



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NOVÉ ASPEKTY SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

NEW ASPECTS OF MIG/MAG WELDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Minich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Marek Minich
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2015/16

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 bakalářské práce:

Nové aspekty svařování metodou MIG/MAG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V oblasti svařování metodou MIG/MAG je celá řada výrazných inovací vedoucích k rozšíření možných aplikací v praxi. Mezi nejnovější techniky patří nová modifikace metody MIG/MAG s označením CMT Advanced, která zasahuje do stále širších netradičních oblastí svařovaných konstrukcí. V bakalářské práci je proveden rozbor charakteristiky metody a vlastností svarů.

Cíle bakalářské práce:

1. Popsat novou metodu svařování v ochranných plynech metodou CMT Advanced
2. Definovat nové možnosti technologie svařování a navrhnout jejich praktické využití.
3. Provést rozbor svarového spoje.
4. Vypracovat technologický postup svařování WPS pro vybraný typ svařence.

Seznam literatury:

Ondrejček, P. (2003): Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava.

Pilous, V. (2009): Materiály a jejich chování při svařování. Škola-welding, s.r.o. Plzeň.

Kolektiv autorů. (2011): Materiály a jejich svařitelnost. Škola-welding, s.r.o. Plzeň..

Kolektiv autorů. (2011): Technologie svařování a zařízení. Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení. Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

MINICH Marek: Nové aspekty svařování metodou MIG/MAG.

Bakalářská práce pojednává o svařování metodou MIG/MAG a metodami z ní vycházející. Těmito metodami jsou CMT a CMT Advanced, které jsou v současné době nadále zdokonalovány. Jsou zde popsány jejich principy, výhody, využití a přístroje, které svařování pomocí nich umožňují. V práci je řešena problematika spoje oceli s hliníkem, která nadále není, právě díky metodě CMT, ve svařování překážkou. To je obrovským přínosem zejména pro automobilový a letecký průmysl, pro něž je pevné a rychle spojení oceli s hliníkem velmi žádanou záležitostí. Dále jsou popisovány a rozebírány svary tenkých plechů a je také uvedena široká škála praktických využití těchto svařovacích metod.

Klíčová slova: MIG/MAG, CMT, svařování, ochranný plyn, polarita, vnesené teplo

ABSTRACT

MINICH Marek: New aspects of MIG/MAG welding.

The thesis discusses the welding method MIG/MAG and the methods based on it. These methods are CMT and CMT Advanced which are currently still being improved. In the work are described their principles, benefits, uses and devices that allow welding by those methods. The thesis deals with the issue of a joint of steel and aluminum which is no longer an obstacle in welding due to CMT. This is a huge benefit especially for the automotive and aerospace industries, for which the solid and fast connection between steel and aluminum is a very desired matter. Further, there are welds of thin sheets described and discussed and also a list of wide range of practical uses for these welding methods.

Keywords: MIG/MAG, CMT, welding, protective gas, polarity, heat input

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MINICH, Marek. *Nové aspekty svařování metodou MIG/MAG*. Brno, 2016. 37s, 1 příloha, CD. Bakalářská 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 bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 27.5.2016

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	8
1 PROBLEMATIKA MODERNÍHO SVAŘOVÁNÍ	9
1.1 Spoj ocel-hliník	9
2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	11
2.1 Svařování metodou MIG/MAG	11
2.1.1 Princip svařování metodou MIG/MAG.....	12
2.1.2 Ochranné plyny.....	12
2.1.3 Elektrický oblouk.....	14
2.1.4 Svařovací zařízení pro metodu MIG/MAG.....	15
2.2 Svařování metodou CMT	16
2.2.1 Princip svařování metodou CMT.....	17
2.2.2 Zařízení pro CMT svařování.....	18
2.2.3 Aplikace a výhody.....	19
2.3 Metoda CMT Advanced	20
2.3.1 Princip metody CMT Advanced.....	21
2.3.2 Výhody metody CMT Advanced.....	21
3 ROZBOR A POROVNÁNÍ SVAROVÝCH SPOJŮ	22
3.1 Rozbor svarových spojů hliníkových plechů	22
3.2 Porovnání svarů vzniklých svařováním metodou MIG/MAG a CMT	28
3.3 Porovnání svarů vzniklých svařováním metodou CMT a CMT Advanced	29
4 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ METODY CMT ADVANCED	31
4.1 Spojování velmi tenkých plechů a přemostění spár	31
4.2 Spojování hliníku s ocelí	33
4.3 Spojování kovů s nekovovými materiály pomocí pinů	34
5 ZÁVĚRY	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

ÚVOD [4,10,13,15,16]

Svařování je nezbytnou součástí mnoha moderních konstrukčních procesů. Zejména v dynamicky se vyvíjejícím automobilovém a leteckém průmyslu je potřeba technologií, které zvládají rychle rostoucí požadavky na spojování materiálů. Svařování tenkých plechů nebo spoje lehkých materiálů jsou klíčové pro tento průmysl, neboť umožňují snížení hmotnosti konstrukcí a tím úsporu pohonných hmot a snížení míry znečišťování životního prostředí.



Dříve neuskutečnitelné procesy spojování materiálů pomocí tepla, jako například pevný spoj oceli s hliníkem, jsou díky vývoji metod CMT a CMT Advanced minulostí. Popisem těchto nových metod, které otevřeli bránu dříve nemožnému, se zabývá tato bakalářská práce.

Obr. 1 Ukázka svařování [15]



Obr. 2 Využití svařování [13]

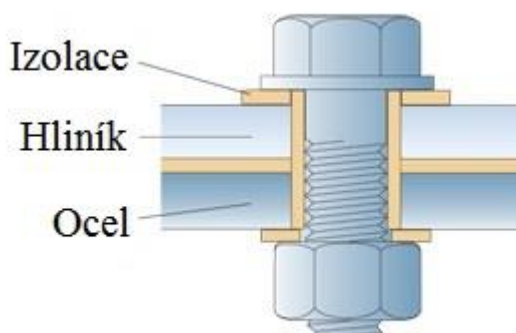
1 PROBLEMATIKA MODERNÍHO SVAŘOVÁNÍ [3,5,6,14]

Tavné, plamenové, odporové, tlakové nebo třecí svařování stejně jako modernější elektronové, plazmové nebo laserové mají samozřejmě své výhody, nevýhody a možnosti uplatnění. Všechny tyto svařovací postupy se ale potýkají s menšími či většími problémy co se týče svařování velmi tenkých plechů a dostatečně pevného spoje hliníkového a ocelového plechu není schopna žádná z nich. I obloukové svařování se v tomto bodě zpočátku potýkalo s nejedním problémem způsobeným značnou odlišností těchto dvou materiálů.

1.1 Spoj ocel-hliník [3,5,6,14]

Ocel s hliníkem byly dlouho považovány za nespojitelné pomocí tepla. Hlavním důvodem jsou velmi rozdílné tavné teploty, kdy pro ocel potřebujeme asi 1539°C , zatímco hliník je taven už při 660°C . Spojování se tedy provádělo zejména mechanicky např. pomocí šroubů a matic. I toto mechanické spojení však muselo být, kvůli galvanické korozi, opatřeno izolační vrstvou, jak lze vidět na obr. 3.

Problémem je také vznik intermetalické fáze, způsobený omezenou vzájemnou rozpustností železa a uhlíku. Intermetalická fáze je formována v procesu difuze a je charakteristická vysokou tvrdostí a extrémně nízkou houževnatostí vzniklého



Obr. 3 Mechanický spoj oceli a hliníku [14]

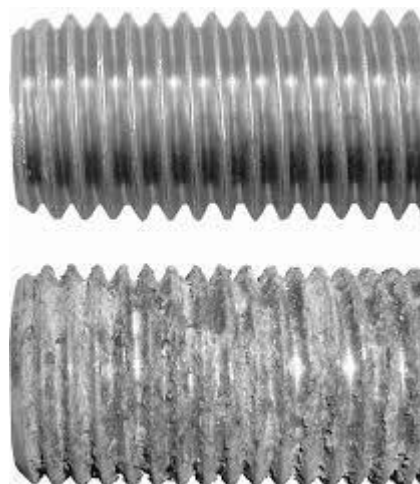
spoje. Například Fe_2Al_5 , dle zkoušky tvrdosti podle Vickerse, dosahuje hodnoty kolem 1050 HV a FeAl_3 kolem 900 HV. Z těchto důvodů je potřeba minimalizovat vznik intermetalické fáze a její vrstva by, pro vytvoření pevného spoje, neměla překročit tloušťku $10\mu\text{m}$.

Dalším problémem je rozdílná tepelná roztažnost obou materiálů. Roztažnost oceli, která činí kolem $1,2\text{mm}$ na 100°C je téměř poloviční oproti roztažnosti hliníku, která je $2,34\text{mm}$ na 100°C .

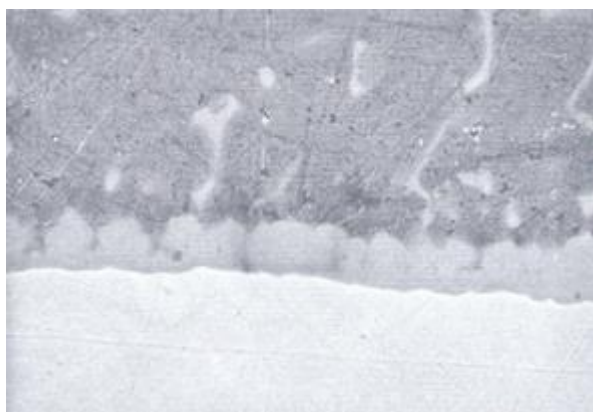
Dále se toto spojení potýká s problémem rozdílných elektrochemických potenciálů materiálu, které činí $1,22\text{V}$ pro ocel a $0,9\text{V}$ pro hliník. Tyto rozdíly způsobují velkou náchylnost vzniklého spoje ke korozi.

Pro možnost spojení hliníku s ocelí svařováním byly metalurgy a svářecími experty stanoveny následující podmínky.

- Používaný svářecí proces musí do svaru vnášet co nejmenší možné množství tepla, protože rozdílná roztažnost materiálů by při velkých teplotách vyvolala vznik příliš vysokého napětí.
- Povrch oceli musí být v místě svaru pokryt zinkovou vrstvou. Pozinkovaná ocel má totiž na povrchu podobný elektrochemický potenciál, jako hliník a vzniklý spoj tedy nebude tak náchylný ke korozi. Rozdíl odolnosti vůči korozi pozinkované a nepozinkované oceli lze vidět na obr. 4.
- Tloušťka vrstvy intermetalické fáze musí být minimální, aby nedošlo k nežádoucím pevnostním charakteristikám výsledného spoje.



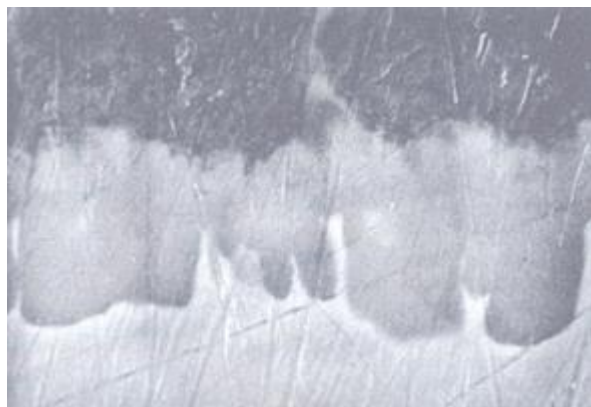
Obr. 4 Pozinkovaný a nepozinkovaný závit šroubu vystavený korozi [5]



Obr. 5 Uzavřená intermetalická fáze [6]

Obr. 6 znázorňuje zubovitou strukturu intermetalické fáze. Hliník plynule prorůstá do ocelového materiálu a celá intermetalická fáze má tloušťku 6 μm . Jelikož je tvořena hlavně z Fe_2Al_5 , je tvrdší a křehčí. Spolu s větší tloušťkou bude ve výsledném spoji vykazovat horší mechanické vlastnosti než fáze uzavřená.

Na obr. 5 lze vidět uzavřený tvar intermetalické fáze nacházející se na rozhraní hliníku (světlá část dole) a oceli (šedá část nahoře). Intermetalická fáze má v tomto spoji tloušťku 1,6 μm a je tvořena především FeAl_3 .



Obr. 6 Zubovitá intermetalická fáze [6]

2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ [2,3,4,7,9,10,11,12,16,17]

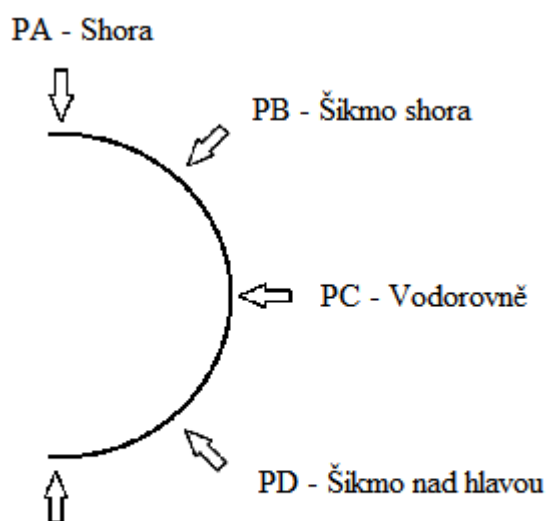
Metoda CMT Advanced, jejíž objasnění je hlavním předmětem této kapitoly, přímo vychází z technologií obloukového svařování MIG/MAG a sdílí mnohé jejich principy. Z tohoto důvodu se práce nejdříve zabývá vysvětlením právě metodiky svařování MIG/MAG.

2.1 Svařování metodou MIG/MAG [7,9,11,12,16]

Metoda svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu (obr. 7), anglicky Metal Active Gas, odtud MAG, je jednou z nejrozšířenějších metod svařování ocelí s malým nebo žádným množstvím přídavných prvků - legur. Zatímco svařování v ochranné atmosféře inertního plynu, Metal Inert Gas - MIG, sloužící zejména pro hliník a jeho slitiny, získává popularitu zejména díky rostoucímu objemu konstrukcí, zhotovených právě z těchto materiálů. Důvodem rozšíření těchto metod je především široká škála používaných přídavných materiálů a plynů, tvořících ochrannou atmosféru, dále i široký výběr vyráběných svařovacích zařízení, snadná možnost mechanizace a robotizace a další výhody, plynoucí ze samotné technologie svařování.



Obr. 7 Ukázka svařování metodou MIG [12]



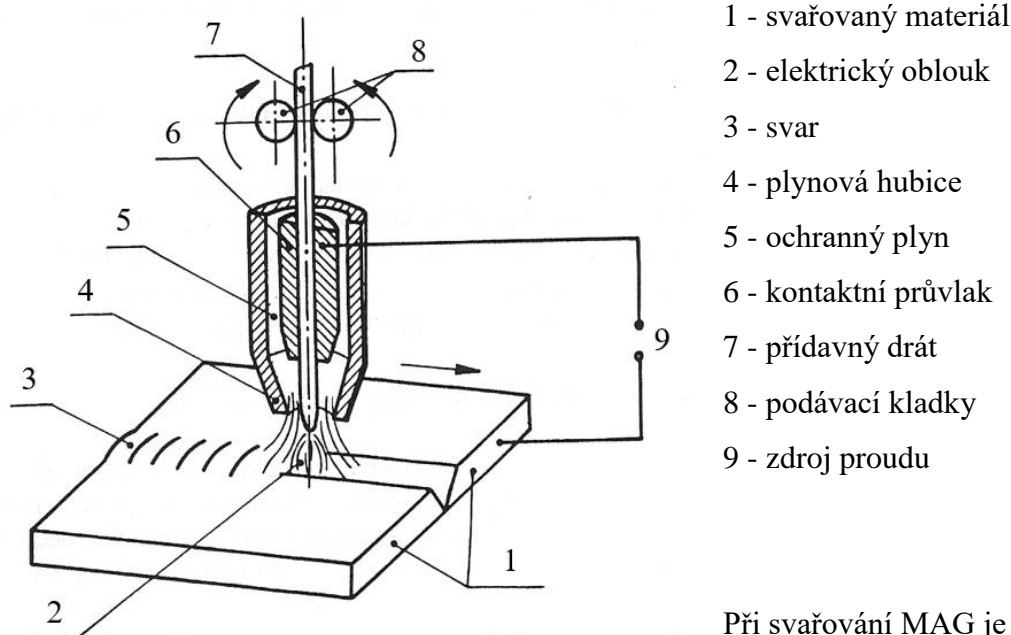
Obr. 8 Polohy pro svařování podle ISO 6947

Specifickou výhodou technologie je stabilní plynová ochrana, která, v závislosti na druhu použitého plynu, umožňuje ovlivnění mechanických vlastností daného svaru. Možnost svařování ve všech polohách, znázorněná na obr. 8, nabízí širokou použitelnost této metody. Mezi další výhody patří malá tvorba strusky a velmi malý rozstřík roztaveného kovu elektrody, zajišťující výborný profil svaru. Vysoká efektivita a eliminace nedopalků je dosažena používáním tzv. nekonečného drátu. Výhodou je i snadná iniciace oblouku bez

kontaktu svařence a svařovacího drátu a malá tepelně ovlivněná oblast, především při větších rychlostech svařování. Široký rozsah použitelných proudů pro jediný průměr svařovacího drátu umocňuje univerzálnost této metody.

2.1.1 Princip svařování metodou MIG / MAG [7,11,16]

Technologie svařování spočívá v oblouku, který hoří mezi elektrodou, tvořenou tavicím se drátem, a základním materiálem (obr. 9), nacházejícím se v ochranné atmosféře buď aktivního, nebo inertního plynu.



Obr. 9 Schéma svařování MIG/MAG [7]

- 1 - svařovaný materiál
- 2 - elektrický oblouk
- 3 - svar
- 4 - plynová hubice
- 5 - ochranný plyn
- 6 - kontaktní průvlak
- 7 - přídatný drát
- 8 - podávací kladky
- 9 - zdroj proudu

Při svařování MAG je teplota kapek 1700 až 2500°C, přičemž

teplota tavné lázně, která je závislá na složení a vlastnostech materiálu, použité technologii a parametrech svařování, se pohybuje mezi 1600 až 2100°C. Vysoké proudy umožňují maximální rychlost svařování 150 cm.min⁻¹ a rychlost v oblouku přenášených kapek nad 130 m.s⁻¹. Při svařování MAG je proudová hustota až 600 A.mm⁻², tedy největší, co se obloukových metod týče a svařovací proudy dosahují až k hodnotám 800 A u mechanizovaných vysokovýkonných metod.

2.1.2 Ochranné plyny [7,11,16]

Hlavní funkcí ochranných plynů je zabránit vzduchu v přístupu do svarové oblasti. Kyslík, který je ve vzduchu obsažen, způsobuje vedle nežádoucí oxidace i pórovitost a propal. Ochranné plyny také značně ovlivňují přenos tepelné energie do svaru, hloubku závaru, chování tavné lázně, tvar a rozměry oblouku, ale ovlivňují i rychlost svařování a další parametry.

Výběr ochranného plynu je ovlivněn technickými a ekonomickými ukazateli. Zatímco v minulosti převládalo používání CO₂ pro jeho ekonomickou nenáročnost, dnes se rychle šíří směsi argonu s kyslíkem nebo oxidem uhličitým. Plyny pro vytváření ochranné atmosféry se dělí na plyny jedno nebo vícesložkové a podle jejich charakteru vykazují oxidační, redukční, inertní nebo nereagující chemické ovlivnění svarové lázně. Běžně používané ochranné plyny rozdělené podle účinků na svarový kov, jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Chemické ovlivnění ochranných plynů [7]

ČSN EN 439 (Výňatek z tabulky 2)									
Označení		Prvky v procentuálním objemu						Použití	Poznámka
Sk.	Id . čí slo	Oxidační		Inertní		Red.	Nere- agující		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			zbytek		0 až 15		WIG, PAW	Redukční
	2			zbytek		0 až 35			
I	1			100				MIG WIG PAW	Inertní
	2				100				
	3			zbytek	0 až 96				
M 1	1	0 až 5		zbytek	0 až 5			MAG	Mírně oxidační
	2	0 až 5		zbytek					
	3		0 až 3	zbytek					
	4	0 až 5	0 až 3	zbytek					
M 2	1	0 až 25		zbytek				MAG	↓ ↓ ↓
	2		3 až 10	zbytek					
	3	0 až 5	3 až 10	zbytek					
	4	0 až 25	0 až 8	zbytek					
M 3	1	25 až 50		zbytek				MAG	↓
	2		10 až 15	zbytek					
	3	5 až 50	8 až 15	zbytek					
C	1	100						PAC	Silně oxidační
	2	zbytek	0 až 30						
F	1						100	OK	Nereagující Redukční
	2					0 až 50	zbytek		

- Inertní plyny

Inertní plyny argon a helium se svarovou lázní nereagují a tvoří tak minimální propal ve svarovém kovu. Tyto plyny nemají vliv na chemické složení výsledného svaru. Inertní a nereagující plyny jsou často používány pro svařování metodou WIG a to pro všechny svařitelné materiály a také pro metodu MIG. U metody MIG se v tomto případě jedná zejména o svařování slitin hliníku, mědi a niklu.

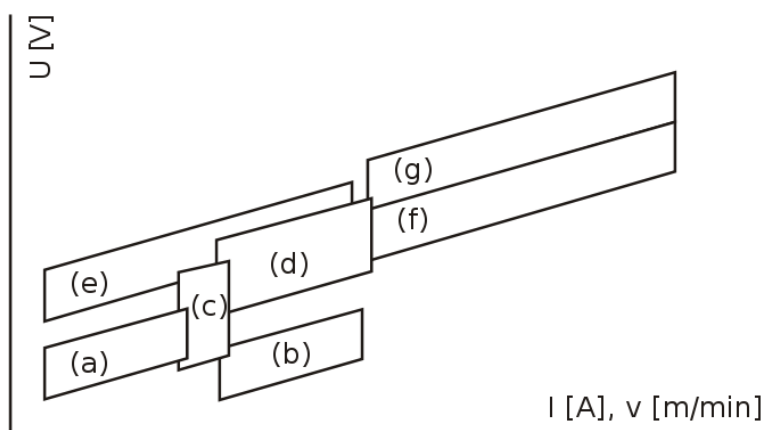
- Aktivní plyny

Plyny skupin M1, M2, M3 a C se nazývají aktivní, protože v menší či větší míře ovlivňují výsledné chemické složení svarového kovu. Propal prvků, zejména pak C, Mn a Si, je při použití aktivních plynů v porovnání s použitím inertních plynů vyšší. Indexy 1 – 4 v těchto skupinách udávají oxidační účinek daného plynu a jeho nauhličující charakter. Plyny skupiny M1 s indexem 1 až 2 mají nejmenší oxidační účinek a nevykazují nauhličující charakter, proto se používají nejčastěji pro svařování legovaných austenitických ocelí. Zvýšený oxidační účinek ze skupiny M1 mají plyny s indexem 3 a 4 a používají se pro svařování feritických ocelí. Skupinu M2 tvoří nepoužívanější plyny v rámci svařování metodou MAG. Jsou to plyny s menším oxidačním a nauhličujícím účinkem, vhodné pro svařování uhlíkových a nízkolegovaných ocelí.

2.1.3 Elektrický oblouk [7,11,16]

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou a závisí především na svařovacích parametrech tj. proudu a napětí. Významně však jeho charakter ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování.

Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit na jednotlivé typy, které jsou znázorněny na obr. 10.



Obr. 10 Oblasti přenosu kovu v oblouku

a) zkratový přenos – dochází k přerušování oblouku zkratem, přičemž se odděluje část kovu elektrody.

b) zrychlený zkratový přenos – vysoká frekvence zkratů dovoluje vznik pouze malých kapek

c) přechodový přenos – Moc se nepoužívá z důvodu vel-

kých rozstříků a mimoosého vyvrstvení kapek, způsobujících hrubé svarové housenky.

d) sprchový přenos – oblouk nezhasíná, proto se do základního materiálu přenáší velké množství tepla – velká hloubka závaru

e) impulsní přenos – nastavování různých hodnot frekvence a proudu ovlivňuje velikost vzniklých kapek

f) zrychlený sprchový přenos - kapky jsou vysokou rychlostí urychlovány do tavné lázně, která je plazmou oblouku i dopadem kapek tvarována do hlubokého a úzkého závaru.

g) rotující přenos - umožňuje velmi dobrý závar do boků svarové plochy a vytváří se hluboký a široký svar s výrazně miskovitým profilem.

2.1.4 Svařovací zařízení pro metodu MIG/MAG [7,9,11]

Zařízení pro svařování metodou MIG/MAG je v dnešní době vyráběno v široké škále zahrnující dané potřeby výroby. Výrobní zařízení mohou být monofunkční – pouze pro jednu danou metodu, nebo multifunkční – vedle svařování metodou MIG/MAG umožňují i svařování WIG nebo ruční svařování obalenou elektrodou. Každé zařízení umožňující svařování metodou MIG/MAG musí obsahovat následující komponenty:

- ❖ zdroj svařovacího proudu s řídicí jednotkou,
- ❖ podavač elektrody ve formě drátu,
- ❖ svařovací hořák,
- ❖ kabel hořáku,
- ❖ uzemňovací kabel se svorkou,
- ❖ zásobník na ochranný plyn

Další technické doplňky, jako je chladicí jednotka, mezipodavač, dálkové ovládání nebo nosné rameno, jsou součástí výbavy výkonnějších a složitějších zařízení, určených pro náročnější výrobu. Na obr. 11 lze vidět klasické základní svařovací zařízení.



Obr. 11 Svařovací souprava pro metodu MIG/MAG [9]

2.2 Svařování metodou CMT [2,3,4,6,10,16,17]

Tato moderní svařecí metoda uspokojuje rostoucí požadavky spojování kovů. Hlavními přednostmi jsou stabilita procesu, přesnost a nákladová efektivita. Spojování materiálů se specifickými vlastnostmi otevírá mnoho zajímavých možností. Materiálové vlastnosti obou spojovaných kovů propůjčují výslednému spoji specifické charakteristiky. Dříve se dalo podobných výsledků dosáhnout pouze lepením nebo mechanickým spojením. Technologie je zajímavá především v tom, že využívá teplo ke spojení dvou různých materiálů s různými vlastnostmi a různou teplotou tavení. Hlavní zaměření této metody je spojování oceli s hliníkem, což je velmi žádaná kombinace zejména v automobilovém průmyslu, kde tato technologie otevírá spoustu nových, dříve nedosažitelných možností.

Spojování nestejných složek vyžaduje hlubokou znalost obou materiálů, které se na výsledném spoji podílí. Hliník je vyžadován zejména kvůli jeho specifické, nízké hmotnosti a výborné použitelnosti v široké škále součástí. Na druhé straně je ocel, která je svojí pevností a nízkou cenou nenahraditelnou v mnoha odvětvích průmyslu. Mezi další často vyžadované vlastnosti patří korozivzdornost nebo tepelná roztažnost.

Při spojování oceli a hliníku za pomoci tepla, vzniká na rozhraní těchto dvou kovů tzv. intermetalická fáze. Čím víc tepla je přidáno, tím je intermetalická fáze rozlehlejší a mechanické vlastnosti spoje jsou horší. Chemické a fyzikální vlastnosti mají také nezanedbatelný vliv na výsledný spoj. Rozdílná tepelná roztažnost dvou materiálů, způsobuje ve spoji vznik napětí. Vzniká také tendence spoje korodovat, což je způsobeno velkým rozdílem mezi elektrochemickým potenciálem oceli a elektrochemickým potenciálem hliníku.

Všechny technologie, které se používaly ke spojování oceli a hliníku dříve, nebyly schopny se s těmito rozdíly vyrovnat nebo vyžadovaly mnoho úprav a procesních zásahů. Mezi mnoha metalurgy tak vznikla domněnka, že ocel s hliníkem nelze za pomoci svařování efektivně spojit. Rozsáhlý výzkum na poli MIG/MAG svařování ovšem naznačil, že spojení těchto dvou materiálů za pomoci elektrického oblouku je nepochybně možnou cestou.

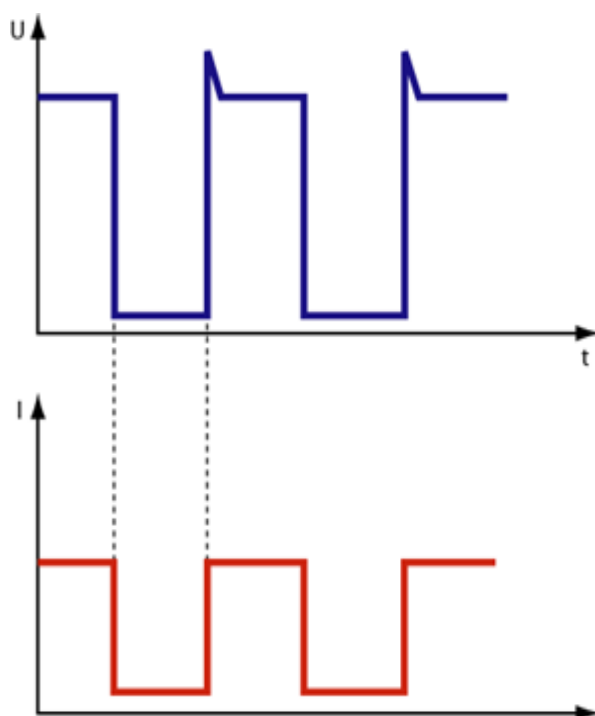
Proces CMT svařování se vyvinul z nepřetržité adaptace MIG/MAG procesu pro vyrovnání se s problémy, které s sebou spojování hliníku s ocelí nese. CMT je zkratkou pro anglické – Cold Metal Transfer, tedy přenos chladného kovu. Počátky této metody se datují do roku 1991. Vznikla v rakouské firmě Fronius jako výsledek vývoje technologií MIG/MAG, speciálně uzpůsobovaných pro spojování oceli s hliníkem. V roce 2002 již bylo známo mnoho výhod a možností této nové metody a CMT se začalo vyvíjet pro sériovou výrobu. V tabulce 2 je znázorněna historie vývoje svařování v ochranných plynech.

Tabulka 2 Historie vývoje MIG/MAG

1948	Počátky metody MIG
80. léta	Dominance MIG/MAG v obloukových metodách
1991	Počátky vývoje metody CMT
2002	Sériová výroba pomocí CMT
2010	Počátky metody CMT Advanced

2.2.1 Princip svařování metodou CMT [2,3,4,10,17]

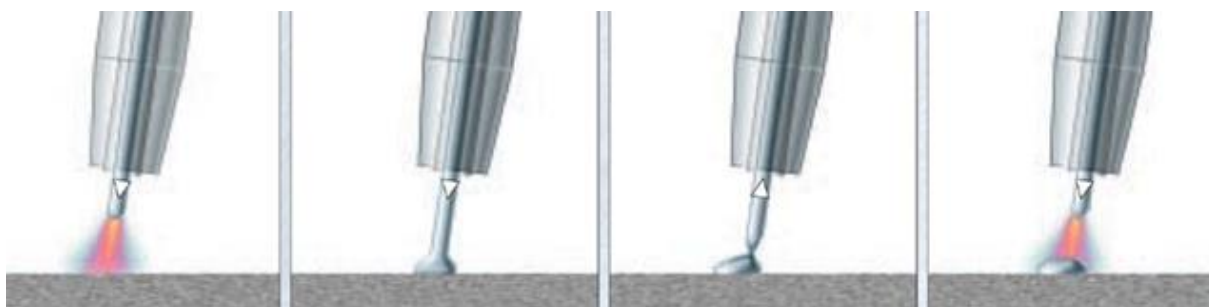
Jedná se o přesně kontrolovaný proces umožňující přenos materiálu při téměř nulovém toku elektrického proudu, viz obr. 12. Hliníková část spoje se svařuje, zatímco ocelová část je



Obr. 12 Přenos materiálu při téměř nulových proudových hodnotách [10]

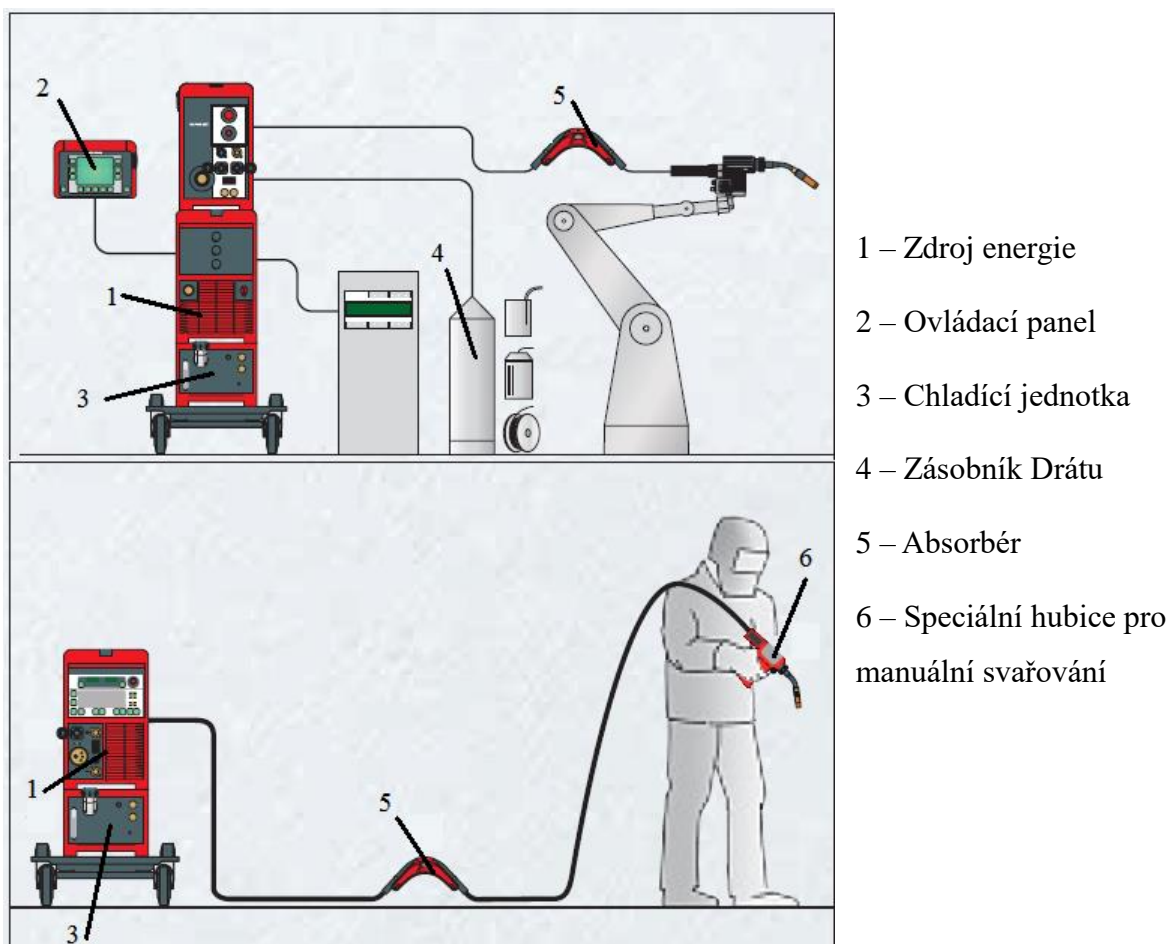
pájena. Přídavný drát je neustále odtahován zpět ve velmi krátkých intervalech, viz obr. 14. Zatažení drátu probíhá až 70 krát za sekundu. Přesně definovaný odtah drátu způsobí kontrolované oddělení kapky, což vytváří čistý a bezrozstříkový přechod materiálu.

V momentě, kdy zdroj elektrické energie detekuje zkrat, svařovací proud klesne a přídavný drát je vtahován zpět do hubice. Díky tomuto systému se oddělí přesně jedna kapka a to velmi čistě a bez rozstříku. Poté se přídavný drát pohne opět směrem dopředu a cyklus se opakuje, jak lze vidět na obr. 13.



Obr. 13 Dynamický pohyb drátu při svařování metodou CMT [2,17]

Zařízení může operovat buď zcela automaticky, v tomto případě je hubice ovládána robotem, nebo je možné svařovat i manuálně. Obě tyto varianty jsou k vidění na obr. 16.



Obr. 16 Automatické zařízení (nahore) a zařízení pro manuální svařování (dole) pomocí metody CMT. [2]

2.2.3 Aplikace a výhody [2,3,16]

Velkou předností svařování pomocí metody CMT je fakt, že dokáže efektivně spojit ocel a hliník. I když na straně oceli se jedná pouze o pájení, protože proces probíhá při relativně nízkých teplotách a ocel se nenataví, četné pokusy ukázaly, že zlom v případě velké zátěže nastává na straně hliníkového základního materiálu, nikoli v místě svaru.

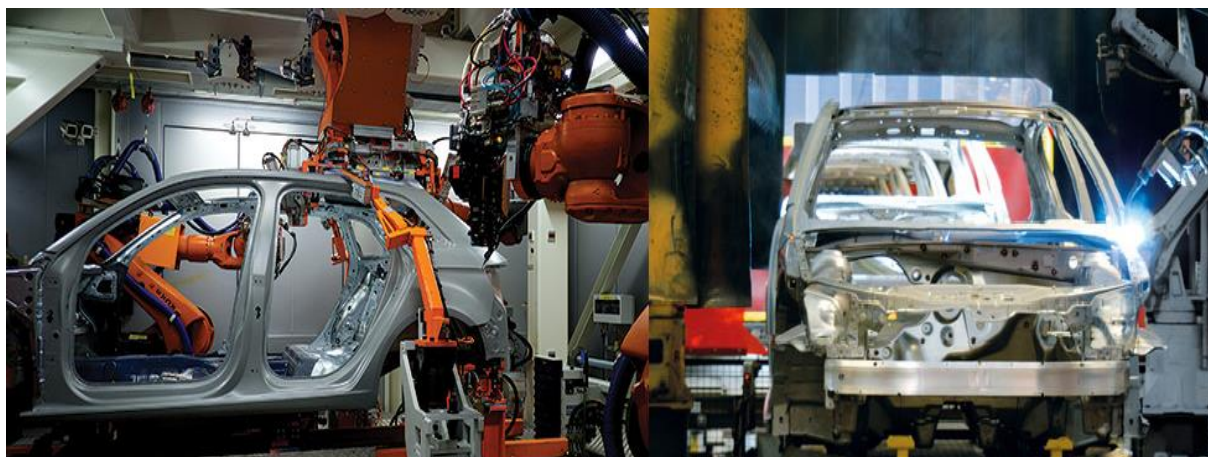
Výhoda této metody, taktéž nazývaná „cold bonding“ neboli chladné pájení, spočívá ve využívání mnohem menších teplot, než při konvenčním svařování a nedochází tedy ke vzniku tak velkých deformací.

Spoj hliníku s ocelí je velmi atraktivním z hlediska výroby lehkých a pevných konstrukcí, kdy pevná ocel je použita v nejvíce namáhaných místech a hliník je umístěn do méně zatížených oblastí. Tohoto je využíváno hlavně v automobilovém průmyslu, ale také při konstrukcích střech továren nebo při výstavbě větrných elektráren. V automobilovém průmyslu

hraje lehkost konstrukce velmi významnou roli. Pokud je vyžadováno snížení emisí oxidu uhličitého do ovzduší, pak je snížení hmotnosti efektivní cestou. Pokles hmotnosti o 100kg způsobí v automobilu úsporu až 0,3 l paliva na 100km což je v přepočtu zhruba 700g CO₂ na 100km. Na obr. 17 je k vidění použití svařovací metody CMT na karoseriích automobilů a to hlavně v místech, kde je potřeba spojit nesterjnorodé materiály. Redukce hmotnosti konstrukcí je také primárním cílem při vývoji elektromobilů, které budou pravděpodobně v budoucnosti hrát významnou roli.

Další možnou aplikací této metody je i svařování žárově pozinkovaných a elektrolyticky pozinkovaných tabulí pomocí přídavného drátu tvořeného slitinou mědi a křemíku. Pájení hliníkových fólií je také možno touto metodou realizovat. Díky malému přenosu tepla při CMT procesu není potřeba svarové lázně a také nevzniká riziko propalu. Ani svařování nerezových ocelí a hořčíku nedělá této metodě problém a při správně nastavených parametrech a příslušném zařízení nemá problém ani se sofistikovanějšími spoji.

V budoucnu jsou i další možnosti aplikace metody CMT předpokládány a metoda samotná se neustále vyvíjí.



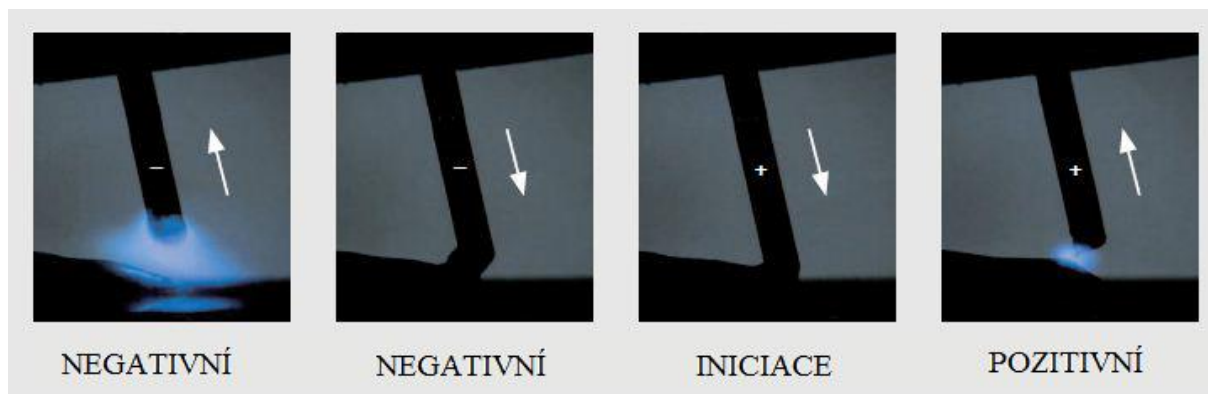
Obr. 17 CMT při svařování automobilových karoserií [16]

2.3 Metoda CMT Advanced [2,3,4,10,17]

CMT Advanced je pokročilejší metoda svařování, vyvinutá z technologie CMT. Jedná se o poměrně novou metodu vyvíjenou od roku 2010. Oproti svému předchůdci se v případě této technologie pracuje s polaritou svařovacího proudu, což má za následek ještě větší kontrolu nad teplem vneseným do svaru a stoupá tím stabilita celého procesu. Tento postup umožňuje další využití a přináší nové výhody a možnosti.

2.3.1 Princip metody CMT Advanced [2,3,10]

Základní princip, na němž metoda CMT Advanced pracuje, je stejný jako u metody CMT. U této nové metody se ovšem ještě navíc pracuje se změnou polarit. Polarita se mění vždy ve fázi zkratu. Od konce jednoho zkratu, přes odtažení drátu, kdy je elektrický oblouk nejdelší, až po začátek dalšího zkratu, je polarita jednotná, buď kladná, nebo záporná a v dalším cyklu se mění, viz obr. 18. Změnou polarit se dosahuje větší kontroly nad vneseným teplem a celá metoda je tedy ještě „chladnější“ než její předchůdkyně CMT z čehož plynou další výhody a možnosti použití.



Obr. 18 Změna polarit při svařování metodou CMT Advanced [2]

2.3.2 Výhody metody CMT Advanced [2,4,17]

Díky kontrole nad polaritou a dynamice posuvu drátu je možné větší a rychlejší odtažení drátu s čímž je spojena rychlost svařování, která může být až 10x větší a to při zachování kvality svaru a vynikajícího vzhledu.

Dokonalá regulace celého procesu odtahováním drátu, změnou proudu a polarit, způsobuje nižší promísení základního a přídavného materiálu, což šetří náklady při navařování a způsobuje téměř nulový rozstřík, který se také podílí na výsledném vzhledu svaru.

Nižší hodnota vneseného tepla způsobuje nižší deformace a díky tomu odpadají některé přípravné a dokončovací práce.

Další značnou výhodou je přemostitelnost spár viz obrázek 19, schopnost vytvářet ještě vyšší svary a svařovat i při poměrně velkých mezerách. Dvojnásobně rychlý zapalovací proces dále zvyšuje rychlost a efektivitu celé metody.

3 ROZBOR A POROVNÁNÍ SVAROVÝCH SPOJŮ [6,8,10,17]

Následující kapitola se zabývá rozbořem svarových spojů hliníkových plechů různých tloušťek a porovnání svařovacích metod na základě analýzy vyhotovených svarů.

3.1 Rozbor svarových spojů hliníkových plechů [8,10,17]

Byly vyhotoveny 3 svarové spoje tenkých hliníkových plechů pomocí metody CMT Advanced. Tyto spoje byly rozřezány a analyzovány pomocí mikroskopu. Různé tloušťky plechů a různé svařovací parametry přinesly rozdílné tvary a kvality výsledných svarů. Všechny svarové spoje byly zhotoveny ve firmě FRONIUS v Rakousku robotickým způsobem pomocí robota Kuka KR5arc HW, viz obr. 19. Ochranná atmosféra při svařování všech tří vzorků byla zajištěna pomocí inertního plynu argonu.

Všechny plechy jsou z materiálu AlMg3 příslušné tloušťky. Jedná se o hliníkovou slitinu s přídavkem hořčíku, který ve slitině zlepšuje pevnost a odolnost proti korozi. Podle EN 573 1-3 jde o nevytvrditelnou slitinu ze série 5000 a řadí se do skupiny 23 podskupiny 2 z hlediska zařazení hliníkových materiálů pro účely svařování podle ČSN EN ISO 15608. Série 5000 se vyznačuje dobrou odolností proti korozi v mořském prostředí. Svařitelnost slitin AlMg je podmíněna používáním jiných obalených elektrod, než jsou elektrody typu Al-Mg a to z důvodu intenzivního vypalování hořčíku při obsahu nad 3%. Toto vypalování způsobuje při svařování snížení stability hoření oblouku a má také nepříznivý vliv na hygienu práce. Přidáním křemíku do této hliníkové slitiny se otevírá cesta pro vytvrzení, avšak zároveň se poměrně značně snižuje svařitelnost. Slitina AlMg3 se běžně používá v architektuře, na dekorativní rámy, kryogenní účely a díky korozivzdornosti na plechovky na nápoje a v lodním stavitelství.



Obr. 19 Robot Kuka KR5arc HW [8]

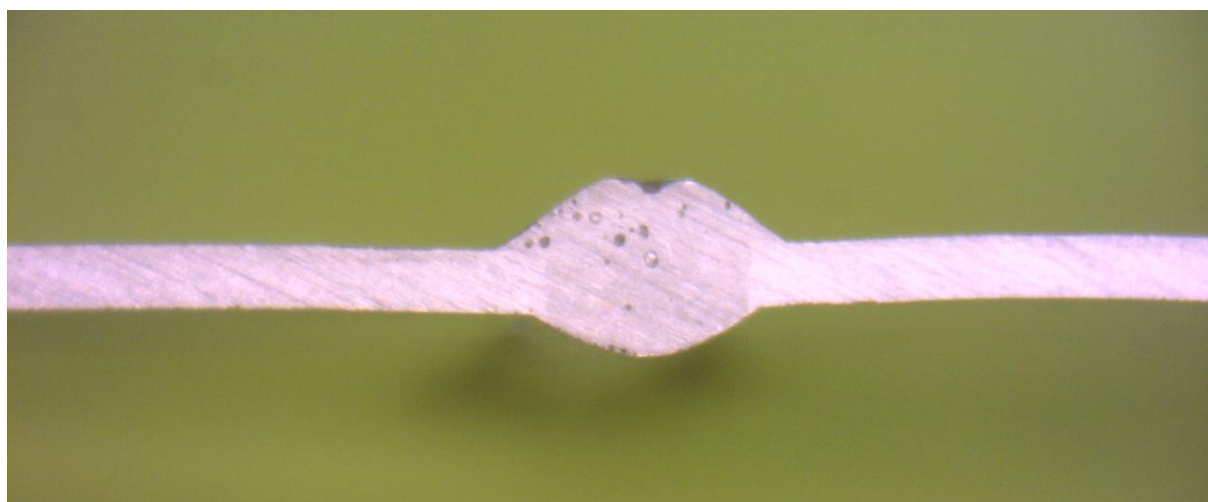
V tabulce 3 jsou uvedeny tloušťky svařovaných plechů, svařovací parametry a druhy přídavných materiálů.

Tabulka 3 Vstupní hodnoty

Tloušťka plechů [mm]	Přídavný materiál	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Rychlost svařování [m/min]	Rychlost svařování [mm/s]
0,29	Drát AlMg3 o průměru 1,2 mm	28,0	14,0	5,0	83,33
0,51	Drát AlMg3 o průměru 1,2 mm	58,0	10,9	4,2	70
0,98	Drát AlSi5 o průměru 1,2 mm	72,0	14,4	3,0	50

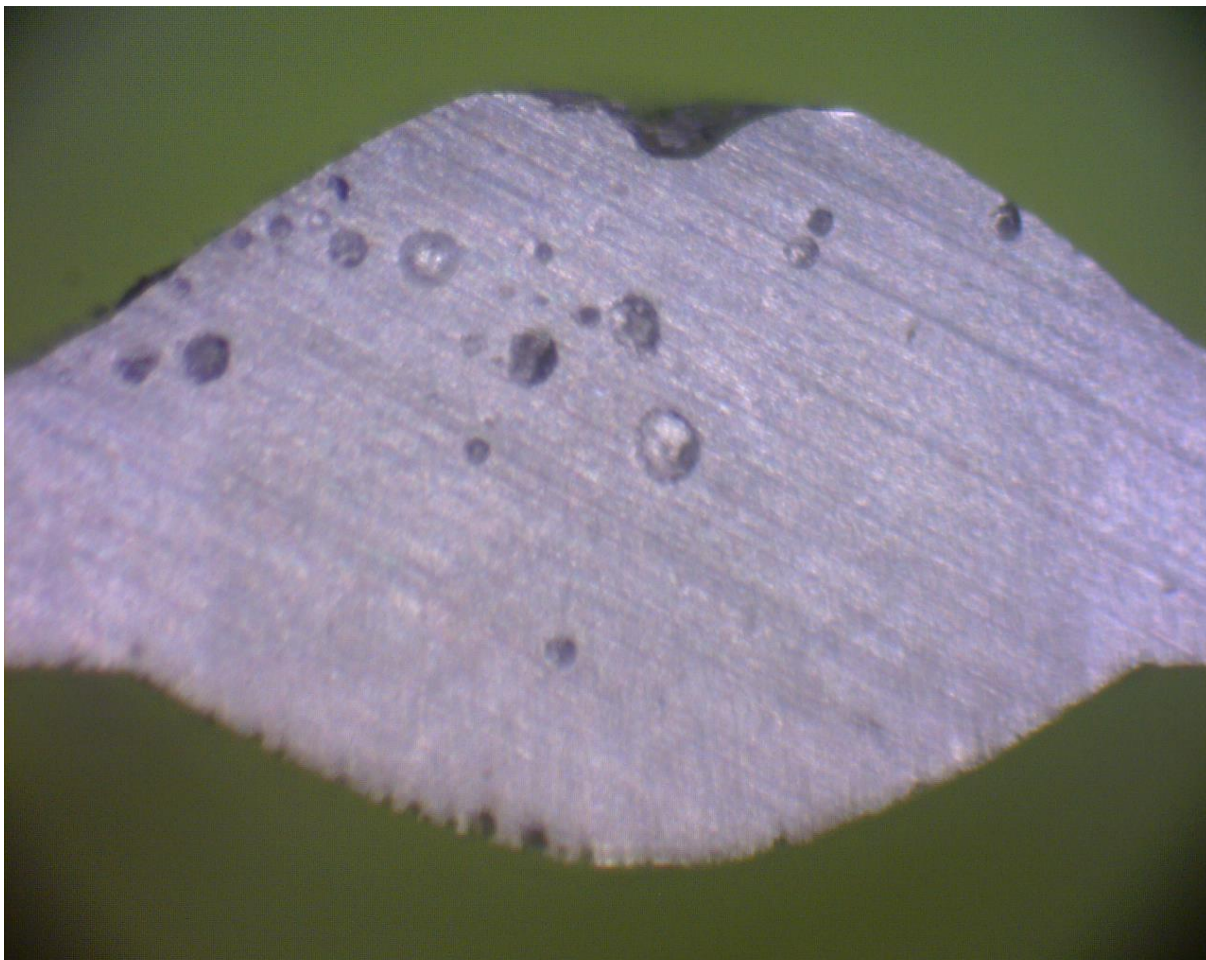
- Spoj plechů tloušťky 0,29 mm

Na obr. 20 můžeme vidět spoj dvou velmi tenkých plechů, uskutečnitelný, právě kvůli velmi malé tloušťce, pouze metodou CMT Advanced. Na obr. 21 je znázorněn



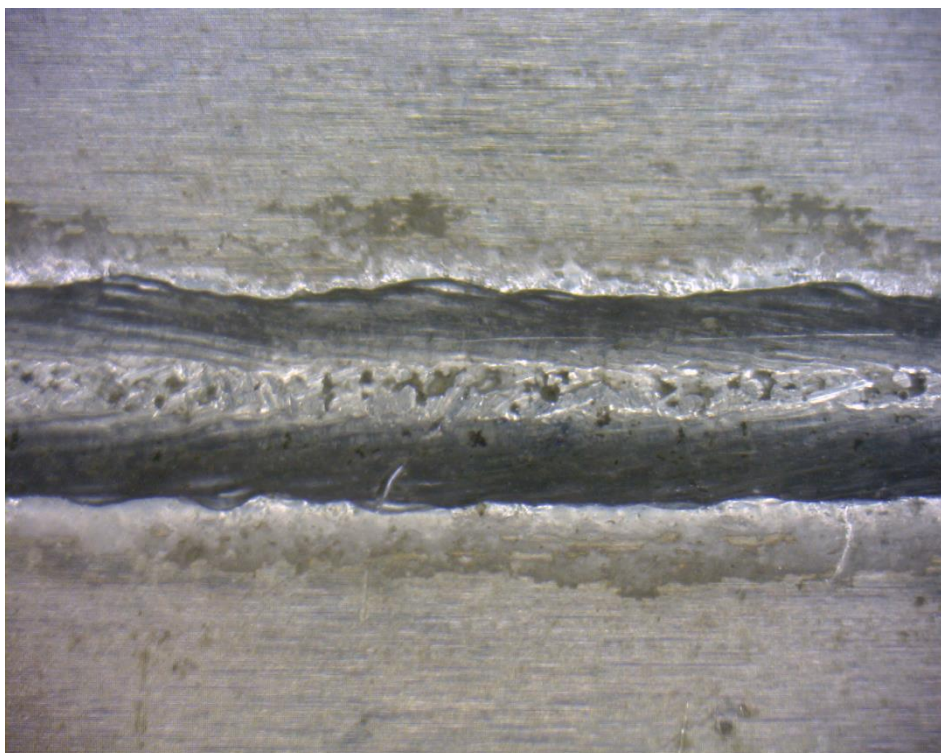
Obr. 20 Řez svarem plechů tloušťky 0,29 mm

větší detail místa svaru. Je vidět, že svar je téměř 3x vyšší, než tloušťka svařovaných plechů. Toho je docíleno zejména díky velmi nízkým teplotám, za kterých svařování metodou CMT probíhá. Dále je na první pohled patrná pórovitost svaru, což je zapříčiněno velkou svářecí rychlostí. Technologický postup svařování WPS byl vypracován právě pro tento svar a je uveden v příloze.



Obr. 21 Detail svaru plechů tloušťky 0,29 mm

Tvar svarové housenky je vyobrazen na obr. 22. Housenka je pórovitá, jak už bylo ře-



čeno, právě kvůli vysoké svařovací rychlosti. Pokud by byla použita menší svařovací rychlost, nebyla by dosažena dostatečná výška svaru a nebyl by tak zajištěn pevný spoj těchto velmi tenkých plechů.

Obr. 22 Svarová housenka 0,29 mm

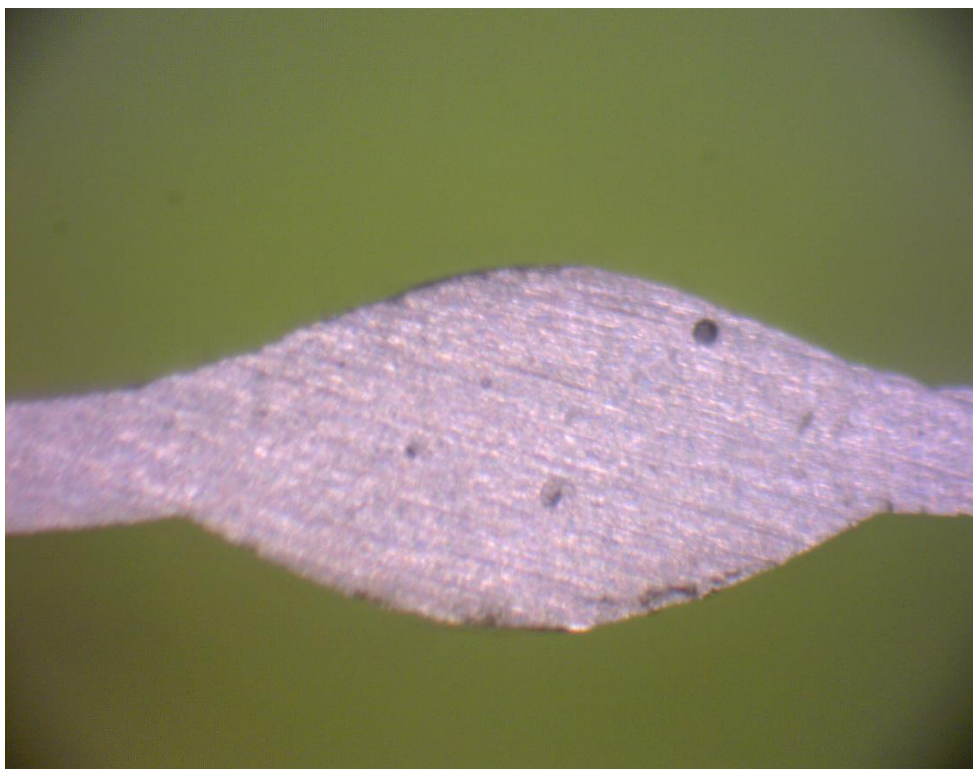
- Spoj plechů tloušťky 0,51 mm

Při svařování plechu větší tloušťky – 0,51 mm – bylo použito většího napětí i proudu, čímž bylo do svaru vneseno více tepla, než v prvním případě. Čím větší tloušťka svařovaného plechu, tím větší množství tepla je potřeba k dostatečnému natevení materiálu. Spoj je k vidění na obr. 23.



Obr. 23 Řez svarem plechů tloušťky 0,51 mm

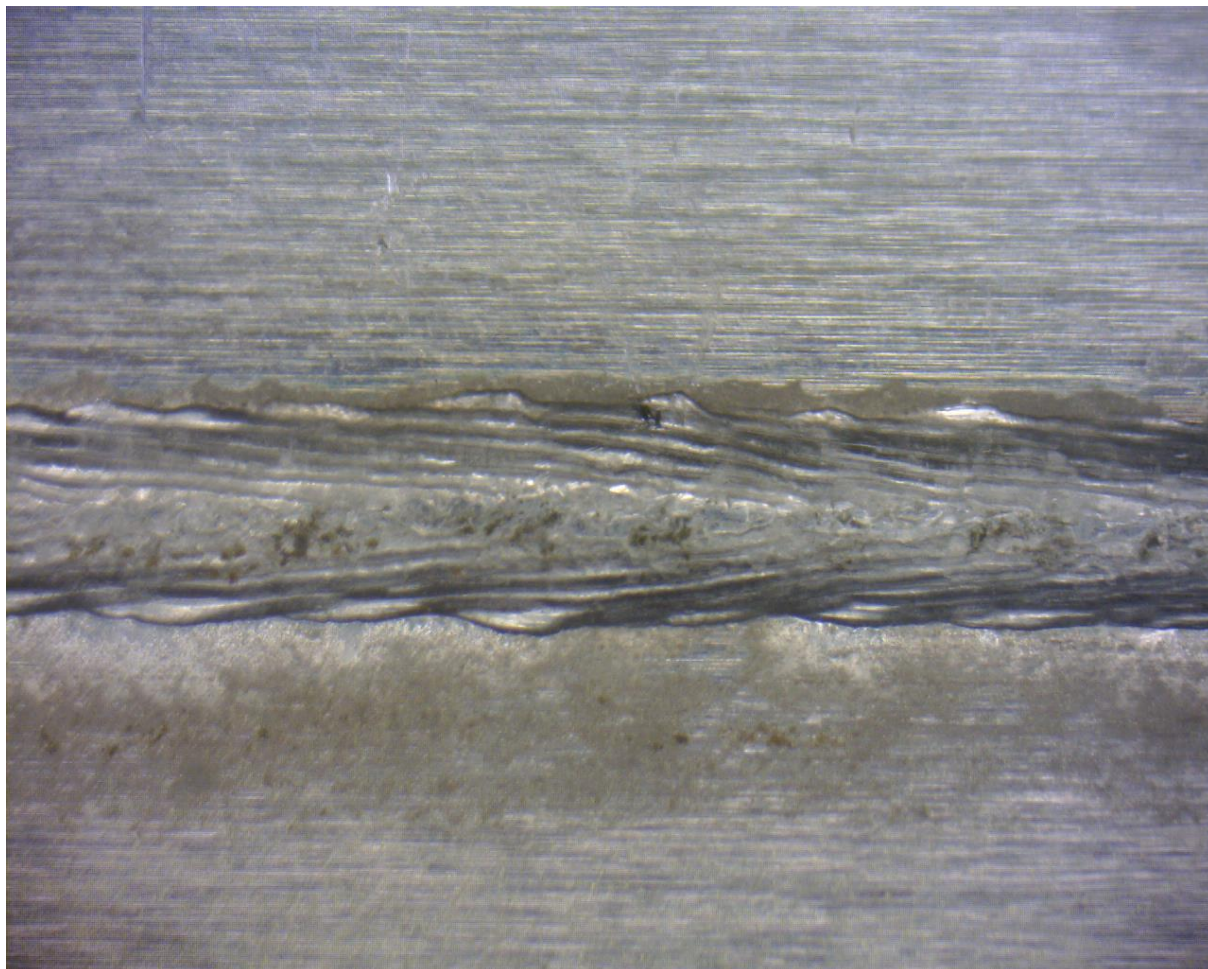
Detail spoje, na kterém je patrná výrazně nižší pórovitost než v předchozím případě, a to díky nižší svařovací rychlosti, je možno vidět na obr. 24. Je také patrný



menší rozdíl výšky svaru a šířky svařovaného plechu, v porovnání se svarem plechů tloušťky 0,29 mm. To je způsobeno větším vneseným teplem.

Obr. 24 Detail svaru plechů tloušťky 0,51 mm

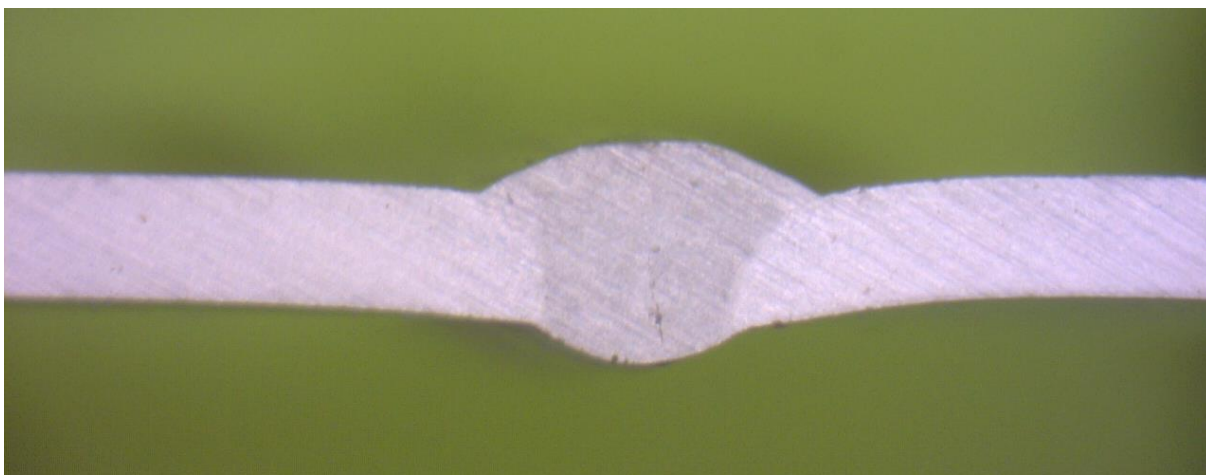
Nižší pórovitost, než v předchozím případě, je patrná i ze vzhledu svarové housenky, viz obr. 25. Je znát také plynulejší přechod mezi základním a přídavným materiálem způsobený pomalejší svařovací rychlostí a větším množstvím vneseného tepla.



Obr. 25 Svarová housenka 0,21 mm

- Spoj plechů tloušťky 0,98 mm

Ze zkoumaných vzorků, má ten následující největší tloušťku. Při jeho svařování bylo proto použito největších proudů a napětí, způsobujících největší vnesené teplo, z důvodu dobrého natavení materiálu v celé tloušťce. Při svařování těchto plechů byl použit jiný přídavný materiál, než v předchozích dvou případech, a to AlSi5. Křemík obsažený ve slitině snižuje teplotu tání a zaručuje tak dostatečné tečení přídavného materiálu i při nízkých teplotách, se kterými CMT Advanced pracuje. AlSi5 se běžně používá jako přídavný materiál při svařování a právě díky nízkému bodu tání je využíván i při pájení. Spoj je vyobrazen na obr. 26.



Obr. 26 Řez svarem plechů tloušťky 0,98 mm

V detailu řezu, viz obr. 27, je možno vidět, ve spodní části svarového spoje, malou trhlinu. Trhlina nedosahuje až na povrch, jedná se tedy o vnitřní plošnou vadu. Pórovitost je v tomto případě nejmenší, z důvodu nejmenší svařovací rychlosti. Vnesené teplo se projevilo na výšce svaru, která je v tomto případě jen o něco málo větší, než tloušťka svařovaných plechů. Svarová housenka (obr. 28) se od předešlých liší hlavně kvůli použití jiného přídavného materiálu.



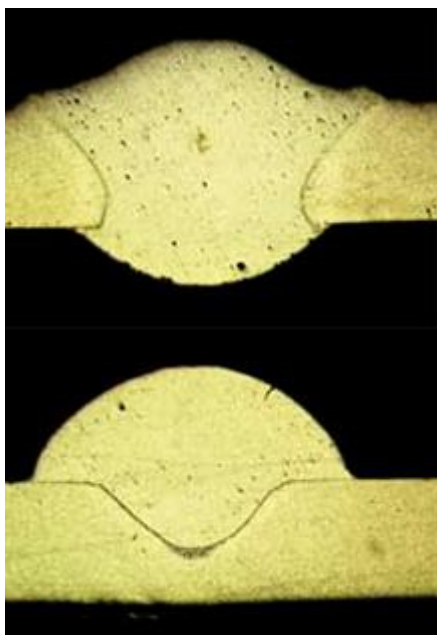
Obr. 27 Detail svaru plechů tloušťky 0,98 mm



Obr. 28 Svarová housenka 0,98 mm

3.2 Porovnání svarů vzniklých svařováním metodou MIG/MAG a CMT [2,3,6]

Konvenční svařování krátkým obloukem je pokročilá a zdokonalená metoda



Obr. 29 Krátko-oblouková metoda (nahore) a CMT (dole) [6]

MIG/MAG, která je pomocí moderních přístrojů schopna pracovat s větším množstvím dat, než při běžném MIG/MAG svařování. Účelem těchto zdokonalení a optimalizací je možnost precizní regulace a mimořádné stability oblouku, která umožňuje zvýšení svařovací rychlosti a větší stabilitu svařovacího procesu. Na obr. 29 je k vidění svar vyhotovený krátko-obloukovou metodou a metodou CMT. V obou případech byla použita rychlost svařování 5m/min. U krátko-obloukové metody byl svářecí proud $I = 96$ A a napětí $U = 17$ V, zatímco pro metodu CMT byl použit proud $I = 84$ A a napětí $U = 13,5$ V. Díky menšímu vnesenému teplu je svar zhotovený pomocí metody CMT vyšší a přitom užší.

Svarová housenka vytvořená metodou CMT je hladší a méně pórovitá, čímž činí svar metody CMT úhlednější než svar krátko-obloukové metody MIG/MAG, viz obr. 30.

Vzorec (3.2) pro výpočet tepla vneseného do svaru ukazuje, že teplo roste s větší hodnotou proudu a napětí a klesá s vyšší svařovací rychlostí.

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{1000 \cdot v_s} \quad (3.2)$$

kde η je účinnost

U je svařovací napětí

I je svařovací proud

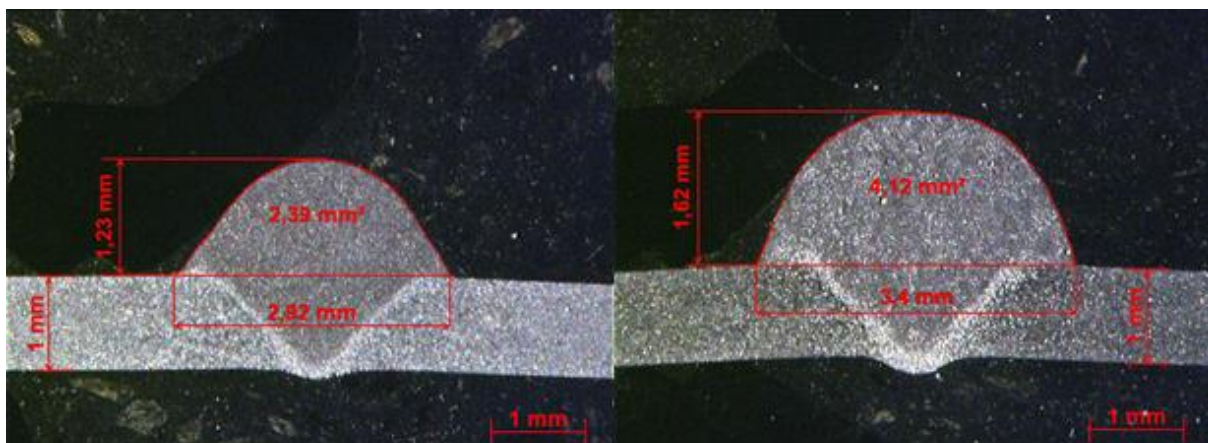
v_s je svařovací rychlost



Obr. 30 Krátko-oblouková metoda (nahore) a CMT (dole) [6]

3.3 Porovnání svarů vzniklých svařováním metodou CMT a CMT Advanced [2,3,17,10]

Metoda CMT Advanced na rozdíl od klasické metody CMT využívá změny polarity a tím je docíleno ještě menšího vneseného tepla, menšího rozstříku, větší stability a větší kontroly nad svařovacím procesem. Srovnání svarů zhotovených pomocí CMT a CMT Advanced lze vidět na obr. 31.



Obr. 31 Řez svaru zhotovenými pomocí metod CMT (vlevo) a CMT Advanced (vpravo) [10]

Základní materiál je v obou případech stejný, jako v kapitole 3.1, tedy AlMg3. Přídavný materiál tvořil drát průměru 1,2 mm z AlSi5, který byl také blíže charakterizován v kapitole 3.1. Ochranný plyn tvořil 100% Argon pro oba svaru. Hodnoty svařovacího proudu a napětí jsou pro metodu CMT: $I = 72,1$ A, $U = 9,95$ V a svařovací rychlost 2,92 m/min. Pro metodu CMT Advanced jsou tyto hodnoty: $I = 84,0$ A, $U = 10,67$ V a svařovací rychlost byla

4,95 m/min. Svar metodou CMT Advanced byl vyhotoven při vyšších hodnotách proudu a napětí, ovšem díky větší svařovací rychlosti, bylo množství vneseného tepla menší než u klasické metody CMT. Svar zhotovený pomocí metody CMT Advanced je, kvůli hodnotám vneseného tepla, ještě vyšší, než svar zhotovený metodou CMT.

4 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ METODY CMT ADVANCED [1,3,4,6,10,16,17]

Metoda CMT Advanced zpřístupnila nové možnosti v oblasti spojování materiálů a to zejména na poli velmi tenkých plechů, dlouho vyžadovaného spojení oceli s hliníkem, ale i při spojování kovů s plasty, případně i se dřevem.

4.1 Spojování velmi tenkých plechů a přemostění spár [4,6,10]

Jak již bylo naznačeno dříve, metoda CMT Advanced se ukázala, jako velmi užitečná a efektivní cesta, při spojování velmi tenkých plechů. Velmi tenkými plechy jsou myšleny takové plechy, jejichž tloušťka nepřesahuje hodnoty 1 mm. Obr. 32 ukazuje jeden z těchto tenkých svarů, zhotovený právě svařováním metodou CMT Advanced. Plechy na obrázku spo-

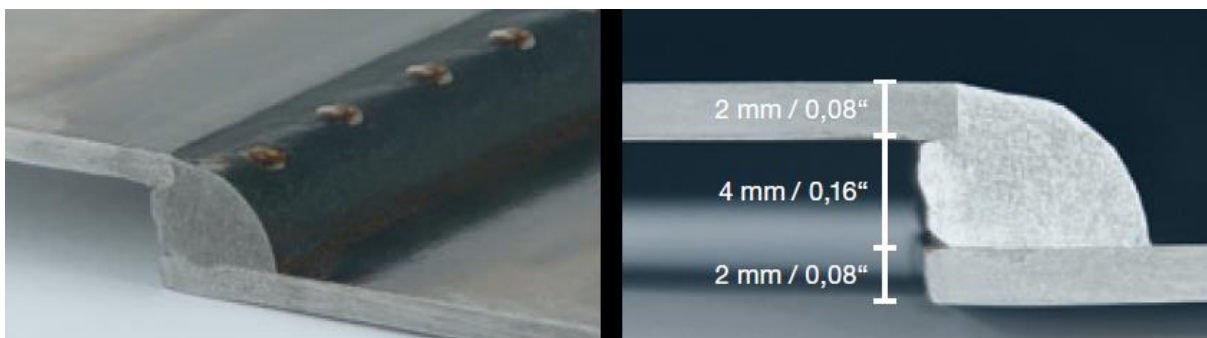


jené svarem jsou tlusté méně 0,3 mm. Takto tenký spoj není možné zhotovit ani pomocí pulzního oblouku.

Tenké plechy a jejich spoje jsou využívány zejména při výrobě lehkých konstrukcí v automobilovém a leteckém průmyslu. Spojení takto

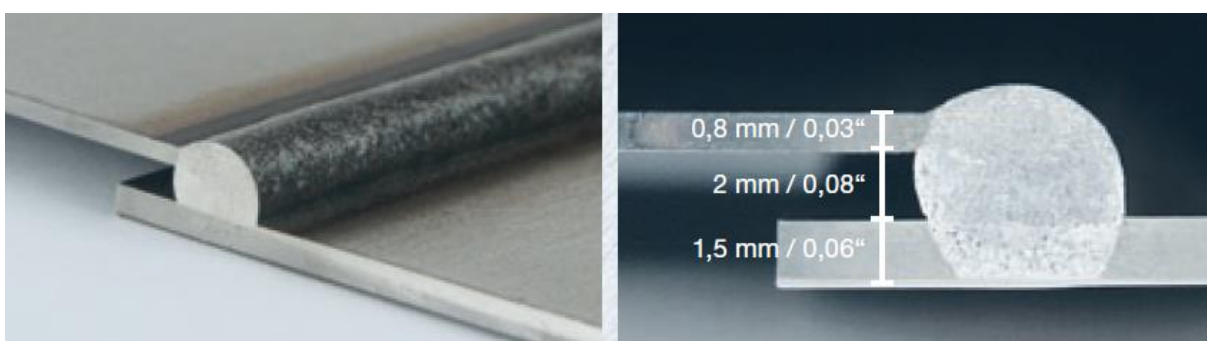
Obr. 32 Velmi tenký plech svařený pomocí CMT Advanced [1] tenkých plechů je možné díky velmi nízkým přenosům tepla, které zajistí téměř nulové deformace tenkých stěn a omezují možnost vzniku propálení.

Dalším směrem, ve kterém mohou metodě CMT Advanced ostatní metody jen těžko konkurovat, je možnost přemostitelnosti spár pomocí svaru, viz obr. 33.

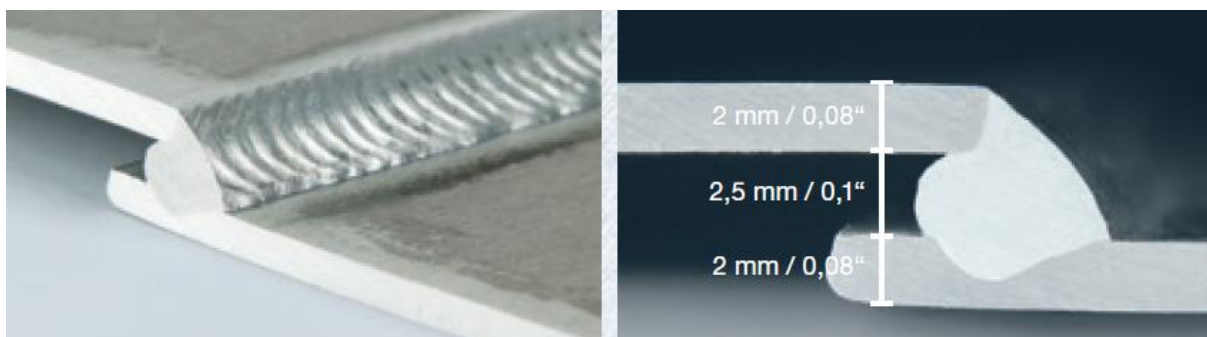


Obr. 33 Spára mezi ocelovými plechy přemostěná svarem [4]

Přemostitelnost pomocí svaru, zhotoveného metodou CMT Advanced, je možná pro širokou škálu materiálů. Na obr. 34 je přemostěná spára chromniklových plechů a na obr. 35 spára hliníkových plechů.



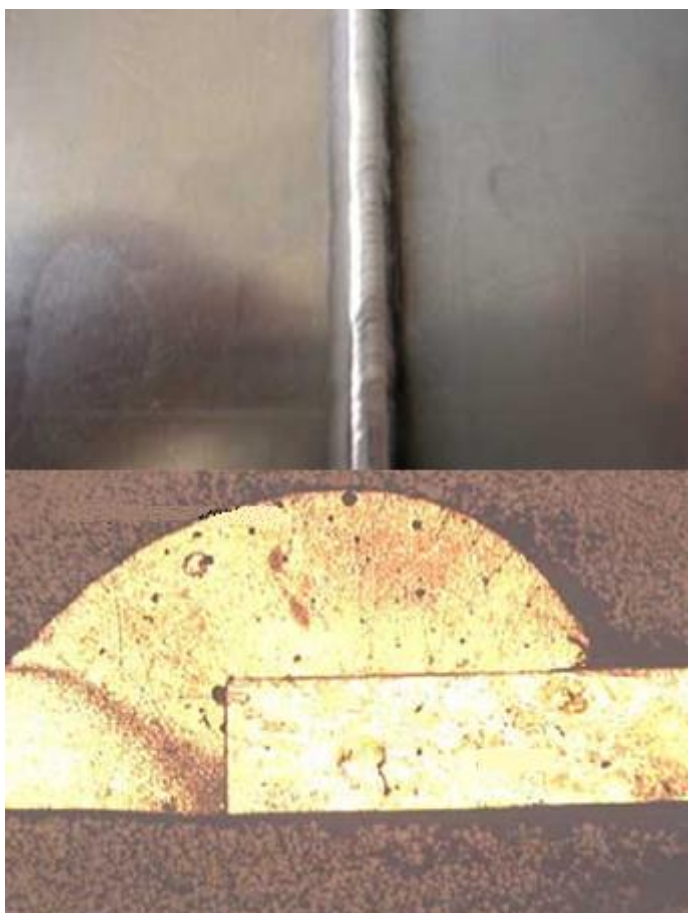
Obr. 34 Přemostěná spára mezi plechy z chrom-niklové oceli [4]



Obr. 35 Přemostěná spára mezi plechy z hliníku [4]

4.2 Spojování hliníku s ocelí [1,3,5,6,14]

Pevný spoj oceli s hliníkem, vytvořený pomocí svařování, byl hlavním důvodem vý-

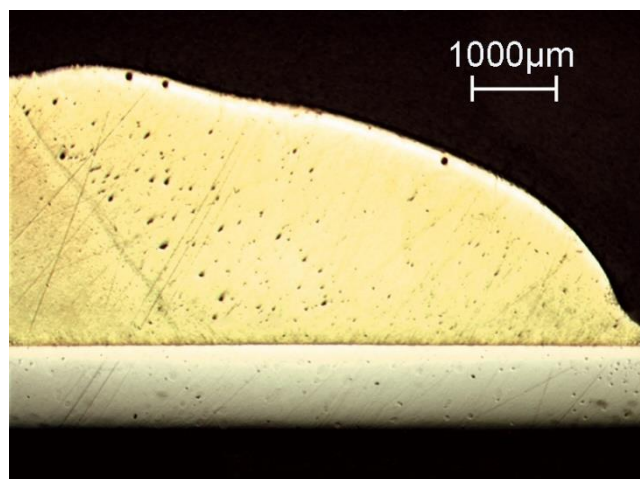


Obr. 36 Svarový spoj ocel-hliník [6]

a vzhledem ke svařovací rychlosti hladká a bez pórů. Spoj se také vyznačuje nulovým rozstříkem, což je pro metodu CMT Advanced charakteristické. Spojení oceli a hliníku je velmi žádané v leteckém a automobilovém průmyslu, kde ocel reprezentuje sílu a hliník lehkost – obě tolik potřebné v automobilových a leteckých konstrukcích. Obr. 37 zobrazuje detail na rozhraní oceli a hliníku, ve kterém vzniká intermetalická fáze.

voje metody CMT z metody MIG/MAG. Je proto pochopitelné, že bude metoda CMT Advanced v tomto směru nad ostatními metodami excelovat. Obr. 36 vyobrazuje přeplátovaný spoj oceli s hliníkem. Můžeme zde názorně vidět, že na straně oceli, která se díky nízkým teplotám neroztavila, se jedná pouze o pájení, zatímco na straně hliníku jde o svar. Jak už bylo vysvětleno v kapitole 1.1, ocelový plech musí být z důvodu vyrovnání elektrochemického potenciálu pozinkován v tloušťce nejméně 10 μm . Tloušťky obou plechů jsou v tomto případě 1 mm a byly svařeny svařovací rychlostí 0,7 m/min.

Na obr. 36 je vidět i vzhled svařové housenky. Ta je souvislá, plynulá



Obr. 37 Detail rozhraní ocel/hliník [3]

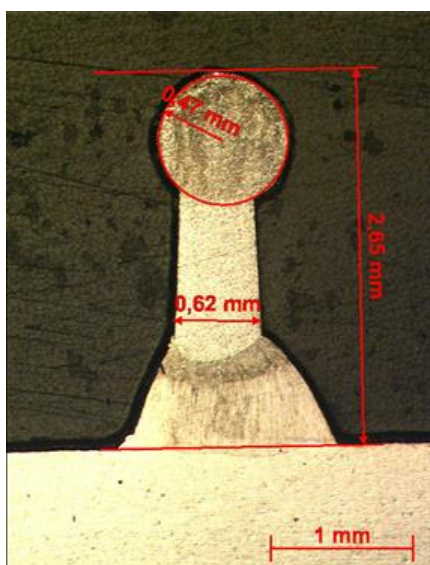
4.3 Spojování kovů s nekovovými materiály pomocí pinů [1,2,4,10]

Metoda CMT Advanced nenabízí jen spojování kovových materiálů, ale díky technologii Pin je dosaženo i velmi kvalitních spojů kovů s plasty, látkovými materiály nebo se dřevem. Technologie Pin spočívá ve vytvoření vysokých svarů – pinů – na povrchu kovového materiálu, viz obr. 38. Z obrázku je také zřejmé, že existuje několik typů pinů. Mezi tři zá-



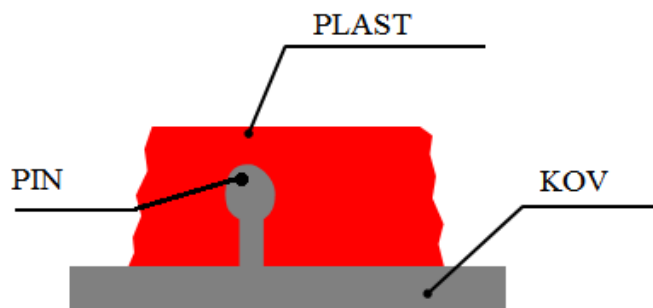
Obr. 38 Typy pinů [4]

kladní typy patří piny s kulovou hlavou (obr. 39), piny s rovným čelem (obr. 42) a piny s hrotem (obr. 44), z nichž každý má své specifické využití.

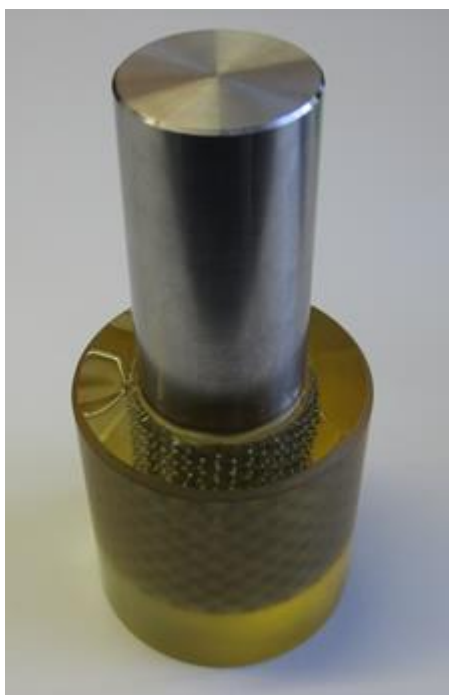


Obr. 39 Pin s kulovou hlavou [10]

Piny s kulovou hlavou se používají pro spojování kovových materiálů a plastů. Na povrch spojované kovové plochy se pomocí metody CMT navaří piny. Plocha je poté zalita plastickou hmotou (obr. 40) a následně vytlačena z formy. Výsledný spoj lze vidět na obrázku 41.



Obr. 40 Spoj plastu a kovu [10]



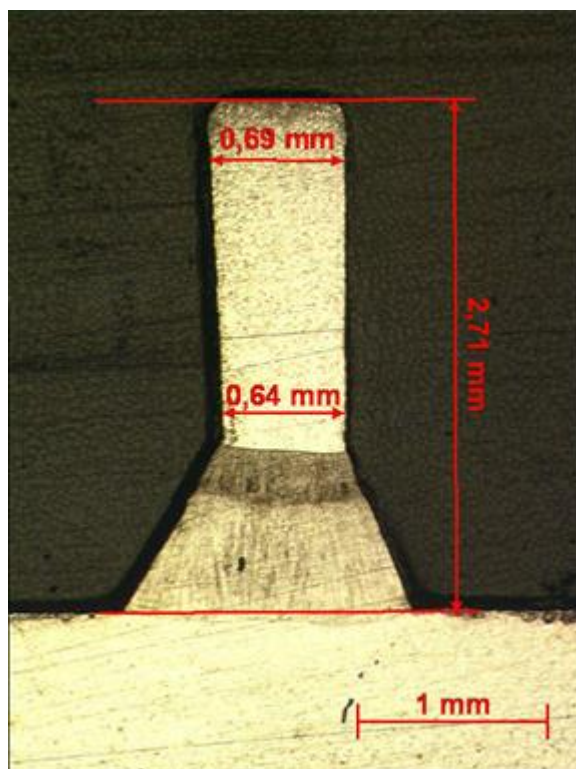
Obr. 41 Spojený plast s kovem [4,10]

Tento spoj plastu s kovem vykazuje vyšší pevnost ve stříhu, než adhezivní lepení, pomocí kterého se dá spoj plastu s kovem taktéž uskutečnit.

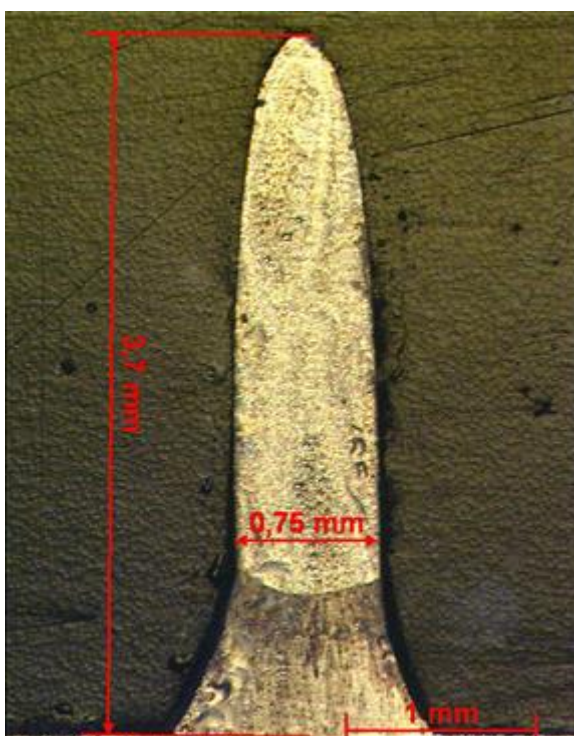
Dalším typem jsou piny s rovným čelem, které se využívají ke spojování kovů s látkovými materiály. Spoj spočívá v zaklesnutí pinů mezi vlákna tkaniny (obr. 43) a drží tak kov a látku u sebe. Tento způsob spoje je užitečný především tehdy, když působí na kov nebo látkový materiál tahová síla ve směru kolmém na osy pinů.



Obr. 43 Spoj látky s kovem pomocí pinů [10]

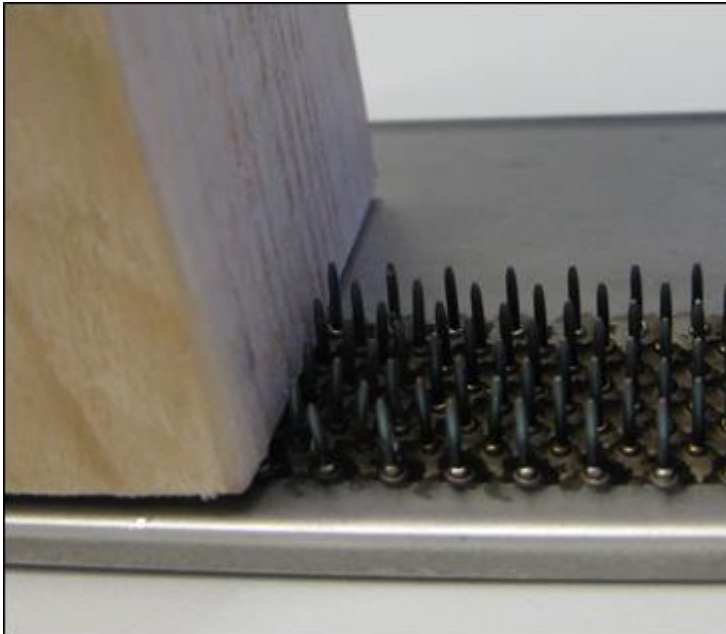


Obr. 42 Pin s rovným čelem [10]



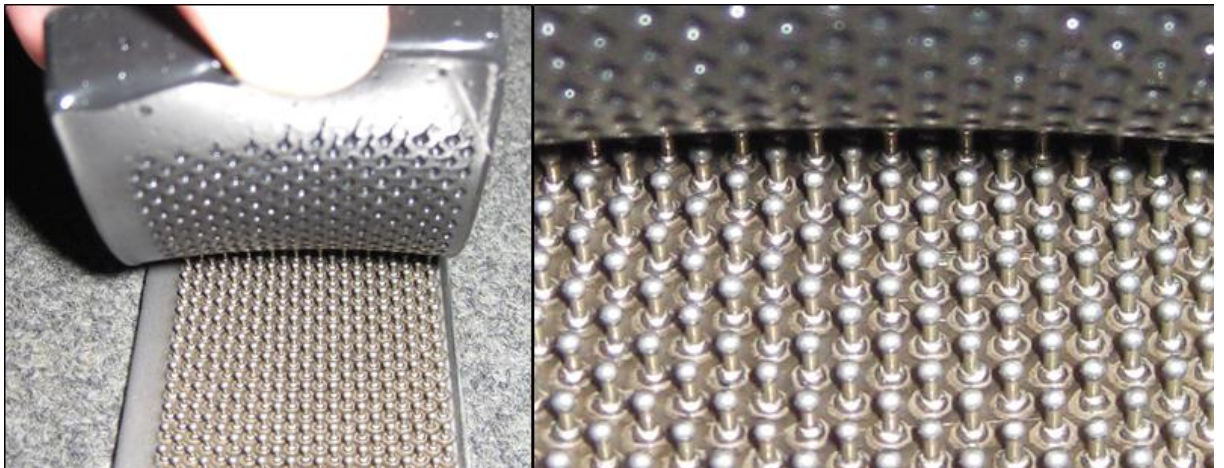
Obr. 44 Pin s hrotem [10]

Posledním typem jsou piny opatřené hrotem. Tyto druhy pinů se používají ke spojení kovového materiálu se dřevem. Spoj spočívá v jednoduchém vtlačení kovu přes hroty pinů do dřevěného materiálu (obr. 45). Spoj drží díky tření mezi dřevem a piny podobně, jako je tomu u hřebíků.



Pomocí pinů se dají realizovat i rozebíratelné spoje kovů a elastomerů nebo izolačních tkanin, viz obr. 46.

Obr. 45 Spoj kovu a dřeva pomocí pinů [10]



Obr. 46 Rozebíratelné pinové spoje [10]

5 ZÁVĚRY

Metoda svařování tavící se elektrodou v atmosféře ochranného plynu, neboli metoda MIG/MAG, byla dlouhá léta zdokonalována v závislosti na vrůstajících požadavcích moderního průmyslu. Od jejího vzniku, který se datuje do roku 1948, prošla obrovskou řadou inovací, optimalizací, stabilizací a vylepšení, která jí umožnila rozvíjející se technika. Jednou z nejpokročilejších svařovacích metod dnešní doby, jejímž předkem je bezpochyby právě metoda MIG/MAG, je svařovací metoda CMT Advanced. CMT Advanced využívá moderní technologie k precizní kontrole svařovacích parametrů po celou dobu svařování. Při svařování touto metodou dochází také ke změně polarity a k dynamickému odtahování přídavného drátu. Díky těmto faktorům je metoda schopna pevného spoje různorodých materiálů a spoje velmi tenkých plechů, což umožňují velmi nízké hodnoty vneseného tepla. Pevný a efektivní spoj hliníku a oceli pomocí svařování, který nebyl dříve dost dobře možný, je velmi vítán zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Přemostování spár a spojování nekovových materiálů s kovovými, jsou spolu s rychlostí, přesností, efektivitou a vzhledem výsledných spojů výsostnými přednostmi svařovací metody CMT Advanced. Technologie je neustále vyvíjena a zdokonalována zejména rakouskou firmou FRONIUS, ve které byla také vyvinuta, a díky tomu pravděpodobně najde široké uplatnění i v budoucnu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CMT: Cold Metal Transfer. *DIGITALWELD* [online]. New Zealand: Digitalweld, 2010 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.digitalweld.co.nz/uploads/Product_Brochures/Fronius/CMT.pdf
2. CMT - Cold Metal Transfer. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-88FFF6D5-B0145623/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_10724.htm#.V0Ljs0xkiM8
3. CMT. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-88FFF6D5-B0145623/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3917.htm#.V0LjNExkiM8
4. COLD METAL TRANSFER – Robotics. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-BBF1EF32-82E0BBF5/fronius_uk/CMTRobotics_pres_openhouse__538967_snapshot.pdf
5. Corrosion. *FASTENAL* [online]. Francie: Fastenal, 2012 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://www.fastenal.com/en/70/corrosion>
6. FELIX, Michal. FRONIUS ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *Cold Metal Transfer (CMT)*. 50 s.
7. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: sylabus díly I* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
8. KUKA. *KUKA - Robotics* [online]. Praha: KukaRobotics, 2007 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
9. LogisMarket. *Mecalux* [online]. Česká Republika: Mecalux LogisMarekt, 2000 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://www.logismarket.cz/ingro-machine/mig-mag-svarecka-3/1775338786-1339402292-p.html>
10. MEDUNA, Martin. FRONIUS ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *Nejnovější trendy ve svařovací technice*. 51 s.
11. MIG/MAG svařování. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-88FFF6D5-B0145623/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3916.htm#.V0Lh6ExkiM8
12. MIG-MAG welding torch. *DIRECT Industry* [online]. United Kingdom: Directindustry, 2011 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/oerlikon/product-102011-976509.html>
13. Mosty s velkým "M". *A-bridges* [online]. Znojmo: a-bridges, 2014 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://a-bridges.blogspot.cz/2014/02/zdakovsky-most.html>

14. Preventing galvanic corrosion. *Aluminium design* [online]. United Kingdom: Aluminium design, 2009 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.aluminiumdesign.net/design-support/aluminium-corrosion-resistance/preventing-galvanic-corrosion/>
15. Svařování. *KARSIT Group* [online]. Česká Republika: Karsit, 2016 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.karsit.cz/cs/sluzby/svarovani>
16. Technical articles: MIG/MAG. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_international/hs.xsl/79_1997_ENG_HTML.htm#.V0LkUUxkiM8
17. Welding technology. *Fronius* [online]. Rakousko: Fronius, 2006 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: https://www.fronius.com/cps/rde/xbc/SID-9E5053B5-33CBC666/fronius_international/M_06_0001_EN_leaflet_CMT_121_www_44211_snapshot.pdf

SEZNAM POŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<u>Označení</u>	<u>Legenda</u>	<u>Jednotka</u>
η	Účinnost	[-]
I	Svařovací proud	[A]
Q	Vnesené teplo	[J]
U	Svařovací napětí	[V]
v_s	Svařovací rychlost	[m/s]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka svařování[15].....	8
Obr. 2 Využití svařování[13].....	8
Obr. 3 Mechanický spoj oceli a hliníku[14]	9
Obr. 4 Pozinkovaný a nepozinkovaný závit šroubu vystavený korozi[5].....	10
Obr. 5 Uzavřená intermetalická fáze[6].....	10
Obr. 6 Zubovitá intermetalická fáze[6].....	10
Obr. 7 Ukázka svařování metodou MIG[12]	11
Obr. 8 Polohy pro svařování podle ISO 6947	11
Obr. 9 Schéma svařování MIG/MAG[7]	12
Obr. 10 Oblasti přenosu kovu v oblouku	14
Obr. 11 Svařovací souprava pro metodu MIG/MAG[9].....	15
Obr. 12 Přenos materiálu při téměř nulových proudových hodnotách[10].....	17
Obr. 13 Dynamický pohyb drátu při svařování metodou CMT[2,17]	17
Obr. 14 Vysokorychlostní zatahování drátu[4]	18
Obr. 15 Schéma svařovacího zařízení pro CMT[6]	18
Obr. 16 Auto. zařízení a zařízení pro manuální svařování pomocí metody CMT[2]	19
Obr. 17 CMT při svařování automobilových karoserií[16]	20
Obr. 18 Změna polarity při svařování metodou CMT Advanced[2].....	21
Obr. 19 Robot Kuka KR5arc HW[8]	22
Obr. 20 Řez svarem plechů tloušťky 0,29 mm	23
Obr. 21 Detail svaru plechů tloušťky 0,29 mm.....	24
Obr. 22 Svarová housenka 0,29 mm	24
Obr. 23 Řez svarem plechů tloušťky 0,51 mm	25
Obr. 24 Detail svaru plechů tloušťky 0,51 mm.....	25
Obr. 25 Svarová housenka 0,51 mm	26
Obr. 26 Řez svarem plechů tloušťky 0,98 mm	27
Obr. 27 Detail svaru plechů tloušťky 0,98 mm.....	27
Obr. 28 Svarová housenka 0,98 mm	28
Obr. 29 Krátko-oblouková metoda a CMT[6]	28
Obr. 30 Krátko-oblouková metoda a CMT[6]	29
Obr. 31 Řez svary zhotovenými pomocí CMT a CMT Advanced[10]	29
Obr. 32 Velmi tenký plech svařený pomocí CMT Advanced[1].....	30
Obr. 33 Spára mezi ocelovými plechy přemostěná svarem[4]	31
Obr. 34 Přemostěná spára mezi plechy z chrom-niklové oceli[4]	31
Obr. 35 Přemostěná spára mezi plechy z hliníku[4]	31
Obr. 36 Svarový spoj ocel-hliník[6]	32
Obr. 37 Detail rozhraní ocel/hliník[3].....	32
Obr. 38 Typy pinů[4].....	33
Obr. 39 Pin s kulovou hlavou[10].....	33
Obr. 40 Spoj plastu a kovu[10]	33
Obr. 41 Spojený plast s kovem[4,10].....	34
Obr. 42 Pin s rovným čelem[10].....	34
Obr. 43 Spoj látky s kovem pomocí pinů[10].....	34
Obr. 44 Pin s hrotem[10].....	34
Obr. 45 Spoj kovu a dřeva pomocí pinů[10].....	35
Obr. 46 Rozebíratelné pinové spoje[10]	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Chemické ovlivnění ochranných plynů[7].....	13
Tabulka 2 Historie vývoje MIG/MAG.....	17
Tabulka 3 Vstupní hodnoty.....	23

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Specifikace postupu svařování „WPS“