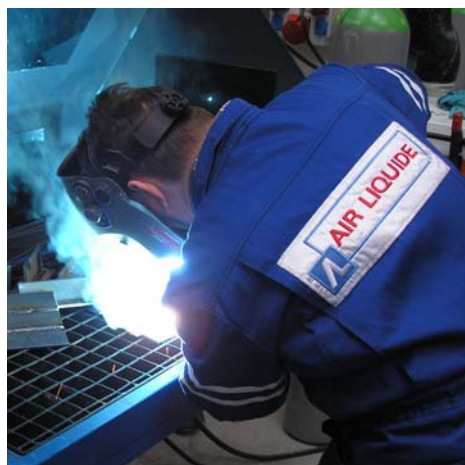


# VLIV OCHRANNÝCH PLYNŮ NA VLASTNOSTI SVAROVÉHO SPOJE PŘI SVAŘOVÁNÍ NELEGOVANÝCH KONSTRUKČNÍCH OCELÍ METODOU 135 - MAG

**Ing. Martin Roubíček, Ph.D., AIR LIQUIDE CZ, s.r.o.**  
**Prof. Ing. Václav Pilous, DrSc., SDP-KOVO, s.r.o.**

## Úvod

Na složení ochranného plynu a přídavného drátu závisí složení svarového kovu, zejména obsah uhlíku C, manganu Mn a křemíku Si a tím následně jeho mechanické, fyzikální, chemické a technologické vlastnosti. Z hlediska fyzikálních vlastností ochranného plynu je při svařování tavící se elektrodou nejvýznamnější jeho ionizační schopnost. Při použití inertních plynů (Ar, He) vzniká (udrží se v důsledku vysoké ionizace prostředí) velmi dlouhý oblouk, tj. svařuje se vyšším napětím než při svařování v oxidu uhličitém, kdy jeho odlišné ionizační vlastnosti vyžadují nastavení nižšího napětí. V důsledku ionizace prostředí lze doporučit pro svařování směsnými plyny s vysokým obsahem argonu zvýšit napětí o 4 až 10V, což vede k dokonalejší kresbě povrchu svarové housenky. Malé množství aktivní složky CO<sub>2</sub> nebo kyslíku (2 až 5 %) v argonu výrazně se projeví na zlepšení elektronové emise, stabilitě katodové skvrny a smáčivosti povrchu. Přitom mění směr proudění taveniny v lázni. Příměsi aktivní složky kyslíku nebo CO<sub>2</sub> v Ar intenzivně stabilizují proces MAG. Podle dosud získaných zkušeností se při výrobě ocelových konstrukcí osvědčily trojsložkové směsi plynů skupiny M24 dle ČSN EN 439 na bázi Ar/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> s úspěchem namísto dvojsložkových plynů o typickém složení 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub> (M21 ČSN EN 439). Předností trojsložkových směsí je v důsledku obsahu kyslíku vyšší aktivita prostředí, což se projeví v rámci stavové rovnice zvýšením teploty svarového kovu při jeho přechodu svařovacím obloukem o vyšší teplotě. Použitím trojsložkových plynů se zvýší odtavovací výkon s následnou vyšší účinností svařovacího procesu. Podílejí se rovněž na snížení rozstříku svarového kovu. V SDP-KOVO s.r.o. jsou běžně používány všechny skupiny směsí ochranných plynů. Aby bylo možné posoudit rozdíly mezi jednotlivými ochrannými plyny proběhla ve spolupráci s Air Liquide CZ, s.r.o. řada testů vedoucích ke specifikaci důsledků účinku jednotlivých ochranných plynů na kvalitu svarových spojů včetně posouzení efektivnosti jejich použití.

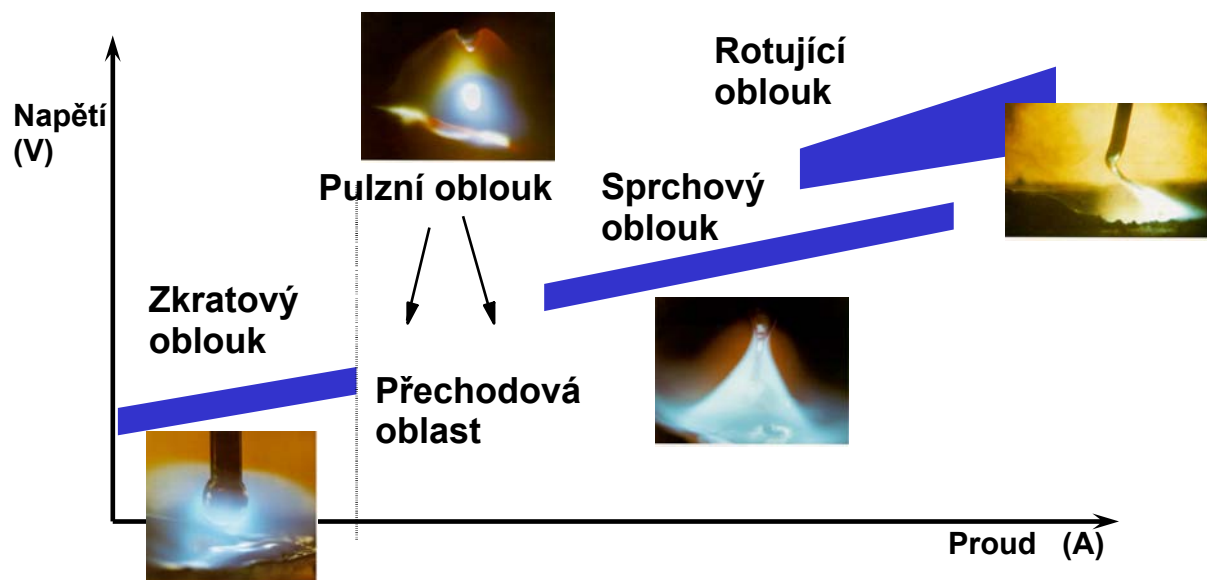


*Obr. 1. Ruční MAG svařování*

## Způsob přenosu svarového kovu

Při svařování metodou 135-MAG dochází ve sloupci elektrického oblouku k reakci prvků obsažených v roztaveném svařovacím drátu s ochranným plynem.

Reakce je závislá na způsobu přechodu roztaveného kovu obloukem, kdy závisí zda přechod je zkratový, sprchový nebo pulzní. O typu přenosu roztaveného svarového kovu z přídavného drátu rozhoduje komplex působících veličin: gravitace, povrchové napětí, viskozita kapky roztaveného kovu, elektromagnetické síly, síly ve směru radiálním, sací účinek proudu plynu a par uvnitř kapky. Drát se odtavuje v závislosti na velikosti proudu nejprve ve velkých kapkách, přidržovaných na konci drátu povrchovým napětím, které přecházejí do tavné lázně zkratovým procesem, tj. jejich kontaktem s tavnou lázní. Se stoupající intenzitou proudu elektromagnetická síla prudce narůstá a při dodržení podmínky podílu argonu v ochranném plynu (min. 75 % Ar) dochází natolik ke zúžení průřezu nataveného kovu (pinch efekt), že soudržné síly povrchového napětí jsou překonány a proces zkratového přenosu kovu se změní na bezzkratový - sprchový proces. Jestli že je použit invertorový zdroj, je možné bezzkratového procesu dosáhnout již v nízkoproudé oblasti řízením frekvence tj. krátkými pulzy (pulzní proces).



Obr. 2.: Způsoby přenosu svarového kovu

Dalším zvyšováním intenzity proudu dochází k moderování sprchového procesu, při kterém se tavenina na konci drátu zužuje do paprsku o vysoké tepelné a kinetické intenzitě, který působením elektromagnetického pole se osově odtrhává v celých sloupcích za současného intenzivního přechodu do lázně. Rotací magnetického pole lze dosáhnout rotující moderovaný sprchový proces, kterým lze řídit šířku svařovací lázně.

### Experimentální poznatky

Po vzájemném projednání náplně řešeného úkolu navrhly obě strany nejčastěji používané ochranné plyny pro svařování metodou 135 – MAG k jejich vzájemnému posouzení po stránce metodické, teoretické a experimentální:

1. Cargal, Ar/O<sub>2</sub>, M22 dle ČSN EN 439
2. Arcal MAG, Ar/CO<sub>2</sub>, M21 dle ČSN EN 439

3. Arcal 24, Ar/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, M24 dle ČSN EN 439

4. Oxid uhličitý, CO<sub>2</sub>, C1 dle ČSN EN 439

Hlavní parametry, podle kterých byly posuzovány studované plyny byly: stabilita svařovacího oblouku, přenos kovu obloukem, rozstřík svarového kovu, tvorba svařovací housenky, metalurgické reakce v oblouku a v přechodu roztaveného kovu do svarové lázně.

Vlastní zkoušky byly uskutečněny s cílem stanovení procesních parametrů v návaznosti na sledované veličiny.

### **Zkoušky stanovení přechodu zkratového přenosu kovu ve sprchový přenos.**

Navržené základní nastavovací parametry pro stanovení přechodu zkratového procesu v proces sprchový:

číslo svaru	proud	napětí	rychlost drátu	rychlost svařování	závar	výška	šířka	plocha	tepelný příkon
	A	V	v <sub>d</sub> m/min	v <sub>s</sub> m/min	z mm	v mm	w mm	P mm <sup>2</sup>	Q kJ/cm
1	200	22	5	0,22	1,0	5,5	9	24,5	10
2	280	30	9	0,44	1,5	5,8	8,8	22,5	9
3	380	32	12	0,90	1,0	5,2	8,5	26,0	7

Pro posouzení optimalizace procesu lze využít statistického hodnocení rozměrů a kresby svarových spojů. Zvyšující se rychlost svařování vede k vytváření drážky uprostřed povrchové kresby návaru, což svědčí o tom, že parametry jsou právě optimálně nastavené (projeví se oscilace lázně) Pro získání nejvyšší efektivity svařování se jeví vhodná oblast svařování sprchovým přenosem svarového kovu.

Pro zkoušky byl použit plech kvality S235J2G2 o tloušťce 10mm a přídatný svařovací materiál G3Si1 o průměru 1mm. Ochranné plyny s vysokým obsahem Ar (Cargal) a s kyslíkem (Cargal, Arcal 24) umožňují svažovat ve sprchovém procesu za nižších parametrů (o 20 – 30 A) než ochranná atmosféra Arcal MAG.

Svařovací parametry U 31,5 V, I 290 A, v<sub>s</sub> 42 cm/min (plyn Arcal 24) se jeví jako optimální z hlediska spolehlivého sprchového procesu, který lze sledovat nejenom oscilograficky, avšak též zvukově za současného pozorování přenosu svarového kovu. Uvedené parametry lze zařadit do skupiny 2 (viz. výše uvedená tabulka). Parametry byly dále jako základní při zkouškách posouzení vlivu studovaných plynů, tj. bylo svařováno sprchovým přenosem svarového kovu.

### **Obsah uhlíku, křemíku a manganu ve svarovém kovu**

Zkouškami bylo potvrzeno, že největší propal z hlediska oxidace prvků, které jsou v přídatném materiálu, je při svařování v atmosféře oxidu uhličitého. Výsledky zkoušek, obecně citované v technické literatuře uvádějí až 50 % propal křemíku, titanu a manganu, tj. prvků vysoce afinných ke kyslíku. Dále je uváděno, že ve směsích bohatých na argon je propal výše uvedených prvků

přímo úměrný množství oxidu uhličitého v argonu. Uvedené poznatky byly v ověřeny v návarech z drátu G3Si1 dle EN 440 (složení dle normy, hmot. %: C 0,06 - 0,14, Si 0,7 - 12,0, Mn 1,3 - 1,6, P a S max. 0,025 každý, Ni 0,15, Mo 0,15, Al 0,02, Ti + Zr 0,15). Drátem G3Si1 o průměru 1,2 mm byly svařeny 4 vrstvy. Chemické složení použitého drátu dle atestu 3.1b před navařením a chemické složení návarů po přetavení drátu v různých ochranných atmosférách (1. Cargal, 2. Arcal MAG, 3. Arcal 24, 4. Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>) je uvedeno v následující tabulce:

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	Zr+Ti
<b>A</b>	<b>0,091</b>	<b>1,486</b>	<b>0,882</b>	<b>0,013</b>	<b>0,011</b>	<b>0,024</b>	<b>0,025</b>	<b>0,004</b>	<b>0,047</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>
<b>1</b>	<b>0,10</b>	<b>1,26</b>	<b>0,72</b>									
<b>2</b>	<b>0,09</b>	<b>0,89</b>	<b>0,62</b>			<i>Nebyly zjištěny podstatné změny</i>						
<b>3</b>	<b>0,11</b>	<b>1,04</b>	<b>0,58</b>									
<b>4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,62</b>	<b>0,32</b>									

Zhodnotíme-li výsledky chemického složení návarů, navařených ochrannými plyny různého chemického složení stanoveného v autorizované zkušebně, můžeme konstatovat, že největší stupeň oxidace za současného snížení obsahu uhlíku, křemíku a manganu probíhá při svařování v ochraně CO<sub>2</sub>, kdy dochází současně k uhlíkové desoxidaci, desoxidaci křemíkem a manganem. Uvedený chemický rozbor potvrzuje nutnost klasifikace přídavných drátů z pevnostního hlediska do dvou pevnostních skupin s tím, že při použití ochranného plynu CO<sub>2</sub> je nutné snížit únosnost svarového kovu o stupeň níže, tj. v našem případě z hodnoty meze kluzu Re 355 MPa při použití směsných plynů (M), na hodnotu Re 235 MPa při použití ochranného plynu CO<sub>2</sub> (C). Alternativně je nutné použít přídavný svařovací drát s vyšší pevností (např. G4Si1), nebo snížit únosnost svarových spojů. Jinými slovy řečeno při svařování v CO<sub>2</sub> je pro stejný případ namáhání nutné použít svařovací drát vyšší pevnostní třídy.

### **Hodnocení tvaru a rozměrů závaru**

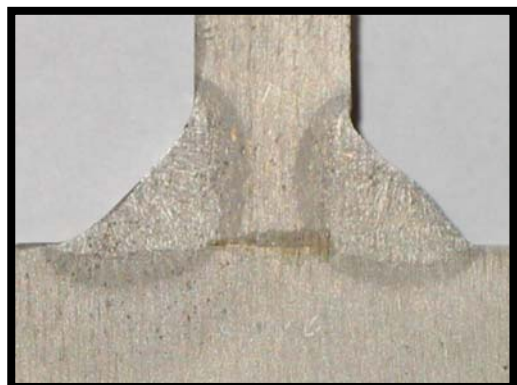
Charakteristiky tvaru a rozměrů závarů byly ověřeny v SDP-KOVO s.r.o. zkouškami koutových svarových spojů v závislosti na použitých ochranných plynech, vybraných parametrech svařování s tím, že byl použit drát G3Si1 o průměru 1,2 mm.

Ve všech 3 variantách byly ke zkouškám použity ochranné plyny typu M:

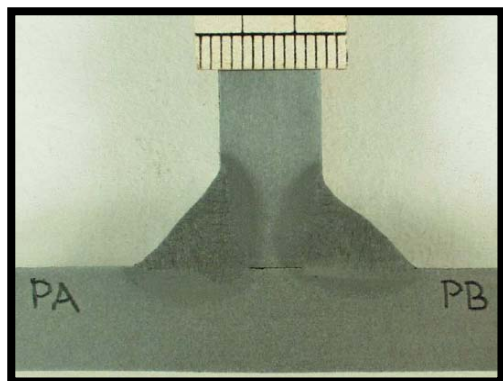
1. Arcal 24 - M24 - Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>
2. Cargal - M22 - Ar + O<sub>2</sub>
3. Arcal MAG - M21- Ar + CO<sub>2</sub>

Jako základní materiál byl použit plech z oceli S 235 JR G2 o tloušťce 10 mm a o rozměrech 150 x 600 mm stojina a 300 x 600 mm základna. Po svařování byly vzorky rozřezány na pásky k vyhodnocení tvaru a závaru svarových spojů. Vybrané reprezentativní vzorky byly poslány do akreditované laboratoře k vyhodnocení podle ČSN EN ISO 5817 a podle ČSN EN ISO 6520-1. Všechny vzorky odpovídají podle normy 5817 klasifikaci jakosti svarových spojů stupně B, tj. jsou použitelné pro únavově namáhané konstrukce. Hloubku a tvar závaru

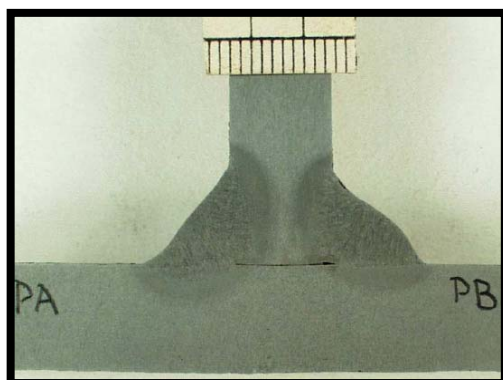
při použití různých ochranných plynů lze hodnotit přímo z makro-strukturních snímků, uvedených na obr. 3, 4, 5 (detailní parametry svařování jsou uvedeny u obrázků).



*Obr. 3. Makrostruktura koutového spoje svařeného s ochranným plynem Arcal 24, průtok 18 l/min, základní materiál S235JRG2, tl.10 mm, přídavný materiál G3Si1  $\phi$  1,2 mm,  $I = 230$  A,  $U = 24$  V,  $v_d = 9,5$  m/min,  $v_s = 23$  cm/min*



*Obr. 4. Makrostruktura koutového spoje svařeného s ochranným plynem Cargal, průtok 18 l/min, základní materiál S235JRG2, tl.10 mm, přídavný materiál G3Si1  $\phi$  1,2 mm,  $I = 230$  A,  $U = 24$  V,  $v_d = 9,5$  m/min,  $v_s = 23$  cm/min*



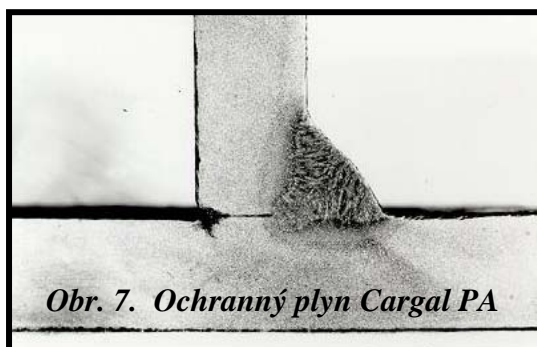
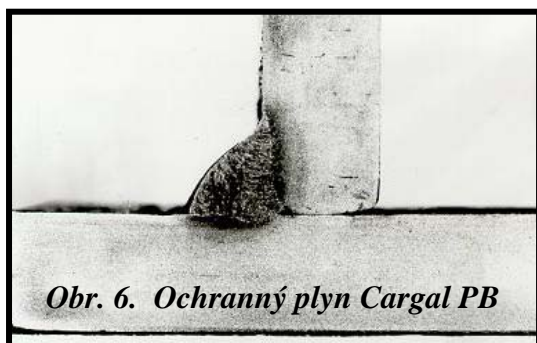
*Obr. 5. Makrostruktura koutového spoje svařeného s ochranným plynem Arcal MAG, průtok 18 l/min, základní materiál S235JRG2, tl.10 mm, přídavný materiál G3Si1  $\phi$  1,2 mm,  $I = 230$  A,  $U = 24$  V,  $v_d = 9,5$  m/min,  $v_s = 23$  cm/min*

Z podrobného rozboru makroleptů vyplynulo, že s přibývajícím obsahem argonu ve směsi plynů se zvyšuje teplota a je tím kratší doba styku roztaveného svarového kovu se základním materiálem, tj. dochází k minimalizaci natavení základního materiálu, což je příznivé z hlediska zmenšení teplotního ovlivnění přechodu do základního materiálu (TOO). Na druhé straně je nebezpečí vzniku studených svarových spojů. Obdobně je tomu u vlivu kyslíku, který rovněž intenzivně zvyšuje teplotu svarového kovu. V ochranné směsi bez přítomnosti  $\text{CO}_2$  může tato skutečnost negativně ovlivnit závar (závar velice úzký v kořeni,

viz. obr. 4). Ze snímků na obrázcích 3, 4 a 5 je patrné, že kompromisně lze situaci řešit použitím ochranného plynu Arcal 24, který zachovává požadovaný závar pro minimalizaci teplotního ovlivnění základního materiálu.

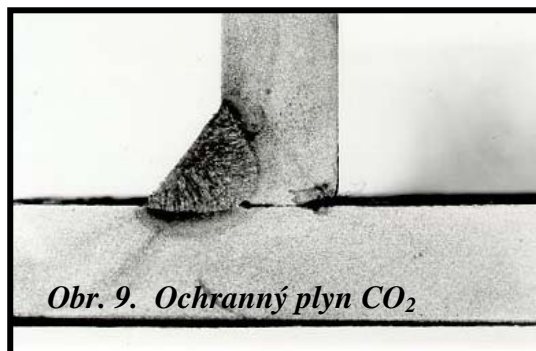
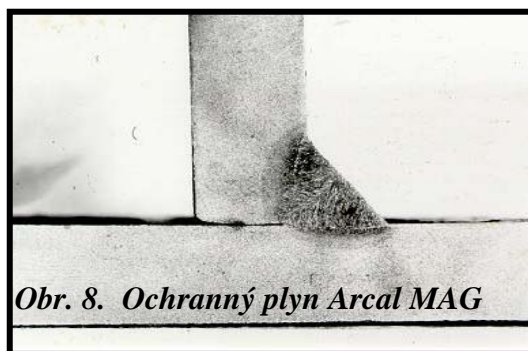
### Porovnání výsledků s podklady Air Liquide

V rámci studie byly dosažené výsledky v SDP-KOVO s.r.o. porovnány s výsledky uveřejněné společností AIR LIQUIDE CZ, s.r.o. Pro srovnání pořadí použitých plynů zůstalo zachováno.



Na obr. 6 je řez koutovým spojem svařeným na oceli 11373 (S235) o tloušťce 10mm svařeným drátem SG2 o průměru 1 mm, v ochranném plynu Cargal o průtoku 16 l/min v poloze PB s parametry: proud 290 A, napětí 28,5 V. Na obr. 7 je řez koutovým spojem svařeným za obdobných podmínek v ochranném plynu Cargal v poloze PA s odlišnými parametry: proud 220 A, napětí 23 V. V porovnání s obr. 6 je zřejmé, že při svařování se sníženými výkonovými parametry došlo k dokonalejšímu provaření kořene svarového spoje (obr. 7), což lze vysvětlit podle výsledků zkoušek snížením rychlosti svařování v důsledku menšího „přebíhání“ většího množství nataveného svarového kovu (obr. 6). Na obr. 8 je řez

koutovým spojem svařeným za stejných podmínek v ochranném plynu Arcal MAG s parametry: proud 210 A, napětí 29,3 V. Svarový spoj vykazuje velmi dobré provaření za značného natavení základního materiálu. Na obr. 9 je řez koutovým spojem svařeným v oxidu uhličitém ( $\text{CO}_2$ ) s parametry: proud 210 A, napětí 29,3 A. Provaření je v porovnání s předcházejícími případy menší, teplotní ovlivnění základního materiálu je nejvyšší.



Dále lze konstatovat, že kyslík ve směsi má výrazný metalurgický efekt, projevující se vyššími výkony odtavení což vede při svařování ke zvýšení rychlosti svařování za současného nižšího ovlivnění základního materiálu.

### **Povrchové vlastnosti svarové housenky**

Jako další experimentálně ověřované kritérium byly zvoleny povrchové vlastnosti svarové housenky. Porovnávány byly ochranné atmosféry M21 (Ar/CO<sub>2</sub>) a Arcal 24 - M 24 (Ar/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) v praktických výrobních podmínkách při ručním svařování. Jak již bylo výše uvedeno přítomnost malého množství kyslíku v ochranné směsi má pozitivní vliv. Díky vyšší teplotě svarové lázně, nižšímu povrchovému napětí roztavených oxidů a v důsledku toho vyšší tekutosti svarovému kovu dochází ke snazšímu přenosu roztaveného drátu (větší silový vliv gravitace při procesu oddělování kapičky), což má za následek snížení rozstříku. Dochází ke zúžení oblasti tzv. přechodového oblouku a možnosti aplikace sprchového přenosu již při nižších parametrech (viz. též níže). Vyšší tekutost lázně pak zajistí jemnější kresbu bez vrubů a plynulý přechod svarové housenky do základního materiálu. To je výhodné zejména u únavově namáhaných konstrukcí.



*Obr. 9. Ochranný plyn: Ar/CO<sub>2</sub> – M21  
Průtok: 13 l/min  
Svařovací proud: 260 – 320 A  
Napětí: 27 – 32 V*



*Obr. 10. Ochranný plyn: Ar/CO<sub>2</sub> – M21  
Průtok: 13 l/min  
Svařovací proud: 260 – 320 A  
Napětí: 27 – 32 V*



*Obr. 11. Ochranný plyn: Arcal 24  
Průtok: 13 l/min  
Svařovací proud: 260 – 320 A  
Napětí: 27 – 32 V*



*Obr. 12. Ochranný plyn: Arcal 24  
Průtok: 13 l/min  
Svařovací proud: 260 – 320 A  
Napětí: 27 – 32 V*

Konkrétní výsledky praktických výrobních zkoušek pulzního svařování materiálu S235 přidavným materiálem G3Si1 o průměru 1,2 mm jsou na obrázcích 9 – 12. I při použití pulzního procesu je patrný rozdíl v povrchových vlastnostech svarové housenky, kdy při svařování pomocí trojsložkové směsi Arcal 24 lze dosáhnout jemnější kresby a svarů prakticky bez rozstříku.

## **Závěr**

Studie pojednává o výsledcích zkoušek tvaru (morfologie) koutových svarových spojů v závislosti na ochranných plynech Arcal 24, Cargal a Arcal MAG s doplněním o oxid uhličitý. Výsledky studie potvrdily, že se stoupajícím obsahem argonu ve směsi plynů se zvyšuje teplota oblouku s tím, že se zkracuje doba styku roztaveného svarového kovu se základním materiálem (v důsledku vyšší rychlosti svařování), což je příznivé z hlediska zmenšení šířky tepelně ovlivněné oblasti svařovaného základního materiálu. Kyslík ve směsi s argonem se projevil výrazným metalurgickým efektem, projevujícím se vyššími výkony odtavení, což vede při svařování ke zvýšení rychlosti procesu svařování za současného nižšího ovlivnění základního materiálu. Bylo však rovněž prokázáno zvýšené riziko studených spojů při aplikaci ochranné atmosféry neobsahující CO<sub>2</sub>. Příčinou je nadměrná rychlost svařování v důsledku předbíhání nataveného svarového kovu (velmi tekutého), obzvláště při svařování v polohách. Ve studii bylo potvrzeno, že největší oxidace prvků (propal) je při svařování v čistém oxidu uhličitém, jmenovitě křemíku, manganu, dále prvků vysoce afinních ke kyslíku, jako je tomu u titanu, kdy propal může dosáhnout až 80 hmot. %. V Ar je propal velmi malý a záleží na způsobu svařování. S přibývajícím obsahem CO<sub>2</sub> a kyslíku se propal ve směsi s Ar logicky zvětšuje. Uvedené praktické zkoušky a rovněž výrobní praxe prokázaly pozitivní vliv malého množství kyslíku v ochranném plynu M24 na snižování rozstříku svarového kovu, zjemnění kresby svarové housenky a plynulost přechodu housenky do základního materiálu při současném zachování dostatečného závaru. Závěry studie potvrdily, že dosažení požadovaných mechanických hodnot svarového kovu, rozměrů a tvaru závaru a povrchových vlastností housenky lze s výhodou řešit směsí Arcal 24 - Ar/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, kdy zůstává zachována výhodnost účinku všech tří komponent. S použitím tohoto ochranného plynu lze svařovat nejnáročnější dynamicky a únavově namáhané konstrukce při spolehlivém dodržení jakosti svarových spojů ve shodě s ČSN EN 5817.

---

### *Použitá literatura:*

*Práce Prof. Ing. Václava Pilouse, DrSc. v daném oboru.*

*Podklady AIR LIQUIDE a práce Ing. M. Roubíčka, Ph.D. v daném oboru.*

*Ondrejček, P.: Zváranie ocelí v ochrane plynov, Bratislava 2003, ETERNA PRESS s.r.o., ISBN: 80-968359-5-5, 202s.*

*Hudec, Z: Práce uveřejněné v SDSM, ISSN-4044.*

*Roubíček, M.: Zváranie-Svařování 54, 9/2005 ISSN 0044-5525, s 244.*