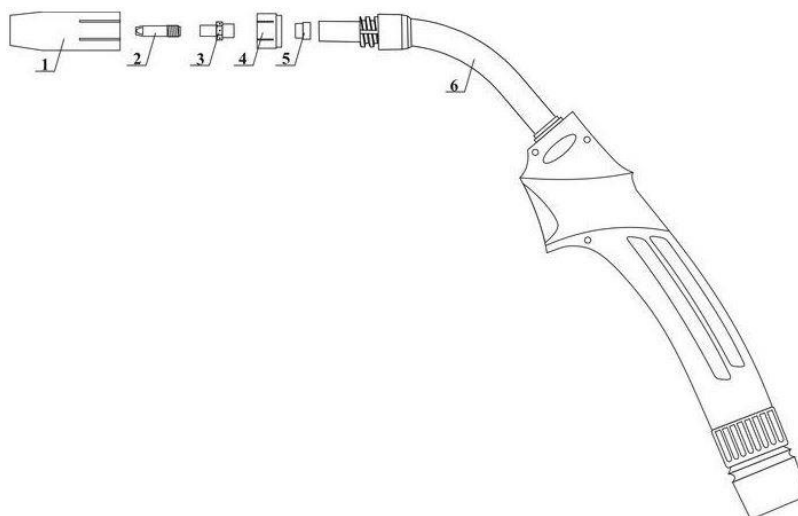
Obr. 28 Podavače drátů – dvoukladkový a čtyřkladkový [52]

Existují i speciální metody podávání drátů. Například systém Push-Pull. Při použití principu Push-Pull funguje mechanismus posuvu drátu u zařízení MIG / MAG s přídatným tažným mechanismem ve svařovacím hořáku. Pro dokonalý svařovací proces je důležitá přesná synchronizace použitého mechanismu podávání drátu a přídatného zařízení, které je součástí svařovacího hořáku a drát táhne. Push-Pull hořáky se používají především pro svařování hliníku, pomocí svařovacích drátů s malým průměrem. Touto metodou lze drát podávat až do vzdálenosti 10 m.

2.3.3 Svařovací hořák [53], [54], [55]

Svařovací hořák má velký význam pro svařování. Rychlost práce a její kvalita závisí na parametrech svařovacího hořáku. Jeho účelem je také přivádění svařovacího drátu a ochranného plynu na místo svařování. Kromě toho je prostřednictvím hořáku dodáván proud.

Podle způsobu chlazení se ruční svařovací hořáky dělí na chlazené plynem a chlazené kapalinou. Na obrázku 29 je schéma svařovacího hořáku s chlazením vodou.



Obr. 29 Schéma svařovacího hořáku [55]

Pod číslem 1 je hubice hořáku. Dál je kontaktní špička a je označena číslem 2. Pod číslem 3 je takzvaný adaptér špičky nebo rozdělovač plynu. Pak je zde pružina – 5 a hrdlo drážky – 6.

Další podskupinou jsou hořáky série Push-Pull nebo hořáky určené pro svařování na robotech. V robotizovaném svařování je hořák zodpovědný za kvalitu, rychlost svařování a opakovatelnost. Hlavními požadavky na hořáky jsou životnost, vysoká výkonnost i při dlouhých cyklech, možnost výběru různých úhlů zahnutí, kompatibilita s roboty. Svařovací hořáky pro robotizované svařování se vyrábějí v provedení pro svařování jednou drátovou elektrodou nebo dvěma drátovými elektrodami (tandemový hořák). Použitím tandemového hořáku se dosahuje vysokého výkonu odtavení.

2.2.4 Ochranné plyny [56], [57], [58]

Ochranný plyn je důležitou součástí, která zajišťuje produktivitu a dobrou kvalitu svařovacího procesu. Plyn chrání svar před oxidací, jakož i před vlhkostí a nečistotami přítomnými ve vzduchu, což může snížit odolnost svaru vůči korozivním procesům, vést k pórům a oslabit pevnost svaru, což ovlivňuje geometrii svarového spojení.

Jako ochranné plyny používané pro svařování se používají inertní plyny a aktivní plyny, jakož i jejich směsi.

Inertní plyny pro svařování. Inertní plyny jsou plyny, které nejsou schopny chemicky reagovat a jsou prakticky nerozpustné v kovech. Atomy takových plynů jsou opatřeny vnějšími elektronovými náboji naplněnými elektrony, což vysvětluje jejich chemickou inertnost. Patří sem argon, helium a jejich směsi.

Aktivní plyny pro svařování. Jedná se o plyny, které chrání svařovací lázeň před přístupem vzduchu a současně vstupují do chemických reakcí s kovem, který je v něm svařen.

- **Oxid uhličitý (CO₂)** je bezbarvý netoxický plyn rozpustný ve vodě a je těžší než vzduch. Oxid uhličitý pro svařování by neměl obsahovat minerální oleje, glycerin, sirovodík, kyselinu chlorovodíkovou. Při svařování konstrukčních ocelí s nízkým obsahem uhlíku se používá také směs oxidu uhličitého s kyslíkem (CO₂ + O₂). Na rozdíl od čistého oxidu uhličitého má směs CO₂ + O₂ intenzivnější oxidační účinek na tekutý kov. Oxid uhličitý se používá jako ochranný prostředek ve stavebnictví a strojírenství.
- **Kyslík (O)** je v plynné směsi CO₂ + O₂ a Ar + O₂. Je to bezbarvý plyn bez zápachu, který podporuje spalování. Kyslík zaručuje velmi široký svar, který se vyznačuje menším průvarem a také poskytuje vysoký tepelný příkon na kovovém povrchu.

Směsi inertních a aktivních plynů se stále více používají při svařování různých tříd ocelí s tavicí se elektrodou, a to díky jejich technologickým výhodám. Největší výhodou je vysoká stabilita oblouku. Přidání malého množství kyslíku nebo jiného oxidačního plynu do argonu významně zvyšuje stabilitu hoření oblouku a zlepšuje kvalitu tvorby svařovaných spojů.

Tab. 9 Příklady svařovacích kovů a doporučených plynů [58].

Druh materiálu	Doporučený plyn	Svařovací proces
Uhlíková ocel	1,75 % Ar + 25 % CO ₂	1. Vysoká rychlost svařovacího procesu bez propálení kovu do tloušťky 3 mm, minimální deformace a minimální rozstřík.
	2. Ar + 1–5 % O ₂	2. Vylepšená stabilita oblouku, rychlost svařování je vyšší ve srovnání s čistým argonovým svařováním
Nízkolegovaná ocel	1,75 % Ar + 25 % CO ₂	1. Dostatečná pevnost, malý rozstřík podél obrysu svařovaného spoje, vysoká stabilita oblouku.
	2. Ar + 2 % O ₂	2. Nízké riziko propálení, větší pevnost svaru.

2.2.4 Přídavné materiály [59], [60], [61], [62].

Při svařování metodou MIG/MAG se používají přídavné materiály ve formě plného drátu nebo ve formě trubičkového drátu, jiný název takového drátu je plněný drát. Svařovací dráty jsou běžně dodávány na cívkách, což umožňuje zajistit kontinuální přívádění elektrody do pracovní oblasti. Plněný drát z vnější kovové skořepiny s jádrem z práškových materiálů taky jsou dodávány na cívkách. Plněné elektrody mohou mít bazickou, rutilovou naplň. Muže být tvořena kovovým práškem, případně i s potřebnými legurami. Příklady plněných drátů jsou představeny na obrázku 30.



Obr. 30 Plněné (trubičkové) elektrody [61]

Plněné elektrody mají řadu výhod:

- lepší kvalita svarového kovu;
- vyšší mechanické vlastnosti svarového kovu, hlavně vrubová houževnatost;
- podstatné zvýšení produktivity svařování především v polohách;
- větší možnost legování svarového kovu při použití kovového prášku s potřebnými legurami;
- vyšší výkon navaření;
- hlubší závar.

Volba elektrody a jejího průměru přímo závisí na druhu svařovaného materiálu, zvolené metodě svařování, požadovaným stupněm jakosti. Složení elektrody by mělo mít podobné složení jako svařovaný materiál. Tloušťka elektrody závisí na tloušťce svařovaného produktu. Dráty plného průřezu pro svařování oceli se vyrábějí v průměrech: \varnothing 0,6 mm; \varnothing 0,8 mm; \varnothing 1,0 mm; \varnothing 1,2 mm; \varnothing 1,6 mm.

Obvykle jsou plné dráty pro svařování MIG/MAG dodávány na cívce běžně o hmotnosti 5–18 kg dle druhu, průměru drátu a typu. Pro robotizované pracoviště jsou některé typy drátů dodávány v balení o hmotnosti 200–250 kg nebo i ve větším provedení. Na obrázku 31 jsou uvedeny příklady plněných drátů v různých dodávaných provedeních.



Obr. 31 Varianty balení svařovacího drátu [62]

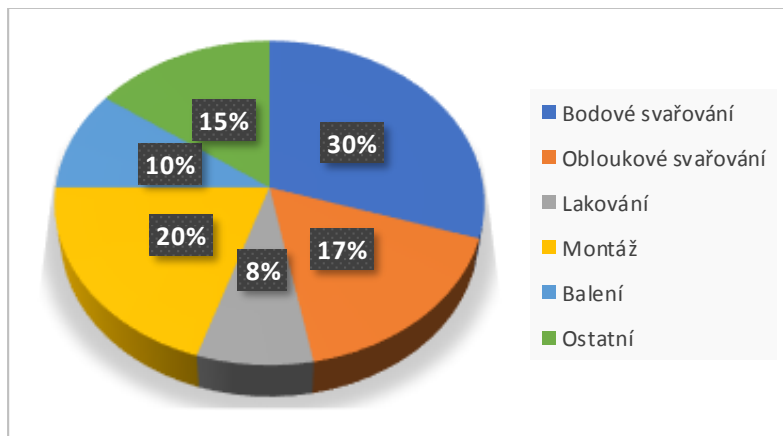
2.2.5 Svařovací roboty [63], [64], [65], [66]

Průmyslové roboty jsou ve svařovacím průmyslu široce využívány. Mezi charakteristické oblasti použití robotů ve svařování, které umožňují využívat jejich výhody, patří:

- sériová výroba;
- malosériová a středně sériová výroba (v podmínkách časté změny sortimentu) – svařování stejného typu výrobků (při změně výrobku se může použít stejný robot, změní se pouze jeho program);
- svary libovolného tvaru, velké množství krátkých svarů různě umístěných v prostoru;

- kontaktní bodové svařování přeplátovaných svarů.

Pokud jde o globální trendy ve svařování, podíl svařovacích robotů na celkovém počtu je přibližně 47 % z celkového množství průmyslových robotů (obrázek 32). Nejběžnějšími roboty jsou roboty pro odporové bodové svařování – 30 %. Používají se hlavně v automobilovém průmyslu. Roboty pro obloukové svařování představují asi 17 % z celkového počtu robotů.



Obr. 32 Podíl robotů podle odvětví ve světě v roce 2014 [65]

Svařování elektrickým obloukem je charakterizováno řadou postupných operací. Jsou to operace zapálení elektrody a operace posuv elektrody během svařování. Proto jsou zvláštní požadavky na průmyslové roboty určené pro obloukové svařování. Například softwarové řízení je nezbytné nejen pro vedení elektrody podél spoje, ale také pro technologické parametry svařovacího procesu.

Například svařovací proud, napětí, rychlost svařování, rychlost podávání svařovacího drátu, spotřeba ochranného plynu atd.

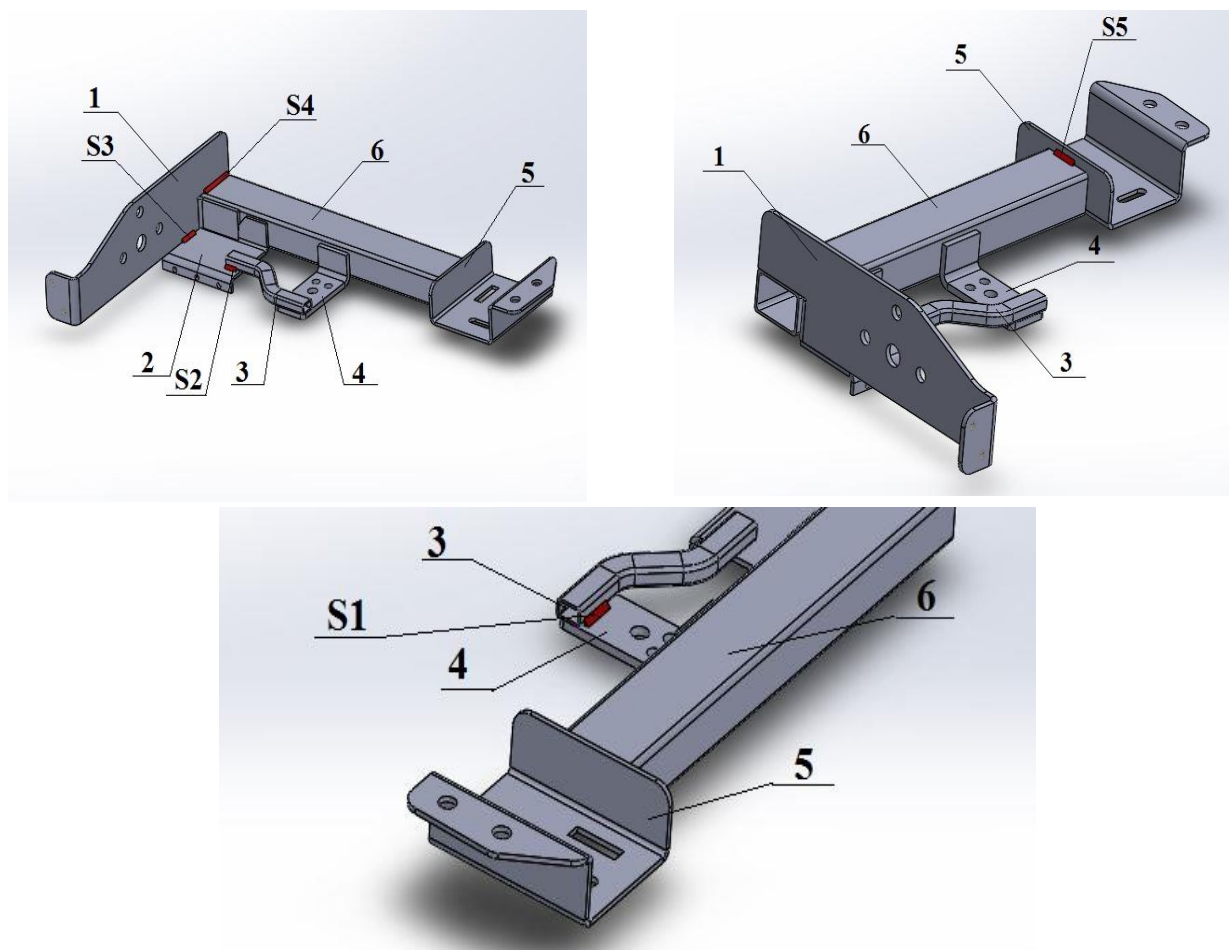
Problém automatizace výroby s velkým množstvím různých dílů je nejlíp vyřešen vytvořením robotických linek nebo svařovacích buněk. Taková linka může zahrnovat polohovačla nebo svařovací manipulátory, zdroje energie a ovládací skříně, zařízení na čištění hořáku. V moderní výrobě svařování se roboty používají ve formě robotických komplexů, když svařování jedné montážní jednotky provádí několik svařovacích robotů a manipulátorů s mikroprocesorovým řídicím systémem, který otáčí a pohybuje produktem tak, aby součást umístil do polohy vhodné pro svařování. Existuje několik řešení pro robotické systémy. Několik svařovacích robotů stejného typu, například na obloukové nebo kontaktní svařování, provádí svařování různých svarů stejného dílu. To umožní zvýšit produktivitu výroby současným provedením několika svarů a zkrátit dobu nečinných pohybů pracovního nástroje.

3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PROGRAMU

Cílem daného experimentu je ověřit vhodné svařovací parametry pro dané podmínky svařování na robotu. Zkouška má ověřit a optimalizovat svařovací parametry robotizovaného pracoviště. Cílem experimentu je docílit zvýšení rychlosti svařování a dodržet kvalitu svarových spojů. Kvalita svaru bude ověřena vizuální zkouškou a provozní zkouškou makrostruktury. Hodnocení makrostruktury bude provedeno podle interního předpisu společnosti AWL Technik, který byl popsán v kapitole 1.2.2. Pro porovnání výsledků budou vzorky svařené robotem s dodržáním svařovací polohy, materiálů a tlouštěk stejných jako na reálném dílu.

3.1 Popis dílu a svařovacích parametrů






Díl karoserie, který je předmětem experimentu mé diplomové práce, má celkem pět svarových spojů. Tento díl a zkoumané svarové spoje jsou na obrázku 34.



Obr. 34 Svařenec

Na obrázku 34 jsou označeny jednotlivé díly svařence číslly od 1 do 5 a jednotlivé svary označeny písmenem a číslem S1, S2, S3, S4, S5. Pro lepší přehlednost a pochopení jsou zkoumané svary a požadované parametry zachyceny v tabulce 10.

Tab. 10 Tabulka svarů.

Číslo svaru	Rozměr svaru [mm]	Typ svaru	Délka svaru [mm]	Skupina kvality ISO 5817	Materiál 1	Materiál 2	Tloušťka 1 [mm]	Tloušťka 2 [mm]
S1	a 1,5		15	C	S 420 MC	E 355 JR	4	1,5
S2	a 1,5		15	C	S 420 MC	E 355 JR	3	1,5
S3	a 1,5		20	B	S 420 MC	S 420 MC	3	4
S4	a 1,5		39	B	E 355 JR	S 420 MC	2	4
S5	a 1,5		15	B	E 355 JR	S 420 MC	2	3

Vzorky pro koutové svary budou svařovány ve vodorovné poloze šikmo shora PB dle normy ČSN EN ISO 6947.

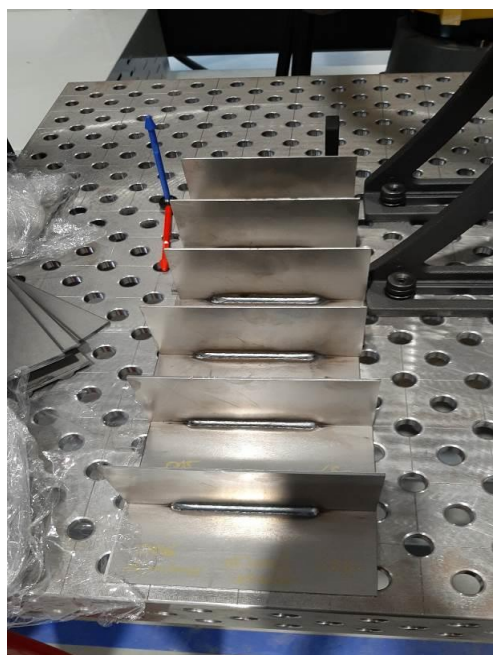
Provozní rychlost svařování na robotu je 12 mm/s. Pro docílení větší rychlosti svařování se použije proces CMT a jeho režimy, které byly popsány v kapitole 2.2.3. Při výběru režimu svařování se vybere vhodná synergetická křivka. Při synergetickém svařování se změnou jednoho parametru mění další parametry. V našem případě je měnící se parametr rychlost posuvu drátu. Pro docílení požadované kvality svarových spojů se použijí další parametry pro odladění, například korekce délky oblouku. Pro svařování byl použit drát z oceli EN ISO 14341-A o průměru 1 mm OK AristoRod 12.50 od společnosti ESAB Item No. 1A50106910 a ochranný plyn M21, je to směs plynů argonu a CO₂, průtok plynu 15 l/min.

3.2 Zkušební vzorky

Zkušební vzorky byly navrženy pro takzvaný FW spoj, poloha svařování vodorovná šikmo shora. Všechny vzorky jsou stejné o velikosti 150 x 75 mm. Velikost vzorku je pro účel ověření vlastností daných spojů optimální. Při samotném experimentu byl zkušební kus upevněn tak, aby byla dodržena kolmost k sobě svařovaných součástí. Všechno je patrné z obrázku 35. Na obrázku 36 jsou ukázány zkušební vzorky po svařování. Materiály a tloušťky plechů byly dodrženy dle tabulky 10.



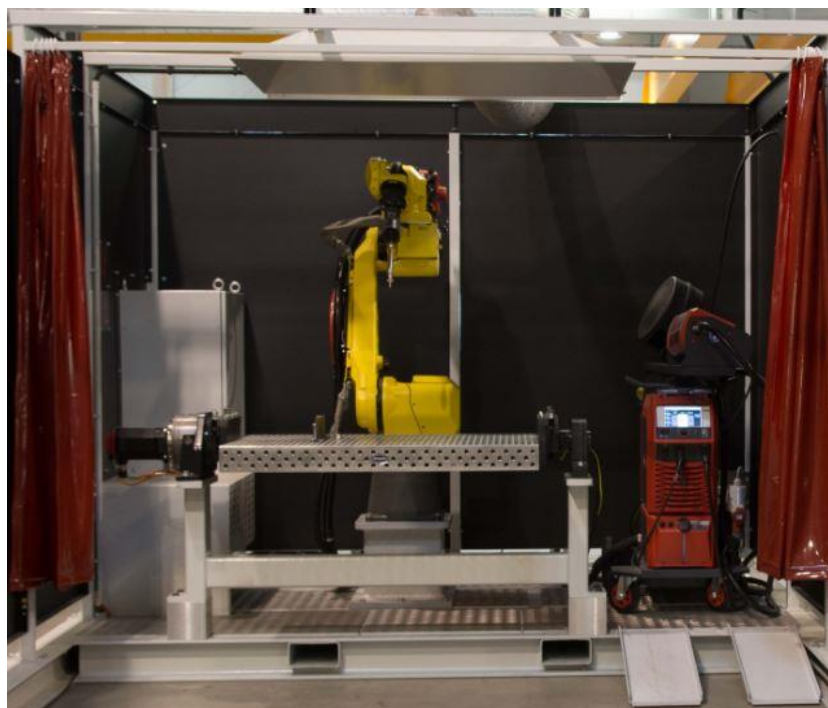
Obr. 35 Zkušební vzorek upevněný na stole



Obr. 36 Zkušební vzorky po svařování

3.3 Použité zařízení

Svařovací experiment byl proveden na svařovací buňce, která je na obrázku 37. Posouzení a příprava vzorků byly provedeny v interní laboratoři společnosti AWL-Techniek.



Obr. 37 Svařovací buňka

Svařovací buňka se skládá se zdroje energie TSP 400i, podavače drátu WF 25i REEL, pufrovacího členu, podávací jednotky WF Robacta Drive CMT, svařovacího hořáku MTB 330i WR a SplitBoxu SB 500i R PAP, robota od společnosti Fanuc ARC Mate 120iC. Také je zde zásobník drátu a řídicí jednotka robota R-30iB Plus controller.

Zdroj energie TSP 400i – digitalizovaný zdroj energie řízený mikroprocesorem. Je navržen pro průmyslové použití v automatizovaných a robotických aplikacích. Rozsah svařovacího proudu je 3–400 A s pracovním napětím 7–34 V. Synergické svařování znamená, že se upravuje jenom parametr rychlosti podávání drátu a zdroj řídí proces svařování automaticky. Tato jednotka je chlazená vodou. Je na obrázku 38.



Obr. 38 Zdroj energie TSP 400i [11]

Podavač drátu WF 25i REEL – je pohonná jednotka pro zajištění konstantního a přesného podávání drátu. Během provozu je podavač drátu synchronizován se zdrojem energie. Je ovládán zdrojem energie svařovacího systému.



Obr. 39 Podavač drátu WF 25i REEL [11]

SplitBoxu SB 500i R PAP – druhý podavač drátu je na obrázku 40. Tento typ je speciálně navržen pro montáž na roboty. PAP provedení je určeno pro aplikaci, kde je zásobník drátu namontován v ramenu robota. Dva dokonale synchronizované podavače drátu zajišťují dynamické a přesné podávání drátu a tím vysokou stabilitu procesu. Oblast použití je v aplikacích MIG / MAG ve spojení s WF 25i Robacta Drive a WF 60i Robacta Drive CMT.



Obr. 40 SplitBoxu SB 500i R PAP [11]

Systém je doplněn pufrovacím členem, který je na obrázku 41. Je to důležitá součást, protože podavač drátu umožňuje pouze pohyb drátu dopředu. Svařovací hořák má vlastní pohonnou jednotku, která generuje pohyb tam a zpět. Pufrovací jednotka zajišťuje konstantní a přesné podávání drátu.



Obr. 41 Pufrovací člen [11]

Podávací jednotka WF 60i Robacta Drive CMT – umožňuje ještě přesnější podávání drátu. Důležité je, že po výměně pohonné jednotky není nutné nové učení robota. Lze ji používat pro běžné roboty a pro roboty s dutým hřídelem.



Obr. 42 Robacta Drive CMT [11]

Svařovací hořák MTB 330 i W R je chlazen vodou. Na obrázku 42 je podávací jednotka hořáku a těleso hořáku.

Svařovací robot Fanuc ARC Mate 120iC – je standardní robot, který je určen pro řezání těžších obrobků a přesné vysokorychlostní svařování. Počet os robotu je 6, má dosah 1811 mm a zdvih 1407 mm. Nosnost robotu je 20 kg. Opakovatelnost je 0,03 mm. Kabeláž u tohoto modelu je vedena s ohledem na maximální ochranu, pro zmenšení opotřebení a minimalizaci problémů s podavačem drátu.

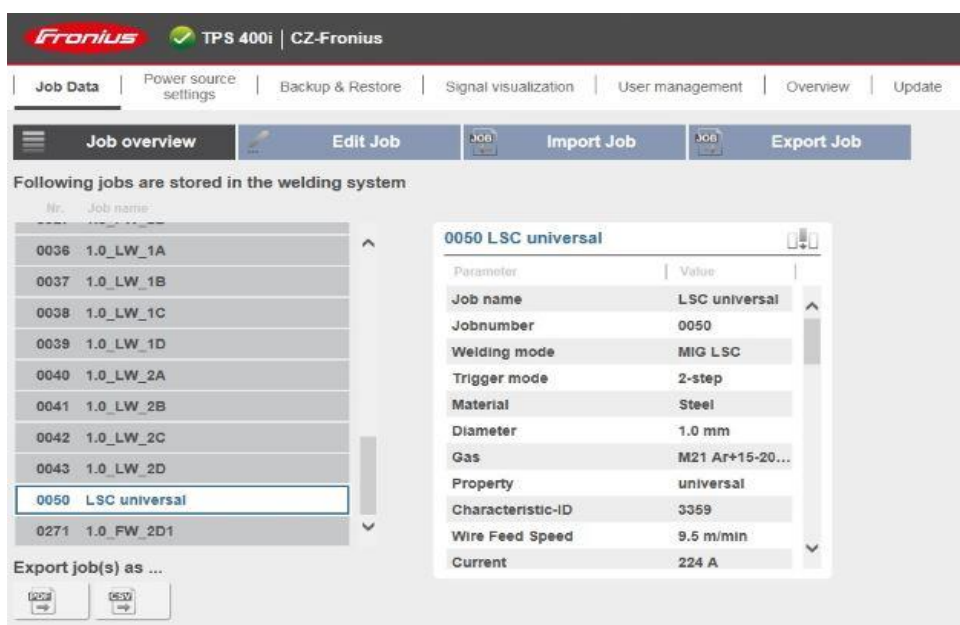
Robotická jednotka také zahrnuje otočný stůl pro svařence. Nosnost otočného stolu je 700 kg. Celé toto zařízení je ovládáno dálkovým ovladačem FANUC R30iB iPendant Touch. R-30iB Plus controller je řídicí jednotka robota, která je navržena pro větší uživatelskou přívětivost a minimální spotřebu energie. Je dodávána ve čtyřech různých skříních.

Do této řídicí jednotky lze nahrát databáze s přednastavenými svařovacími programy pro různé materiály a tyto „Job“ lze změnit tak, aby vyhovovaly různým účelům. Job mají určité synergické křivky pro různé materiály v závislosti na složení a dalších vlastnostech.

Synergické svařování bylo vysvětleno v kapitole 2.1. Kontrolér také ukládá data každého svařování. Je možné nastavit časový krok nebo jak často se budou ukládat hodnoty. Lze zaznamenat takové parametry, jako jsou minimální a maximální proudy, napětí, číslo úlohy a počet použitých synergických křivek. Na obrázku 44 je ukázka řídicího okna Job Data a různé možnosti změny parametrů a parametry samotné.



Obr. 43 Fanuc ARC Mate 120iC



Obr. 44 Úprava parametru svařování v Job Data

3.4 Kontrola zkušebních vzorků

Pro vyhodnocení zkušebních kusů byla provedena vizuální kontrola dle normy EN ISO 5817. Mezní hodnoty vad budou posuzovány pro požadovaný stupeň kvality dle tabulky 10. Pro vyhodnocení makrostruktury svarových vzorků byla provedena zkouška makrostruktury.

3.4.1 Provozní zkouška makrostruktury

Zkouška makrostruktury spočívá v kontrole vzorků s menším zvětšením nebo pouhým okem. Účelem této zkoušky je zejména kontrola průvaru a geometrie svaru. Příprava vzorků byla provedena v metalografické laboratoři společnosti AVL.

Vzorky byly přepraveny v podobě preparátu zataveného v zelené pryskyřici. Vzorky byly odebrány na metalografické pile z přibližného středu svarové housenky z důvodů stabilizování svařovacích parametrů. Následně byly vzorky zalisovány do rychle tuhnoucí dvousložkové zalévací pryskyřice Technovit 4071. Dalším krokem bylo broušení obdržených vzorků. Postup broušení je jednoduchý – postupuje se od nejhrubších brusných kotoučů po nejjemnější. Po výměně kotoučů je nutné vzorky opláchnout vodou.



Obr. 45 Vzorky pro metalografii

Pro lepší viditelnost struktury byly vzorky naleptány. Byla použita metoda chemického leptání. Vzorky byly na chvíli namočený do leptadla NITALEM, což je 10% kyselina dusičná. Vzorky pro vyhodnocení makrostruktury jsou na obrázku 45.

Hodnocení makrostruktury bylo provedeno na předem připravených vzorcích. Zkouška byla provedena v laboratoři za použití stereo mikroskopu model CMEX DC 1300x od společnosti Euromex – Holland. Dané zařízení je představeno na obrázku 46. Obraz se z mikroskopu přenáší přímo do počítače, kde lze pomocí softwaru upravovat přiblížení, zaostření obrazu v reálném čase.

Rozbor snímků je zaměřen na pozorování základních vad ve svarovém kovu, pro kontrolu hloubky průvaru a také na kontrolu geometrie svarového spoje.



Obr. 46 Mikroskop EUROMEX – HOLLAND model CMEX DC 1300x [66]

3.5 Výsledky experimentu

- U svaru číslo 1 (parametry v tabulce 10) bylo provedeno 12 vyhodnocení. Na všech vzorcích byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817. V tabulce 11 jsou uvedeny parametry a celkové hodnocení svaru. Z tabulky je patrné, že nevyhověly pouze vzorky 1, 11 a 12. Tabulka

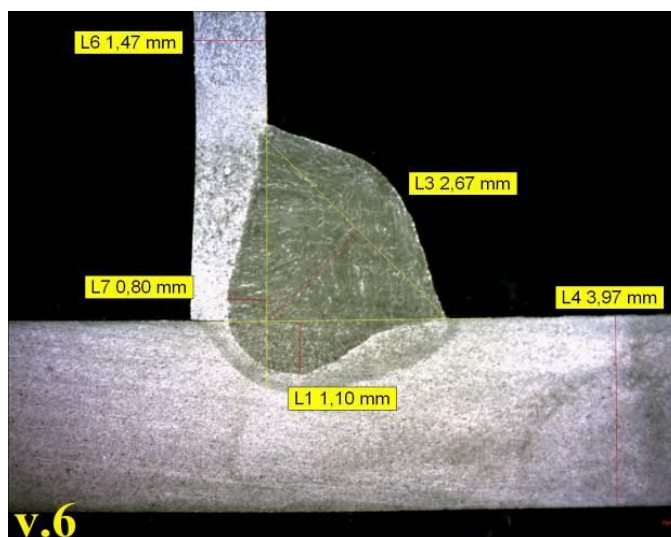
zahrnuje číslo vzorku, režim svařování U – universal, D – dynamic, M – mix, rychlost svařování, množství vneseného tepla a parametry korekce délky oblouku – ArcLc a korekce pulzu/dynamiky – DC a vyhodnocení.

Tab. 11 Parametry svařování pro vzorky 1–12.

№	Režim svařování	Rychlost podávání drátu WFS [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Korekce délky oblouku ArcLC	Korekce pulzu/dynamiky DC	NOK/OK
v.1	U – 3248	8	12	26,2	–	–	NOK
v.2	U – 3248	10	15	24,6	–	–	OK
v.3	U – 3248	11	15	25,5	–	–	OK
v.4	U – 3248	12	15	26,6	–	–	OK
v.5	U – 3248	14,5	18	22,2	5	–	OK
v.6	U – 3248	14,5	18	26,8	-5	–	OK
v.7	U – 3248	14,5	18	26,7	–	–	OK
v.8	D – 3392	15	18	27,8	–	–	OK
v.9	D – 3392	15	18	28,4	–	-5	OK
v.10	D – 3392	14,5	18	28,2	–	-10	OK
v.11	M – 3691	12	18	29,2	–	–	NOK
v.12	M – 3691	10	18	22,6	–	–	NOK

Pro tento svar byly známy pouze přibližné parametry svařování, takže bylo nutné zvolit počáteční hodnoty a postupně hledat ty nejvhodnější. Cílem je dosáhnout co nejvyšší rychlosti svařování, proto byla na začátku zvolena nízká rychlost a postupně docházelo k jejímu navyšování v kombinaci s upravováním parametrů pro dosažení co nejlepšího výsledku. Pro prvních 7 vzorků byl použit režim CMT – universal, pro vzorky 8 až 10 byl použit režim dynamic, který zvyšuje hloubku průvaru. Poslední dva vzorky byly svařeny režimem MIX, tento režim mírně zvyšuje vnesené teplo a celkově je nejsložitější. Svařovací režimy jsou blíže popsány v kapitole 2.2.3.

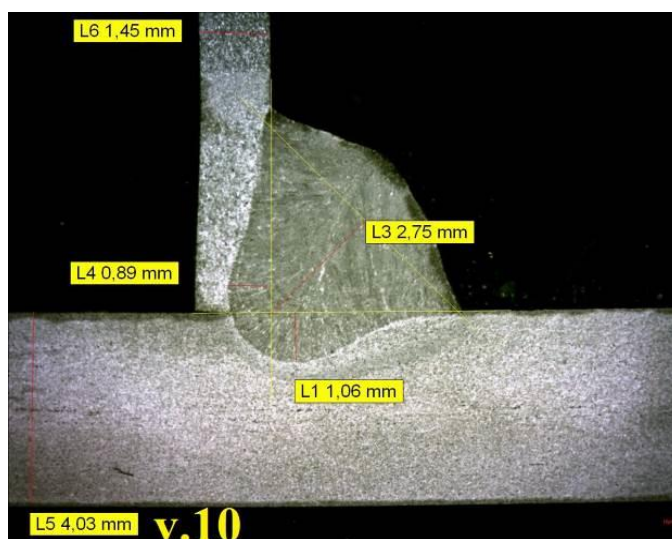
Na obrázku 47 je makrovýbrus vzorku číslo 6. Při svařování v.6 byl použit parametr korekce délky oblouku a díky tomu bylo docíleno největší hodnoty průvaru při režimu svařování CMT – universal.



Obr. 47 Vzorek 6

CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 26,8 kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**

Následně byl zvolen jiný režim svařování a změněna rychlost podávání drátu. Také byly vyzkoušeny jiné doplňující parametry. Na obrázku 48 je makrovýbrus vzorku č. 10, který se svařoval v režimu CMT – dynamic. Při svařování vzorku č. 10 byl použit parametr korekce pulzu/dynamiky. Na obrázku 48 je vidět, že velikost průvaru $L4 = 0,89$ mm a $L1 = 1,06$ mm je vyhovující.



Obr. 48 Vzorek 10

CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 28,2$ kJ/mm, DC – –10. **OK**

Při odladění svaru číslo 1 se potvrdilo, že při svařování v režimu CMT – universal je velikost průvaru o něco menší než při svařování v režimu CMT – dynamik. Také velikost vneseného tepla při svařování v režimu CMT – dynamik je větší. Dále je z obrázku 47 vidět, že parametr korekce délky oblouku, jeho záporná hodnota v režimu CMT – universal, zvyšuje velikost průvaru. Makrovýbrusy svarů číslo 1 až 12 jsou v příloze 1.

- U svaru číslo 4 (parametry v tabulce 10) bylo provedeno 20 vyhodnocení. Na všech vzorcích byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817. Vzorky číslo 6, 8, 9, 11, 13, 15, 18–20 byly vyhodnoceny jako nevyhovující dle ČSN EN ISO 5817. V tabulce 12 jsou uvedeny parametry a celkové hodnocení svaru. Z tabulky je patrné že nevyhověly pouze vzorky 1, 7 a 10. Tabulka zahrnuje číslo vzorku, režim svařování U – universal, D – dynamik, M – mix, rychlost svařování, množství vneseného tepla a parametry korekce délky oblouku – ArcLc a korekce pulzu/dynamiky – DC a vyhodnocení.

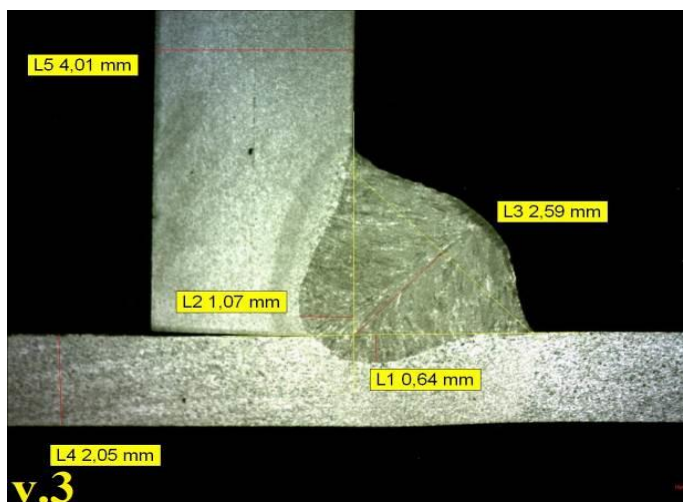
Tab. 12 Parametry svařování pro vzorky 1–5, 7, 10 a 12, 14, 16, 17.

N _o	Režim svařování	Rychlost podávání drátu WFS [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Korekce délky oblouku ArcLC	Korekce pulzu/dynamiky DC	NOK/OK
v.1	U – 3248	8,5	12	23	–	–	NOK
v.2	U – 3248	11,5	15	24,7	–	–	OK
v.3	U – 3248	14,5	18	24,8	–	–	OK
v.4	D – 3392	15	15	29,5	–	–	OK
v.5	D – 3392	15	18	25,2	–	–	OK
v.7	M – 3691	12	16	29,9	–	–	NOK
v.10	M – 3691	12	16	30,4	–	–5	NOK
v.12	M – 3691	12	16	28,7	–5	–	OK
v.14	M – 3691	13	18	27,9	–5	–	OK
v.16	M – 3691	14	18	29	–5	–	OK
v.17	M – 3691	16	20	28,6	–5	–	OK

Při odladění svaru pro režimy svařování CMT byly použity hodnoty zjištěné při odladování svaru číslo 1. Vzorek 3 byl svařen v režimu CMT – universal a vzorek 5 byl svařen v režimu CMT – dynamic. Na obrázcích 49 a 50 jsou makrovýbrusy popsanych vzorků.

Vzorek 3: Jako první byl proveden test bez použití jiných parametrů v režimu CMT – universal. Na obrázku 49 je vidět, že velikost průvaru $L_2 = 1,07$ mm a $L_1 = 0,64$ mm je vyhovující.

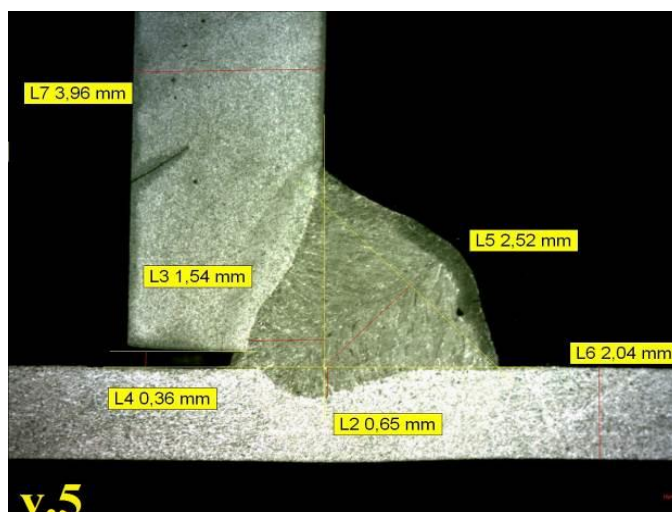
Vzorek 5: Zde byl zvolen jiný režim svařování a byla zvýšena rychlost podávání drátu. Jiné parametry nebyly použity. Z obrázku 50 je vidět, že velikost průvaru $L_1 = 0,64$ mm a $L_2 = 1,07$ mm je vyhovující. Mezera mezi spojovanými částmi $L_4 = 0,36$ mm je vyhovující dle ČSN EN ISO 5817.



Obr. 49 Vzorek 3

CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 24,8$ kJ/mm,

OK

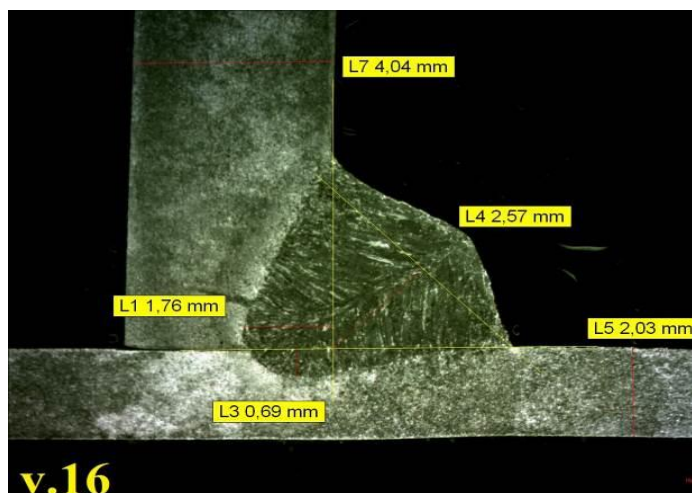


Obr. 50 Vzorek 5

CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 25,2$ kJ/mm,
OK

Následně byl zvolen jiný režim svařování CMT – mix a změněna rychlost podávání drátu. Také byly vyzkoušeny jiné doplňující parametry. Makrovýbrusy svarů číslo 1–5, 7, 10, 12, 14 a 16, 17 jsou v příloze 2.

Vzorek 16: Zde se pokračovalo svařování v režimu CMT – mix. Byl použit parametr korekce délky oblouku a zvýšena rychlost podávání drátu. Z obrázku 51 je vidět, že velikost průvaru $L1 = 0,8$ mm a $L2 = 1,74$ mm je vyhovující.



Obr. 51 Vzorek 16

CMT – mix - 3691, WFS – 14 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 29$ kJ/mm,
 ArcLC – -5. **OK**

- U svaru číslo 2 (parametry v tab. 10) bylo provedeno 5 vyhodnocení. Na všech vzorcích byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817. Vzorek číslo 5 byl vyhodnocen jako nevyhovující dle ČSN EN ISO 5817, neprošel vizuální kontrolou. V tabulce 13 jsou uvedeny parametry a celková hodnocení svaru. Z tabulky je patrné, že nevyhověl pouze vzorek 4. Tabulka zahrnuje číslo vzorku, režim svařování U – universal, D – dynamic, M – mix, rychlost svařování, množství vneseného tepla a parametry korekce délky oblouku – ArcLc a korekce pulzu/dynamiky – DC a vyhodnocení. Vzhledem k výsledkům při odladění svarů 1 a 4 dle

obdržených maker byly zvoleny vyhovující parametry. A při odladění ostatních svařů byl kladen důraz na zjištění vlivu jednotlivých parametrů na velikost průvaru a kvalitu svařu.

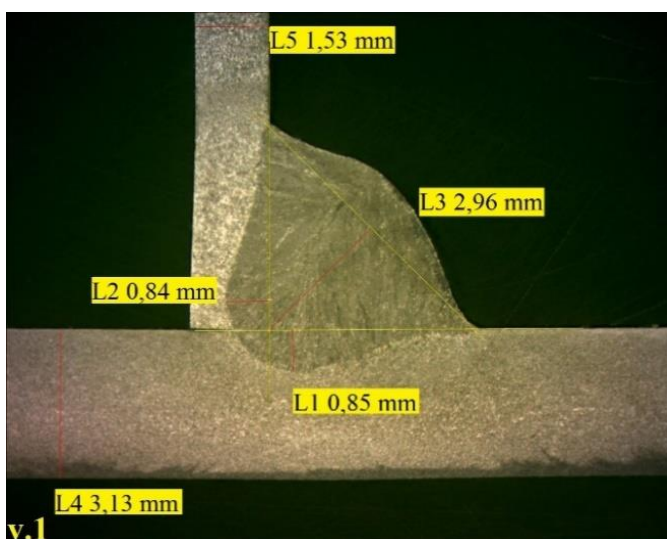
Tab. 13 Parametry svařování pro vzorky 1–4.

N ^o	Režim svařování	Rychlost podávání drátu WFS [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Korekce délky oblouku ArcLC	Korekce pulzu/dynamiky DC	NOK/OK
v.1	U – 3248	14,5	18	25,2	-5	-	OK
v.2	D – 3392	15	18	26,8	-	-10	OK
v.3	U – 3248	14,5	18	24,5	-	-	OK
v.4	D – 3392	15	18	26,1	-	-	NOK

Při odladění se porovnávaly režimy svařování universal a dynamic. Vzorky 1 a 3 byly svařeny v režimu svařování CMT – universal a vzorky 2 a 4 byly svařeny v režimu CMT – dynamic. Na obrázcích 52 a 53 jsou makrovýbrusy popsáných vzorků. Makrovýbrusy svařů číslo 3 a 4 jsou v příloze 3.

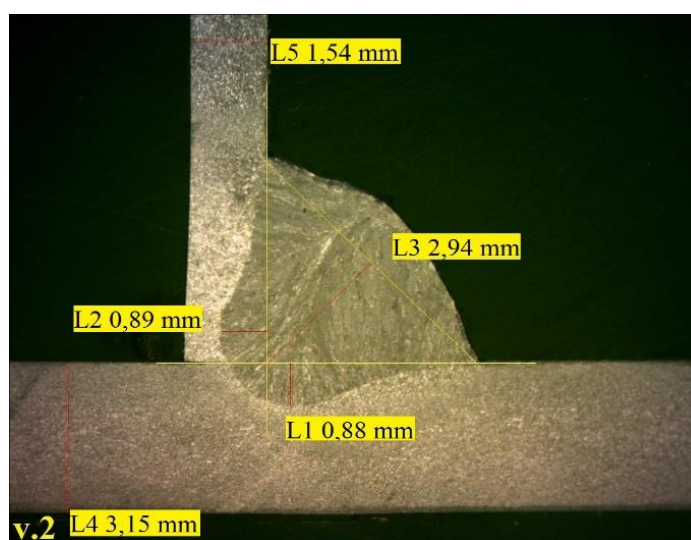
Vzorek 1: Jako první byl proveden test v režimu CMT – universal s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 52 je vidět, že velikost průvaru L1 = 0,85 mm a L2 = 0,84 mm je vyhovující.

Vzorek 2: Zde byl proveden test v režimu CMT – dynamik s aplikací parametru korekce pulzu/dynamiky. Na obrázku 53 je vidět, že velikost průvaru L1 = 0,88 mm a L2 = 0,89 mm je vyhovující.



Obr. 52 Vzorek 1

CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 25,2 kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**



Obr. 53 Vzorek 2

CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 26,8 kJ/mm, DC – –10. **OK**

Při odladění svaru číslo 2 se potvrdilo, že při svařování v režimu CMT – universal má na velikost průvaru a na množství vneseného tepla vliv parametr korekce délky oblouku. Na obrázcích 52 a 53 je zřejmé, že při aplikaci záporné hodnoty této korekce nedochází k propálení plechů. Také při svařování v režimu CMT – dynamic má na velikost průvaru vliv parametr korekce pulzu/dynamiky.

- Na odladění svaru číslo 3 z tabulky 10 bylo provedeno 7 experimentů. Vzorky číslo 6 a 7 byly vyhodnoceny jako nevyhovující dle ČSN EN ISO 5817, neprošly vizuální kontrolou. Také byly použity svařovací parametry, které se osvědčily při odladění jiných svarů. Bylo docíleno vyhovujících výsledků při svařování v režimu CMT – mix. V tabulce 14 jsou parametry svařování pro vzorky 1–5. Tabulka zahrnuje číslo vzorku, režim svařování U – universal, D – dynamic, M – mix, rychlost svařování, množství vneseného tepla a parametry korekce délky oblouku – ArcLc a korekce pulzu/dynamiky – DC.

Tab. 14 Parametry svařování pro vzorky 1–5.

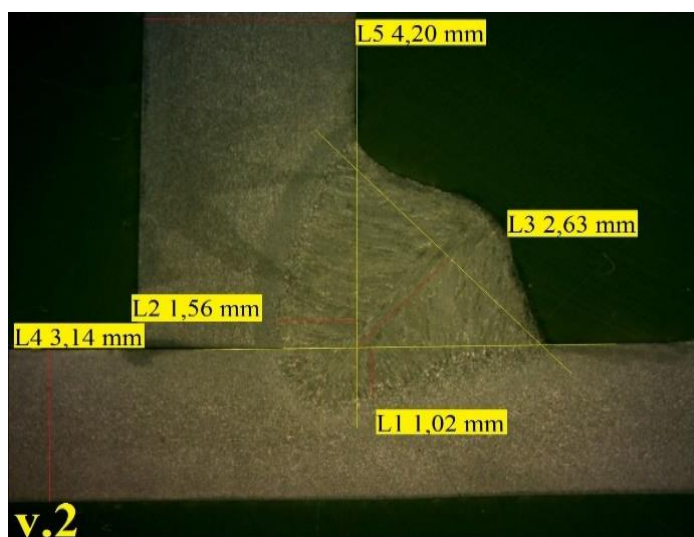
№	Režim svařování	Rychlost podávání drátu WFS [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Korekce délky oblouku ArcLC	Korekce pulzu/dynamiky DC	NOK/OK
v.1	M – 3691	13	18	27,4	–5	–	OK
v.2	M – 3691	14	18	28,5	–5	–	OK
v.3	U – 3248	14,5	18	24,2	–5	–	OK
v.4	D – 3392	15	18	25,5	–	–5	OK
v.5	M – 3691	16	20	27,9	–5	–	OK

Při odladění bylo docíleno vyhovujících výsledků v režimu svařování CMT – universal, dynamic a mix pro svar číslo 3. Vzorky 2, 3 a 4 byly svařeny v režimu svařování CMT – mix, universal a dynamic. Na obrázcích 54–56 jsou makrovýbrusy popsanych vzorků. Makrovýbrusy vzorků 1–5 jsou v příloze 4.

Vzorek 2: Zde byl proveden test v režimu CMT – mix s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 54 je vidět, že velikost průvaru $L1 = 1,02$ mm a $L2 = 1,56$ mm je vyhovující.

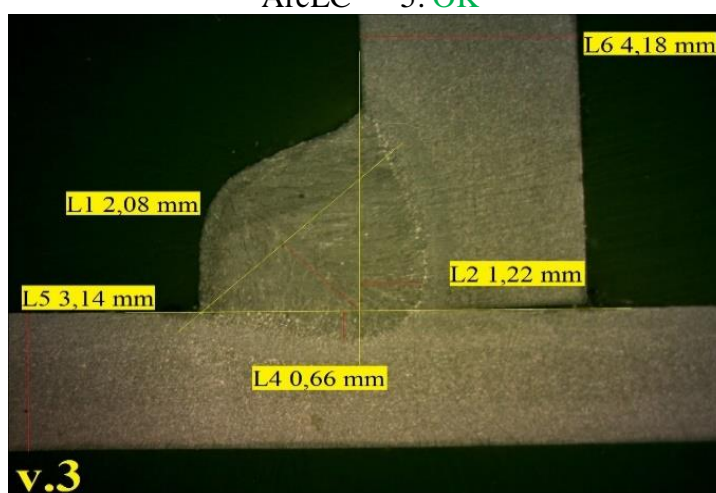
Vzorek 3: Zde byl proveden test v režimu CMT – universal s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 55 je vidět, že velikost průvaru $L2 = 1,22$ mm a $L4 = 0,66$ mm je vyhovující.

Vzorek 4: Zde byl proveden test v režimu CMT – dynamik s aplikací parametru korekce pulzu/dynamiky. Na obrázku 56 je vidět, že velikost průvaru $L1 = 0,67$ mm a $L2 = 1,04$ mm je vyhovující.



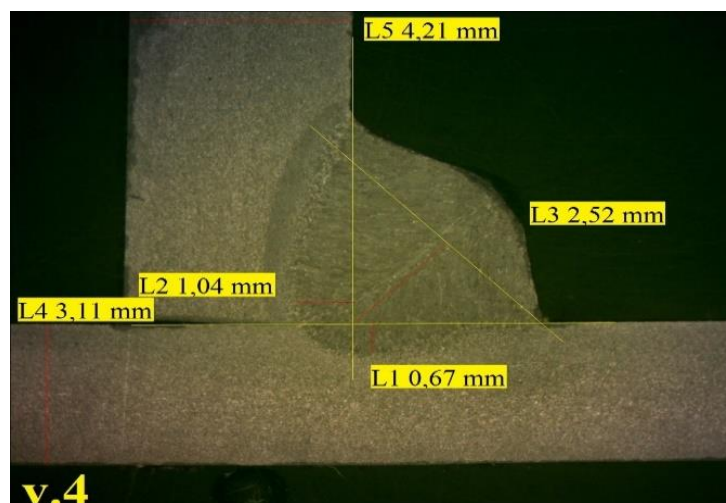
Obr. 54 Vzorek 2

CMT – mix - 3691, WFS – 14 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 28,5$ kJ/mm, ArcLC – -5. OK



Obr. 55 Vzorek 3

CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 24,2$ kJ/mm, ArcLC – -5. OK



Obr. 56 Vzorek 4

CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. $Q = 25,5$ kJ/mm.
DC – -5. **OK**

- U svaru číslo 5 (parametry v tabulce 10) bylo provedeno 8 vyhodnocení. Na všech vzorcích byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 5817. Vzorky číslo 6, 7 a 8 byly vyhodnoceny jako nevyhovující dle ČSN EN ISO 5817. V tabulce 15 jsou parametry svařování pro vzorky 1–5. Tabulka zahrnuje číslo vzorku, režim svařování U – universal, D – dynamic, M – mix, rychlost svařování, množství vneseného tepla a parametry korekce délky oblouku – ArcLc a korekce pulzu/dynamiky – DC. Makrovýbrusy svarů číslo 1 a 5 jsou v příloze 5.

Tab. 15 Parametry svařování pro vzorky 1–4.

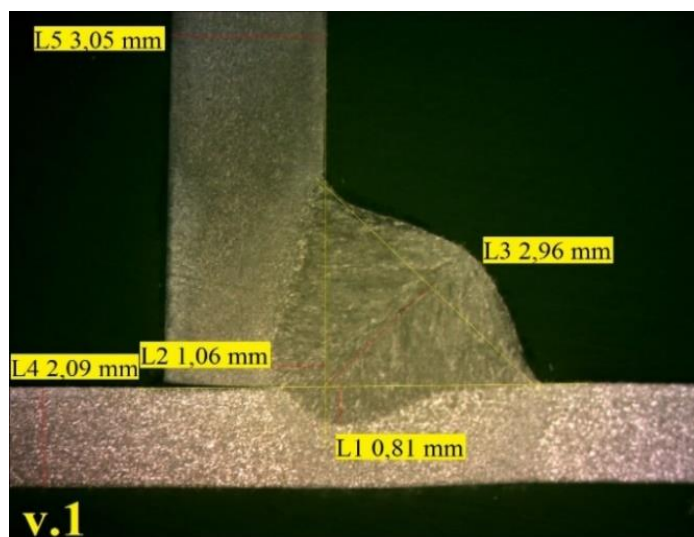
N _o	Režim svařování	Rychlost podávání drátu WFS [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Korekce délky oblouku ArcLC	Korekce pulzu/dynamiky DC	NOK/OK
v.1	U – 3248	14,5	18	25	-5	-	OK
v.2	M – 3691	14,5	18	28,2	-5	-	OK
v.3	D – 3392	15	18	26	-	-	OK
v.4	D – 3392	15	18	26,3	-	-5	OK
v.5	M – 3691	15	18	28,4	-7	-	OK

Při odladění bylo docíleno vyhovujících výsledků v režimu svařování CMT – universal, dynamic a mix pro svar číslo 5. Vzorky 1, 3 a 5 byly svařeny v režimu svařování CMT – universal, dynamic a mix. Na obrázcích 57–59 jsou makrovýbrusy popsáných vzorků.

Vzorek 1: Zde byl proveden test v režimu CMT – universal s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 57 je vidět, že velikost průvaru $L_1 = 0,81$ mm a $L_2 = 1,06$ mm je vyhovující.

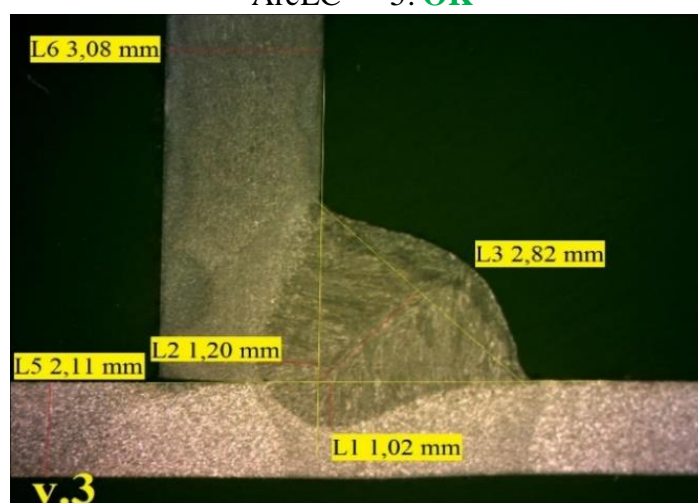
Vzorek 3: Zde byl proveden test v režimu CMT – dynamik s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 58 je vidět, že velikost průvaru $L_1 = 1,02$ mm a $L_2 = 1,20$ mm je vyhovující.

Vzorek 5: Zde byl proveden test v režimu CMT – mix s aplikací parametru korekce délky oblouku. Na obrázku 59 je vidět, že velikost průvaru $L_1 = 1,3$ mm a $L_2 = 1,35$ mm je vyhovující.



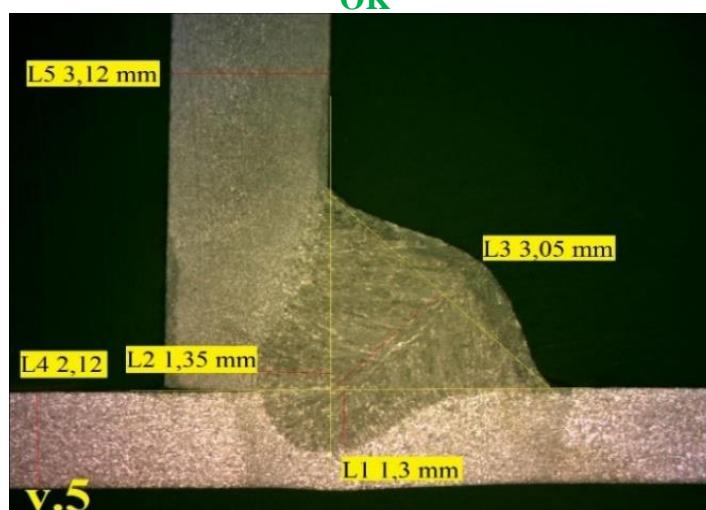
Obr. 57 Vzorek 1

CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 25 kJ/mm,
ArcLC – -5. **OK**



Obr. 58 Vzorek 3

CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 26 kJ/mm.
OK



Obr. 59 Vzorek 5

CMT – mix - 3691, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm/s. Q = 28,4 kJ/mm,
ArcLC – -7. **OK**

3.6 Zhodnocení výsledků

Celkově bylo svařeno 70 vzorků s použitím různých režimů svařování. Z toho 20 vzorků bylo vyhodnoceno jako nevyhovující dle vizuální kontroly. Pro 50 vzorků byla udělena provozní zkouška makrostruktury.

Byly svařeny vzorky v režimu PMC, LSC a také CMT. V každém z těchto režimů je možné upravovat další parametry a také je nutné vybrat synergickou křivku pro svařování. Existují různé typy synergických křivek, ale v dané práci se používala univerzální (3248), dynamic (3392) a také mix (3691).

Při svařování v režimu PMC – Pulse Multi Control bylo stabilního procesu svařování dosaženo při rychlosti svařování 14 mm/s. Byly svařeny vzorky pro 3 typy synergických křivek – universal, dynamic a mix. Při větší rychlosti svařování byl svařovací oblouk méně stabilní a zvětšil se rozstřík. Při vyhodnocení makrostruktury se ukázalo, že vzorky měly nedostatečný průvar při rychlosti svařování 16 mm/s a více. Vzorky měly i souvislé a nesouvislé zápaly, které jsou nepřijatelné pro stupeň kvality B.

Při svařování v režimu LSC – Low Spatter Control bylo stabilního procesu svařování dosaženo při rychlosti svařování 14 mm/s, stejně jako u procesu PMC. Byly také svařeny vzorky pro různé synergické křivky. Svařovací proces byl skoro bez rozstříku, ale obdržené vzorky neprošly vizuální kontrolou. Při svařování v režimu LSC měly vzorky také nedostatečný průvar.

Při svařování v režimu CMT – Cold Metal Transfer stabilního procesu bylo dosaženo při rychlosti svařování 18 mm/s. Při svařování pro různé 3 typy synergické křivky bylo dosaženo vyhovujících výsledků. Také v režimu svařování CMT existují další možnosti úpravy parametrů. Při zkoumání vlivu různých parametrů se ukázalo, že největší vliv na proces svařování v režimu CMT měly parametry korekce délky oblouku a korekce pulzu/dynamiky.

Ukázalo se, že při svařování s vybranou křivkou CMT – universal – 3248 byla hodnota vneseného tepla nejmenší. Při svařování s vybranou křivkou CMT – mix – 3691 byla hodnota vneseného tepla větší.

Při svařování CMT – mix bez úpravy dalších parametrů docházelo k propálení materiálu a vzniku zápalu. Ale velikost průvaru byla dostačující. Jak bylo popsáno v kapitole 2.2.3, režim svařování CMT – mix – je proces studeného přenosu kovu, do kterého je přidán pulzní cyklus. Díky přidání pulzního cyklu je v tomto procesu vyšší tepelný příkon. Proto byl pro stabilizaci procesu použit parametr korekce délky oblouku. Pozitivní korekce zvyšuje svařovací napětí během periody PMC a poskytuje delší dobu reverzace během periody CMT, což má za následek prodloužení oblouku. Záporná korekce snižuje svařovací napětí během periody PMC a dává kratší dobu reverzace během periody CMT, což má za následek kratší oblouk. Při použití záporné hodnoty parametru korekce délky oblouku je hodnota vneseného tepla za stejných podmínek svařování menší. Je docíleno větší penetrace a při vyhodnocení maker nebyly zjištěny zápaly a jiné vady. Protože tento parametr ovlivňuje délku oblouku a záporná hodnota zmenšuje délku oblouku, rozstřík materiálu se během svařovacího procesu zvětšoval.

Parametr korekce pulzu/dynamiky v procesu CMT – mix má další vliv na proces svařování. Pozitivní korekce parametru zvětšuje energii a šířku pulzů, výsledkem je snížená pulzní frekvence během periody PMC. Záporná korekce snižuje energii, aktuální úroveň a šířku impulzu, výsledkem je vyšší frekvence pulzu během periody PMC. V procesu svařování při aplikaci parametru korekce pulzu způsobilo zápal a rozstřík.

Po vyhodnocení obdržených makrovýbrusů vzorků a po analýze obdržených parametrů je možné zvýraznit lepší parametry svařovacího procesu pro svařování s vyšší rychlostí svařování. Doporučené parametry svařování jsou zaznamenány v tabulce 16.

Tab. 16 Doporučené parametry pro svařování koutových svarů při použití svařovacího zdroje od Fronius TSP 400i.

Č	Rychlost svařování [mm/s]	T.1 [mm]	T.2 [mm]	Režim svařování (syn. křivka)	Rychlost posuvu drátu [m/min]	Korekce délky oblouku	Korekce dynamiky
1	18 mm/s	4	1,5	CMT – univer. 3248	14,5	ArcLC = -7	-
				CMT – dyn. 3392	15	-	DC = -5
2	18 mm/s	3	1,5	CMT – univer. 3248	14,5	ArcLC = -5	-
				CMT – dyn. 3392	15	-	DC = -5
3	18 mm/s	3	4	CMT – univer. 3248	14,5	ArcLC = -5	-
				CMT – dyn. 3392	15	-	DC = -5
				CMT – mix 3691	14,5	ArcLC = -5	-
4	18 mm/s	2	4	CMT – dyn. 3392	15	-	-
				CMT – mix 3691	13	ArcLC = -5	-
5	18 mm/s	2	3	CMT – dyn. 3392	15	-	DC = -5
				CMT – mix 3691	14,5	ArcLC = -5	-

Z tabulky 16 je zřejmé, že při svařování plechů s odlišnými tloušťkami, tedy při svařování tenkého plechu a tlustšího plechu jsou dostačující režimy svařování jako CMT – universal a CMT – dynamik. Při svařování tenkých plechů v režimu CMT – mix je nebezpečí propálení tenčího plechu a vzniku zápalu. Při svařování tlustších plechů a plechů s méně rozdílnými tloušťkami je lépe použít svařovací režim CMT – mix pro zajištění vyhovujícího průvaru. Při aplikaci procesu CMT – universal a CMT – dynamik na tlustší plechy bylo dosaženo menší penetrace. Také je důležité mít na zřeteli, že při použití procesu CMT – mix pro různé tloušťky plechů je doporučeno používat parametr korekce délky oblouku. Bez aplikace tohoto parametru byl proces nestabilní, což způsobovalo zápaly a nekvalitní svary. Je třeba také poznamenat, že při svařování v režimu CMT – mix s úpravou parametru korekce délky oblouku byl zaznamenán větší rozstřík materiálu.

Při svařování rychlostí 20 mm/s byl aplikován režim CMT – mix se záporným parametrem korekce délky oblouku a při vyhodnocení makra výbrusu byla zjištěna vyhovující penetrace a nebyly zaznamenány žádné vady. Ale proces byl nestabilní a rozstřík byl velký. Proto není možné doporučit svařování rychlostí 20 mm/s k aplikaci v sériové velkovýrobě.

4 Ekonomické zhodnocení

Použití robotů ve svařovacím průmyslu je podmíněno vyšší rychlostí, produktivitou svařování spojenou s vysokými požadavky kvality svarů. Robotizování se používá při svařování větší série výrobků. Cenasvařovací buňky je ovlivněna mnoha faktory. Pro představu přibližné ceny robotizované typické buňky zákazníkům spolupracující firmy používají takové koncepty jako cycle time, což je v překladu časový cyklus.

Časový cyklus – je součet všech časů pro svařování všech svarů konkrétní součásti. Tento parametr slouží pro odhad, kolik času je potřeba na svaření jednoho dílu. Vzorec 2 je pro zjednodušený výpočet.

$$t = Ext_1 + Airmove + Len + S_{ta}/S_{to} \quad (2)$$

kde: Ext_1 – čas otočení stolu do svařovacího prostoru

$Airmove$ – časy na pohyby robota mezi jednotlivými svary

Len – čas trvání samotného svařování

S_{ta}/S_{to} – časy na start procesu a konec procesu – například načtení jobu, předfuk, dofuk.

Simulační inženýr optimalizuje proces, aby roboty měly minimální časové ztráty na přejezdu mezi svary. Čas na otočení stolu do svařovacího prostoru je daný a není možné ho měnit. Také časy airmove – pohyby robota jsou vždycky minimální a jejich zmenšení není možné. Časy startu procesu a konce procesu jsou také dané a není možné jich zkrácení. Proto zůstává jediný parametr, který je možné měnit. Je to samotný čas svařování – Len . Zkrácením času svařování je možné získat několik vteřin pro zkrácení celkového cycle time a ušetřit tak peníze. Společnost AWL – Technik má na zjednodušené započítání cycle time vytvořený Excel soubor. Na obrázku 60 je tabulka s hodnotami pro výpočet cycle time.

VSO-DP	Process Overview: T.....											
	Robot 1											
	Operation / Weldname	Action	Jig	Fix	Weld	Part Thick			Specified wld speed	Seam Length Total	Wld speed / Move time	Ext. Axis
J			F		T1	T2	T3					
	Ext-1	Ext										0
	pJ01F01_001	Weld	1	1	001	4	1,5		12	15	12,00	0
	pJ01F01_002	Weld	1	1	002	3	1,5		12	15	12,00	0
	pJ01F01_003	Weld	1	1	003	3	4		12	20	12,00	0
	pJ01F01_004	Weld	1	1	004	2	4		12	39	12,00	0
	pJ01F01_005	Weld	1	1	005	2	3		12	15	12,00	0
											12,00	0
											12,00	0
											12,00	0
	Ext-2	Ext										0
												0

Obr. 60 Tabulka s hodnotami pro výpočet cycle time

V tabulce je nutné nastavit číslo svarů – weld, tloušťky svařovaných plechů jsou označeny T1, T2, T3. Následně je nutné nastavit rychlost svařování (specified wld speed) v mm/s, délku svaru (seam length total) a také jestli se svařování provádí v různých polohách a s natáčením stolu je nutné nastavit uhel natáčení – Ext.Axis.

Po zapsání všech hodnot do tabulky bude spočítán celkový čas. Cycle time byl spočítán pro rychlost svařování 12 mm/s, což je standardní rychlost svařování ve společnosti AWL. Výsledek výpočtu je zachycen v tabulce 17.

Tab. 17 Cycle time při rychlosti svařování 12 mm/s.

Doba zpracování				
Začátek	Přejezd robota	Len	Sta/Sto	Konec
0	0	5	0	5
0	0	0	0	5
5	1,8	1,3	1,2	9,3
9,3	0,8	1,3	1,2	12,6
12,6	0,8	1,7	1,2	16,3
16,3	0,8	3,3	1,2	21,6
21,6	0,8	1,3	1,2	24,9
24,9	0,2			24,9
25,1	0	0	0	24,9
25,1		0,5		25,4

Z tabulky 17 je vidět, že v celkovém cykle time je započítán čas na otočení stolu do svařovacího prostoru, je to standardně 5 s. Pak jsou započítány časy na pohyby robota mezi jednotlivými svary, takzvané airmove. Standardně je to 0,8s na jeden svar. Také zde jsou započítány časy na start a konec procesu. Čas na načtení jobu 0,3 s, předfuk 0,3 s, dofuk 0,3 s. Standardně se časy S_{ta}/S_{to} počítají 1,2 s na svar. Samotný čas na provedení svaru zaleží na délce svaru a je pro každý svar odlišný. Celkový čas na svařování našeho dílu při rychlosti svařování 12 mm/s byl 25,4 s. Z této tabulky je zřejmé, že zkrátit celkový čas je možno prostřednictvím zkrácení svařovacího času Len.

Následně byl proveden stejný výpočet pro rychlost svařování 18 mm/s. Výsledek výpočtu je zachycen v tabulce 18.

Tab. 18 Cycle time při rychlosti svařování 18 mm/s.

Doba zpracování				
Začátek	Přejezd robota	Len	Sta/Sto	Konec
0	0	5	0	5
0	0	0	0	5
5	1,8	0,9	1,2	8,9
8,9	0,8	0,9	1,2	11,7
11,7	0,8	1,1	1,2	14,9
14,9	0,8	2,2	1,2	19,1
19,1	0,8	0,9	1,2	22
22	0,2			22,2
22,2	0	0	0	22,2
22,2		0,5		22,7

Z tabulky 18 je vidět, že celkový čas svařování je menší o 2,9 s, což odpovídá 10,6 %. To znamená, že při zrychlení procesu svařování z 12 mm/s na 18 mm/s se podařilo ušetřit 10,6 % času na jednom dílu. Následně by bylo možno spočítat celkovou ušetřenou částku násobením počtem kusů a také cenou 1 s času svařování.

Avšak je nutné zdůraznit, že tento způsob počítání cykle time procesu je zjednodušený a jenom orientační, používá se pro prvotní nabídky. Následně se vždycky provádí přesnější výpočet cycle time v simulačním software. V simulačním programu se zohledňuje svařovací přípravek, jak jsou obtížné pozice svařování, množství svařovacích robotů atd.

Při provádění experimentu nebyl určen konkrétní svařovací přípravek a svařovalo se jenom v jedné pozici. Proto pro daný případ nebyla provedena simulace svařovacího procesu. Ale pro pochopení a zjištění, kolik času je možné ušetřit při dodržení stejné kvality a požadavků na svarové spoje, je daný výpočet dostačující.

5 ZÁVĚR

V první části práce byla vypracována literární rešerše, v níž byl vytvořen přehled o nejpoužívanějších materiálech v automobilovém průmyslu. Největší důraz byl kladen na materiály E355 a S420, především s ohledem na jejich svařitelnost. Na proces svařování má vliv řada faktorů. Zejména přídavný materiál, ochranné plyny a svařovací parametry. Podle změny svařovacího napětí a proudu se rozlišují různé typy přenosu kovu obloukem. V návaznosti na základní přenosy svarového kovu je v práci zohledněno několik moderních přenosů. Mezi ně patří přenos kovu CMT, LSC a PMC, vyvinuté společností Fronius. Proces LSC je vylepšením standardního režimu a vyznačuje se menším rozstříkem a vyšší stabilitou oblouku. Byl vyvinut pro svařování tenkých ocelových plechů a pro lepší provaření kořene. Proces PMC je pokročilý pulzní proces, který má vyšší rychlost svařování. Je doporučen pro svařování plechů jakýchkoli tlouštěk. Díky použití stabilizátorů lze tento proces přizpůsobit požadavkům konkrétní výroby. Proces CMT od firmy Fronius je stabilní oblouk, který vnáší do materiálu méně tepla. CMT byl především vyvíjen pro svařování pozinkovaných plechů s hliníkovými.

V experimentální části byly svařeny vzorky, u nichž byla sledována výsledná kvalita svaru. Vzorky byly svařeny prostřednictvím metod LSC, PMC a CMT. Pomocí programu WeldCube byly získány hodnoty vneseného tepla do materiálu. Potvrdilo se, že během procesů LSC a PMC byl menší rozstřík materiálu a stabilnější oblouk. Ale při následném vyhodnocování byly odhaleny vady, především zápal a nedostatečný průvar. Při svařování metodou CMT naopak bylo docíleno největšího průvaru a nebyly zaznamenány žádné vady. Dane výsledky byli docílené při svařování materiálu menších tlouštěk. Procesy PMC a LSC vnáší větší množství tepla a za vyšších svařovacích rychlostech jsou nestabilní. Při svařování vysokými rychlostmi u procesu PMC je tendence k tvoření zápalu. Proces CMT byl původně doporučován jako proces pro svařování hliníku a pozinkovaných plechů. Během experimentu se však ukázalo, že tento proces je nejlepší pro svařování při vysokých svařovacích rychlostech. Rovněž lze výběrem synergické křivky – universál, dynamik nebo mix regulovat množství vneseného tepla do materiálu. Tak se ukázalo, že proces CMT – universál vnáší méně tepla a stabilita oblouku je větší ale při svařování tímto procesem byli použité maximální hodnoty parametru rychlosti podávání drátu. Však při svařování v procesu CMT – mix je charakterní kombinace vneseného tepla jako při PMC a stabilizace oblouku jako při CMT. Tato kombinace umožňuje dostatečné vnesené teplo za vyšších rychlostí svařování při udržení stability oblouku. Proces CMT byl původně doporučován jako proces pro svařování hliníku a pozinkovaných plechů. Během experimentu se však ukázalo, že tento proces je nejlepší pro svařování při vysokých svařovacích rychlostech. Rovněž lze výběrem synergické křivky – universal, dynamik nebo mix regulovat množství vneseného tepla do materiálu. Dále byla provedena analýza svarů metalografickým pozorováním. Nejdůležitější bylo ověření vhodnosti procesu CMT pro svařovací rychlost 18 mm/s a více, tak aby byla zajištěna stejná kvalita svaru jako při svařování nižšími rychlostmi. Také byla sestavena tabulka s doporučenými parametry pro svařování jednotlivých svarových spojů. Na závěr byl proveden výpočet hodnoty časového cyklu svařování pro konkrétní díl při různé rychlosti svařování. Zrychlením procesu svařování bylo docíleno zmenšení celkové hodnoty cyklu svařování o cca 11 % při zachování požadované kvality a využití stejného zařízení a materiálů.

Pro danou kombinaci parametrů a svařovaných materiálů lze tuto metodu CMT doporučit. Avšak není zaručeno, jestli by například změna polohy hořáku neměla nepříznivý vliv na kvalitu svaru. Je třeba také poznamenat, že v celé diplomové práci se jednalo o koutové sváry. Proto by bylo vhodné, aby při zavádění procesu svařování CMT do výroby došlo k otestování konkrétního svařovacího programu a následně ke kontrole všech svarů.

Seznam použitých zdrojů

1. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
2. Petr MANDELÍK, Stanislav ŠKAPA, Automobilový průmysl v ČR a ve světě. In: *Oneindustry automative* [online]. c2019 [cit. 22-01-2020]. Dostupné z: <https://automotive/oneindustry.one/automobilovy-prumysl/v-cr-a-ve-svete-2/>
3. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
4. Car Body Welding Robotics Cell 3D model. In: *TURBOSQUID* [online]. 2018 [cit. 22-01-2020]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/car-body-welding-robotics-3d-model-1370870>
5. Tomáš DUSÍL, Koncepce pohonu aut: Jaké jsou výhody klasické koncepce nebo motoru uprostřed?. In: Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. AUTO.CZ. 2017. [cit. 22-01-2020] Dostupné z: <https://www.auto.cz/koncepce-pohonu-aut-jake-jsou-vyhody-klasicke-koncepce-nebo-motoru-uprostred/105815>
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
7. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-7082-697-5.
8. ČSN EN 10027. *Systémy označování ocelí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 40 s. Třídící znak: 420011.
9. EN 10025-3. Hot rolled products of structural steels. Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steel. The European Standard EN 10025-3:2004 has the status of a British Standard. 2014. 28 s. ISBN 0 580 44780 4.
10. ČSN EN 10025. *Výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí. Technické dodací podmínky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2005, 30 s. Třídící znak: 420904
11. FRONIUS Česká republika s.r.o. [online]. © 2006-2020 [cit. 2-02-2020]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_ceska_republika
12. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s.: il.; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
13. Dana MACHÁČOVÁ, Pavel MACHÁČ. *Stavba karoserií a skříní*. [online]. VOŠ, SOŠ A SOU KOPŘIVNICE. 2011, [cit. 2-02-2020]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U27_Stavba_karoserii_a_skrini.pdf
14. Interstitial Free Steels. Ispat Guru [online]. 2014 [cit. 2-02-2020] Dostupné z: <http://ispatguru.com/interstitial-free-steels/>
15. VOŠTA, Milan a Aleš KOCOUREK. Automobilový průmysl v Evropské unii a jeho konkurenceschopnost ve světě. ACC Journal [online]. Technical University of Liberec, 2015, 21(2), 40-51 [cit. 2020-05-07]. DOI: 10.15240/tul/004/2015-2-004. ISSN 1803-9782. Dostupné z: <https://doaj.org/article/048aa72c49f1423991155ac6f73715eb>

16. Lucie FOREJTOVÁ, Ladislav KOLAŘÍK, Jan SUCHÁNEK, Marie KOLAŘÍKOVÁ, Tomáš PILVOUSEK. *Svařitelnost ocelí pro automobilové karoserie*. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Škoda Auto, 2017 / 3, 08.03.2017, [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-oceli-pro-automobilove-karoserie.html>
17. ČSN EN 1011-2. *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2002, 56 s. Třídící znak:052210.
18. PILOUS, Václav, Vladimír KUDĚLKA, Zdeněk BALEJ, Jan OPLETAL a Petr KADRŇKA. *Svařitelnost ocelí*. Brno: TESIYDO, s.r.o, 2017, 56 stran. ISBN 978-80-87102-17-6.
19. WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. Boca Raton: CRC Press ; Cambridge: Woodhead, 2003, vii, 193 s. : il. ISBN 1-85573-689-6.
20. MOHYLA, Petr. Svařitelnost uhlíkových, mikro a nízkolegovaných ocelí pro tlaková zařízení [online]. 2008, poslední revize 19.4.2009. Dostupné z: https://allforpower.cz/UserFiles/files/2009/Svaritelnost_oceli.doc
21. BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-85771-72-1.
22. ČSN EN ISO 5817. *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2014, 36 s.
23. Luděk PAVLÍK, *Vizuální kontrola svarů Vizuální kontrola svarů podle ČSN EN 970* [prezentace]. In: SlidePlayer [online], [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11174295/>
24. Interní norma společnosti AWL-Techniek Holding B.V.
25. AWL-Techniek Holding B.V. 2020 [online], [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://awl.nl/cs/>
26. LinkedIn Corporation, 2020 [online], AWL Techniek, [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/company/awl-techniek/>
27. KUNCIPÁL, Josef, Jiří DUNOVSKÝ a Václav PILOUS. *Nové technologie ve svařování*. Praha: SNTL, 1984, 291 s.
28. *Základy svařování MIG/MAG*. In: www.ewm-group.com [online]. © 2019 [cit. 2020 05-07]. Dostupné z: <https://www.ewm-group.com/cs/fachwissen/mig-magschweissen-grundlagen.html>
29. ГЛАДКОВ Э.А. *Управление процессами и оборудованием при сварке: учебное пособие для студентов высших учебных заведений*. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 432 с.
30. ЮХИН Н.А. *Механизованная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG)*. М.: Изд-во «Союзло», 2008. 73 с.
31. AIR PRODUCTS spol. s r.o., 2019, [online], *Průručka svářeče Pro svařování v ochranné atmosféře a tepelné dělení plamenem*, [cit. 2020 05-07], Dostupné z:

http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=cs-CZ

32. ESAB, 2020, [online], DOPLŇUJÍCÍ ÚDAJE A TABULKY, [cit. 2020 05-07], Dostupné z: http://www.svarovani.cz/userfiles/files/07-11-original_smallpdf.com_.pdf
33. AMBROŽ, Oldřich; KANDUS, Bohumil; KUBÍČEK, Jaroslav, 2001. *Technologie svařování a zařízení*. Recenzent Václav Minařík. 1. vyd. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, ZEROSS, c2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. S. 210.
34. QUICK - SERVIS, spol. s r.o., 2020, [online], Svářečky – elektrody.cz Pojmy a zkratky, [cit. 2020 05-07], Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/pojmy-a-zkratky-pouzivane-v-oblasti-svarovani/t-29/t-104>
35. TECHMAGAZÍN, 2016, [online], Svařování MAG zvyšuje hospodárnost při stavbě zásobníků a potrubí, [cit. 2020 05-07], Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/2703>
36. WELDTECH v.o.s., 2017 webmaster@weldtech.cz, ANTEE s.r.o. - Tvorba webových stránek, Redakční systém IPO, FRONIUS, [online], Dostupné z: <https://www.weldtech.cz/produkty/svareci-technika/fronius-weldtech>
37. BAUER Andreas, *Process Comparison*, [online prezentace], 2015, [cit. 2020 05-07].
38. FRONIUS INTERNATIONAL GMBH, 2019, [online], TPS 320i / 400i / 500i / 600i TPS 400i LSC ADV, Dostupné z: <https://www.manualslib.com/products/Fronius-Tps-400i-8754862.html>
39. FRONLUS UK, 2016, [online], Precise control of heat input when welding, [cit. 2020 05-07]. Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/supplier-network/product/some-dont-like-it-so-hot-precise-control-of-heat-input-when-welding/>
40. Fronius International GmbH, 2017, Perfect Welding TSPi, [online prezentace], [cit. 2020 05-07].
41. Technicky týdeník, 2015, Nové impulzy pro kontrolované a rychlé svařování, Vydává Business Media CZ s.r.o., Business Media CZ Nádražní 32, 150 00 Praha, [cit. 2020 05-07]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/nove-impulzy-pro-kontrolovane-a-rychle-svarovani_32846.html
42. Welding Business Academy, 2018, Fronius International GmbH, [online prezentace], [cit. 2020 05-07].
43. AZAR, Amin. *A heat source model for cold metal transfer (CMT) welding*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, 122(2), 741-746 [cit. 2020-05-17]. DOI: 10.1007/s10973-015-4809-4. ISSN 1388-6150.
44. Fronius International GmbH, "CMT Process - Training documentation", 2013, [online], [cit. 2020-05-17].
45. Technicky týdeník, 2006, [online], *Nový standard ve svařovací technice Proces CMT (Cold Metal Transfer)*, Vydává Business Media CZ s.r.o., Business Media CZ Nádražní 32, 150 00 Praha, [cit. 2020-05-17], Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/novy-standard-ve-svarovaci-technice-proces-cmt-cold-metal-transfer_10667.html
46. WANG, Peng, Shengsun HU, Junqi SHEN, Ying LIANG a Jie PANG. Effects of electrode positive/negative ratio on microstructure and mechanical properties of Mg/Al dissimilar variable polarity cold metal transfer welded joints. Materials Science &

- Engineering A [online]. Elsevier B.V, 2016, 652, 127-135 [cit. 2020-05-17]. DOI: 10.1016/j.msea.2015.11.080. ISSN 0921-5093.
47. Edigar S.A. www.edigarnet.com Copyright (C) 2017 EDIGAR S.A., 2018, [online]. TECNOLOGÍA CMT PARA SOLDADURAS MÁS RÁPIDAS Y PRODUCCIÓN EN SERIE, [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://maquinasyequipos.com.ar/tecnologia-cmt-para-soldaduras-mas-rapidas-y-produccion-en-serie>
 48. ЗАО «Объединенная сварочная компания», 2019. [online] г. Минск, ул. Гусовского, 2а, Полуавтомат сварочный Fronius TPS320i Standart, [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://welder.by/product/tps320i-standart/>
 49. Kolektiv autorů: ASM Handbook, Volume 6 Welding, Brazing , and Soldering, ASM International, 2000.
 50. SVARINFO - informační magazín o svařování., 2008, [online], Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svářeček, [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008020702>
 51. ŠTĚPÁNEK Zdeněk, *JAK NASTAVIT CO2*, © 2020 <https://www.svarecky.com> | Realizace: Petr Gräf, [online], [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://www.svarecky.com/jak-nastavit-co2>
 52. NÁŘADÍTECHNIK.CZ vás ve štychu nenechá!, 2020 © NÁŘADÍTECHNIK.CZ, [online], [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://www.naraditechnik.cz/prislusenstvi/812-podavac-dratu-4ra-4x4-24v-profi>
 53. KUBÍČEK J. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ*, Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K ÚST, odbor svaování a PÚ, [online], [cit. 2020-05-17], Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf
 54. SIGMUND, Marián. 5 Svařování TIG – MIG – MAG: Prezentace k přednášce z předmětu Teorie a technologie svařování. Brno.
 55. SKS, školící manuál © 2009 [cit. 2020-05-17] Školící manuál: Metoda svařování MIG/MAG na zařízeních SKS.
 56. KAŠPAR, Jan. Ochranné plyny s obsahem dusíku pro svařování hliníku. Mmspektrum [online]. Praha: MM publishing, 2013, 10. 4. 2013 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ochranne-plyny-s-obsahem-dusiku-pro-svarovanihliniku.html>
 57. HÁJEK Jaroslav, Volba ochranného plynu pro svařování, Business Media CZ Nádražní 32, 150 00 Praha, [online], [cit. 2020-05-17], Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/volba-ochranneho-plynu-pro-svarovani_17636.html
 58. Schinkmann s.r.o., 2020 Schinkmann s.r.o., všechna práva vyhrazena. [online], Výběr ochranného plynu, [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/vyber-ochranneho-plynu>
 59. KLEANDER, Antonín. Přídavné materiály pro svařování. Praha: SNTL, 1966, 223 s.
 60. Přídavné materiály: Katalogy. voestalpine: ONE STEP AHEAD [online]. Praha: voestalpine High Performance Metals CZ [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/app/uploads/sites/18/2018/01/>

4_P% C5% 99% C3% ADdavn% C3% A9-materi% C3% A1ly-pro-lehk% C3% A9-kovy-
% E2% 80% 93-hlin% C3% ADk-ho% C5% 99% C4% 8D% C3% ADk-titan.pdf

61. tutmet.ru, Все материалы сайта TUTMET.RU написаны специально для данного веб-ресурса и являются интеллектуальной собственностью администратора сайта., 2016, [online], [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://tutmet.ru/svarochnaya-provoloka-poluavtomata.html>
62. ESAB Czech Republic [online]. © 2013 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/>
63. FANUC , Roboty Svařování elektrickým obloukem, 2020, [online], [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str% C3% A1nka-filtru-robot% C5% AF/sva% C5% 99ov% C3% A1n% C3% AD-elektrick% C3% BDm-obloukem>
64. MRB Sazovice, spol. s r.o., 2020, [online]. [cit. 2020-05-17], Robotické svařování, Dostupné z: <https://www.mrb.cz/roboticke-svarovani>
65. KABEŠ Karel, Průmyslové a servisní roboty dobývají svět, 2015, [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslove-a-servisni-roboty-dobývaji-svet-2016_02_54545_7684/
66. Euromex, 2020, CMEX, [online]. [cit. 2020-05-17], Dostupné z: <https://www.euromex.com/en/products/branches/education-digital-solutions/cmex/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	-
Al	hliník	[hm. %]
Ar	argon	-
ArcLC	Korekce délky oblouku	-
A5	minimální tažnost	-
a	rozměr koutového svaru	[mm]
C	uhlík	[hm. %]
CO ₂	oxid uhličitý	-
CMT	Cold Metal Transfer	-
ČSN	Česká státní norma	-
D	Značení procesu svařování dynamic	-
DC	Korekce pulzu/dynamiky	-
EN	Evropská norma	-
FW	Značení koutového sváru	-
f	penetrace	[mm]
GMAW	obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře	-
He	Helium	-
HSS	vysokopevnostní ocel	-
HV	Jednotka tvrdosti dle Vickers	-
Hz	jednotkou frekvence	-
h	mezera mezi spojovanými součástmi	[mm]
I	El. proud	[A]
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	-
JR	Symboly pro hod. nárazové práce	-
L	Značení velikostí průvaru	[mm]
Len	čas svařování	[s]
LSC	Low Spatter Control	-
LSS	Low Strenght Steel	-
M	Značení procesu svařování mix	-
MAG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	-
MIG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	-
MMA	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	-
Mn	Mangan	-
Nb	Niobium	-
O	Kyslík	-
P	Fosfor	-
PB	Poloha svařování	
PMC	Pulse Multi Control	-
Q	Teplo dodané do svaru	[kJ·mm ⁻¹]
R _{eH}	Minimální mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
S	Síra	-
Si	Křemík	-
Sn	délka strany svaru	[mm]
S1, S2, S3	Firemní označení svarů	-
TSP	Svařovací zařízení	-

Ti	Titan	-
TIG	Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	-
TOO	Teplem ovlivněná oblast	-
t	Tloušťka	[mm]
U	Svařovací napětí	[V]
U	Značení procesu svařování universal	-
UHSS	Ultra vysokopevnostní ocel	-
V	Vanad	-
v_s	rychlost svařování	[mm/s]
WFS	Rychlost podávání drátu	[m/min]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Robotizovaná buňka [4]	9
Obr. 2a Auto a jeho komponenty [5]	10
Obr. 2b Svařenec	10
Obr. 3 Karoserie modelu ŠKODA Octavia [16]	13
Obr. 4 Závislost tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO [20]	15
Obr. 5 Makrovýbrus vzorku	17
Obr. 6 Parametry koutového svarového spoje.	18
Obr. 7 Parametry přeplátovaného svarového spoje	18
Obr. 8 Velikost penetrace v závislosti na délce svaru	19
Obr. 9 Pobočka společnosti AWL-Techniek CZ, s.r.o, v Napajedlech [26]	20
Obr. 10 Schéma svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou GMAW [28]	21
Obr. 11 Schéma procesu tavení a zkratového přenosu kovu [29]	22
Obr. 12 Schéma procesu impulzního přenosu kovu [27]	22
Obr. 13 Schéma procesu sprchového přenosu kovu [29]	22
Obr. 14 Zdroj Fronius TSPi a jeho komponenty [36]	24
Obr. 15 Procesní diagram a přenos kovu během procesu LSC [37]	25
Obr. 16 Princip procesu funkce Stabilizátor délky oblouku [37]	26
Obr. 17 Princip procesu funkce Stabilizátor průvaru [38]	26
Obr. 18 Příklad aplikace funkce SynchronPulse [38]	27
Obr. 19 Proces PMC mix [41]	28
Obr. 20 Charakteristika PCS – Pulse Controlled Spray-Arc [42]	29
Obr. 21 Jeden cyklus procesu CMT [44]	30
Obr. 22 Jeden cyklus procesu CMT mix [44]	31
Obr. 45 Proces CMT mix smíšený proces svařování CMT a PMC; horké fáze procesu PMC následují studené fáze procesu CMT [23]	31
Obr. 24 Jeden cyklus procesu CMT Advanced [44].	32
Obr. 25 Jeden cyklus procesu CMT Pulse Advanced [44]	32
Obr. 26 Systém PushPull [47]	33
Obr. 27 Inventor TSPi [48]	34
Obr. 28 Podavače drátů – dvoukladkový a čtyřkladkový [52]	34
Obr. 29 Schéma svařovacího hořáku [55]	35
Obr. 30 Plněné (trubičkové) elektrody [61]	36
Obr. 31 Varianty balení svařovacího drátu [62]	36
Obr. 32 Podíl robotů podle odvětví ve světě v roce 2014 [65]	37
Obr. 34 Svařenec	39
Obr. 35 Zkušební vzorek upevněný na stole	41
Obr. 36 Zkušební vzorky po svařování	41
Obr. 37 Svařovací buňka	41
Obr. 38 Zdroj energie TSP 400i [11]	42
Obr. 39 Podavač drátu WF 25i REEL [11]	42
Obr. 40 SplitBoxu SB 500i R P AP[11]	42
Obr. 41 Pufrovací člen [11]	42
Obr. 42 Robacta Drive CMT[11]	42
Obr. 43 Fanuc ARC Mate 120iC	43
Obr. 44 Úprava parametru svařování v Job Data	43
Obr. 45 Vzorky pro metalografii	44
Obr. 46 Mikroskop EUROMEX – HOLLAND model CMEX DC 1300x [66]	44

Obr. 47 Vzorek 6	45
Obr. 48 Vzorek 10	46
Obr. 49 Vzorek 3	47
Obr. 50 Vzorek 5	48
Obr. 51 Vzorek 16	48
Obr. 52 Vzorek 1	49
Obr. 53 Vzorek 2	50
Obr. 54 Vzorek 2	51
Obr. 55 Vzorek 3	51
Obr. 56 Vzorek 4	52
Obr. 57 Vzorek 1	53
Obr. 58 Vzorek 3	53
Obr. 59 Vzorek 5	53
Obr. 60 Tabulka s hodnotami pro výpočet cykle time	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli E335JR [9]	11
Tab. 2 Chemické složení oceli S420 MC [10].	11
Tab. 3 Požadavky na karoserie v automobilovém průmyslu [15].	12
Tab. 4 Materiálový koncept karoserie modelu ŠKODA Octavia [16].	13
Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli E355 [9].	14
Tab. 6 Mechanické vlastnosti oceli S420 [10].	15
Tab. 7 Hodnoty minimální penetrace svarového spoje.	18
Tab. 8 Parametry procesu PMC [40].	28
Tab. 9 Příklady svařovacích kovů a doporučených plynů [58].	36
Tab. 10 Tabulka svarů.	40
Tab. 11 Parametry svařování pro vzorky 1–12.	45
Tab. 12 Parametry svařování pro vzorky 1–5, 7, 10 a 12, 14, 16, 17.	47
Tab. 13 Parametry svařování pro vzorky 1–4.	49
Tab. 14 Parametry svařování pro vzorky 1–5.	50
Tab. 15 Parametry svařování pro vzorky 1–4.	52
Tab. 16 Doporučené parametry pro svařování koutových svarů při použití svařovacího zdroje od Fronius TSP 400i.	55
Tab. 17 Cycle time při rychlosti svařování 12 mm/s.	57
Tab. 18 Cycle time při rychlosti svařování 18 mm/s.	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Makrovýbrusy svaru číslo 1, vzorky 1 až 12.

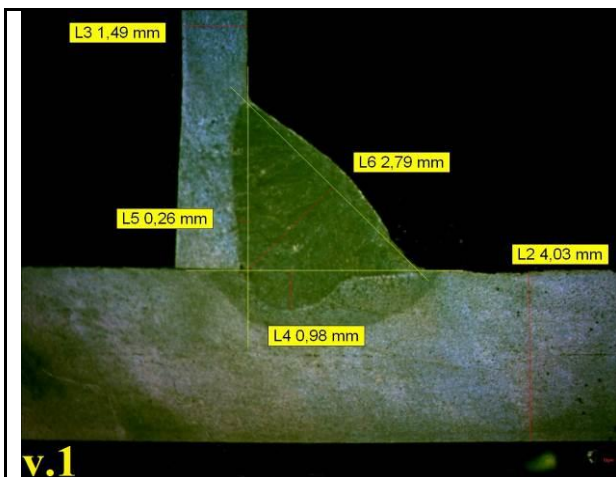
Příloha č.2 Makrovýbrusy svaru číslo 4, vzorky 1–5, 7, 10, 12, 14 a 16, 17.

Příloha č.3 Makrovýbrusy svaru číslo 2, vzorky 1 až 4.

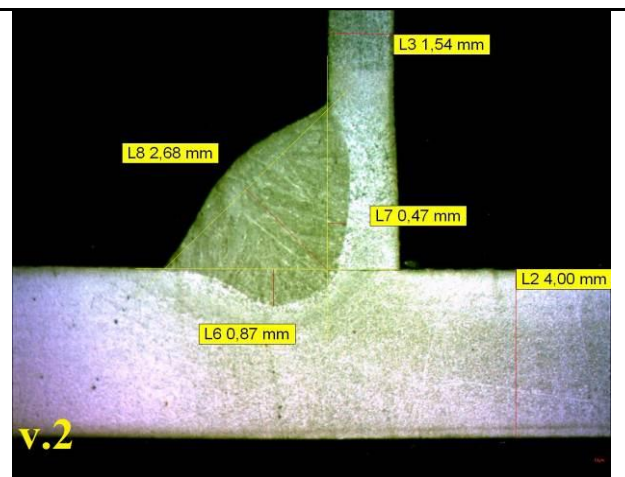
Příloha č.4 Makrovýbrusy svaru 3, vzorků 1–5.

Příloha č.5 Makrovýbrusy svaru číslo 5, vzorky 1 a 5.

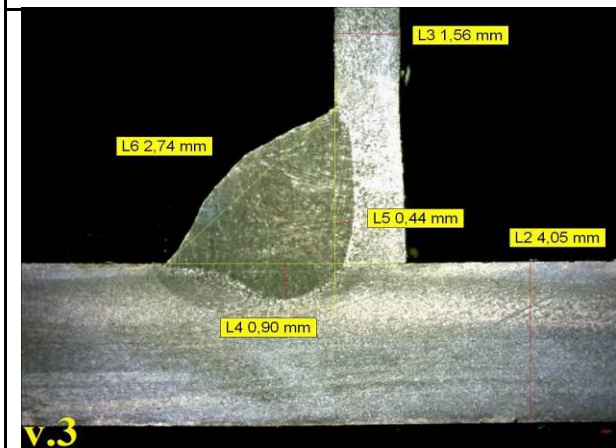
Příloha č.1 Makrovýbrusy svaru číslo 1, vzorky 1 až 12.



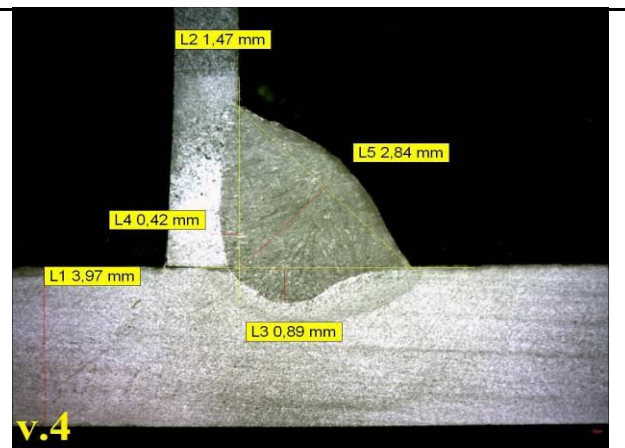
CMT – universal - 3248, WFS – 8 m/min,
rychlost svařování – 12 mm.s. $Q = 26,2$ kJ/mm
NOK



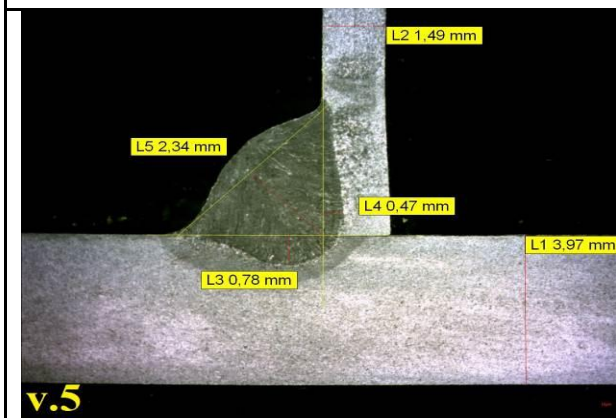
CMT – universal – 3248, WFS – 10 m/min,
rychlost svařování – 15 mm.s. $Q = 24,6$ kJ/mm
OK



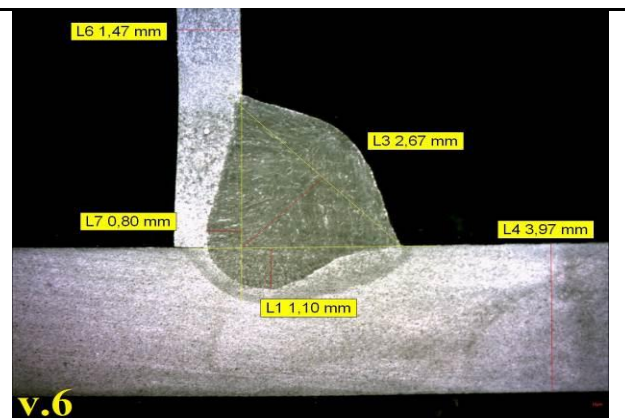
CMT – universal - 3248, WFS – 11 m/min,
rychlost svařování – 15 mm.s. $Q = 25,5$ kJ/mm
OK



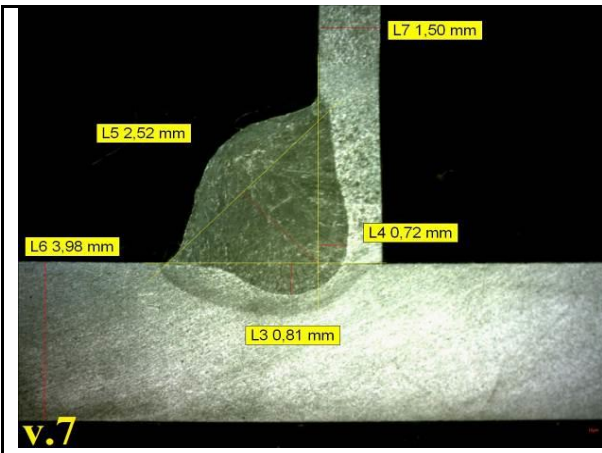
CMT – universal - 3248, WFS – 12 m/min,
rychlost svařování – 15 mm.s. $Q = 26,6$ kJ/mm
OK



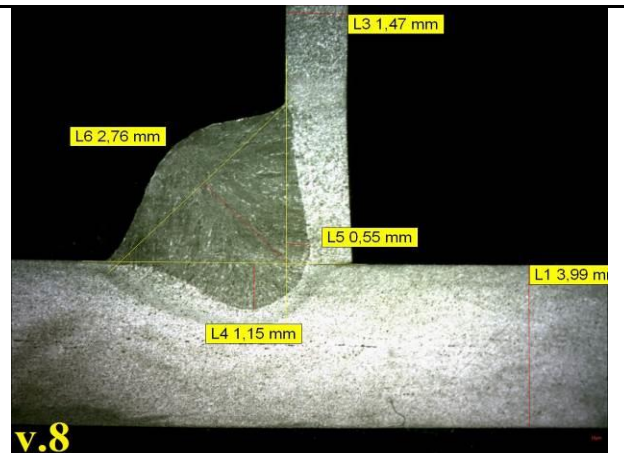
CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 22,2$ kJ/mm,
ArcLC – 5. **OK**



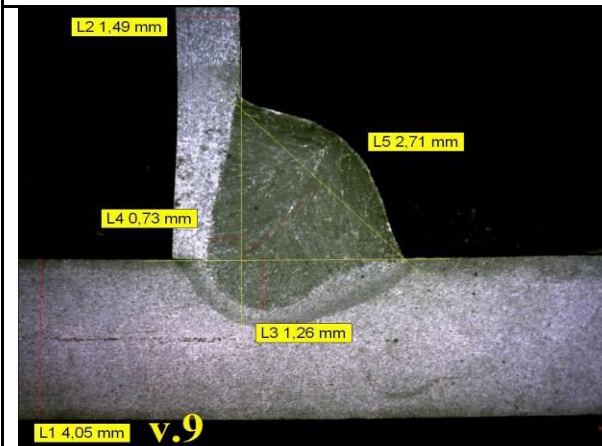
CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 26,8$ kJ/mm,
ArcLC – 5. **OK**



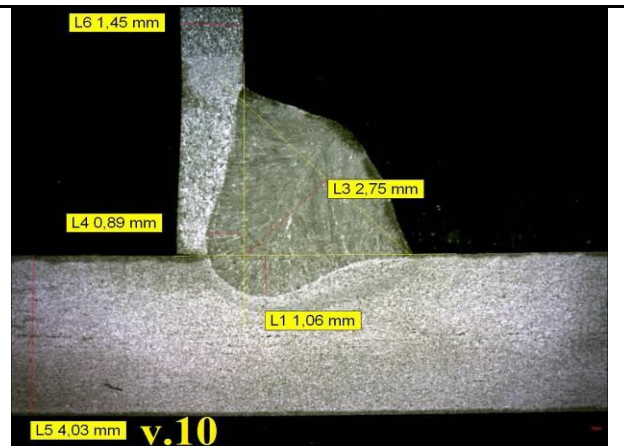
CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 26,7 kJ/mm
OK



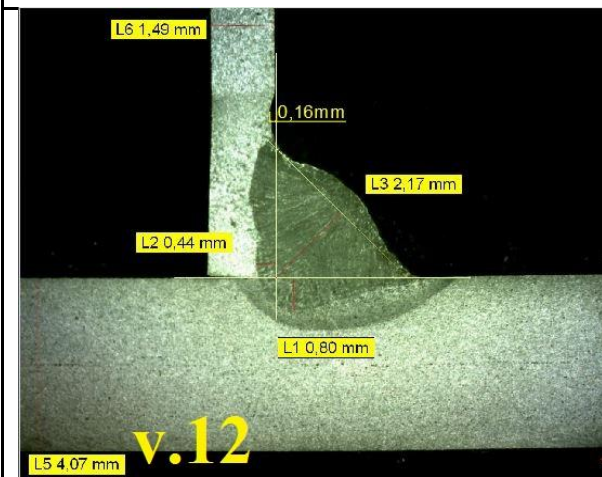
CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 27,8 kJ/mm
OK



CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 28,4 kJ/mm,
DC – -5**OK**

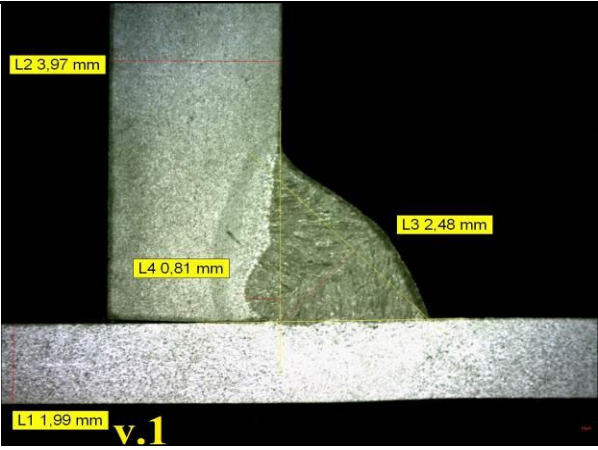
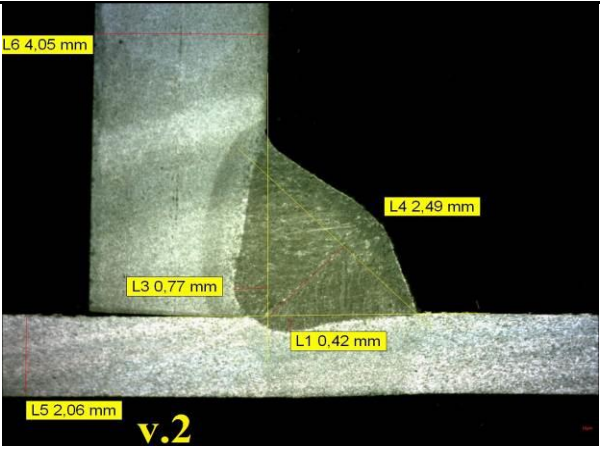
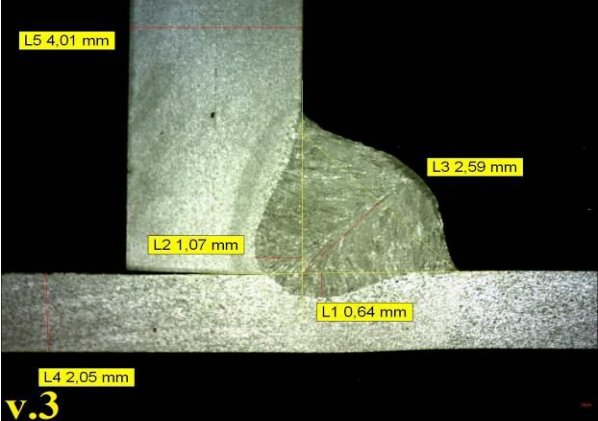
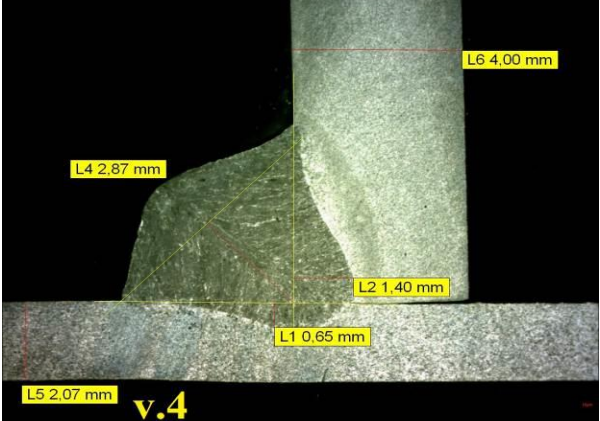
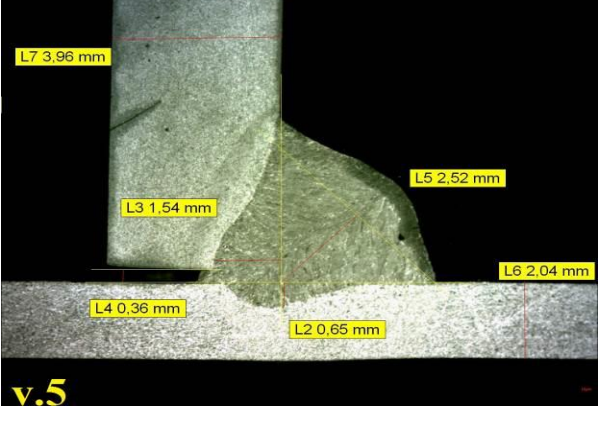
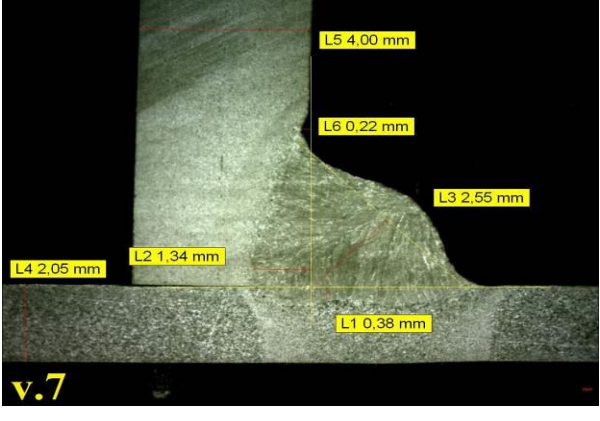


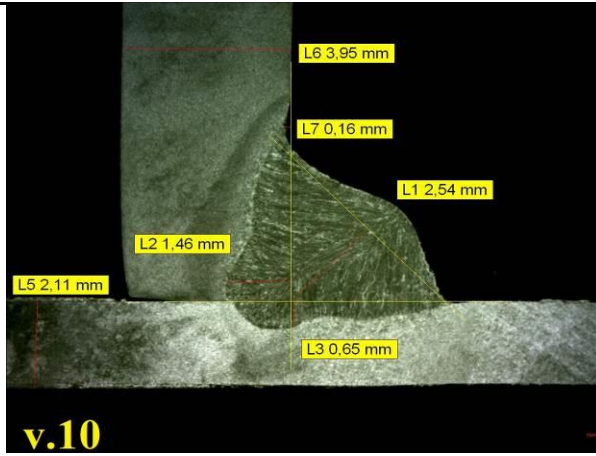
CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min,
rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 28,2 kJ/mm,
DC – -10**OK**



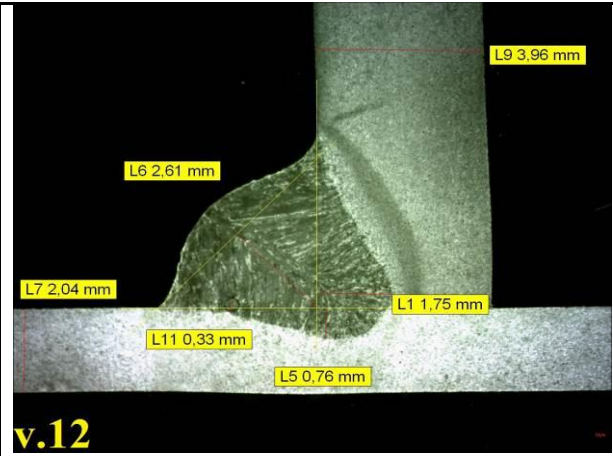
CMT – mix - 3691, WFS – 10 m/min, rychlost
svařování – 18 mm.s. Q = 22,6 kJ/mm, **NOK**

Příloha č.2 Makrovýbrusy svaru číslo 4, vzorky 1–5, 7, 10, 12, 14 a 16, 17.

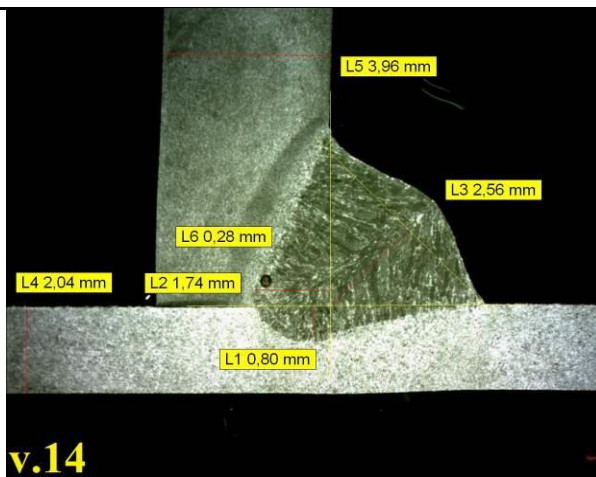
 <p>v.1</p>	 <p>v.2</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 8,5 m/min, rychlost svařování – 12 mm.s. $Q = 23$ kJ/mm, NOK</p>	<p>CMT – universal - 3248, WFS – 11,5 m/min, rychlost svařování – 15 mm.s. $Q = 23,7$ kJ/mm, OK</p>
 <p>v.3</p>	 <p>v.4</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 24,8$ kJ/mm, OK</p>	<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 15 mm.s. $Q = 29,5$ kJ/mm, OK</p>
 <p>v.5</p>	 <p>v.7</p>
<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 25,2$ kJ/mm, OK</p>	<p>CMT – mix - 3691, WFS – 12 m/min, rychlost svařování – 16 mm.s. $Q = 29,9$ kJ/mm, NOK</p>



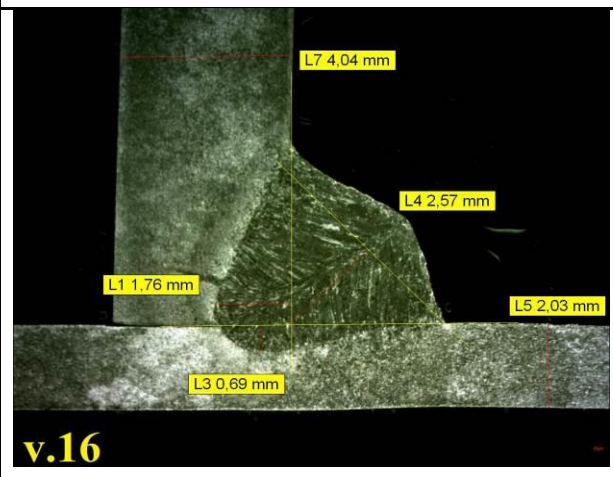
CMT – mix - 3691, WFS – 12 m/min, rychlost svařování – 16 mm.s. $Q = 30,4$ kJ/mm, DC – -5. **NOK**



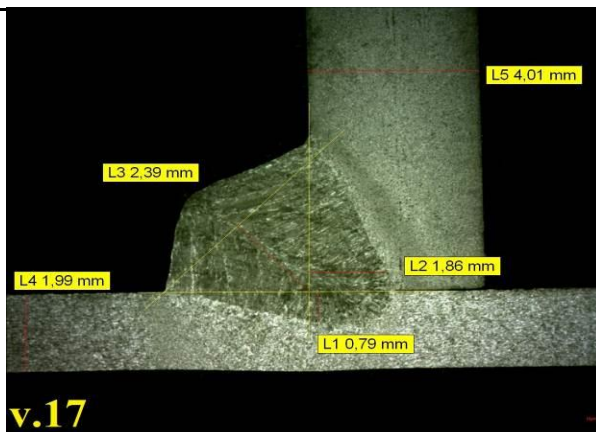
CMT – mix - 3691, WFS – 12 m/min, rychlost svařování – 16 mm.s. $Q = 28,7$ kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**



CMT – mix - 3691, WFS – 13 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 27,9$ kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**

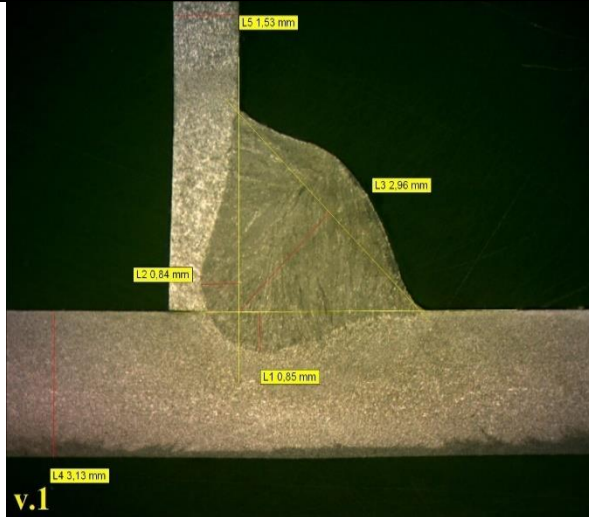
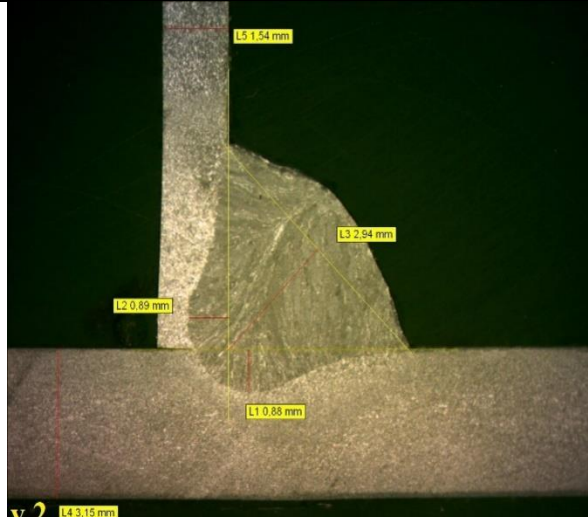
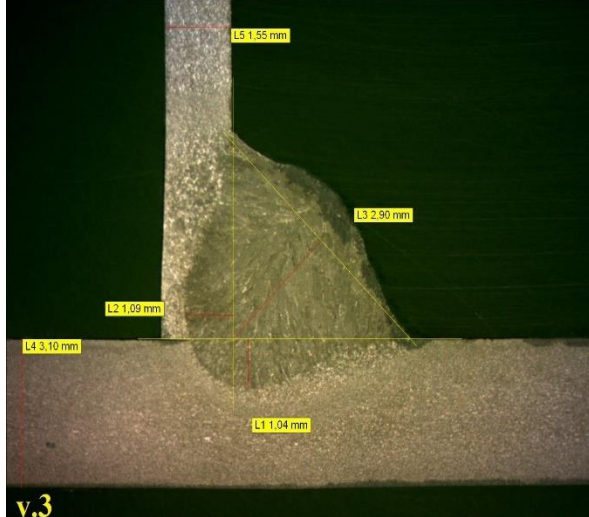
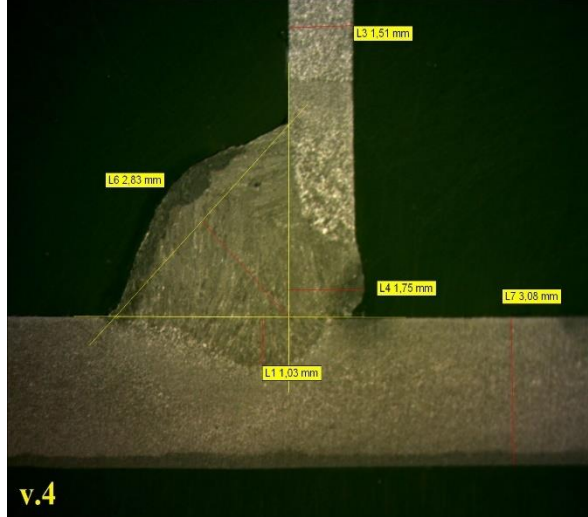


CMT – mix - 3691, WFS – 14 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. $Q = 29$ kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**

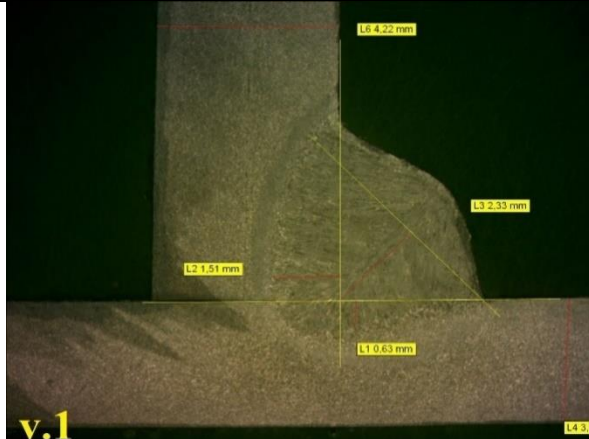
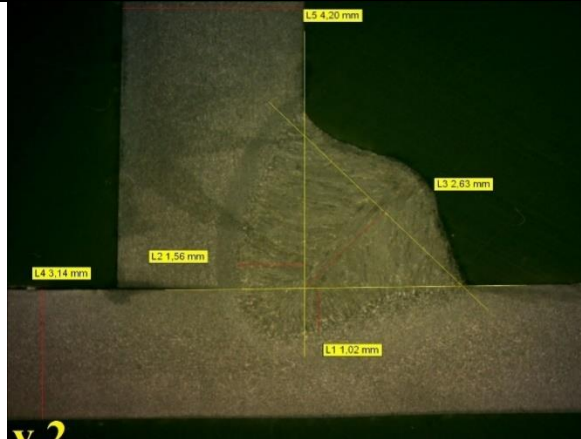
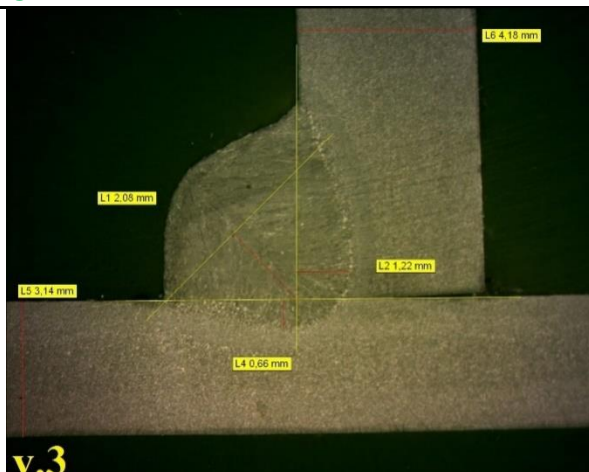
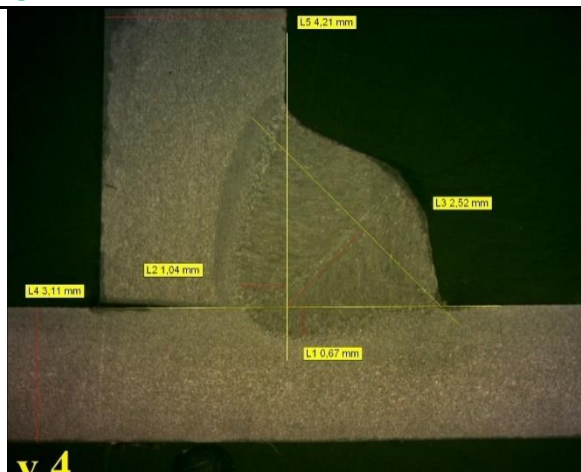
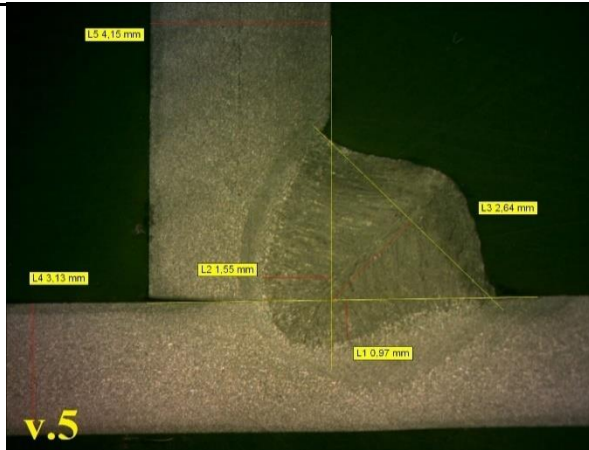


CMT – mix - 3691, WFS – 16 m/min, rychlost svařování – 20 mm.s. $Q = 28,6$ kJ/mm, ArcLC – -5. **OK**


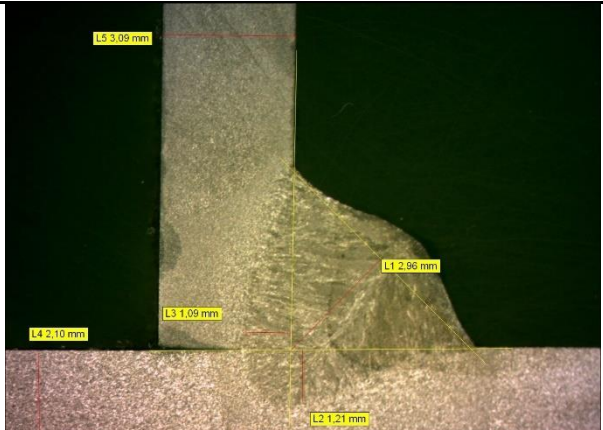

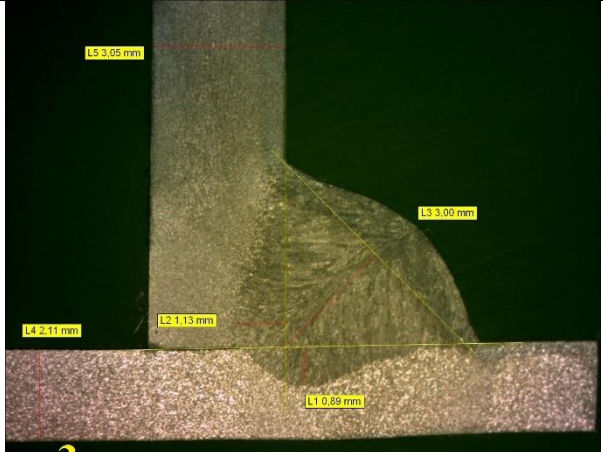
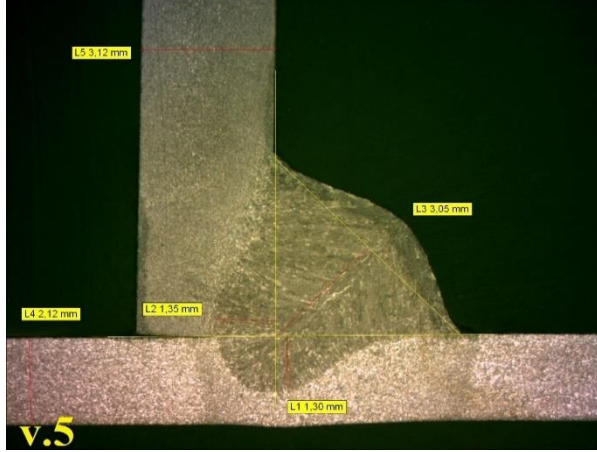
Příloha č.3 Makrovýbrusy svaru číslo 2, vzorky 1 až 4.

 <p>v.1</p>	 <p>v.2</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 25,2 kJ/mm, ArcLC – -5.</p> <p>OK</p>	<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 26,8 kJ/mm, DC – -10.</p> <p>OK</p>
 <p>v.3</p>	 <p>v.4</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 24,5 kJ/mm</p> <p>OK</p>	<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 26,1 kJ/mm.</p> <p>NOK</p>

Příloha č.4 Makrovýbrusy svaru 3, vzorků 1–5.

 <p>v.1</p>	 <p>v.2</p>
<p>CMT – mix - 3691, WFS – 13 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 27,4 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>	<p>CMT – mix - 3691, WFS – 14 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 28,5 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>
 <p>v.3</p>	 <p>v.4</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 24,2 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>	<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 25,5 kJ/mm. DC – -5. OK</p>
 <p>v.5</p>	
<p>CMT – mix - 3691, WFS – 16 m/min, rychlost svařování – 20 mm.s. Q = 27,9 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>	

Příloha č.5 Makrovýbrusy svaru číslo 5, vzorky 1 a 5.

 <p>v.1</p>	 <p>v.2</p>
<p>CMT – universal - 3248, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 25 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>	<p>CMT – mix - 3691, WFS – 14,5 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 28,2 kJ/mm, ArcLC – -5. OK</p>
 <p>v.3</p>	 <p>v.3</p>
<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 26 kJ/mm. OK</p>	<p>CMT – dynamik - 3392, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 26.3 kJ/mm. DC – -5. OK</p>
 <p>v.5</p>	
<p>CMT – mix - 3691, WFS – 15 m/min, rychlost svařování – 18 mm.s. Q = 28,4 kJ/mm, ArcLC – -7. OK</p>	