



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTÍ PANTOGRAFU DLE NORMY ISO15085

WELDING OF PANTOGRAPH PARTS ACCORDING TO STANDARD ISO 15085

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN ONDŘÍŠEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Ondříšek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

Svařování součástí pantografu dle normy ISO15085

v anglickém jazyce:

Welding of pantograph parts according to standard ISO 15085

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Součásti sběrače proudu (pantografu) na elektrických lokomotivách jsou vystaveny vysokým mechanickým zatížením. Jako svařovaná konstrukce podléhá výroba jednotlivých komponentů pantografu stupni CL1 dle normy ISO 15085. Diplomová práce řeší problematiku svarových spojů na součásti ramene sběrače.

Cíle diplomové práce:

Úvod do řešení problematiky diplomové práce.

Rozbor problematiky z hlediska materiálového, technologického a konstrukčního.

Hodnocení navržené technologie, vhodných parametrů a podmínek svařování.

Rozbor a diskuze výsledků experimentu.

Doporučení pro praxi a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1.vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0.
2. ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov. Bratislava. ETERNA PRESS 2003. 202 s. ISBN 80-968359-5-5.
3. FOLDYNA, Václav a kol. Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava: ZEROSS 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
4. ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6. USA: ASM, 2003. 1298 s. ISBN 0-87170-382-3.
5. TURŇA, Milan. Speciálne metódy zvarovania. 1.vyd. Bratislava: ALFA. 1989. 384 s. ISBN 80-05-00097-9
<http://hypertherm.com>.
6. KRÍŽ, R. a P., VÁVRA. Strojírenská příručka. Praha: SCIENTIA. 1998. Svazek 8. 251 s. ISBN 80-7183-054-2.
7. KOUKAL, J., D., SCHWARZ a J., HAJDÍK. Materiály a jejich svařitelnost. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ONDŘÍŠEK Jan: Svařování součástí pantografu dle normy 15085.

Tento projekt je zaměřen na rozbor konstrukce a návrh postupu svařování horního ramene sběrače proudu – pantografu pro elektrickou lokomotivu dle normy ČSN EN 15085. První část práce byla zaměřena na vypracování potřebných WPS a návrhem svařovacího přípravku, který bude realizován. Experimentální část se zabývala praktickou zkouškou pro ověření svaru definované v první části. Na určených svařených vzorcích byla vyhodnocena makrostruktura svaru a průběh tvrdosti.

Klíčová slova: pantograf, ČSN EN 15085, WPS, svařovací přípravek, svařování

ABSTRACT

ONDŘÍŠEK Jan: Welding of pantograph parts according to standard ISO 15085.

The aim of this project is to examine the welding of the upper arm of the current collector - the pantograph of the electric locomotive according to the CSN EN 15085 norm. The first part of this thesis dealt with the elaboration of all needed WPS and with the proposal of the current preparation that is going to be realized. The experimental part dealt with the practical execution of the welding as defined in the first part. The macrostructure of weldings and the process of hardening have been evaluated based on the welding samples.

Keywords: pantograph, ČSN EN 15085, WPS, welding fixtures, welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDŘÍŠEK, Jan. *Svařování součástí pantografu dle normy 15085*. Brno, 2015. 54s, 32 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 27.5.2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkovi, Ing. Jiřímu Kocovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji Ing. Josefu Moučkovi za pomoc a rady v praktické části práce. Také bych chtěl poděkovat své přítelkyni a rodině za podporu a možnost studovat na vysoké škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU	10
1.1. Rozbor materiálu	11
2. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	14
2.1. Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG (135)	15
2.2. Podmínky a parametry svařování a vedení hořáku	15
2.3. Přenos kovu	19
3. NÁVRH EXPERIMENTU	23
3.1. Požadavky na výrobu	23
3.2. Svařitelnost ocelí	25
3.2.1. Svařitelnost feritických ocelí	25
3.2.2. Svařitelnost korozivzdorných ocelí	28
3.3. Návrh svařovacích parametrů	28
3.3.1. Vypracování WPS	32
3.3.2. Návrh přípravku	38
4. EXPERIMENT	41
4.1. Svařovací zařízení	41
4.2. Svaření vzorků	41
5. VYHODNOCENÍ SVAŘENÝCH VZORKŮ	45
5.1. Makrostruktura svaru	45
5.2. Zkouška tvrdosti	48
6. ZÁVĚRY	54

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků a tabulek

Seznam příloh

ÚVOD

Lidstvo se spojováním materiálů zabývá od svých počátků, kdy prapředek proužkem kůže nebo šlachy přidělal ke klacku kámen. V průběhu let se spojovací technologie pochopitelně neustále vyvíjely a nadále se vyvíjí. Proto také v dnešní době již existuje ohromné množství možností jak spojit různé součásti k sobě (obr. 1).

Velká změna přišla s využíváním kovů. Spojování kovů se provádělo zpočátku kovářským svařováním, později přišly další metody jako nýtování, šroubování atd. Teprve s využitím elektrického oblouku přišlo první svařování a to obloukové svařování. Dnes je technologie svařování jedním ze základních postupů spojování materiálů. Používá se v různých odvětvích průmyslu. V mnoha případech jde o nenahraditelnou technologii při spojování součástí, při které vzniká svařováním trvale nerozebíratelný spoj. Svařováním lze spojit různé kovové i nekovové materiály

Díky zdokonalování elektroniky a technologickému pokroku se stále častěji pro sériovou výrobu využívají svařovací robotická pracoviště, především pak pro laserové svařování, kde při svařování dochází k tepelnému ovlivňování jen velmi malé oblasti spojovaného materiálu.

Vývoj spojovacích technik materiálů svařováním nekončí. Dnes se vědci dnes snaží nahradit svarový spoj ekvivalentní technologií. Nejčastěji jde o lepení, které může dosahovat podobných hodnot pevnosti spojení jako svařovaný spoj. Navíc při lepení nedochází k tepelnému ovlivnění základního materiálu. Tato metoda se stále více uplatňuje v automobilovém a drážním průmyslu.



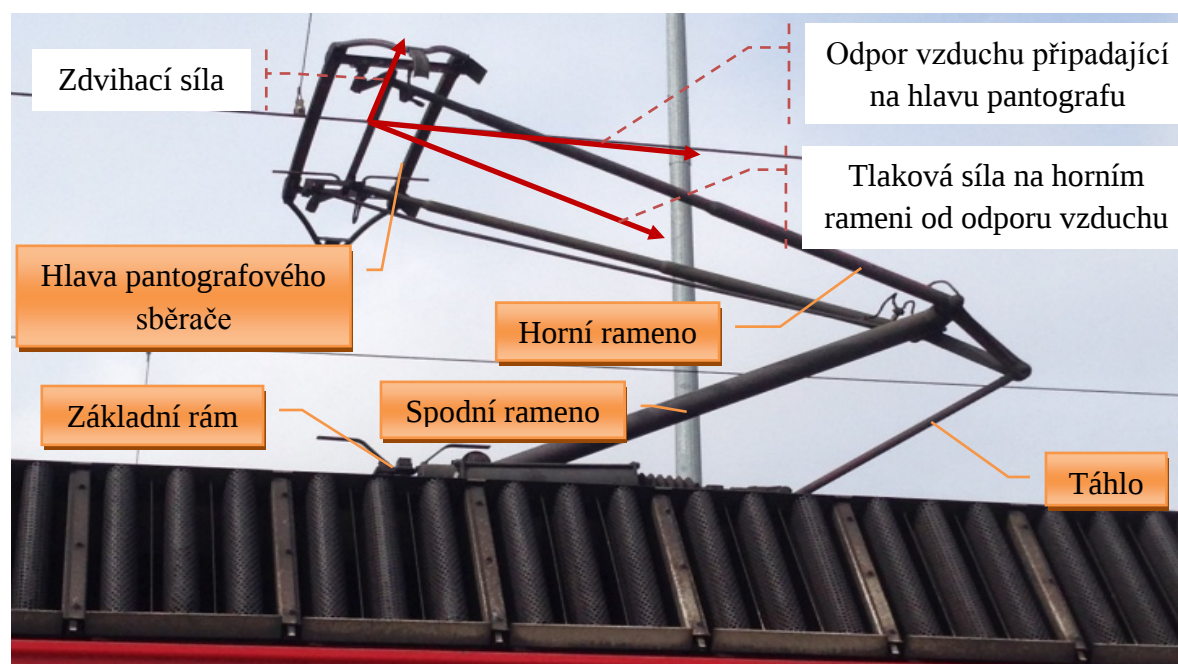
Obr. 1 Spojování materiálů [22], [34], [37]

1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU [7], [15], [19], [30], [32]

Rozbor konstrukce a návrh postupu svařování pantografu určeného pro lokomotivu (obr. 2), bude hlavním cílem této práce. Pantograf je mechanické zařízení sběrače proudu, odebírající elektrický proud z trakčního vedení a přivádějící ho do elektrického systému lokomotiv. Konstrukce pantografu se skládá ze základního rámu, spodního a horního ramene a hlavy pantografového sběrače (obr. 3). Spodní rameno je tvořeno většinou z trubky. Horní rameno je tvořeno z trubek rozevřených do tvaru „V“ na straně smýkadla. Tato základní konstrukce je doplněna táhly. Tento celek tvoří pantografový mechanismus. Pantografy určené pro vysoké rychlosti bývají opatřeny aerodynamickými ploškami vyvažujícími aerodynamické síly, které působí na sběrač proudu (obr. 3). Důležitou součástí je i sekundární vypružení smýkadla, které vyrovnává drobné, ale rychlé změny polohy vozidla vůči troleji a zabraňuje jiskření.



Obr. 2 Pantograf na lokomotivě



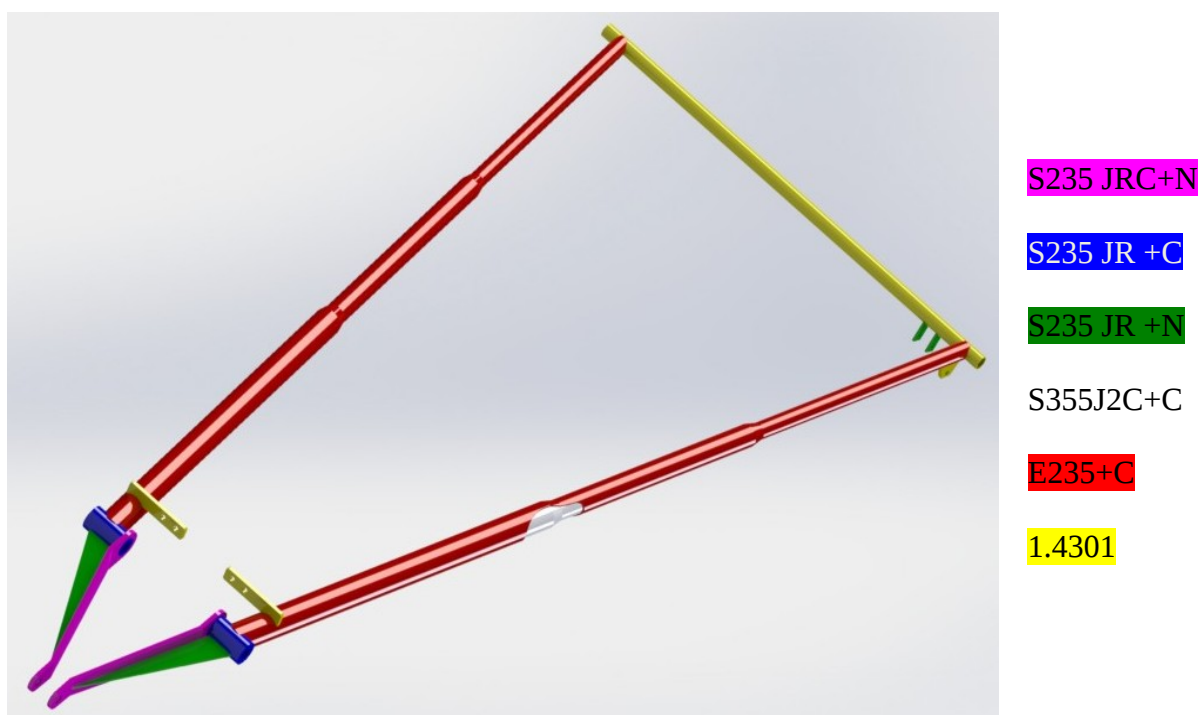
Obr. 3 Síly odporu vzduchu působící na pantograf a součásti pantografu [27]

Pantograf na lokomotivě je vystaven dynamickému namáhání. Musí být schopen pracovat za různých klimatických podmínek, odolat vibracím a rázům a přesto musí být sběrač schopen udržet kontakt s trakčním vedením. Stálým problémem je namrzlá vrstva ledu mezi trakčním vedením a lištou sběrače, kdy citlivá elektronika lokomotivy vrstvu vyhodnotí jako silnější, a námraza zabrání přenosu elektrické energie. Svařování součástí pantografu spadá pod normu ČSN EN 15085 - Železniční aplikace - svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí. Cílem této normy je shrnout do jednoho dokumentu všechny oddělené požadavky, které se týkají návrhu a konstrukce svarového spoje železničních kolejových vozidel a jejich částí také vzhledem k tomu, že součásti vyrábějí často jiné organizace než ty, které odpovídají za celé kolejové vozidlo. Norma začíná identifikací základních informací nezbytných pro vypracování požadovaného návrhu.

Nový svařenec horního ramene pantografu (příloha 1) je zaváděn do výroby ve spolupráci s rakouskou firmou Haas Profile s.r.o., a to v závodě sídlícím v Příměticích u Znojma. Firma vznikla roku 1992 a v dnešní době je zaměřena kromě svařování různých profilů i na zpracování plechů, řezání laserem a vysekávání, ohýbání na CNC ohraňovacích lisech, lisování, lepení profilů a plechů a montáž finálních sestav. Firma vlastní od roku 2008 certifikát EN 15085-2 pro svařování součástí kolejových vozidel.

1.1 Rozbor materiálu [1], [13], [18]

Rozbor materiálu vhodných pro použití na horní rameno pantografu:
S235 JRC+N, S235 JR +C, S235 JR +N, S355J2C, E235+C, 1.4301 (obr. 4)



Obr. 4 Složení materiálů horního ramene pantografu

Materiály S235 JRC+N, S235 JR+C, S235 JR+N, S355J2C+C a E235+C dle normy EN 10027-1, jedná se o nelegované uhlíkové oceli se zaručenou chemickou čistotou ($C_{\max}$, $S_{\max}$, $F_{\max}$), zaručenou mezí kluzu, minimální pevností v tahu a tažností.

Atesty 3.1 uvedených materiálů jsou součástí přílohy č. 5-13. Základní chemické složení je uvedeno v tab. 1 a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2. Materiál S235 se používá pro výrobky namáhané jak staticky tak i dynamicky. Použití např. krycí plechy, pomocná zařízení, méně namáhaná svařovaná potrubí, spojky a podvozky vagónů. Materiál S355 se používá pro mostní svařované konstrukce, součásti strojů a automobilů a součásti pro tepelné zařízení.

Tab. 1 Přehled chemického složení dané oceli

Materiál: S235 JR											
Chemické složení [hm %]											
C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al
0,14	0,52	0,01	0,01	0,007	0,03	0,02-	0,014-	0,024-	0,002-	0,001	0,036-
-	-		-	-	-	0,04	0,018	0,043	0,003		0,042
0,15	0,55		0,016	0,012	0,004						
Materiál : S355J2C											
Chemické složení [hm %]											
C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Ni	Cr	Mo		Al
0,15	1,25	0,17	0,012	0,020	0,008	0,18	0,08	0,08	0,01		0,019
-	-	-	-	-		-	-	-	-		-
0,16	1,58	0,21	0,21	0,026		0,19	0,09	0,10	0,02		0,021

Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocelí

Materiál:	Mez kluzu ReH [MPa]	Pevnost tahu Rm [MPa]	Tažnost A5, A5,65* [%]
S235JR+N (tloušťka 4 mm)	342	454	39,5
S235JR+N (tloušťka 5 mm)	284	429	38,5
S235JRC+N (tloušťka 8 mm)	258	423	43
S235JR+C (Ø 45 mm)	-	640	-
E235+C (Ø 50 mm)	-	683	11,4*
E235+C (Ø40 mm)	-	729	10,6*
E235+C (Ø30 mm)	-	679	12,3*
S355J2C+C (Ø 50 mm)	560	590	14,5
S355J2C+C (Ø 40 mm)	615	655	13,6

Materiál 1.4301 dle normy EN 10027-2, jedná se o korozivzdornou ocel. Legovaná ušlechtilá austenitická ocel s vynikající odolností proti korozi v přirozeném okolním prostředí (voda, ovzduší). Svařitelnost oceli je zaručena. Atest 3.1 materiálu 1.4301 je součástí přílohy č. 14 a 15. Základní chemické složení je uvedeno v tab. 3 a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 4. Tato ocel se používá hlavně v potravinářském, farmaceutickém, kosmetickém, pivovarnickém průmyslu dále pak v architektuře a konstrukci motorových vozidel.

Tab. 3 Přehled chemického složení dané oceli

Materiál: 1.4301							
Chemické složení [hm %]							
C	Cr	Mn	N	Ni	P	S	Si
0,021-0,027	18,084-18,62	1,16-1,8	0,070-0,087	8,01-10,22	0,034-0,036	0,001-0,013	0,29-0,41

Tab. 4 Mechanické vlastnosti ocelí

Mechanické vlastnosti materiálu			
Materiál:	Mez kluzu Rp0,2 [MPa]	Pevnost tahu Rm [MPa]	Tažnost A5 [%]
1.4301 (tloušťka 8 mm)	349,39	631,12	54,8
1,4301 (Ø 26 mm)	241-260	527-549	56-60

2. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ [20], [25]

Svařováním kovů a jejich slitin vzniká nerozebíratelné spojení za pomoci tepelné, mechanické nebo radiační energie. Spojení nastane působením meziatomových sil, vazeb na teplem nebo tlakem aktivovaných kontaktních plochách. Svařovaná oblast je v roztaveném nebo plastickém stavu.

Metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny:

- tavné svařování - svařovaného spoje se dosáhne přivedením tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu,
- tlakové svařování - založeno na působení mechanické energie, která přiblíží svařované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil a vzniká vlastní spoj.

Rozdělení metod svařování je uvedeno dle ČSN EN 4063. Toto rozdělení je ekvivalentní rozdělení dle ČSN ISO 857:

❖ Metody tavného svařování (0)

➤ Svařování elektrickým obloukem (1)

- a) Ruční obloukové svařování tavící se elektrodou (111)
- b) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou (112)
- c) Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu (114)
- d) Pod tavidlem (12)
- e) Obloukové svařování v ochranné atmosféře (13)
- f) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu - MIG (131)
- g) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG (135)
- h) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (136)
- i) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (132)
- j) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu - TIG (141)

➤ Ostatní metody tavného svařování:

elektrostruskové svařování (72), svařování plazmové (15), svařování plazmové MIG svařování (151), svařování magneticky ovládaným obloukem (185), svařování proudem elektronů (51), plamenové svařování kyslíko-acetylenové (311), svařování slévárenské, svařování světelným zářením (75), laserové svařování (52), aluminotermické svařování (71).

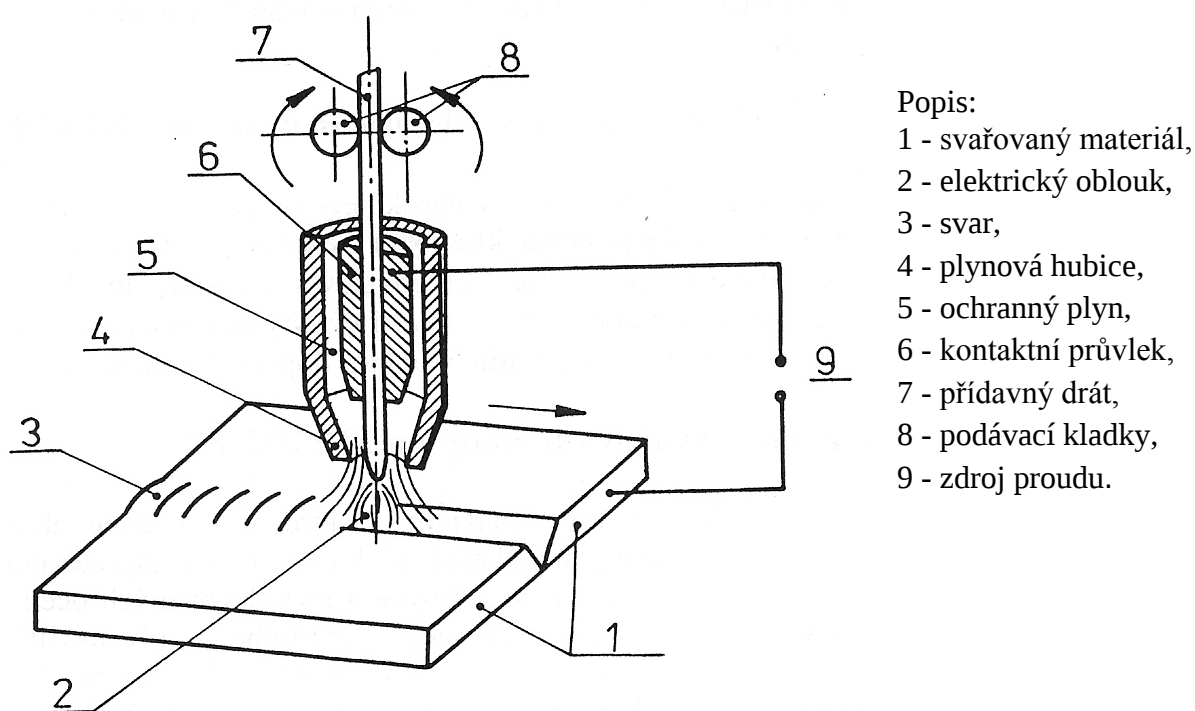
❖ Metody tlakového svařování (4)

- #### ➤ Ultrazvukové svařování (41), třecí svařování (42), kovářské svařování (43), svařování velkou mechanickou energií (44), svařování výbuchem (441), odporové svařování bodové (21).

2.1 Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG (135) [20], [23], [25]

V další části diplomové práce bude popsána a dále použita technologie svařování svařovací metodou MAG.

Tato svařovací metoda je založena na hoření oblouku mezi základním materiálem a tavící se elektrodou ve formě plného nebo plněného drátu. Při obloukovém svařování v ochranném plynu hoří oblouk obklopen ochranným plynem, který má za úkol chránit elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavnou lázeň před okolní atmosférou (obr. 5). Plyn také ovlivňuje chemickou reakci, která zde probíhá. Je to tedy aktivní součástí procesu v roztaveném kovu. Jako ochranný plyn se nejčastěji používá CO_2 nebo směs CO_2 s argonem.



Obr. 5 Schéma metody MAG[25]

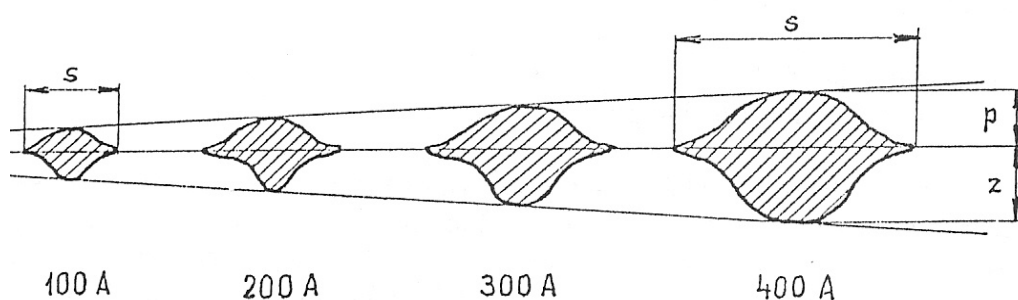
Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu (MAG) patří k jednomu z nejrozšířenějších metod pro ruční i mechanizované svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

2.2 Podmínky a parametry svařování a vedení hořáku[11], [16], [17], [20],[24], [25], [26], [33]

Nastavení svařovacích parametrů i sklon a vedení hořáku se podílí na formování svarové housenky jak do hloubky závaru, tak do šířky svaru. Mezi základní parametry svařování patří:

➤ Svařovací proud a rychlost podávání drátu:

Na tvar a průřez svarové housenky má největší vliv svařovací proud. S narůstající hodnotou svařovacího proudu roste proudová hustota, velikost a tekutost svarové lázně. Při konstantním napětí a zvyšování proudu výrazně roste hloubka závaru, ale s relativně malým růstem housenky do šířky i převýšení (obr. 6).



p - převýšení, z - hloubka závaru, s - šířka housenky

Obr. 6 Vliv svařovacího proudu na tvaru svarové housenky[20]

Svařovací proud je přímo závislý na rychlosti podávání drátu. Podle velikosti nastavení rychlosti podávání drátu dává zdroj svařovacího proudu odpovídající svařovací proud. Při nadměrném zvýšení svařovacího proudu vzrůstá rozstřík a hrozí možnost protavení plechu.

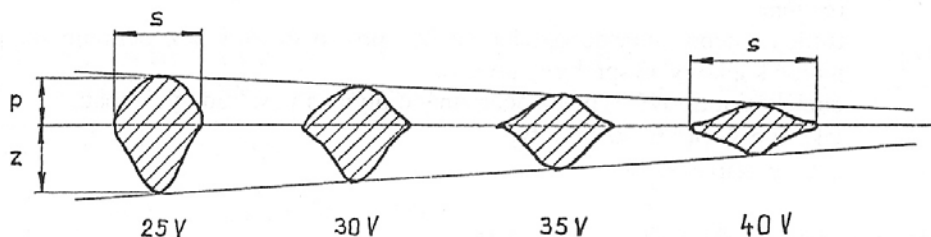
➤ Svařovací napětí:

Svařovací napětí je udáno jako potenciální rozdíl mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Napětí se mění podle délky oblouku, ale na odtavovací výkon a na hloubku závaru je vliv napětí malý. Největší vliv má svařovací napětí na šířku svarové housenky. Při konstantním svařovacím proudu a zvyšujícím se svařovacím napětím hloubka závaru klesá (obr. 7). Napětí se nastavuje na zdroji svařovacího proudu na hodnotu odpovídající podmínkám stabilního hoření oblouku pro daný svařovací proud. Obecně platí pro nastavení hodnoty napětí vztah :

$$U = 15 + 0,035 \cdot I_s \text{ [V]} \quad (2.1)$$

kde: U [V] – svařovací napětí,

I_s [A] – svařovací proud.



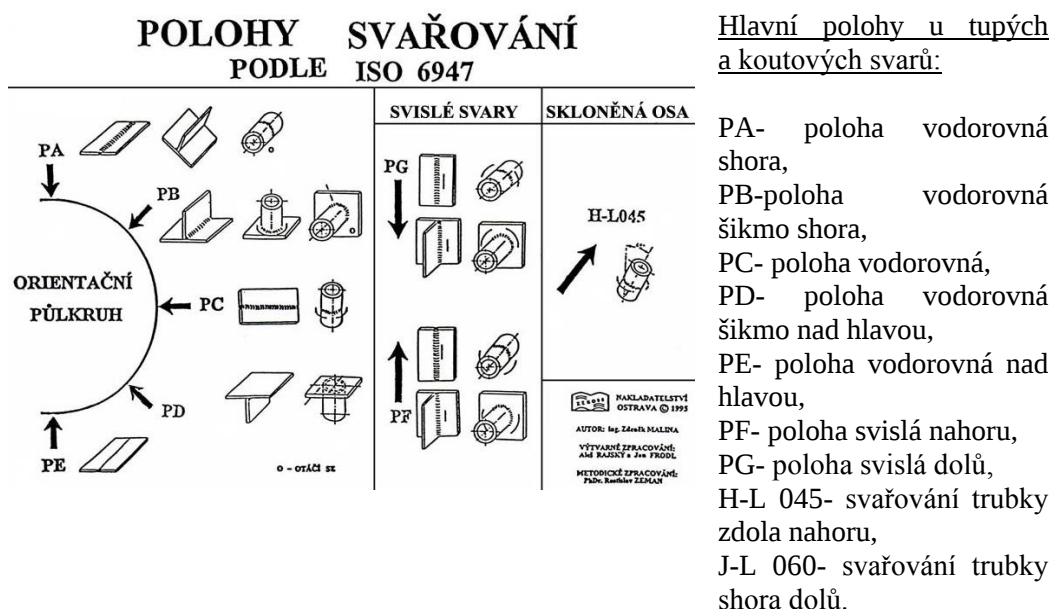
p - převýšení, z - hloubka závaru, s - šířka housenky

Obr. 7 Vliv svařovacího napětí na tvaru svarové housenky[20]

Pro ustálení pracovního bodu a k dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku má napětí důležitý vliv. Napětí proto může být nastaveno jen v určitém rozsahu pracovní oblasti. Při nastavení příliš vysokého napětí dochází ke zvýšení rozstřiku, náchylnosti svarů na pórovitost, propalu prvků a zvýšení délky oblouku. Svarová housenka je široká a mělká s nebezpečím předbíhání svarové lázně před oblouk. Nízké napětí způsobuje nestabilitu svařovacího procesu, vznik úzkých svarových housenek s velkým převýšením při vyšších rychlostech svařování. U nízkého napětí nedochází k dokonalému natavení svarových hran, které následně vede ke vzniku studeného spoje.

➤ Vedení hořáku

Pro správný sklon elektrody při svařování svarové housenky je nutné určit typ svarového spoje a polohu svařování. Jsou známy dva základní typy svarových spojů. Spoje tupé, značí se BW, a spoje koutové, značí se FW. Poloha svařování je určována za pomoci ISO 6947 obr. 8.

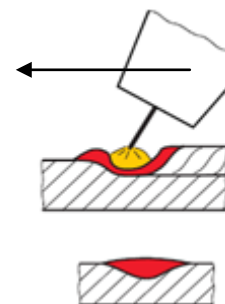


Obr. 8 Polohy svařování [29]

Poloha elektrody musí být taková, aby při svařování struska nikdy nepředběhla samotný svarový kov. Lze svařovat třemi způsoby:

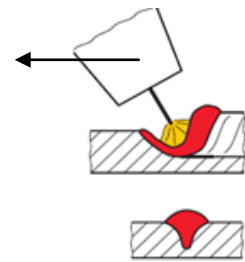
• Směrem vpřed (obr. 9):

definováno jako obloukové svařování kde osa hořáku svírá se směrem svařování tupý úhel. Výsledkem vlivu působení tepla na větší plochu je pak širší housenka s malým závarem. Povrch svarové housenky je hladší. Tupý úhel se pohybuje v rozmezí 110° - 130°. Vhodné použití pro provaření kořene svaru.



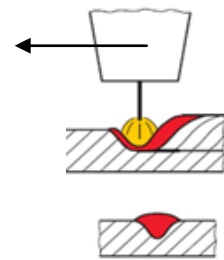
Obr. 9 Svařování vpřed [16]

- Směrem vzad (obr. 10):
definováno jako obloukové svařování kde osa hořáku svírá se směrem svařování ostrý úhel. Svarová housenka je užší s menším převýšením ale velkým závarem. Ostrý úhel při svařování se pohybuje v rozmezí $60^\circ - 77^\circ$.



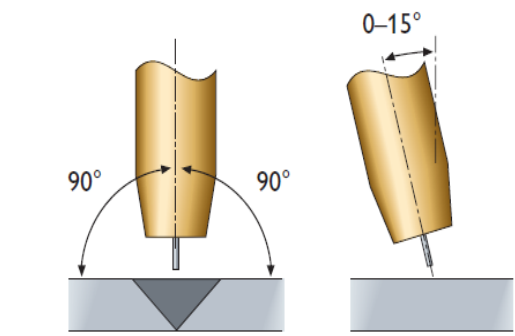
Obr. 10 Svařování vzad [16]

- Zcela kolmo (obr. 11):
ideální pro mechanizované a automatizované svařování, svářeč má zamezen výhled na svarovou lázeň.

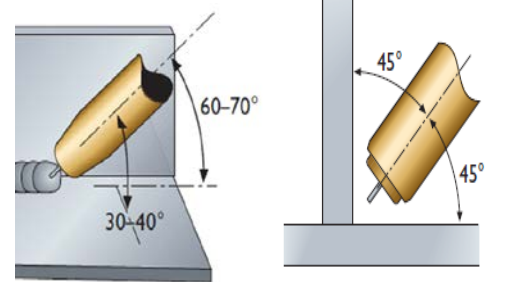


Obr. 11 Svařování kolmo [16]

- o Poloha elektrody při svařování tupého spoje
Při svařování tupého spoje je postavení hořáku kolmo na základní materiál a následně je skloněno podle způsobu svařování (obr. 12)
- o Poloha elektrody při svařování koutového spoje
Postavení hořáku je při svařování koutového spoje pod 45° a následně je skloněno podle způsobu svařování (obr. 13)



Obr. 12 Sklon hořáku u tupého spoje [16]



Obr. 13 Sklon hořáku u koutového spoje [16]

➤ Průměr drátu

Při svařování s větším průměrem svařovacího drátu se zvětšuje svařovací proud. Při konstantních hodnotách svařovacího proudu a zmenšujícím se průměru svařovacího drátu se dosahuje většího součinitele roztavení.

➤ Druh a polarita svařovacího proudu

U metody MAG se nejčastěji používá stejnosměrný proud s nepřímou polaritou, tzn. zapojení kladného pólu zdroje na elektrodu. Toto zapojení se vyznačuje zvýšenou hloubkou závaru s malým převýšením. Při použití přímé polarity, tzn. zapojení elektrody na záporném pólu se hloubka závaru zmenšuje, ale převýšení roste. Přímá polarita se používá pro svařování s plněnou elektrodou.

➤ Volná délka drátu

Volná délka drátu nebo také výběh nebo výlet drátu je délka mezi vyústěním elektrody z průvlaku po oblouk. Optimální velikost vychází z empirického vztahu:

$$L = 5 + 5 \cdot d \text{ [mm]} \text{ pro oxid uhličitý,} \quad (2.2)$$

$$L = 7 + 5 \cdot d \text{ [mm]} \text{ pro směsné plyny.} \quad (2.3)$$

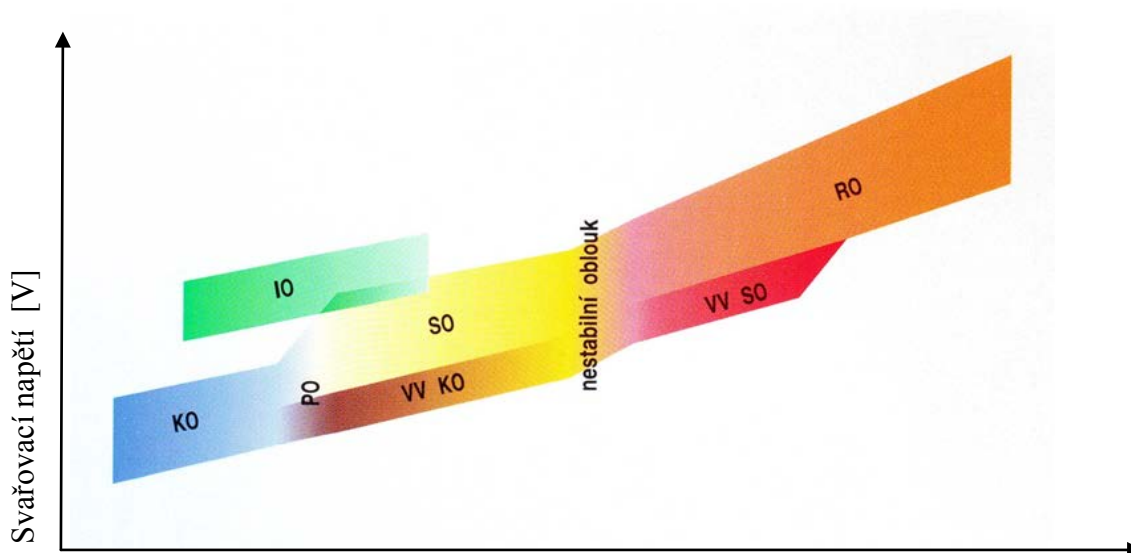
Kde: L [mm] – vyložení elektrody,
 d [mm] – průměr svařovacího drátu.

➤ Množství ochranného plynu

Samotné množství plynu závisí na druhu spoje a svařovacích parametrech, nutno brát v potaz při svařování i okolní povětrnostní podmínky (vítr, průvan). Dostatečná ochrana svarové lázně je při spotřebě ochranného plynu 12 – 17 litrů/min.

2.3 Přenos kovu [16], [20], [24], [25]

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Při svařování závisí na svařovacích parametrech, jako jsou svařovací proud a svařovací napětí. Významně však přenos kovu ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování. Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit na jednotlivé typy závislé na svařovacích parametrech (obr. 14):



Rychlost posuvu drátu (svařovací proud) [m.min⁻¹, A]

Základní typy přenosu:

KO - krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

VV KO - krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

PO - přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty

SO - dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

IO - impulsní bezzkratový oblouk

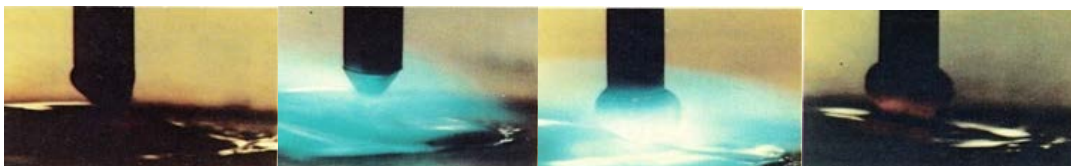
VV SO - moderovaný bezzkratový přenos

RO - dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Obr. 14 Oblasti jednotlivých druhů přenosu kovu [20]

➤ Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Tento přenos se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu 60 - 120 A, a svařovacího napětí 14 – 22 V. Výkon navaření se pohybuje při těchto svařovacích hodnotách 1 – 3 kg.hod⁻¹. Dochází zde k přerušovanému oblouku zkratem, kdy po kontaktu elektrody a základního materiálu dochází k elektrickému zkratu a z elektrody se odtaví kapka kovu do svarové lázně. Tím oblouk zhasne a opětovným kontaktem se elektrický oblouk opět zapálí (obr. 15). Vyznačuje se velkým rozstříkem kovu a vlivem pravidelného zhasínání elektrického oblouku se vnáší do svaru menší množství tepla, tím nedochází k velkým deformacím při svařování. Použití je především při svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, překlenutí širších mezer, svařování polohových svarů a pro svařování vysokolegovaných ocelí.



Obr. 15 Zkratový přenos kovu [16]

➤ Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

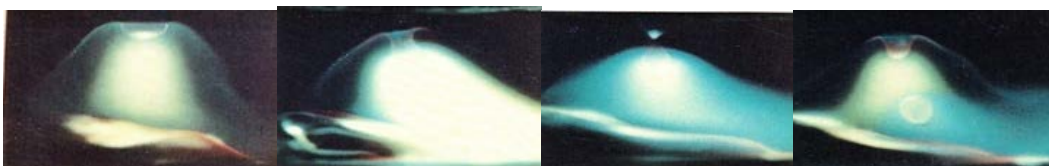
Jedná se o zrychlený zkratový přenos. Princip zrychleného přenosu kovu spočívá při stejných hodnotách svařovacího napětí, jako u zkratového přenosu kovu, ale rychlost podávání a svařovací proud se pohybuje v oblasti sprchového přenosu s hodnotami nad 200A. Vlivem vyššího svařovacího proudu dochází k rychlejšímu odtavení elektrody s malým rozstříkem materiálu. Výkon navaření je vyšší a pohybuje se v hodnotách 3 - 10 kg.hod⁻¹. Vzhledem ke zvýšenému výkonu navaření je nutné zvýšit průtok plynu na 20 – 30 l.min⁻¹. Tento typ přenosu kovu je vhodný pro svařování tenkých plechů, kořeny svarů i polohové svary.

➤ Přechodový oblouk s nepravidelnými zkraty

Vznik tohoto přenosu kovu je při svařovacím napětí v rozmezí 22 – 28 V a svařovacího proudu 190 – 300A. Při tomto přenosu se vlivem vysokého proudu nataví konec elektrody do velké kapky, která je vysokou rychlostí vymrštěna do svarové lázně ale s malou frekvencí 5 – 40 kapek za sekundu. Tento způsob svařování způsobuje velký rozstřík a hrubé svarové housenky. Nedoporučuje se používat.

➤ Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

Pro tento typ přenosu jsou typické hodnoty svařovacího proudu 200 – 500 A a svařovacího napětí 28 – 40 V. Oblouk po celou dobu svařování nezhasíná a do základního materiálu se přenáší velké množství tepla (obr. 16). Jako ochranný plyn se používá argon nebo směs argonu (minimálně 80 %). Výkon navaření je v rozsahu 3 – 12 kg.hod⁻¹. Tento typ přenosu je vhodný pro hluboké závary, vyplňování housenky středních a velkých tlouštěk. Povrch svařovaného spoje je hladký, čistý a bez rozstříku materiálu.



Obr. 16 Sprchový bezzkratový přenos kovu [16]

➤ Impulsní bezzkratový přenos

Tento typ bezzkratového přenosu je charakterizován rozsahem oblastí. Zasahuje parametry svařovacího proudu oblast zkratového i sprchového přenosu kovu. Průběh oblouku je řízen elektronickou cestou, která má pravidelný cyklus danou frekvenci amplitudy impulsního proudu. Hodnota základního proudu je nízká 20 – 50 A. Funkce základního proudu je udržet ionizaci sloupce oblouku. Impulsní proud je tvarově i časově řízený aby došlo v konečné fázi amplitudy k odtavení kapky přídavného materiálu. Oblouk hoří po celý průběh amplitudy impulsního proudu a ohřívá svarovou lázeň i přídavný materiál (obr. 17).

Průběh impulsního proudu může být různý pravoúhlý, oblý nebo různě tvarovaný u moderních zdrojů v závislosti na druhu přídavného materiálu. Při svařování s nízkým svařovacím proudem musí být i nízká frekvence impulsů, pro dosažení ideální velikosti kapky kovu přídavného materiálu. Šířka frekvence a impulsu není libovolná, ale je dána vztahem $f=1/T_p$, kde f je frekvence a T_p je doba trvání impulsu. Šířka impulsu se pohybuje 0,2 – 5 ms a frekvence impulsu je v rozsahu 25 – 500 Hz. Výkon navaření se pohybuje 2 – 5 kg.hod⁻¹. Vlivem nižšího proudu se vnáší do základního materiálu méně tepla a tím menší deformační účinek. Impulsním přenosem lze svařovat tenké plechy. Vhodný pro svařování hliníku a jeho slitin, vysokolegovaných a uhlíkových ocelí. Jako optimální ochranný plyn pro svařování hliníku se používá čistý argon, pro svařování vysokolegované oceli směs Ar + 8% CO₂ a pro vysokolegované oceli směs Ar + 2% CO₂.



Obr. 17 Impulsní bezzkratový přenos kovu [16]

➤ Moderovaný bezzkratový přenos

Tento přenos se výrazně posouvá vlivem výrazného zvýšení svařovacího napětí v rozsahu 40 – 50 V a svařovacího proudu v rozsahu 450 – 750 A, do oblasti velmi vysokých svařovacích výkonů. Zvýší se i výkon odtavení až na 25 kg.hod⁻¹. Jako ochranný plyn se doporučuje směs Ar a 8% CO₂ s průtokem plynu 18 – 25 l.min⁻¹. Rozměrné kapky kovu jsou urychlovány do tavné lázně, která je tvarována do úzkého a hlubokého závaru. Rychlost svařování je vzhledem k vysokým parametrům svařování vysoká i při svařování velkých tloušťek materiálu.

➤ Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Svařovací parametry se téměř shodují s moderovaným bezzkratovým přenosem, ale svařovací napětí je zvýšeno až na 65 V a volná délka drátu je nad 20mm. Konec drátu je intenzivním silovým magnetickým polem ve vysokém plastickém stavu roztáčen a odtavující kapky kovu vytváří kuželovou plochu. Rotující oblouk umožňuje velmi dobrý hluboký a široký závar do boků svařované plochy (obr. 18).



Obr. 18 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu [16]

3. NÁVRH EXPERIMENTU

Cílem diplomové práce včetně experimentální práce je i ověření možnosti výroby pantografu v oblasti drážních kolejových vozidel, která je velmi přísně legislativně ošetřena dle normy ČSN EN 15085.

3.1 Požadavky na výrobu [5], [6]

Z normy ČSN EN 15085-2, která se zabývá požadavky na jakost a certifikaci výrobce při svařování, musí výrobci při svařování součástí železničních kolejových vozidel splňovat určitou certifikační úroveň CL1 – 4 tab. 5.

Tab. 5 – Certifikační úrovně [5]

Certifikační úroveň	Popis
CL 1	Tato úroveň se vztahuje na výrobce při svařování, kteří vyrábí svařovaná železniční kolejová vozidla nebo jejich svařované části se svarovými spoji s třídou provedení CP A až CP D. Certifikační úroveň CL 2 až CL 4 je zahrnuta.
CL 2	Tato úroveň se vztahuje na výrobce při svařování, kteří vyrábí svařované části železničních kolejových vozidel se svarovými spoji s třídou provedení svarů CP C2 až CP D. Svarové spoje klasifikované třídou provedení svaru CP C1 jsou zahrnuty, jestliže jsou tyto svary kontrolovány dle třídy kontroly svaru CT 1 podle EN 15085-5:2007, tab. 1. Certifikační úroveň CL 4 je zahrnuta pouze pro svarové spoje certifikační úrovně CL 2 nebo CL 3.
CL 3	Tato úroveň se vztahuje na výrobce při svařování, kteří vyrábí svařované části železničních kolejových vozidel se svarovými spoji s třídou provedení svarů CP D.
CL 4	Tato úroveň platí pro výrobce, kteří železniční kolejová vozidla a jejich části nesvařují, ale projektují nebo nakupují železniční kolejová vozidla a jejich sestavy nebo je distribuují. Certifikace pro sváření práce se nepožaduje pro certifikační úroveň CL 3.

Do certifikační úrovně CL 1 kvůli závažnosti z hlediska bezpečnosti spadají převážně vnější části kolejového vozidla jako např.: rámy podvozku, kolébka podvozku, součásti skříně vozidla, tažná a nárazecí ústrojí, součásti dvojkolí, brzdové zařízení, nosné (pomocné) rámy pro těžké součásti (např. pohonné jednotky, pantografy), vnější palivové nádrže. Certifikační rozčlenění pro další částí a podsestavy železničních kolejových vozidel podle úrovně CL v příloze č. 4.

Následným zařazením součástí do určité certifikační úrovně je nutné mít při svařování vhodné svářečské dozory, s dostatečnými technickými znalostmi podle EN ISO 14731. Pro účely této normy jsou pro svářečský dozor stanoveny tři úrovně:

- Svářečské dozory s úplnou technickou znalostí (úroveň A) :
 - Personál s kvalifikací IWE (Mezinárodní svářečský inženýr) nebo EWE (Evropský svářečský inženýr),

- Personál s kvalifikací IWT (Mezinárodní svářečský technolog) nebo EWT (Evropský svářečský technolog) s vhodnou praxí svářečského dozoru přezkoušenou úplnou technickou znalostí.
- Svářečské dozory se specifickou technickou znalostí (úroveň B)
- Svářečské dozory se základní technickou znalostí (úroveň C)

Při výrobě pantografu musí výrobce dle normy ČSN EN 15085-2 splňovat certifikační úroveň CL 1, pro kterou platí svářečský dozor s úplnou technickou znalostí úrovně A.

Z normy ČSN EN 15085-3, která se zabývá konstrukčními požadavky svarového spoje, jejím namáháním a bezpečností je určena třída provedení svaru tab. 6.

Tab. 6 Třídy provedení svaru [6]

Kategorie namáhání	Bezpečnostní kategorie		
	Vysoká	Střední	Nízká
Vysoká	CP A	CP B ^b	CP C2
Střední	CP B ^a	CP C2	CP C3
Nízká	CP C1	CP C3	CP D

Třída provedení svaru CP A - používá se pouze pro svary s úplným provařením, a zcela přístupné kontrole při výrobě a údržbě.
Třída provedení svaru CP B^a - používá se pouze pro svary s úplným provařením, a plně přístupné kontrole při výrobě a údržbě.
Třída provedení svaru CP B^b - používá se pro svary bez možnosti kontroly vnitřních vad. Na výkrese je uvedeno - „střední bezpečnostní kategorie/ jsou požadovány zkoušky na povrchové vady“.
Třída provedení svaru CP C1 - používá se pro svary bez možnosti kontroly vnitřních vad. Na výkrese je uvedeno - „zkouška na povrchové vady je nezbytná“.

Na třídě provedení svaru souvisí třída kontroly svaru CT tab. 7 a musí být určena ve fázi návrhu. Třída provedení svaru a třída kontroly musí být vyznačeny na výkresech nebo jiných dokumentech.

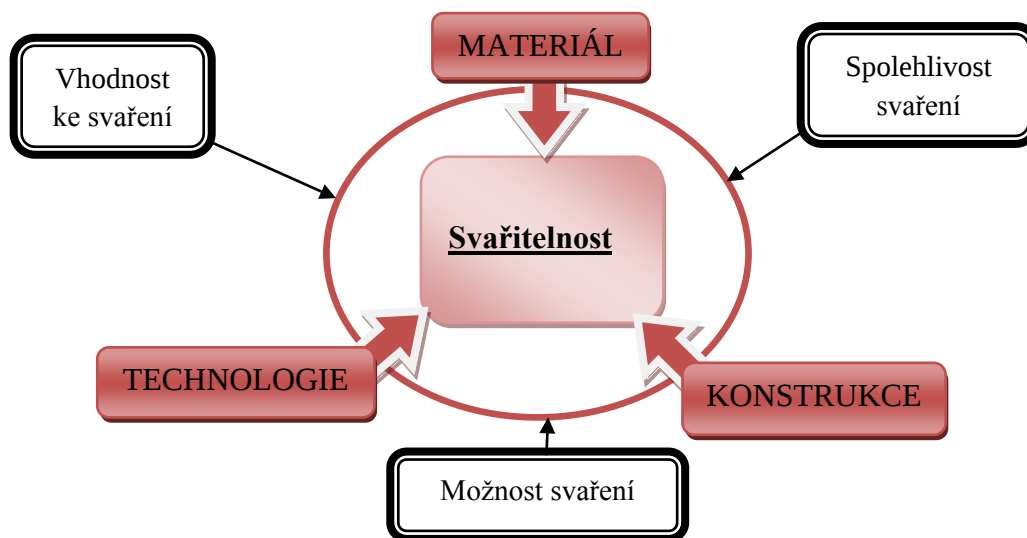
Tab. 7 Shoda mezi třídami provedení svaru a třídami kontroly [6]

Třída provedení svaru	Třída kontroly Minimální požadavek
CP A	CT 1 (vnitřní vady 100%, povrchové vady 100%, vizuální prohlídka 100%)
CP B	CT 2 (vnitřní vady 10%, povrchové vady 10%, vizuální prohlídka 100%)
CP C1	CT 2 (vnitřní vady 10%, povrchové vady 100%, vizuální prohlídka 10%)
CP C2	CT 3 (vizuální prohlídka 100%)
CP C3	CT 4 (vizuální prohlídka 100%)
CP D	CT 4 (vizuální prohlídka 100%)

Zákazník zatřídil horní rameno pantografu do kategorie namáhání střední a bezpečnostní kategorie střední. Dle normy ČSN EN 15085-3 spadá horní rameno pantografu do třídy provedení svaru CP C2, pro které odpovídá minimální požadavek na kontrolu svaru CT3.

3.2 Svařitelnost ocelí [10], [21]

Svařitelnost je charakteristika materiálu, která určuje vhodnost materiálu vytvořit spoj předepsané jakosti za daných podmínek svařování. Vliv na svařitelnost mají 3 základní faktory: materiál, technologie a konstrukce (obr. 19)



Obr. 19 Faktory ovlivňující svařitelnost [21]

- Materiálový faktor: vyjadřuje vhodnost kovu ke svařování (chemické složení, metalurgický způsob výroby materiálu, tepelným zpracováním, způsobem lití a tváření)
- Technologický faktor: vyjadřuje metodu a technologii svařování (metoda svařování, přídavný materiál, parametry svařování, postup kladení jednotlivých vrstev svaru)
- Konstrukční faktor: vyjadřuje vliv konstrukčního řešení svarového spoje pro dané provozní podmínky (tloušťka materiálu, tvarem a přípravou svarových ploch, tuhostí spoje ve svařenci, tvarem, velikostí a uspořádáním spojů)

3.2.1 Svařitelnost feritických ocelí [3], [10], [21], [28], [36]

Svařitelnost feritických ocelí je dána dle normy ČSN EN 1011-2. Tato norma platí pro oceli ve skupině 1 až 7 podle CR ISO 15608. Jedná se o všechny feritické oceli s výjimkou feritických korozivzdorných ocelí.

Stanovením uhlíkového ekvivalentu (CE) oceli se určí, zda je ocel o daném chemickém složení vhodná svařovat bez předeřhřevu nebo je nutné materiál předeřhřát, aby se předešlo tvorbě defektů. Je-li $CE \leq 0,45$ hm. % a zároveň bude platit, že $C \leq 0,20$ hm. %, a svařovaná tloušťka $s \leq 25$ mm, není nutné při svařování přijmout žádná zvláštní opatření.

➤ Pro oceli S235 JR:

Chemické složení ve hmotnostních procentech základních legujících prvků:

C = 0,15; Mn = 0,55; Si = 0,01; Cr = 0,043; Cu = 0,04; Ni = 0,018; Mo = 0,003; V = 0,001.

Hodnoty uhlíkového ekvivalentu jsou vypočítány dle vztahu:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \quad (3.1)$$

$$CE = 0,15 + \frac{0,55}{6} + \frac{0,043 + 0,003 + 0,001}{5} + \frac{0,018 + 0,04}{15}$$

$$CE = 0,254\%$$

kde: CE [%] – uhlíkový ekvivalent

Uhlíkový ekvivalent nepřevyšuje hodnotu $CE < 0,45\%$. Materiál S235 JR je vhodný pro svařování bez předehřevu

➤ Pro ocel S355 J2C:

Tato ocel je použita jako spojka trubek na ramenech pantografu (obr. 20).

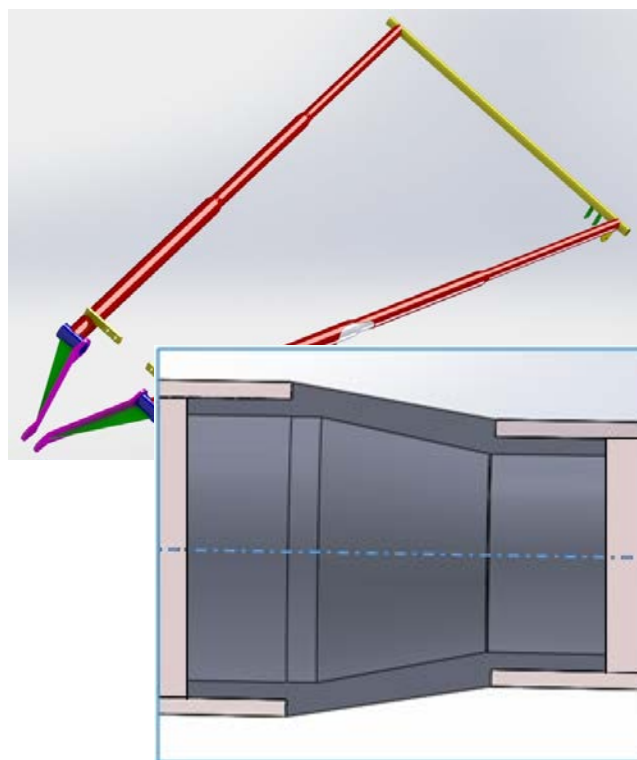
Chemické složení ve hmotnostních procentech základních legujících prvků:

C = 0,16; Mn = 1,58; Si = 0,21; Cr = 0,1; Cu = 0,19; Ni = 0,09; Mo = 0,02.

Hodnoty uhlíkového ekvivalentu vypočítány dle vztahu (XX):

$$CE = 0,16 + \frac{1,58}{6} + \frac{0,1 + 0,02}{5} + \frac{0,09 + 0,19}{15}$$

$$CE = 0,466 \%$$



Obr. 20 Spojka ramen pantografu

Uhlíkový ekvivalent převyšuje hodnotu $CE > 0,45\%$. Pro materiál S355 J2C je nutný předehřev před svařováním. Teplota předehřevu je stanovena pomocí empirického vztahu uvedeného v normě ČSN EN 1011-2 metoda B. Teplota předehřevu je závislá na více faktorech, jako vliv chemického složení, vyjádřený uhlíkovým ekvivalentem, tloušťkou plechu, obsahu vodíku ve svarovém kovu a tepelném příkonu. Teplotu předehřevu lze vypočítat podle vztahu:

$$T_p = 967 \cdot CET + 160 \cdot \tanh\left(\frac{t}{35}\right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 328 (^\circ\text{C}) \quad (3.2)$$

$$T_p = 967 \cdot 0,337 + 160 \cdot \tanh\left(\frac{5}{35}\right) + 62 \cdot 4^{0,35} + (53 \cdot 0,337 - 32) \cdot 0,761 - 328$$

$$T_p = 115,7^\circ\text{C}$$

kde: $T_p[^\circ\text{C}]$ – teplota předehřevu

$\text{CET}[\%]$ – uhlíkový ekvivalent

$t[\text{mm}]$ – tloušťka svařovaného materiálu

$\text{HD}[\text{ml}/100 \text{ g}]$ – obsah vodíku ve svarovém kovu

$Q[\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}]$ – tepelný příkon (vnesené teplo)

- Stanovení chemického složení na hodnotu uhlíkového ekvivalentu vypočítány podle vztahu:

$$\text{CET} = \text{C} + \frac{\text{Mn} + \text{Mo}}{10} + \frac{\text{Cr} + \text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{40} (\%) \quad (3.3)$$

$$\text{CET} = 0,16 + \frac{1,58 + 0,02}{10} + \frac{0,1 + 0,19}{20} + \frac{0,09}{40}$$

$$\text{CET} = 0,337 \%$$

- Obsah difúzního vodíku v materiálu se určí podle tab. 8

Tab. 8 Stupně difúzního vodíku [3]

Stupeň obsahu vodíku	A	B	C	D	E
Obsah difúzního vodíku (ml/100 g svarového kovu)	>15	$10 \leq 15$	$5 \leq 10$	$3 \leq 5$	≤ 3

Pro svařování s plným drátem pro obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře lze použít stupeň obsahu vodíku D, pokud nejsou vysloveně zařazeny do jiného stupně.

- Tloušťka svařovaného materiálu je 5mm (obr. 20)
- Vnesené teplo při svařování za použití metody obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu je spočteno podle vztahu:

$$Q = \frac{U \cdot I_s}{10^3 \cdot v} \cdot \eta \quad (3.4)$$

$$Q = \frac{20,9 \cdot 170}{10^3 \cdot 3,5} \cdot 0,75$$

$$Q = 0,761 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Kde: $U [\text{V}]$ – svařovací napětí,

$I_s [\text{A}]$ – svařovací proud,

$v [\text{mm}\cdot\text{sec}^{-1}]$ – rychlost svařování,

$\eta [-]$ – účinnost svařování

Po dosazení do vzorců vyšla teplota předehřevu dle normy ČSN EN 1011-2 pro materiál S355 J2C na hodnotu 115,7°C.

I přes vypočítanou teplotu předehřevu se pro materiál S355 J2C v praxi do tloušťky 25mm předehřev nemusí použít s předpokladem, že okolní teplota bude nad 5°C.

3.2.2 Svařitelnost korozivzdorných ocelí [4]

Svařitelnost korozivzdorných ocelí je dána dle normy ČSN EN 1011-3. Tato norma zahrnuje korozivzdorné oceli, které spadají do skupin 8 až 10 podle CR ISO 15608.

Materiál 1.4301 je standardní austenitická korozivzdorná ocel. Při svařování austenitických korozivzdorných ocelí se nemá používat přehřev a tepelný příkon má být nízký pro snížení nebezpečí deformace, praskání za tepla a precipitace intermetalické fáze.

3.3 Návrh svařovacích parametrů [12], [14]

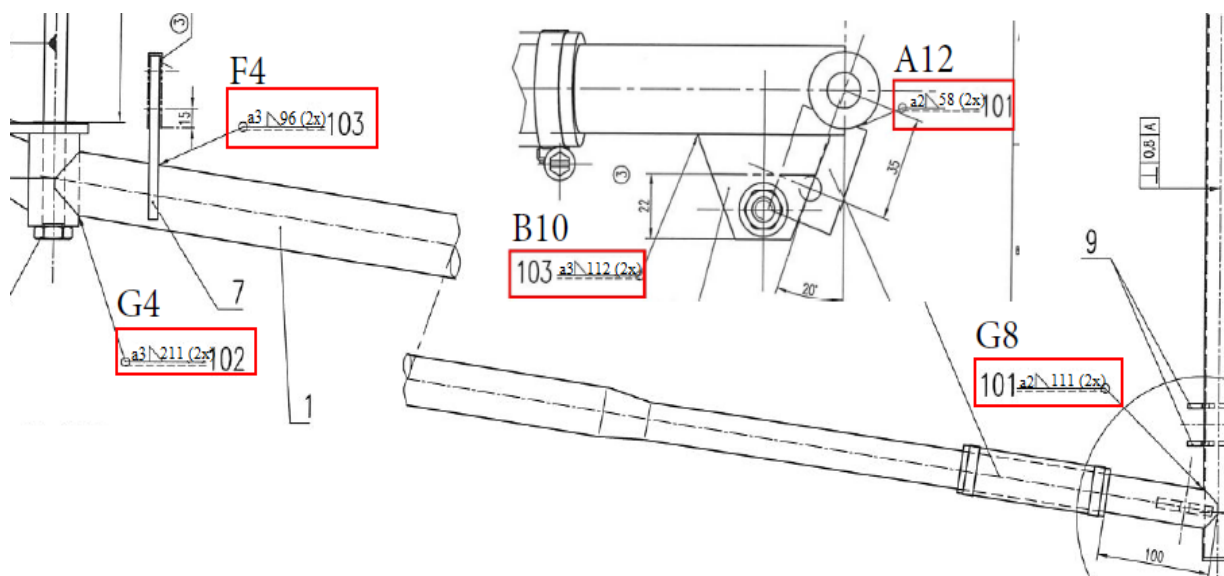
Před samotným návrhem svařovacích parametrů je důležité prozkoumat samotnou výkresovou a technickou dokumentaci ohledně specifických požadavků zákazníka a určit:

➤ Počet a typ svarů

Horní rameno pantografu se skládá z 3 výkresů, na kterých jsou zakótovány svary.

Výkres:

- Horní rameno: svary na souřadnici: G4, F4, G8, B10, A12 (obr. 21) viz příloha č. 1.

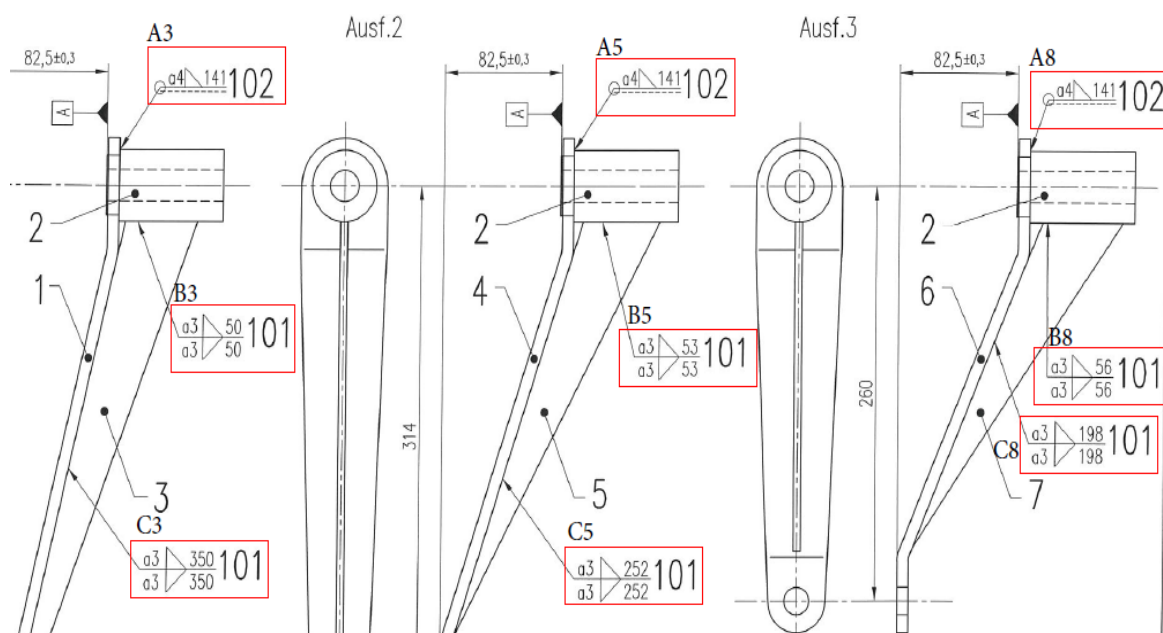


Obr. 21 Svary na výkrese Horní rameno

- Páka horního ramene: svar na souřadnici: A3, A5, A8, B3, B5, B8, C3, C5, C8 (obr. 22) viz příloha č. 2.

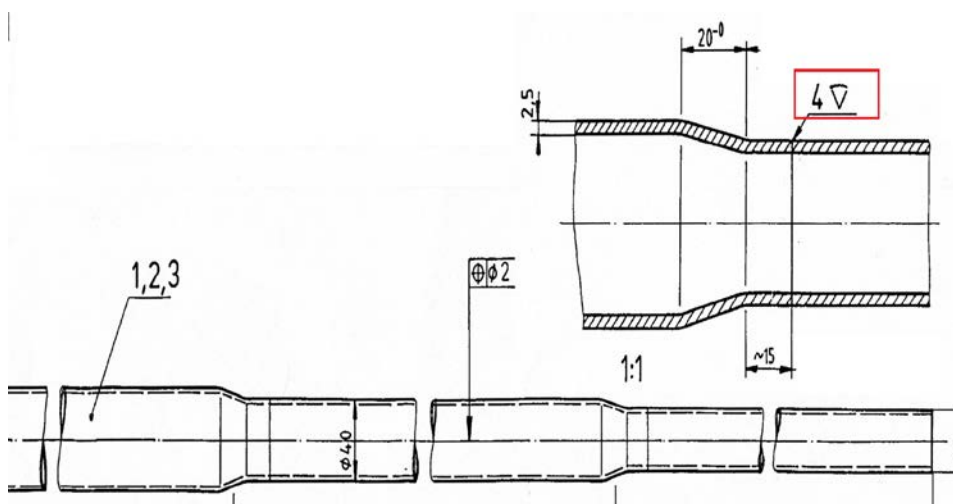
Svary na pozici A3, A5 a A8 jsou totožné.

Svary na pozici B3, B5 a B8 se liší pouze délkou svaru. Totéž platí i o svarech C3, C5 a C8.



Obr. 22 Svary na výkrese Páka horní rameno

- Postupná trubka: tupý svar 4V (obr. 23) viz příloha č. 3.



Obr. 23 Svary na výkrese Postupná trubka

➤ Identifikace svarů

Na výkresech má každý svar vlastní pozici určující bližší specifikace svaru, které byly získány z kusovníků od zákazníka viz tab. 9.

Tab. 9 Identifikace svarů

Výkres: Horní rameno				
Pozice	Popis	Materiál	Označení normy	Hmotnost (Kg)
101	Koutový svar a2, l=338mm	G188Mn (1.4370)	CP C2 podle EN 15085	0,030

102	Koutový svar a3, l=442mm	G3Si1 (1.5125)	CP C2 podle EN 15085	0,044
103	Koutový svar a3, l=416mm	G188Mn (1.4370)	CP C2 podle EN 15085	0,140
Výkres: Páka horního ramene				
101	Koutový svar a3, A1: l=416mm, A2: l=610mm, A3: l=508mm	G3Si1 (1.5125)	CP C2 podle EN 15085	0,010
102	Koutový svar a4, l=141mm	G3Si1 (1.5125)	CP C2 podle EN 15085	0,008
Výkres: Postupná trubka				
101	Tupý svar 4V	G 3 Si 1 (1.5125)	CP C2 podle EN 15085	

➤ Určení svařovacího drátu

Podle tab. 9, kterou předepsal zákazník, byl určen vlastní svařovací drát. Svařovací drát byl vybrán od společnosti ESAB, která patří mezi nejlepší světové výrobce svařovacích zařízení a svařovacích materiálů a má na vysoké úrovni vypracovanou technickou dokumentaci.

V katalogu přídatných svařovacích materiálu byly vyhledány v rejstříku drátu pro MIG/MAG svařování konkrétní svařovací dráty:

Složením svařovacímu drátu G 18 8 Mn (1.4370) odpovídá svařovací drát OK Autrod 16.95. Tento drát je vhodný pro svařování austenitických nerezavějících ocelí s vysokým obsahem manganu. Dále je vhodný pro svařování austenitických ocelí s uhlíkovými a nízkolegovanými oceli např. 1.4583, S235 až S355, 1.4301 atd. Podrobný popis svařovacího drátu viz příloha č. 16.

Orientační svařovací parametry, které jsou vhodné pro svařování drátem OK Autrod 16.95, z technického listu ESAB (tab.10) viz příloha č. 16.

Tab. 10 Svařovací parametry OK Autrod 16.95

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	55 - 160	15 - 24	12	4,0 - 17,0	1,0 – 4,1
1,0	80 - 240	15 – 28	15	3,5 - 18,0	1,6 – 6,0
1,2	100 - 300	15 - 29	18	3,0 - 14,0	1,6 – 7,5

Složením svařovacímu drátu G 3 Si 1 (1.5125) odpovídá svařovací drát OK AristoRod 12.50. Svařovací drát je určen pro svařování běžných nelegovaných konstrukčních ocelí s pevností v tahu do 530 MPa, a pro svařování jemnozrnných ocelí s mezí kluzu do 420 MPa např.: P 235/S 235 až P420/S 420 atd. Podrobný popis svařovacího drátu viz příloha č. 17.

Orientační svařovací parametry, které jsou vhodné pro svařování drátem OK AristoRod 12.50, z technického listu ESAB (tab. 11) viz příloha č. 17.

Tab. 11 Svařovací parametry OK AristoRod 12.50

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Spotřeba plynu (l/min)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	60 - 200	18 - 24	14	95	3,2 - 25,0	0,8 - 2,5
1,0	80 - 300	18 - 32	16	96	2,7 - 25,0	1,0 - 5,5
1,2	120 - 380	18 - 35	18	97	2,5 - 20,0	1,3 - 8,0

U svařovacího drátu musí být ověřeno, zda má platný certifikát zajišťující kvalitu při svařování pro německé dráhy (Deutsche Bahn). Na internetových stránkách "www.en15085.net" se nachází přístupný online rejstřík všech uznaných a platných certifikátů pro svařovací přídatný materiál. V záložce "Filtr materiálu s DB certifikací" je nutno zadat ve vyhledávacím filtru možnosti "Výrobce" zvolená firma ESAB AB a následně se načtou všechny platné certifikáty dané firmy (obr. 24).

Číslo dokumentu	Standart	Výrobce	Obchodní značení	Platnost
42.039.18	DIN EN ISO 16834-A	ESAB AB	OK Autrod 13.29	30.04.2016
42.039.21	DIN EN ISO 17632-A	ESAB AB	OK Tubrod 15.13	30.04.2016
42.039.22	DIN EN ISO 17632-A	ESAB AB	OK Tubrod 14.10	30.04.2016
42.039.26	DIN EN ISO 17632-A	ESAB AB	OK Tubrod 15.17	30.04.2016
42.039.29	DIN EN ISO 14341-A	ESAB AB	OK AristoRod 12.50	30.04.2016
42.039.30	DIN EN ISO 14341-A	ESAB AB	OK AristoRod 12.63	30.04.2016
42.039.31	DIN EN ISO 14341-A	ESAB AB	OK AristoRod 13.09	30.04.2016
43.039.07	DIN EN ISO 17633-A	ESAB AB	OK Tubrod 15.31	30.04.2016
43.039.10	DIN EN ISO 14343-A	ESAB AB	OK Autrod 16.95	30.04.2016
43.039.11	DIN EN ISO 14343-A	ESAB AB	OK Tigrod 308L Si	30.04.2016
43.039.37	DIN EN ISO 16834-A	ESAB AB	OK AristoRod89	30.04.2016

Obr. 24 Část platných přídatných materiálu firmy ESAB AB [14]

Svařovací dráty OK AristoRod 12.50 a OK Autrod 16.95 mají platný certifikát do 30.4.2016. Certifikát je platný u svařovacího drátu OK AristoRod 12.50 pro svařovací proces dle DIN EN ISO 4063: 135, rozsah průměru drátu od 0,6 do 2,0 mm, proud jednosměrný s polaritou (+). Podrobnější přehled certifikátu viz příloha č. 18.

Certifikát svařovacího drát OK Autrod 16.95 je platný pro svařovací proces dle DIN EN ISO 4063: 135, rozsah průměru drátu od 0,8 do 1,6 mm, proud jednosměrný s polaritou (+). Podrobnější přehled certifikátu viz příloha č. 19.

➤ Určení ochranného plynu

V katalogu přídatných svařovacích materiálu ESAB má každý svařovací materiál v technickém listu předepsaný ochranný plyn podle normy EN ISO 14175 (tab. 12)

Tab. 12 Předepsaný ochranný plyn

Svařovací drát	OK Autrod 16.95	OK AristoRod 12.50
Ochranný plyn	M12, M13	M21, C1

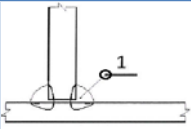
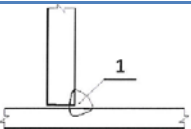
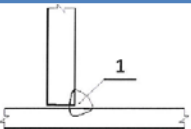
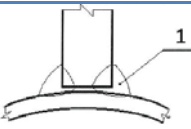
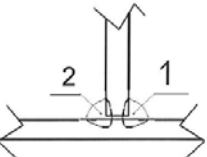
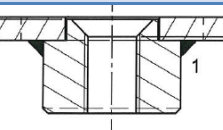
Pro svařovací drát OK Autrod 16.95 byl zvolen ochranný plyn od společnosti Air Products s označením Inomaxx 2. Tento ochranný plyn je složen: 2% oxid uhličitý, 98% argon, vlhkost <5 ppm viz příloha č. 20.

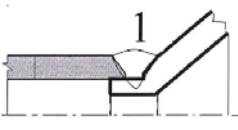
Pro svařovací drát OK AristoRod 12.50 byl zvolen ochranný plyn od stejné společnosti Air Products s označením Ferromaxx 15. Tento ochranný plyn je složen: 15% oxid uhličitý, 2,5% kyslíku, 82,5% argon, vlhkost <5 ppm viz příloha č. 21.

3.3.1 Vypracování WPS [8], [12]

Před samotným návrhem WPS je nutné zjistit kolik WPS je nutno vyhotovit. Některé svary na výkresech lze spojit pod jednu WPS (tab. 13).

Tab. 13 Seznam potřebných WPS

Horní rameno					
WPS č.:	Poloha na výkrese	Svár	Nákres	Síla materiálu	Základní materiál
135-001	F4, B10	Koutový svar a3		2.5/8	E235+C/1.4301
135-002	G4	Koutový svar a3		2.5/12.5	E235+C/S235JR+C
135-003	G8	Koutový svar a2		1.5/2.5	1.4301/E235+C
135-004	A12	Koutový svar a2		1.5/4.0	1.4301/S235JR+N
Páka horní rameno					
135-005	C3,C5, C8	Koutový svar a3/a3		8/5	S235JRC+N/S235JR+N
135-006	B3,B5,B8	Koutový svar a3/a3		5/12.5	S235JR+N/S235JR+C
135-007	A3,A5,A8	Koutový svar a4		5/12.5	S235JRC+N/S235JR+C
Postupná trubka					

135-008	-	Tupý svar 4V		2.5/5.0	S235JR/S235JR
---------	---	-----------------	--	---------	---------------

Po spojení svarů je nutno vyhotovit 8WPS. Specifikace postupu svařování „WPS“ dle normy ČSN EN 15609-1 musí poskytovat všechny nezbytné požadované údaje pro provedení svaru - údaje týkající se výrobce, základního materiálu, metody a postupu svařování a specifické údaje pro danou metodu svařování. Šablona pro vyplnění WPS je použita od firmy Haas Profile s.r.o. (obr. 25).

Specifikace postupu svařování „WPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)		Strana: 1 Celkem: 1 Revize č.: 1				
1. Výrobce:	10. Zkušební organizace:					
2. Místo:	11. Způsob přípravy ukosu:					
3. Číslo dokladu (WPS):	12. Způsob čištění:					
4. Číslo WPQR:	13. Specifikace základních materiálů:					
5. Číslo zkušebního kusu:	- materiál 1:					
6. Kvalifikace svařeče:	- materiál 2:					
7. Metoda svařování:	14. Svařovaná tloušťka [mm]:					
8. Druh svaru:	15. Vnější průměr [mm]: D =					
9. Údaje o přípravě svarových ploch:	16. Poloha svařování:					
17. Svarový spoj:	18. Rozměry:	19. Postup svařování:				
	a [mm]					
	b [mm]					
	c [mm]					
	α [°]					
20. Parametry pro svařování						
21. Svarová housenka	1	2	3	4	5	6
22. Metoda svařování						
23. Průměr přídav. mater. [mm] - Ø						
24. Svařovací proud [A]						
25. Svařovací napětí [V]						
26. Druh proudu a polarita						
27. Přenos kovu přídavného materiálu						
28. Rychlost podáv. drátu [m.min ⁻¹]						
29. Rychl. posuvu pojezdu [m.min ⁻¹]						
30. Tepelný příkon [J.cm ⁻¹]						
31. Přídavný materiál - zařazení a značka						
32. Přeepis pro susem:						
33. Ochranný plyn / tavítko: - ochranný plyn [l.min ⁻¹]: - ochrana kořene [l.min ⁻¹]:						
34. Wolfram elektroda, druh, rozměr:						
35. Údaje o drážkování podloží kořene						
36. Teplota předehřevu [°C]:						
37. Interpass teplota [°C]:						
38. Tepelné zpracování / stárnutí:						
39. Doba, teplota, postup:						
40. Rychlost ohřevu a chlazení:						
41. Vzdálenost elektrody (kontaktní špičky) od základního materiálu [mm]:						
42. Údaje o podložním kroužku:						
43. Další informace: Rozkvy - amplituda: - frekvence a doba prodlevy: Rozkvy (max. šířka housenky):						
44. Údaje pro pulzní svařování:						
45. Údaje pro plazmové svařování:						
46. Úhel nastavení hořáku:						
47. Druh automatu a svař. hlavy:						
48. Prokování svaru:						
49. Poznámky:						
50. Vyhotovil:						
52. Zkušební orgán nebo technická dozorce (inspekční) organizace						
51. datum, jméno, podpis a razítko svařáckého dozoru						
53. datum, jméno, podpis a razítko zkušebního orgánu						

..... Údaje týkající se výrobce a základní informace pro svařování

..... Údaje o základním materiálu

..... Parametry svařování

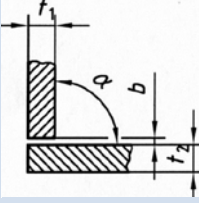
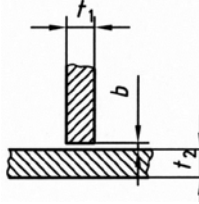
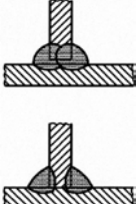
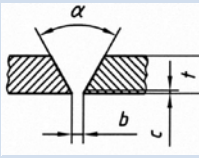
..... Specifické údaje pro svařování

Obr. 25 Šablona WPS

Vyplnění údajů WPS:

1. Výrobce: Haas Profile s.r.o., Vranovská 358/1
2. Místo: Znojmo - Přímětice
3. Číslo dokladu (WPS): viz tab. XX
4. Číslo WPQR: -
5. Číslo zkušebního kusu: -
6. Kvalifikace svářeče: podle normy ČSN EN 287-1
7. Metoda svařování: pro všechny navržené WPS je metoda svařování 135
8. Druh svaru: pro WPS č.: 135-001, 002, 003, 004, 005, 006, 007 je druh svaru koutový svar (FW)
pro WPS č.: 135-008 je druh svaru tupý svar (BW)
9. Údaje o přípravě svarových ploch: Pokud není tvar plochy dán výkresem, je nutno zvolit normalizované tvary svarové plochy podle normy EN ISO 9692-1 (tab. 14).

Tab. 14 Příprava svarových spojů koutových a tupých svarů [9]

Název svaru	Tloušťka materiálu t (mm)	Značka (podle ISO 2553)	Řez	Rozměry			Zobrazení svaru
				Úhel α, β	Mezera b (mm)	Otupení c (mm)	
Jednostranný koutový svar	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$			$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	≤ 2		
Oboustranný koutový svar	$2 \leq t_1 \leq 4$ $2 \leq t_2 \leq 4$			-	≤ 2		
V-svar	$3 \leq t \leq 10$			$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	

10. Zkušební organizace: -
11. Způsob přípravy úkosu: úkosy ve WPS č. 135-001, 004, 005, 006, 007 a 008 jsou připraveny řezáním laserem, které je dostačující. U WPS č. 135-002 a 003 je nutno konce trubek pro lepší dosedací plochu frézovat.

12. Způsob čištění: Příprava ploch u všech postupů WPS předpokládá důkladné odmaštění, aby vznikl kvalitní spoj. U WPS č. 135-007 je nutno kontaktní plochy okartáčovat, pro odstranění možných otřepů a zbytků, které vznikly během laserového řezání.
13. Specifikace základního materiálu: Specifikace základního materiálu se dělí do skupin podle ISO/TR 15608 (tab. 15), tato norma rozděluje oceli celkem do 11 skupin.

Materiál:

Tab. 15 Rozdělení ocelí dle ISO/TR 15608 [31]

Materiál	Skup.	Podskup.	Druh oceli
S235/E235	1	1.1	Oceli se zaručenou mezí kluzu $R_{eH} \leq 275 \text{ N.mm}^{-2}$
S355	1	1.2	Oceli se zaručenou mezí kluzu $275 \text{ N.mm}^{-2} < R_{eH} \leq 360 \text{ N.mm}^{-2}$
1.4301	8	8.1	Austenitické korozivzdorné oceli s $\text{Cr} \leq 19\%$

Použité materiály pro jednotlivé svary viz tab. 16

Tab. 16 Rozčlenění materiálu:

číslo WPS	materiál č. 1	materiál č. 2	Svařovaná tloušťka t_1+t_2 (mm)	Vnější průměr D (mm)
135-001	E235+C	1.4301	2,5+8,0	-
135-002	E235+C	S235JR+C	2,5+12,5	50+45
135-003	1.4301	E235+C	1,5+2,5	26+30
135-004	1.4301	S235JR+N	1,5+4,0	-
135-005	S235JRC+N	S235JR+N	8,0+5,0	-
135-006	S235JR+N	S235JR+C	5,0+12,5	80
135-007	S235JRC+N	S235JR+C	8,0+12,5	-
135-008	E235+C	S355J2C+C	2,5+5,0	30/40/50

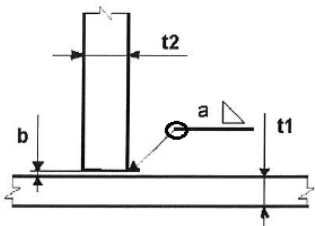
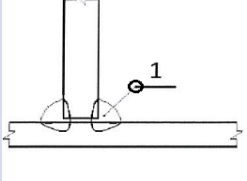
14. Svařovaná tloušťka: viz tab. 16

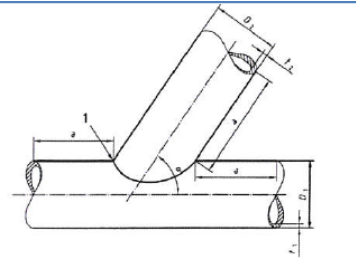
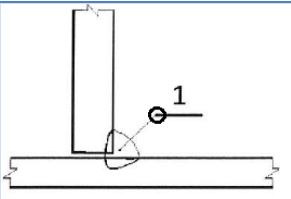
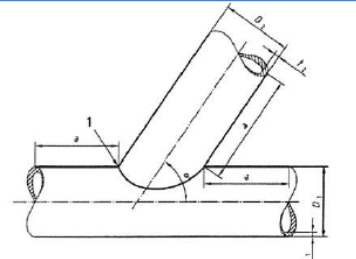
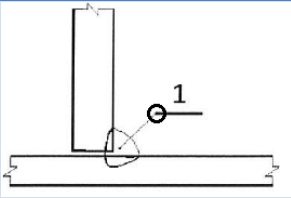
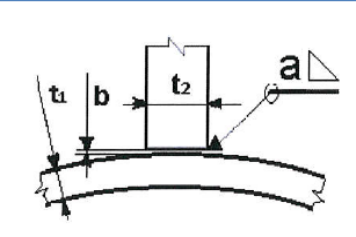
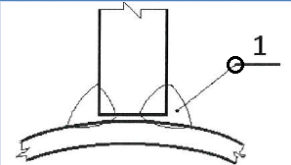
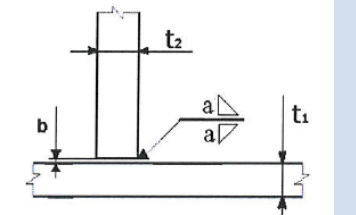
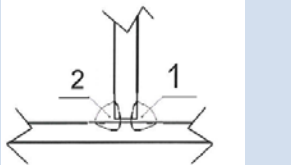
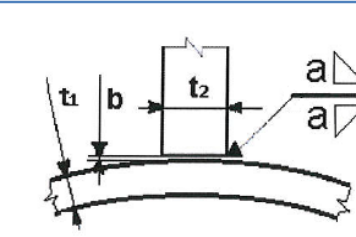
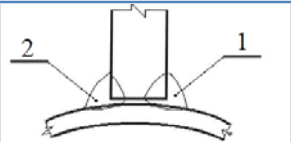
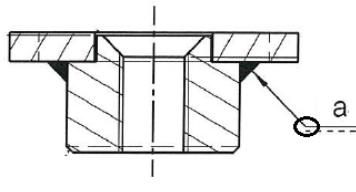
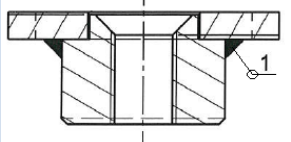
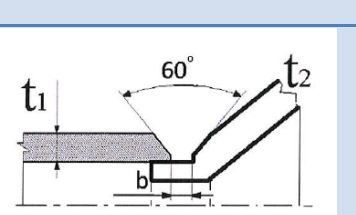
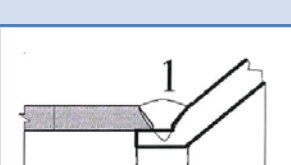
15. Vnější průměr: viz tab. 16

16. Poloha svařování: Vzhledem k k pozicím svaru byla zvolena pro WPS č. 135-008 poloha svařování vodorovná shora PA, a pro zbylé WPS poloha svařování vodorovná šikmo shora PB.

Body číslo 17. Tvar spoje, 18. Rozměry a 19. Postup svařování jsou vyplněné v tab. 17

Tab. 17 Příprava svarové plochy a rozměry pro svařování

Číslo WPS	17. Tvar spoje	18. Rozměry	19. Postup svařování
135-001		a [mm]	
		a3	
		b [mm]	
		0,0-0,2	
		c [mm] -	
		α [°] -	

135-002			a [mm]	
			a3	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-003			a [mm]	
			a2	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-004			a [mm]	
			a2	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-005			a [mm]	
			a3	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-006			a [mm]	
			a3	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-007			a [mm]	
			a4	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
135-008			a [mm]	
			4	
			b [mm]	
			0,0-0,2	
			c [mm] -	
			α [°] -	

20. Parametry pro svařování viz tab. 18:

Průměr přídavného materiálu byl zvolen podle tloušťky stěn svařovaných součástí. Pro svary na výkrese horní rameno na pozicích A12 a G8 byl zvolen průměr přídavného materiálu 0,8mm. Pro zbylé svary byl zvolen průměr přídavného materiálu 1mm.

Svařovací proud byl zvolen podle tloušťek materiálů, vyhodnocených experimentálních zkoušek a zkušenostmi svářečího dozoru.

Svařovací napětí bylo spočítáno podle vztahu č. 2.1, kde za I_s se dosadily dolní a horní hranice hodnot proudu.

Tab. 18 Svařovací parametry

Č. WPS	135-001	135-002	135-003	135-004	135-005	135-006	135-007	135-008
Svarová housenka	1	1	1	1	2	2	1	1
Metoda svařování	135	135	135	135	135	135	135	135
Průměr přídav. mater. [mm]	1,0	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
Svařovací proud [A]	150 – 170	180-190	80-90	80-90	140-160	150-170	160-180	160-170
Svařovací napětí [V]	20,2-20,9	21,3-21,7	17,8-18,2	17,8-18,2	20,1-20,8	20,3-21,0	20,6-21,3	20,6-21,0
Druh proudu a polarita	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)	ss DC (+)
Přenos kovu přídavného materiálu	zkratový	zkratový	zkratový	zkratový	zkratový	zkratový	zkratový	zkratový
Rychlost podáv. drátu [m.mm⁻¹]	-	-	-	-	-	-	-	-
Rychl. Posuvu pojezdu [m.mm⁻¹]	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

31. Přídavný materiál: použité přídavné materiály jejich zařazení a značení viz tab. 19

Tab. 19 Seznam přídavných materiálů

WPS č.	Zařazení	Značení	Obchodní značení
135-001	EN ISO 14343-A	G18 8Mn	OK Autrod 16.95
135-002	EN ISO 14341-A	G42 4 M G3Si1	OK AristoRod 12.50
135-003	EN ISO 14343-A	G18 8Mn	OK Autrod 16.95
135-004	EN ISO 14343-A	G18 8Mn	OK Autrod 16.95
135-005	EN ISO 14341-A	G42 4 M G3Si1	OK AristoRod 12.50
135-006	EN ISO 14341-A	G42 4 M G3Si1	OK AristoRod 12.50
135-007	EN ISO 14341-A	G42 4 M G3Si1	OK AristoRod 12.50
135-008	EN ISO 14341-A	G42 4 M G3Si1	OK AristoRod 12.50

33. Ochranný plyn/tavidlo: použité ochranné plyny viz tab. 20

Tab. 20 Seznam ochranných plynů

WPS č.	Klasifikace ochranného plynu dle EN ISO 14175	Obchodní značení	Spotřeba plynu [l.min ⁻¹]
135-001	M12	Inomaxx 2	10-12
135-002	M21	Ferromaxx 15	10-12
135-003	M12	Inomaxx 2	10-12
135-004	M12	Inomaxx 2	10-12
135-005	M21	Ferromaxx 15	10-12
135-006	M21	Ferromaxx 15	10-12
135-007	M21	Ferromaxx 15	12-14
135-008	M21	Ferromaxx 15	10-12

41. Vzdálenost elektrody (kontaktní špičky) od základního materiálu: optimální vzdálenost elektrody byl spočítán podle vztahu č. 2.3, jelikož ochranný plyn je složen ze směsi plynů. Vzdálenost elektrody byla zvolena pro všechny WPS 10-12 mm.

Všechny vypracované WPS pro výrobu ramene pantografu jsou součástí příloh č. 22-29.

3.3.2 Návrh přípravku

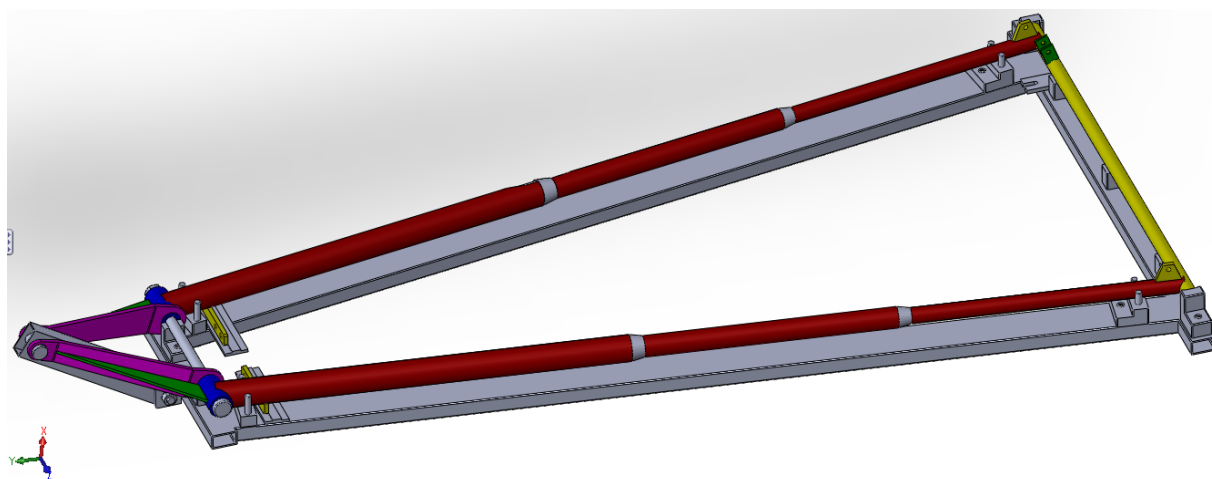
Pro ulehčení prací při svařování a zajištění stejné polohy při výrobě více kusů je vhodné navrhnout svařovací přípravek. Na přípravek je kladen důraz, aby jeho hmotnost byla co nejmenší, ale zároveň byl tuhý. Rám přípravku je tvořen obdélníkovými jekly o rozměrech

50x30x3 a 80x30x3 na kterých jsou následně namontovány nebo přivařeny doplňkové součásti jako např. vymezení kolíky, úhlové rameno, podpěrné kostky, vodící lišty... (obr. 26)

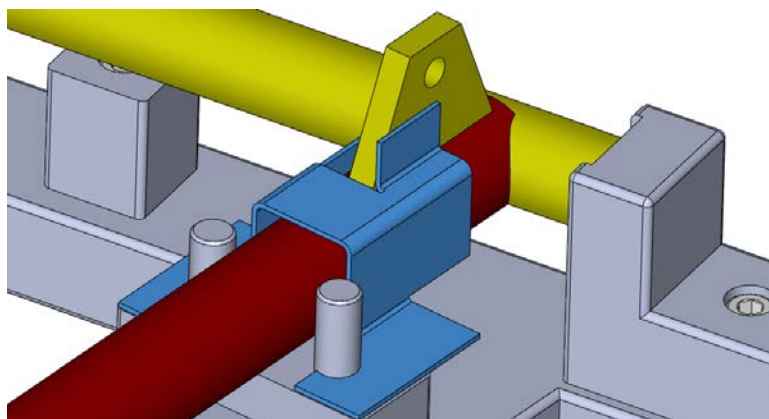


Obr. 26 Přípravek pro svařování ramene pantografu

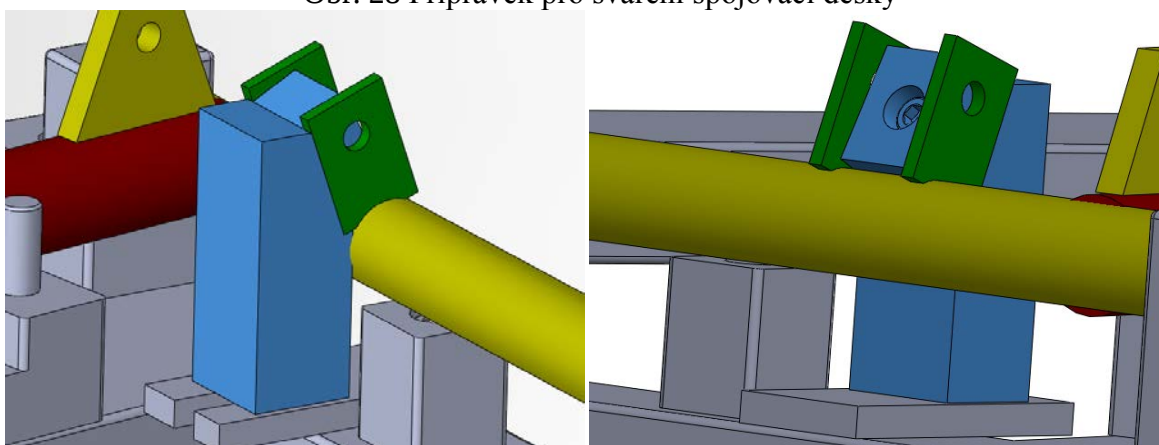
V našem případě byl přípravek navrhnout tak, aby se na něm dalo svařit celé rameno na dvě etapy svařování. Jako první etapa byla zvolena poloha viz. obr. 27, kde je zapotřebí po svaření rámu, svařit za pomoci doplňkových přípravků následně spojovací desky (obr. 28) a nosné desky (obr. 29).



Obr. 27 První etapa svařování ramene

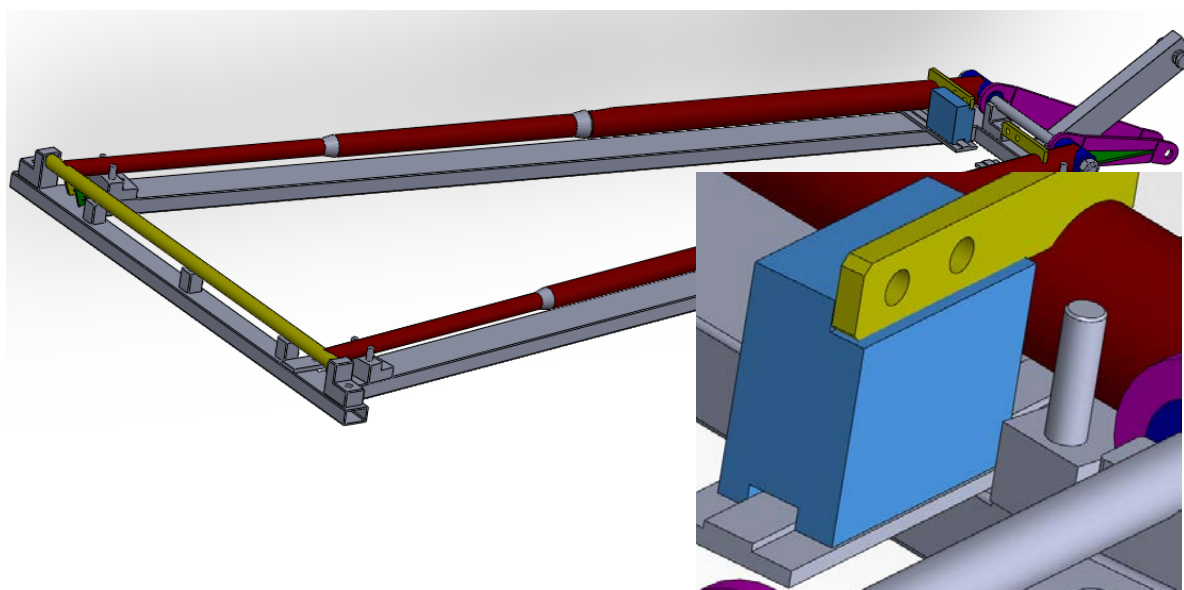


Obr. 28 Přípravek pro svaření spojovací desky



Obr. 29 Přípravek pro svaření nosné desky

Po svaření první etapy byl díl otočen o 180°, a následně svařeny zbylé části svarů. Za pomoci doplňkového přípravku byla svařena i spojovací příčka (obr. 30).



Obr. 30 Druhá etapa svařování s doplňkovým přípravkem

4. EXPERIMENT

V experimentální části byly praktickou zkouškou ověřeny svary definované v návrhovém experimentu. Volba svarů, kde se měly ověřit zadané parametry svařování při svařování vzorků, které byly zadány firmou, jsou na souřadnicích G4, G8 a B10 na výkrese Horní rameno viz příloha č. 1. Počet zkušebních vzorků byl od každého svaru 2 kusy.

4.1 Svařovací zařízení [35]

Svařování vzorků bylo provedeno na svařovacím zařízení TransPuls Synergic 27004R/f od firmy Fronius (obr. 31), které je opatřeno 4kladkovým pohonem, digitálním řízením svařovacího procesu. Lze zde využít i multiprocesní provedení (MIG/MAG, TIG a elektroda). Základní parametry TransPuls Synergic 2700 viz tab. 21.

Tab. 21 Základní parametry svařovacího zdroje [35]

Sít'ové napětí	3x400 V
Tolerance sít'ového napětí	±15%
Sít'ové jištění, zpoždění typ	16A
Primární trvalý proud	4,5 kVA
Účíník	0,99
Účinnost	87% (70A)
Rozsah svařovacího proudu	
MIG/MAG	3-270A
Elektroda	10-270A
TIG	3-270A
Napětí naprázdno	50V
Pracovní napětí	
MIG/MAG	14,2-27,5V
Elektroda	20,4-30,8V
TIG	10,1-20,8V
Rozměry d/š/v	625/290/475mm

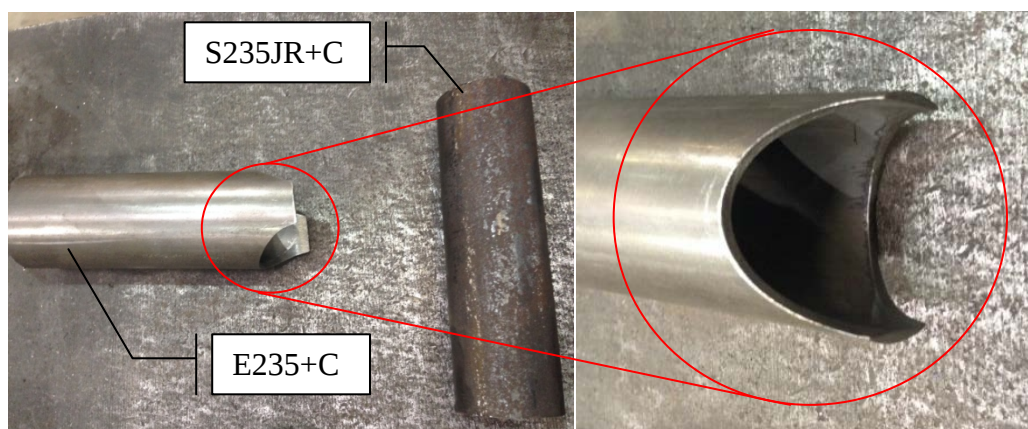


Obr. 31 Svařovací zařízení TPS 2700 4R/f

4.2 Svaření vzorků

Svaření vzorku pozice G4 dle WPS č. 135-002.

- Základní materiál pro zkoušku byla trubka o průměru 50 mm s tloušťkou stěny 2,5 mm z materiálu E235+C a tyč o průměru 45 mm s vnitřní dírou o průměru 20 mm z materiálu S235JR+C (obr. 32). Atest 3.1 materiálu E235+C je součástí přílohy č. 9 atest 3.1 materiálu S235JR+C je součástí přílohy č. 8.



Obr. 32 Připravené materiály pro vzorky WPS č. 135-002

- Použitý přídavný materiál
Přídavný svařovací drát OK AristoRod 12.50 o průměru 1,0 mm od firmy ESAB. Atest 3.1 k svařovacímu drátu je součástí přílohy č. 30
- Svařovací parametry pro WPS č.135-002 viz tab. 22

Tab. 22 Svařovací parametry vzorků G4

	Vzorek č.1	Vzorek č.2
Čas svařování[sec.]	30	32
Délka svaru[mm]	200	200
Rychlost svařování[mm.sec⁻¹]	6,66	6,25
Svařovací proud[A]	180-190	180-190
Svařovací napětí[V]	21,3-21,7	21,3-21,7

Z hodnot v tab. 22 bylo spočteno vnesené teplo podle vzorečku č. 3.4

$$Q_{1\min} = \frac{21,3 \cdot 180}{10^3 \cdot 6,66} \cdot 0,75 = 0,4317 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{1\max} = \frac{21,7 \cdot 190}{10^3 \cdot 6,66} \cdot 0,75 = 0,4643 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\min} = \frac{21,3 \cdot 180}{10^3 \cdot 6,25} \cdot 0,75 = 0,4601 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\max} = \frac{21,7 \cdot 190}{10^3 \cdot 6,25} \cdot 0,75 = 0,4947 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Svaření vzorku pozice G8 dle WPS č. 135-003.

- Základní materiál pro zkoušku byla trubka o průměru 30mm s tloušťkou stěny 2,5mm z materiálu E235+C a trubka o průměru 26mm s tloušťkou stěny 1,5mm z materiálu 1.4301. Atest 3.1 materiálu E235+C je součástí přílohy č. 11 a atest 3.1 materiálu 1.4301 je součástí přílohy č. 15.

- Použitý přídavný materiál:
Přídavný svařovací drát OK Autrod 16.95 o průměru 0,8mm od firmy ESAB. Atest 3.1 k svařovacímu drátu je součástí přílohy č. 31.
- Svařovací parametry pro WPS č.135-003 viz tab. 23

Tab. 23 Svařovací parametry vzorků G8

	Vzorek č.1	Vzorek č.2
Čas svařování [sec.]	28	30
Délka svaru [mm]	120	120
Rychlost svařování [mm.sec⁻¹]	4,28	4,00
Svařovací proud [A]	80-90	80-90
Svařovací napětí [V]	17,8-18,2	17,8-18,2

Z hodnot v tab. 23 bylo spočteno vnesené teplo podle vzorečku č. 3.4

$$Q_{1\min} = \frac{17,8 \cdot 80}{10^3 \cdot 4,28} \cdot 0,75 = 0,2495 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{1\max} = \frac{18,2 \cdot 90}{10^3 \cdot 4,28} \cdot 0,75 = 0,2870 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\min} = \frac{17,8 \cdot 80}{10^3 \cdot 4,00} \cdot 0,75 = 0,2670 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\max} = \frac{18,2 \cdot 90}{10^3 \cdot 4,00} \cdot 0,75 = 0,3071 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Svaření vzorku pozice B10 dle WPS č. 135-001.

- Základní materiál pro zkoušku byla trubka o průměru 30mm s tloušťkou stěny 2,5mm z materiálu E235+C a spojovací deskou tloušťky 8 mm z materiálu 1.4301. Atest 3.1 materiálu E235+C je součástí přílohy č. 11 a atest 3.1 materiálu 1.4301 je součástí přílohy č. 14.
- Použitý přídavný materiál.
Přídavný svařovací drát OK Autrod 16.95 o průměru 1,0mm od firmy ESAB. Atest 3.1 k svařovacímu drátu je součástí přílohy č. 32.
- Svařovací parametry pro WPS č. 135-001 viz tab. 24

Tab. 24 Svařovací parametry vzorků B10

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2
Čas svařování [sec.]	21	19
Délka svaru [mm]	116	116

Rychlost svařování [mm.sec⁻¹]	5,52	6,11
Svařovací proud [A]	150-170	150-170
Svařovací napětí [V]	20,2-20,9	20,2-20,9

Z hodnot v tab. 25 bylo spočteno vnesené teplo podle vzorečku č. 3.4

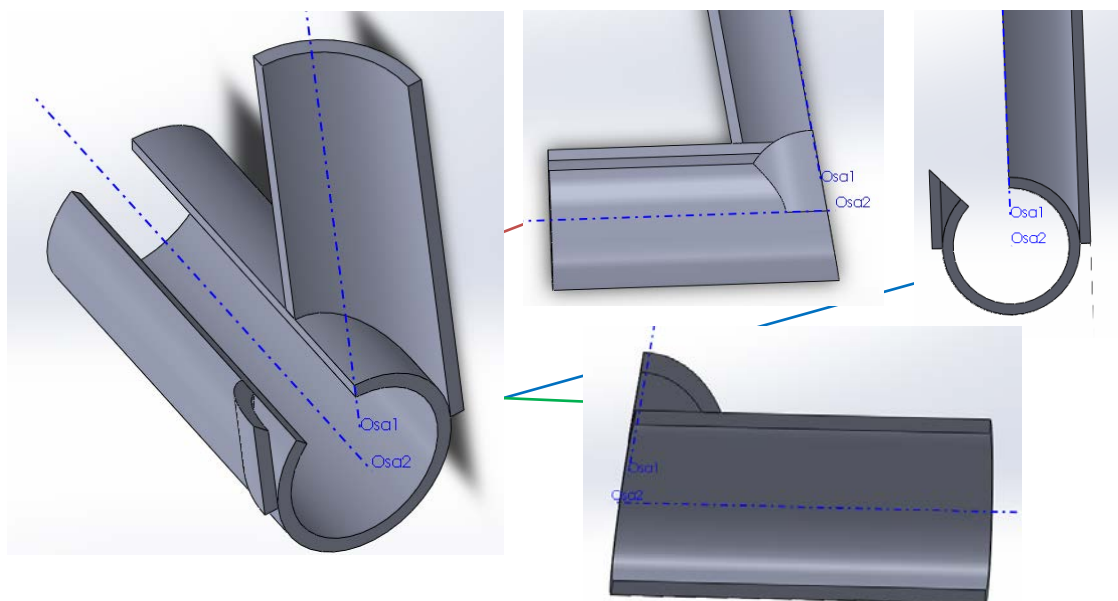
$$Q_{1\min} = \frac{20,2 \cdot 150}{10^3 \cdot 5,52} \cdot 0,75 = 0,4117 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{1\max} = \frac{20,9 \cdot 170}{10^3 \cdot 5,52} \cdot 0,75 = 0,4827 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\min} = \frac{20,2 \cdot 150}{10^3 \cdot 6,11} \cdot 0,75 = 0,3719 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_{2\max} = \frac{20,9 \cdot 170}{10^3 \cdot 6,11} \cdot 0,75 = 0,4361 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Po svaření všech vzorků bylo nutné vzorky správně nařezat. U svarů G4 a G8 byla vyžadována od zákazníka kontrola svarů ve třech místech svařeného vzorku (obr. 33).



Obr. 33 Místa kontrol svaru G4 a G8

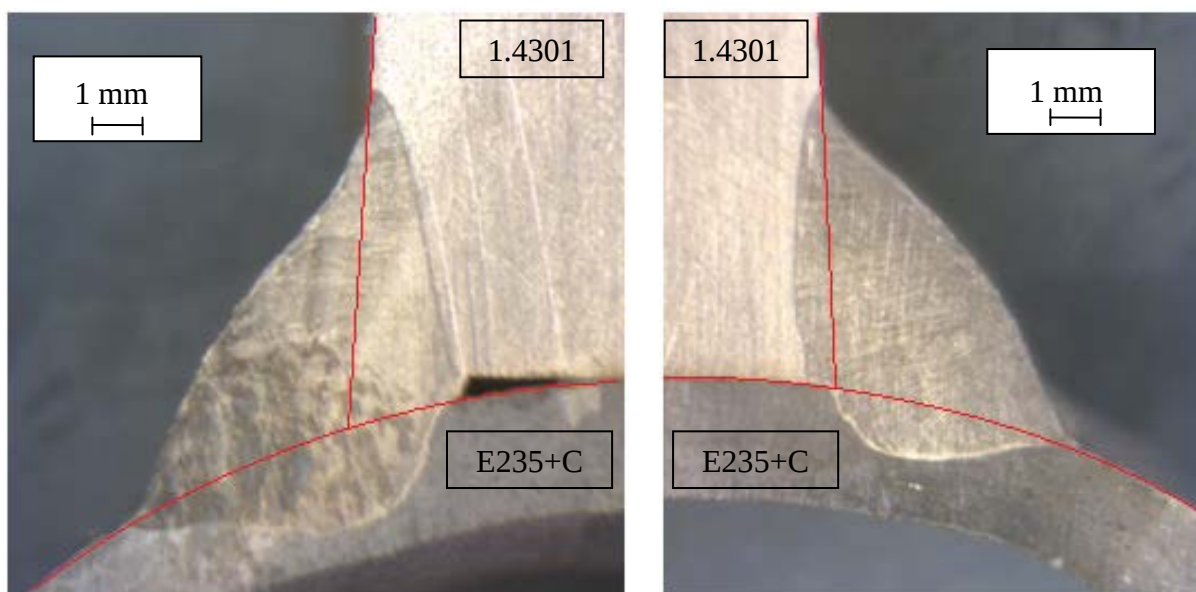
Po nařezání příslušných vzorků následovalo jejich leštění, které bylo prováděno na dvoukoutučové brusce a leštičce Saphir 330. Ke zkoumání makrostruktury bylo použito na vzorky leptadlo NITAL 10 % a fotky makrostruktury svaru pořízeny mikroskopem SCHUT typ SSM-E.

5. VYHODNOCENÍ SVAŘENÝCH VZORKŮ

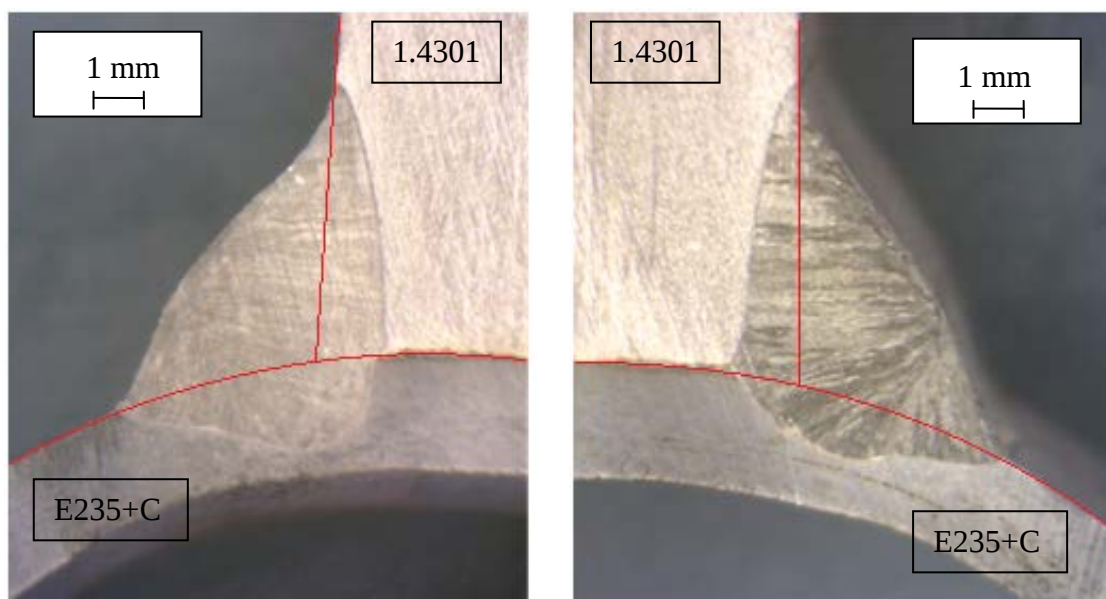
Připravené vzorky byly zkoumány na makrostrukturu svaru podle ČSN EN ISO 5817 Svařování – Svarové spoje ocelí, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupně kvality, a na průběh tvrdosti v oblastech základního materiálu, tepelně ovlivněné oblasti a svarového kovu.

5.1 Makrostruktura svaru

Makrostruktura svaru B10 po vyhodnocení vzorku č. 1 (obr. 34) a vzorku č. 2 (obr. 35), u kterých je vyhovující průvar bez vad a tudíž vzorky byly vyhodnoceny jako vyhovující.

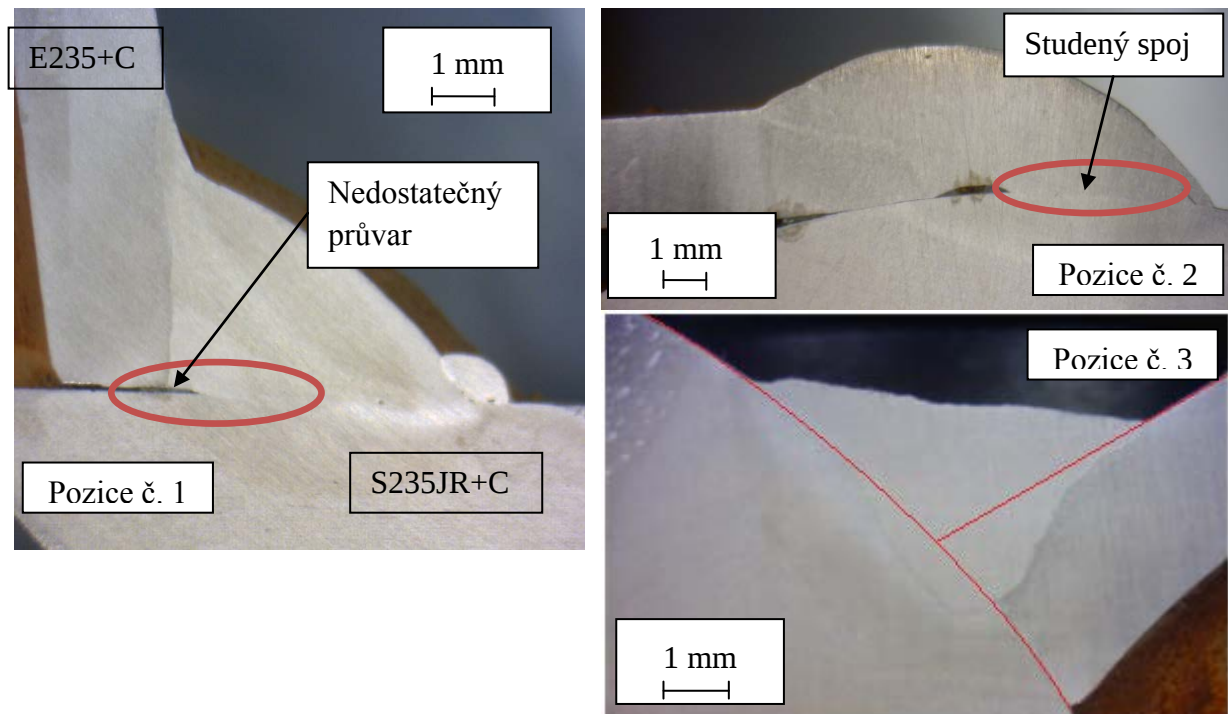


Obr. 34 Makrostruktura svaru B10 vzorku č. 1

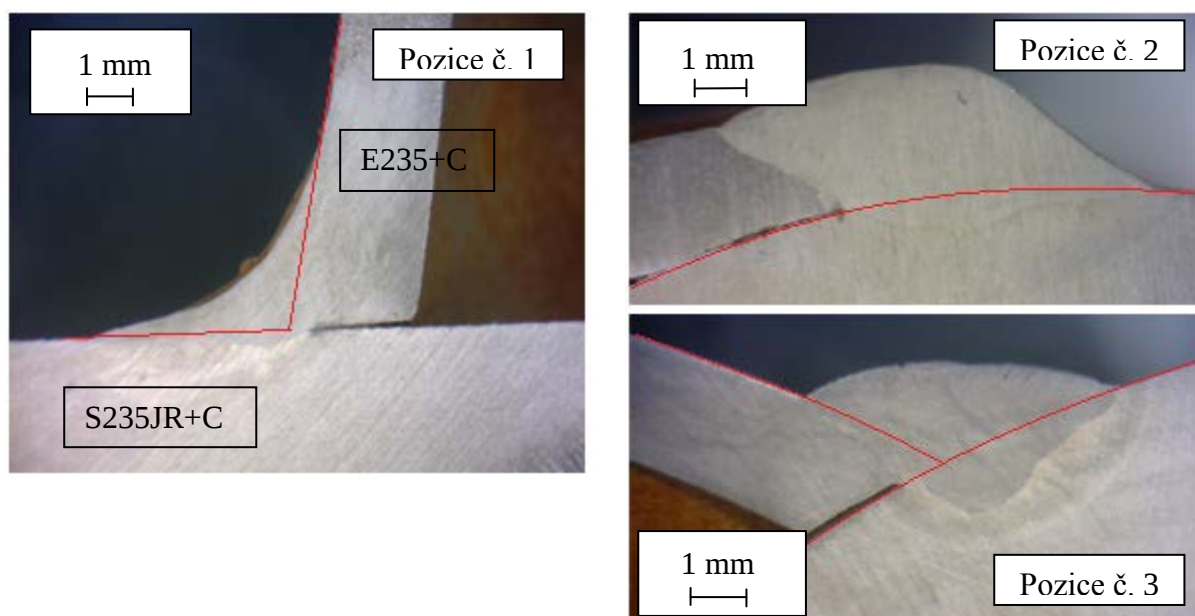


Obr. 35 Makrostruktura svaru B10 vzorku č. 2

Makrostruktura svaru G4 vzorku č. 1 (obr. 36), který byl vyhodnocen jako nevyhovující. Objevil se studený spoj vzniklý nedostatečným průvarem. Vzorek č. 2 (obr. 37), měl ve všech třech pozicích dostatečný průvar a nenašla se vada, tudíž byl vyhodnocen jako vyhovující.

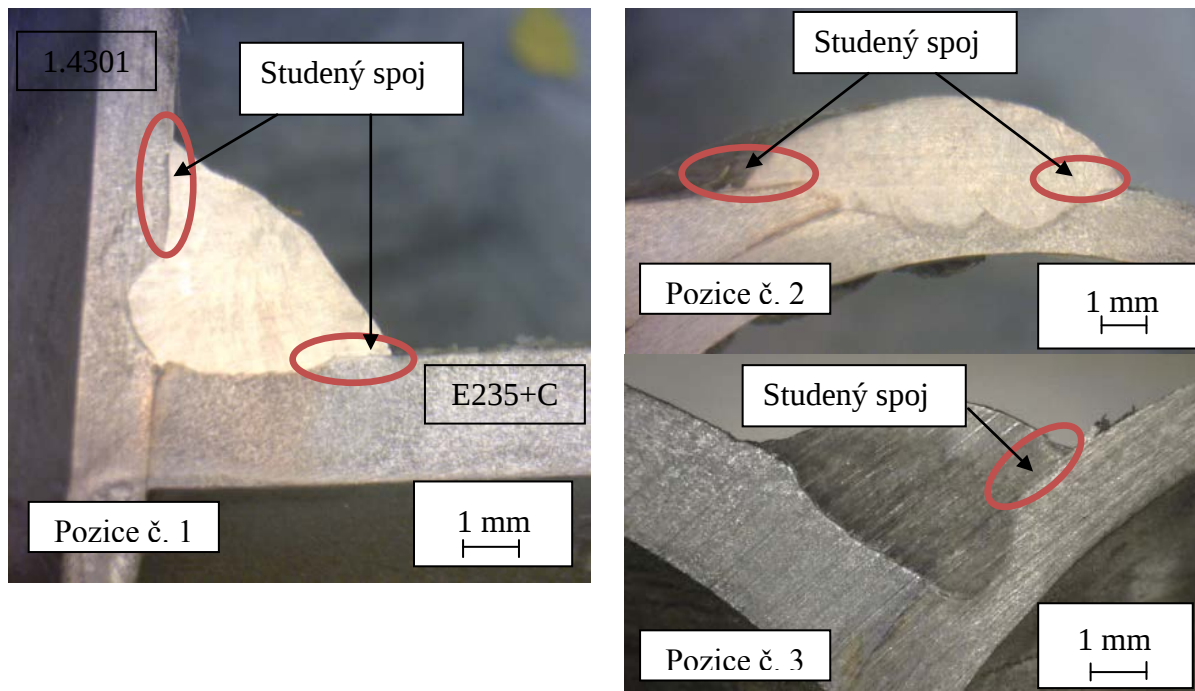


Obr. 36 Makrostruktura svaru G4 vzorku č. 1

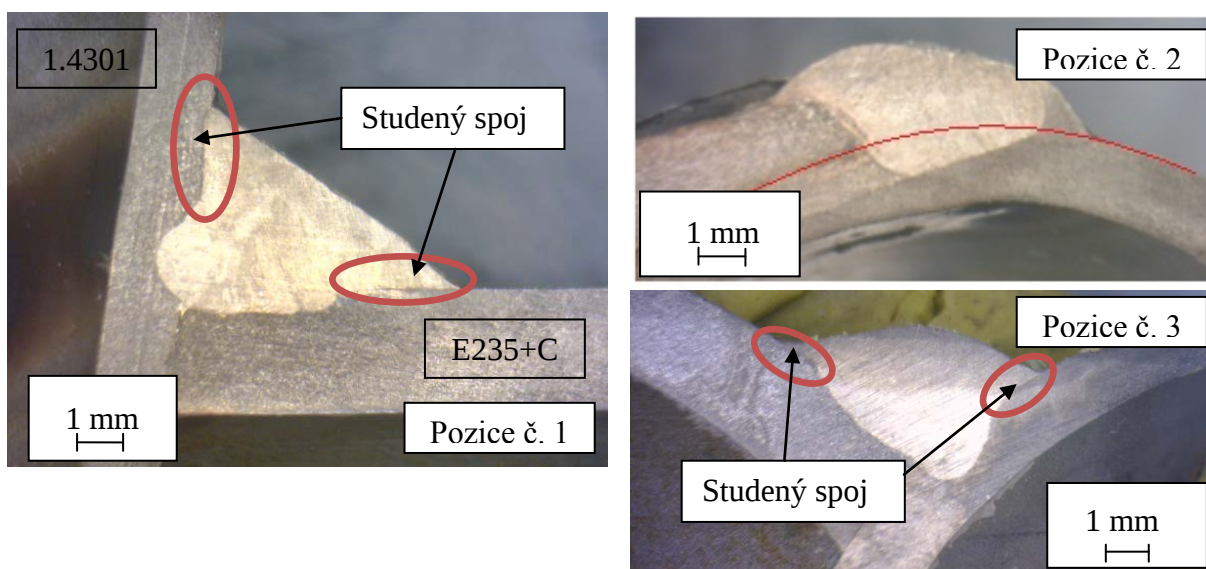


Obr. 37 Makrostruktura svaru G4 vzorku č. 2

Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 1 (obr. 38) a vzorku č. 2 (obr. 39), byla vyhodnocena jako nevyhovující. U obou vzorků alespoň v jedné ze tří pozic se objevil studený spoj vzniklý nedostatečným průvarem.



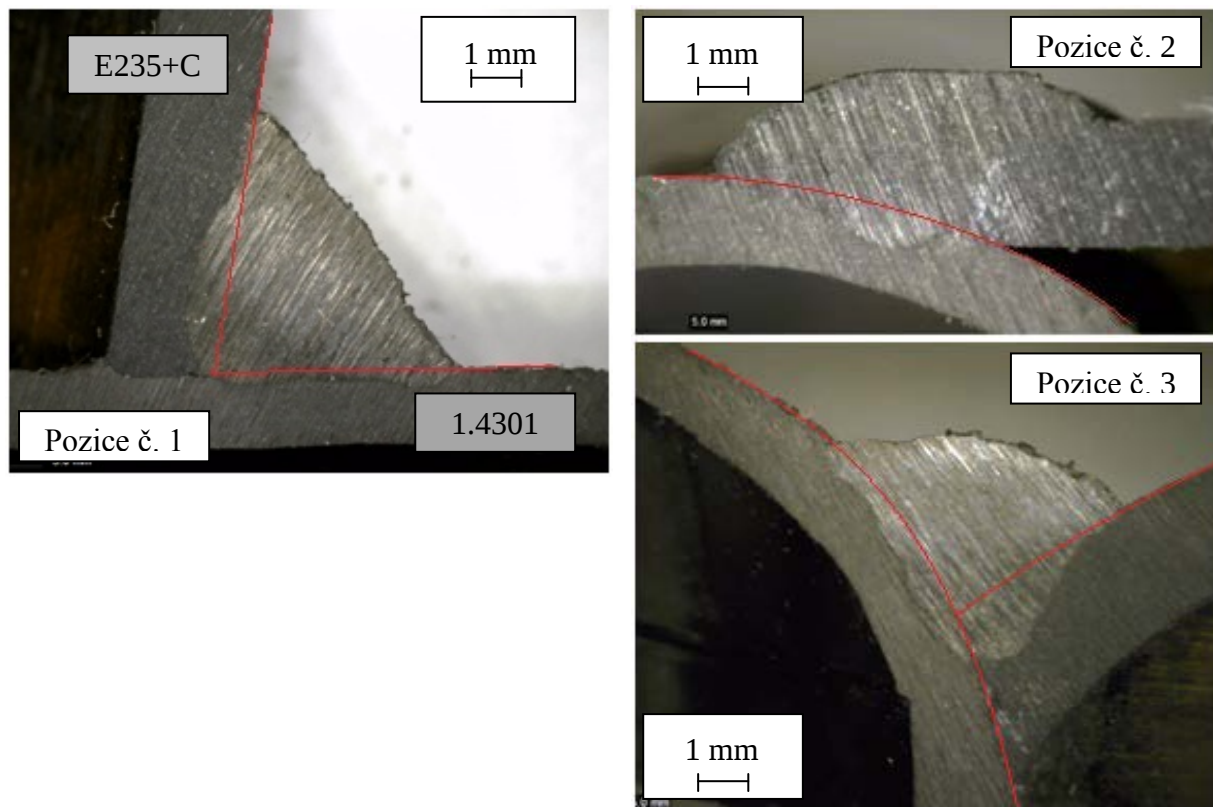
Obr. 38 Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 1



Obr. 39 Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 2

Vzorky č. 1 a 2 byly vyhodnoceny jako nevyhovující, proto musel být svařen třetí vzorek. Parametry svařování byly stejné jak u předchozích dvou vzorků G8.

Makrostruktura svaru G8 po vyhodnocení vzorku č. 3 (obr. 40) byla vyhodnocena jako vyhovující. Ve všech třech pozicích kontrolovaného svaru nedošlo ke studenému spoji, který byl hlavní příčinou vad v předchozích dvou vzorcích.



Obr. 40 Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 3

5.2 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena dle Vickerse – HV u vzorků pro WPS č. 135-002 a 135-003 vždy pro každý vzorek jednou.

Měření tvrdosti bylo provedeno v Ústavu strojírenské technologie na VUT v Brně na tvrdoměru Zwick 3212 (obr. 41), který je vybaven CCD kamerou a propojen s počítačem. Pomocí softwaru testXpert jsou jednotlivé tvrdosti vyhodnoceny za pomoci ohraničení vtisku úhlopříčkami s následným automatickým přepočtem tvrdosti a odpadá tak vyhodnocování tvrdosti pomocí odečítání z okuláru a následný přepočet. Poloha vzorku byla během měření nastavována manuálně pomocí mikrometrických šroubů.

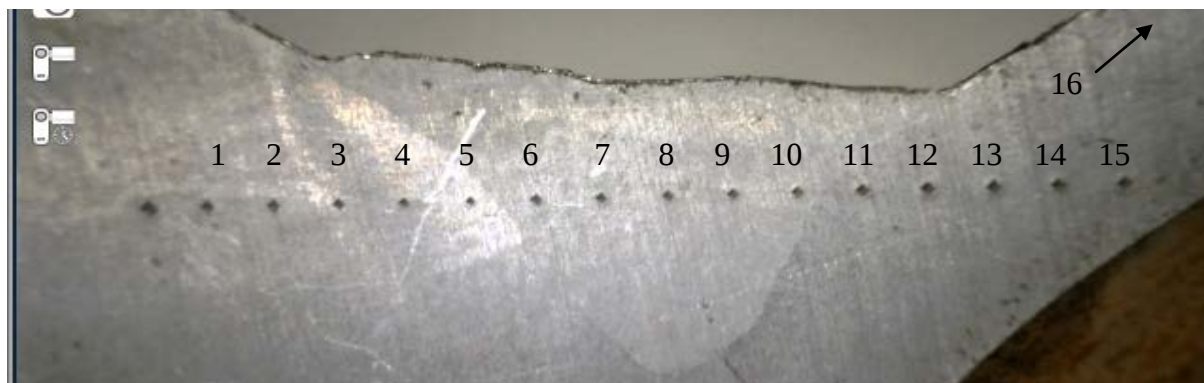


Obr. 41 Tvrdoměr Zwick 3212

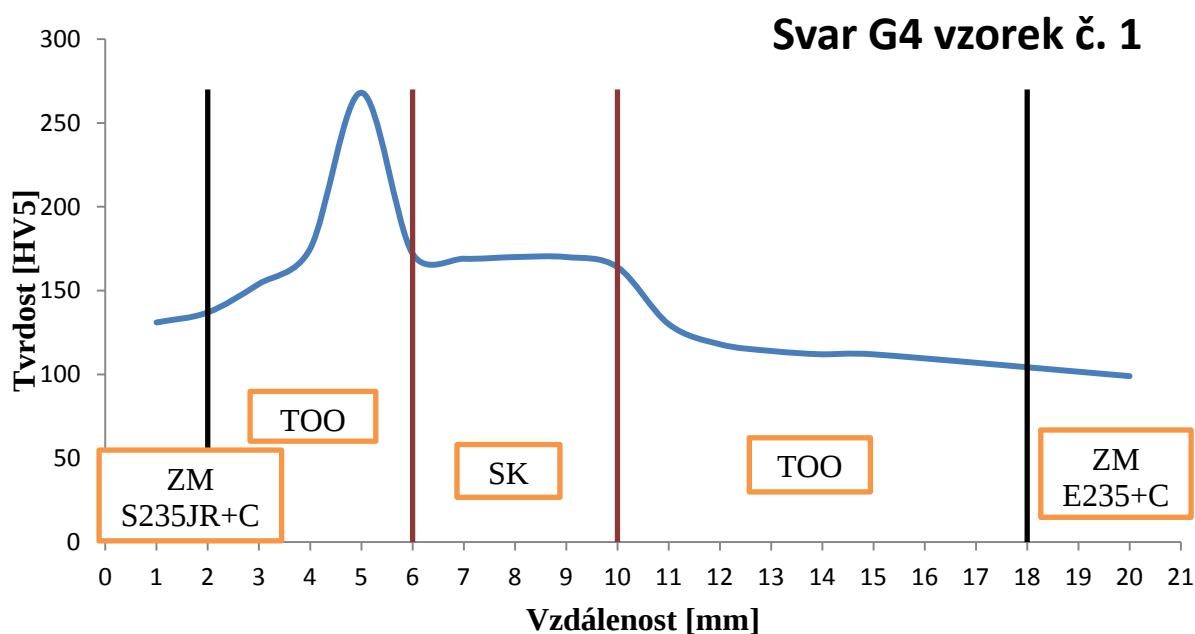
Pro měření tvrdosti byla zvolena metoda dle Vickerse se

zatížením HV5 a dobou působení zatížení 12sec., které bylo hlídáno elektronicky. Měření tvrdosti bylo provedeno na základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a ve svarovém kovu. Na vzorcích byly prováděny převážně vtisky po 1 mm.

Svar G4 pro vzorek č. 1 s naměřenými hodnotami tvrdosti viz tab. 25. Umístění vtisků při měření viz obr. 42 a průběh tvrdosti viz obr. 43.



Obr. 42 Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G4 vzorek č. 1



Obr. 43 Průběh tvrdosti svaru G4 vzorek č. 1

Tab. 25 Naměřené hodnoty svaru G4 vzorek č. 1

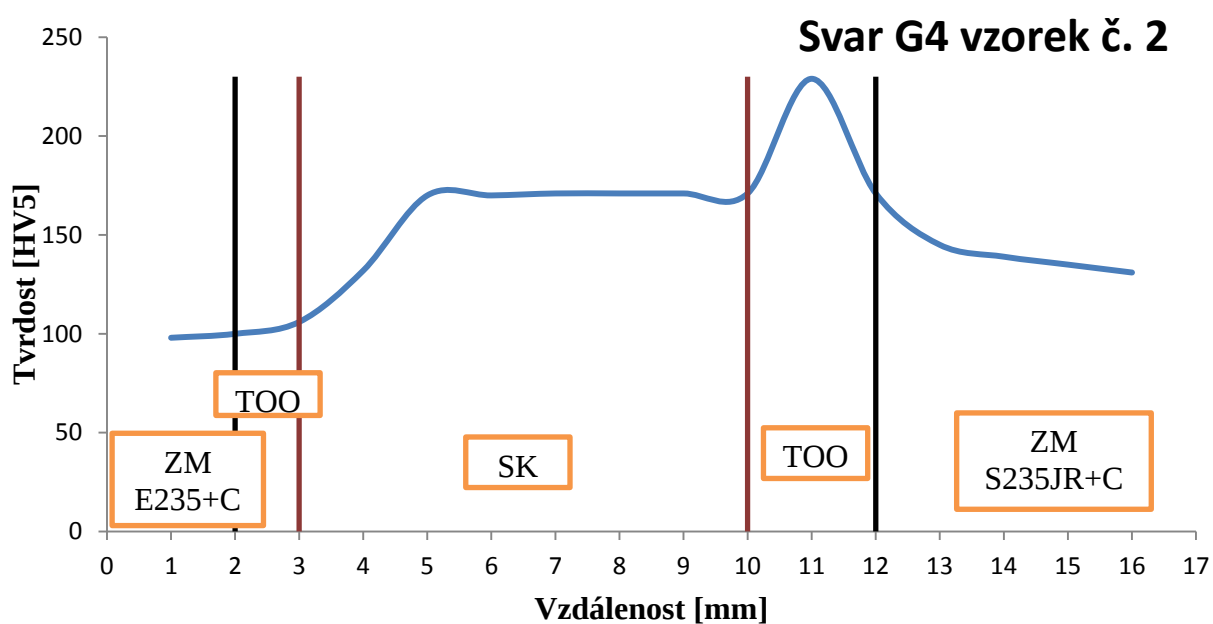
Číslo vtisku	1	2	3	4	5	6	7	8
Tvrdost [HV5]	131	137	154	175	268	172	169	170
Číslo vtisku	9	10	11	12	13	14	15	16
Tvrdost [HV5]	170	164	130	118	114	112	112	99

Největší tvrdost byla naměřena v tepelně ovlivněné oblasti s hodnotou 267 HV5.

Svar G4 pro vzorek č. 2 s naměřenými hodnotami tvrdosti viz tab. 26. Umístění vtisků při měření viz obr. 44 a průběh tvrdosti viz obr. 45.



Obr. 44 Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G4 vzorek č. 2



Obr. 45 Průběh tvrdosti svaru G4 vzorek č. 2

Tab. 26 Naměřené hodnoty svaru G4 vzorek č. 2

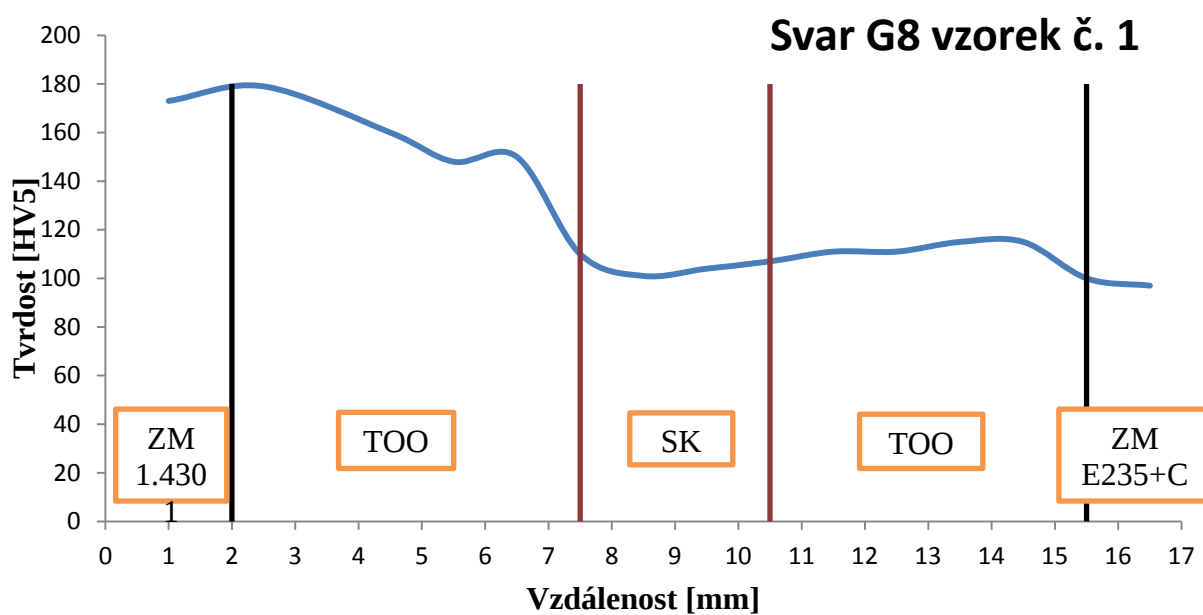
Číslo vtisku	1	2	3	4	5	6	7	8
Tvrdost [HV5]	98	100	106	132	170	170	171	171
Číslo vtisku	9	10	11	12	13	14	15	16
Tvrdost [HV5]	171	171	229	171	145	139	135	131

Vzorek č. 1 a 2 mají podobný průběh tvrdosti s nepatrnými odchylkami. U vzorku č. 2 byla nejvyšší hodnota v tepelně ovlivněné oblasti s tvrdostí 229 HV5.

Svar G8 pro vzorek č. 1 s naměřenými hodnotami tvrdosti viz tab. 27. Umístění vtisků při měření viz obr. 46 a průběh tvrdosti viz obr. 47.



Obr. 46 Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G8 vzorek č. 1



Obr. 47 Průběh tvrdosti svaru G8 vzorek č. 1

Tab. 27 Naměřené hodnoty svaru G8 vzorek č. 1

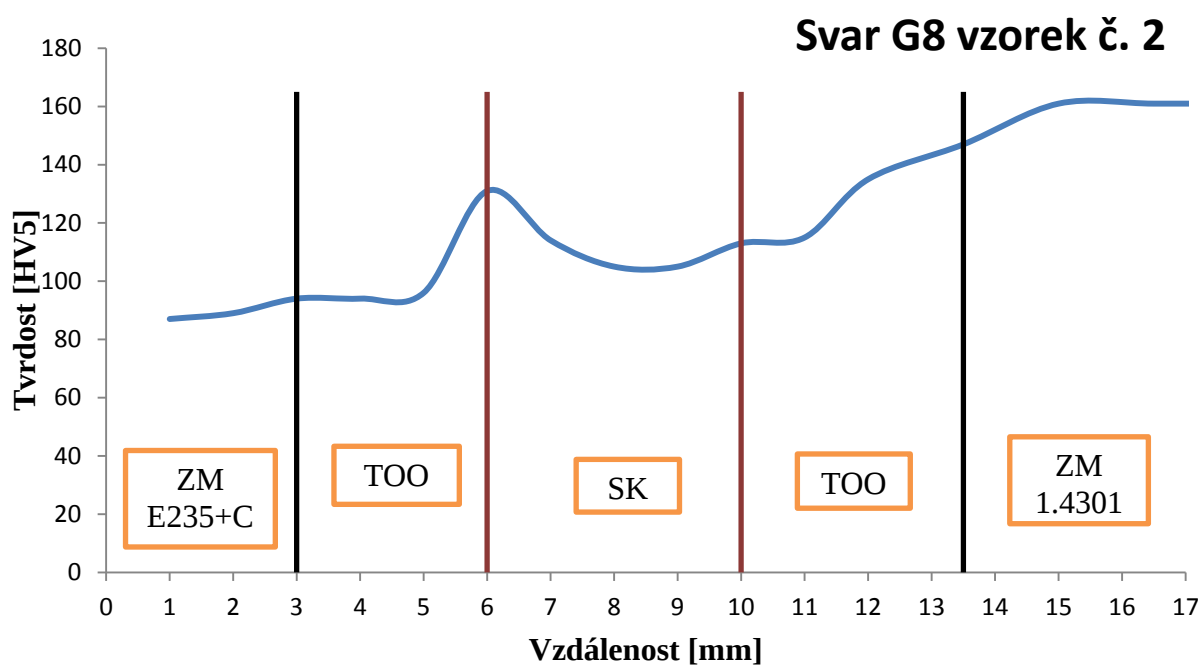
Číslo vtisku	1	2	3	4	5	6	7	8
Tvrdost [HV5]	173	178	160	148	150	110	101	104
Číslo vtisku	9	10	11	12	13	14	15	
Tvrdost [HV5]	107	111	111	115	115	100	97	

Největší naměřená tvrdost byla na přechodu základního materiálu s tepelně ovlivněnou oblastí s hodnotou 178 HV5.

Svar G8 pro vzorek č. 2 s naměřenými hodnotami tvrdosti viz tab. 28. Umístění vtisků při měření viz obr. 48 a průběh tvrdosti viz obr. 49.



Obr. 48 Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G8 vzorek č. 2



Obr. 49 Průběh tvrdosti svaru G8 vzorek č. 2

Tab. 28 Naměřené hodnoty svaru G8 vzorek č. 2

Číslo vtisku	1	2	3	4	5	6	7	8
Tvrdost [HV5]	87	89	94	94	96	131	114	105
Číslo vtisku	9	10	11	12	13	14	15	16
Tvrdost [HV5]	105	113	115	135	147	161	161	161

Průběh tvrdosti u vzorků č. 1 a 2 měl podobný průběh, hodnoty tvrdosti základních materiálů a svařového kovu byl shodný, pouze tepelně ovlivněná oblast vykazuje menší odchylky,

ty mohou být zapříčiněny nestejným tvarem vzorku při měření tvrdosti. U vzorku č. 2 byla naměřena největší tvrdost na základním materiálu 1.4301 s hodnotou 161 HV5.

Naměřené hodnoty tvrdosti v žádném z naměřených případů nepřekračují maximální povolenou hodnotu 350 HV. Svarové spoje z hlediska tvrdosti vyhovují.

6. ZÁVĚRY

Úkolem diplomové práce byl rozbor konstrukce a návrh svařovacího postupu výroby pro konkrétní součást, která byla zadána pro firmu Haas Profile s.r.o., a to horní rameno sběrače proudu - pantografu pro elektrickou lokomotivu. Svařování pantografu vlivem jeho umístění a namáhání spadá pod normu ČSN EN 15085, která se zabývá svařováním železničních kolejových vozidel a jejich částí. Součástí práce byl návrh svařovacího přípravku pro tento díl. S ohledem na použitý svařovaný základní materiál horního ramene pantografu, který byl tvořen ocelí S235, E235, S355 a 1.4301, byla zvolena metoda svařování MAG s přídavným materiálem OK Autrod 16.95 a OK AristoRod 12.50 od firmy ESAB.

Pro vyhodnocení svarů z technické dokumentace bylo zapotřebí vypracovat 8 WPS. Byly vybrány tři svary a pro každý svar byly svařeny 2 vzorky. U těchto vzorků bylo zapotřebí kontrolovat makrostrukturu svaru a průběh tvrdosti v základním materiálu, tepelně ovlivněné oblasti a svarovém kovu. Tvrdost zkoušených vzorků ve svarovém spoji nepřekročila nikde maximální povolenou hodnotu 350 HV. Největší problém nastal u svarů, kde byl svar obvařován kolem tyče (pozice G4 a G8). Od zákazníka byl požadavek kontrolovat tyto svary ve třech daných místech, zde vlivem měněního se náklonu hořáku nedocházelo ke studeným spojům a k nedostatečnému průvaru, jak nakonec bylo vidět na vyhodnocených vzorcích. Parametry svařování byly vyhodnoceny jako vyhovující pro výrobu.

V rámci diplomové práce byl vypracován návrh přípravku, který bude ve výrobním procesu firmy Haas Profile s.r.o. realizován. Navrhovaný přípravek pro svaření celé sestavy ramene pantografu sloužil pro svaření nejprve jedné a následně druhé poloviny součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

1. *Armat: Přehled nerezových materiálů* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pouzite-materialy.html>
2. Citace PRO. Generátor citací. [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.citace.com/citace-pro>
3. ČSN EN 1011-2. *Svařování- Doporučení pro svařování kovových materiálů: Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
4. ČSN EN 1011-3. *Svařování- Doporučení pro svařování kovových materiálů: Část 3: Obloukové svařování korozivzdorných ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
5. ČSN EN 15085-2. *Železniční aplikace- Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí: Část 2: Požadavky na jakost a certifikaci výrobce při svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
6. ČSN EN 15085-3. *Železniční aplikace- Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí: Část 3: Konstrukční požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
7. ČSN EN 50206-1. *Drážní zařízení- Kolejová vozidla- Pantografové sběrače: Vlastnosti a zkoušky: Část 1: Pantografové sběrače proudu vozidel pro tratě celostátní*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
8. ČSN EN ISO 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů- Stanovení postupu svařování: Část 1: Obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
9. ČSN EN ISO 9692-1. *Svařování a příbuzné procesy- Doporučení pro přípravu svarových spojů: Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu, plamenovým svařováním, svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařování svazkem paprsků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
10. DOUŠA, Michal. *Technologie I.: Část svařování* [online]. Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, 2010, 29 s. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD8_prezentace.pdf
11. DUNOVSKÝ, Jiří, Ladislav KOLAŘÍK a Milan KOVAŘÍK. *Svařování metodami MIG/MAG*. České vysoké učení technické v Praze, 2008, 53 s.
12. ESAB,. *Katalog přídavných svařovacích materiálů*. ESAB Vamberk, 2012, 665 s.

13. FEROMAT, . *Jakosti ocelí: Nejpoužívanější jakosti ocelí dle ČSN, další značení, popis použití* [online]. 2010 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
14. Filler metals with DB certification. *Online- register railway vehicles* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.en15085.net/>
15. *Haas Profile s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.haasmetal.eu/unternehmen.html>
16. HRSTKA, David. *MIG MAG (GMAW) Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře*. Praha: SVV Praha, s.r.o., 2013, 129 s.
17. HRSTKA, David. *Úvod do obloukového svařování v ochranných atmosférách (MIG/MAG)*. Praha: SVV Praha, s.r.o., 2012, 32 s.
18. Charakteristika nerezových ocelí. *ALU KÖNIG FRANKSTAHL* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.akfs.cz/akfs/index.php?menu=234>
19. JERIE, Ladislav. Kolaps na hlavní trati kvůli námraze pošramotil i lokálky. *Benešovský deník.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://benesovsky.denik.cz/nehody/laj-kolaps-na-hlavni-trati-kvuli-namraze-posramotil-i-lokalky-20141202.html>
20. KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
21. KOLAŘÍK, Ladislav. *Hodnocení svařitelnosti* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2010 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/Svaritelnost.pdf>
22. KOZEL, Petr. Svařování, montáž a demontáž ocelových konstrukcí. *Ocelové konstrukce, zakázkové zamečnictví, svařování* [online]. 2010 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.zamecnictvi-konstrukce.cz/cz/svarovani>
23. KŘÍŽ, Rudolf a P. VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovanými prášky, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikoroze ochrana materiálů*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
24. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II část svařování: Díl I základní metody tavného svařování* [online]. Brno, 2006 [cit. 2015-05-18]. Dostupné také z: ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2__svarovani/technologie_2__svarovani_tavne.doc

25. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k__kubicek.pdf
26. MALINA, Zdeněk. *Základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek: Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování)*. Ostrava: ZEROSS, 2010, 161 s. ISBN 80-86698-16-5.
27. NIQUETTE, Paul. *Pantograph Design* [online]. 2011 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.niquette.com/puzzles/pantogs.html>
28. PILOUS, Václav. Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení. *KONSTRUKCE* [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>
29. Polohy svařování podle ISO 6947. *Svarbazar* [online]. 2006 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006020403>
30. Sběrač proudu. *Wikipedie* [online]. 2014 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sb%C4%9Bra%C4%8D_proudu
31. Skupiny základních materiálů dle ISO/TR 15608. *Svarbazar* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=skupiny15608>
32. ŠVESTKA, David. *Atlas lokomotiv: Sběrače, odpojovače, uzemňovače* [online]. 2004 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-sberace.html>
33. Tipy pro MIG/MAG - vedení hořáku. *Svarbazar* [online]. 2009 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009050601>
34. Titanium Rear Subframe Prototype. SELLORS, John. *ProActive Magazine* [online]. 2014 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <https://lotusproactive.wordpress.com/2014/04/15/titanium-rear-subframe-prototype/#jp-carousel-2566>
35. *Transpuls synergic 2700* [online]. Praha: Fronius Česká republika s.r.o., 2014, 6 s. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-8CDF426B-8F2378E9/fronius_poland/CS_TPS2700_low_45644_snapshot.pdf
36. Výpočet teploty přehřevu Tp. *Svarbazar* [online]. 2006 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=predchrev>
37. Výroba damaškového "PEŘÍČKA". *Umělecké nožírenství Petr Dohnal a synové* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.dohnalknives.com/postup3.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A ₅ ; A _{5,65}	Tažnost	[%]
Al	Hliník	
BW	Tupý spoj	
C	Uhlík	
CE	Uhlíkový ekvivalent	[%]
CET	Uhlíkový ekvivalent	[%]
CL	Certifikační úroveň	
CNC	Computer Numeric Control	
CO ₂	Oxid uhličitý	
CP	Třída provedení svaru	
Cr	Chrom	
CT	Třída kontroly	
Cu	Měď	
d	Průměr svařovacího drátu	[mm]
DB	Deutsche Bahn	
DC	Stejnoseměrný proud	
EWE	Evropský svářečský inženýr	
EWT	Evropský svářečský technolog	
FW	Koutový spoj	
HD	Obsah vodíku ve svarovém kovu	[ml.100g ⁻¹]
H-L	Svařování trubky zdola nahoru	
IO	impulsní bezzkratový oblouk	
I _s	Svařovací proud	[A]
IWE	Mezinárodní svářečský inženýr	
IWT	Mezinárodní svářečský technolog	
J-L	Svařování trubky shora dolů	
KO	krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu	
L	Vyložení elektrody	[mm]
MAG	Metall Activ Gas	
MIG	Metall Inert Gas	
Mn	Mangan	
Mo	Molybden	
N	Dusík	
Ni	Nikl	
P	Fosfor	
p	Převýšení	[mm]
PA	Poloha vodorovná shora	
PB	Poloha vodorovná šikmo shora	
PC	Poloha vodorovná	
PD	Poloha vodorovná šikmo nad hlavou	
PE	Poloha vodorovná nad hlavou	
PF	Poloha svislá nahoru	
PG	Poloha svislá dolů	
PO	přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty	

Q	Tepelný příkon, vnesené teplo	[kJ.mm ⁻¹]
Re _{0,2}	Smluvní mez kluzu	[MPa]
Re _H	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Pevnost v tahu	[MPa]
RO	dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu	
S	Síra	
s	Šířka housenky	[mm]
SK	Svarový kov	
Si	Křemík	
SO	dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem	
t	Tloušťka svařovaného materiálu	[mm]
TIG	Tungsten Inert Gas	
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	
Tp	Teplota předehřevu	[°C]
U	Svařovací napětí	[V]
V	Vanad	
v	Rychlost svařování	[mm.sec ⁻¹]
VV KO	krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem	
VV SO	moderovaný bezzkratový přenos	
WPQR	Protokol o kvalifikaci postupu svařování	
WPS	Specifikace postupu svařování	
z	Hloubka závaru	[mm]
ZM	Základní materiál	
η	Účinnost svařování	[%]

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1	Spojování materiálů
Obr. 2	Pantograf na lokomotivě
Obr. 3	Síly odporu vzduchu působící na pantograf a součásti pantografu
Obr. 4	Složení materiálů horního ramene pantografu
Obr. 5	Schéma metody MAG
Obr. 6	Vliv svařovacího proudu na tvaru svarové housenky
Obr. 7	Vliv svařovacího napětí na tvaru svarové housenky
Obr. 8	Polohy svařování
Obr. 9	Svařování vpřed
Obr. 10	Svařování vzad
Obr. 11	Svařování kolmo
Obr. 12	Sklon hořáku u tupého spoje
Obr. 13	Sklon hořáku u koutového spoje
Obr. 14	Oblasti jednotlivých druhů přenosu kovu
Obr. 15	Zkratový přenos kovu
Obr. 16	Sprchový bezzkratový přenos kovu
Obr. 17	Impulsní bezzkratový přenos kovu
Obr. 18	Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu
Obr. 19	Faktory ovlivňující svařitelnost
Obr. 20	Spojka ramen pantografu
Obr. 21	Svary na výkrese Horní rameno
Obr. 22	Svary na výkrese Páka horní rameno
Obr. 23	Svary na výkrese Postupná trubka
Obr. 24	Část platných přídatných materiálů firmy ESAB AB
Obr. 25	Šablona WPS
Obr. 26	Přípravek pro svařování ramene pantografu
Obr. 27	První etapa svařování ramene
Obr. 28	Přípravek pro svaření spojovací desky
Obr. 29	Přípravek pro svaření nosné desky
Obr. 30	Druhá etapa svařování s doplňkovým přípravkem
Obr. 31	Svařovací zařízení TPS 2700 4R/f
Obr. 32	Připravené materiály pro vzorky WPS č. 135-002
Obr. 33	Místa kontrol svaru G4 a G8
Obr. 34	Makrostruktura svaru B10 vzorku č. 1
Obr. 35	Makrostruktura svaru B10 vzorku č. 2
Obr. 36	Makrostruktura svaru G4 vzorku č. 1
Obr. 37	Makrostruktura svaru G4 vzorku č. 2
Obr. 38	Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 1
Obr. 39	Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 2
Obr. 40	Makrostruktura svaru G8 vzorku č. 3
Obr. 41	Tvrdoměr Zwick 3212
Obr. 42	Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G4 vzorek č. 1
Obr. 43	Průběh tvrdosti svaru G4 vzorek č. 1
Obr. 44	Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G4 vzorek č. 2
Obr. 45	Průběh tvrdosti svaru G4 vzorek č. 2
Obr. 46	Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G8 vzorek č. 1

Obr. 47	Průběh tvrdosti svaru G8 vzorek č. 1
Obr. 48	Poloha vtisků při měření tvrdosti svaru G8 vzorek č. 2
Obr. 49	Průběh tvrdosti svaru G8 vzorek č. 2
Tab. 1	Přehled chemického složení dané oceli
Tab. 2	Mechanické vlastnosti ocelí
Tab. 3	Přehled chemického složení dané oceli
Tab. 4	Mechanické vlastnosti ocelí
Tab. 5	Certifikační úrovně
Tab. 6	Třídy provedení svaru
Tab. 7	Shoda mezi třídami provedení svaru a třídami kontroly
Tab. 8	Stupně difúzního vodíku
Tab. 9	Identifikace svarů
Tab. 10	Svařovací parametry OK Autrod 16.95
Tab. 11	Svařovací parametry OK AristoRod 12.50
Tab. 12	Předepsaný ochranný plyn
Tab. 13	Seznam potřebných WPS
Tab. 14	Příprava svarových spojů koutových a tupých svarů
Tab. 15	Rozdělení ocelí dle ISO/TR 15608
Tab. 16	Rozčlenění materiálu
Tab. 17	Příprava svarové plochy a rozměry pro svařování
Tab. 18	Svařovací parametry
Tab. 19	Seznam přídavných materiálů
Tab. 20	Seznam ochranných plynů
Tab. 21	Základní parametry svařovacího zdroje
Tab. 22	Svařovací parametry vzorků G4
Tab. 23	Svařovací parametry vzorků G8
Tab. 24	Svařovací parametry vzorků B10
Tab. 25	Naměřené hodnoty svaru G4 vzorek č. 1
Tab. 26	Naměřené hodnoty svaru G4 vzorek č. 2
Tab. 27	Naměřené hodnoty svaru G8 vzorek č. 1
Tab. 28	Naměřené hodnoty svaru G8 vzorek č. 2

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Výkres Horní rameno
Příloha č. 2	Výkres Páka horní rameno
Příloha č. 3	Výkres Postupná trubka
Příloha č. 4	Možné rozčlenění částí a podsestav železničních kolejových vozidel do certifikačních úrovní
Příloha č. 5	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S235JR+N t=4 mm
Příloha č. 6	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S235JR+N t=5 mm
Příloha č. 7	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S235JRC+N t=8 mm
Příloha č. 8	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S235JR+C Ø45 mm
Příloha č. 9	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu E235+C Ø50 mm
Příloha č. 10	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu E235+C Ø40 mm
Příloha č. 11	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu E235+C Ø30 mm
Příloha č. 12	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S355J2C+C Ø50 mm
Příloha č. 13	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu S355J2C+C Ø40 mm
Příloha č. 14	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu 1.4301 t=8 mm
Příloha č. 15	Inspekční certifikát 3.1 k materiálu 1.4301 Ø26 mm
Příloha č. 16	Svařovací drát ESAB OK Autrod 16.95
Příloha č. 17	Svařovací drát ESAB OK AristoRod 12.50
Příloha č. 18	Certifikát DB pro ESAB OK AristoRod 12.50
Příloha č. 19	Certifikát DB pro ESAB OK Autrod 16.95
Příloha č. 20	Ochranný plyn AIR PRODUCTS Inomaxx 2
Příloha č. 21	Ochranný plyn AIR PRODUCTS Ferromaxx 15
Příloha č. 22	WPS 135-001
Příloha č. 23	WPS 135-002
Příloha č. 24	WPS 135-003
Příloha č. 25	WPS 135-004
Příloha č. 26	WPS 135-005
Příloha č. 27	WPS 135-006
Příloha č. 28	WPS 135-007
Příloha č. 29	WPS 135-008
Příloha č. 30	Inspekční certifikát 3.1 ke svařovacímu drátu OK AristoRod 12.50 Ø1,0 mm
Příloha č. 31	Inspekční certifikát 3.1 ke svařovacímu drátu OK Autrod 16.95 Ø0,8 mm
Příloha č. 32	Inspekční certifikát 3.1 ke svařovacímu drátu OK Autrod 16.95 Ø1,0 mm