

Česká zemědělská univerzita

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Použití svařování metodou TIG v praxi.

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Diplomant: Bc. Jiří Zajac

PRAHA 2008

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita

Fakulta: technická

Katedra: materiálu a strojírenské technologie

Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Jiří Zajac**

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Studijní zaměření:

Název práce: Použití svařování metodou TIG v praxi.

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

- shromáždit literární poznatky o svařování kovů metodou TIG,
- experimentálně ověřit možnost použití svařování metodou TIG pro spojování vybraných kovových materiálů.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Princip, výhody, nevýhody a oblasti použití technologie svařování metodou TIG.
3. Přehled zařízení používaných pro svařování metodou TIG.
4. Experimentální posouzení jakosti svarů vybraných materiálů zhotovených metodou TIG.
5. Závěr.

Metodika práce:

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíle práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Milana Brožka, CSc.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Další informace mi poskytli ve svářečské škole SVV Praha s.r.o.

Chtěl bych poděkovat za odbornou a technickou pomoc panu Dvorskému ze Svářečského vývojového a výukového ústavu Praha, dále svému zaměstnavateli Leteckým opravárnám Malešice za poskytnuté prostory, materiál ke svařování a svařovací techniku. Nakonec bych chtěl poděkovat za odbornou pomoc a vedení během přípravy diplomové práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc.

Zajac Jiří

Abstrakt:

Vzhledem k tomu, že pracuji v leteckých opravnách a podílím se na generálních opravách letounů, musím často řešit, zda je daný agregát nebo díl agregátu v rámci jeho technického života ještě opravitelný, anebo je natolik poškozen, že se musí vyměnit.

Jednou z možností renovace dílů je navařování na opravný rozměr a svařování součástí s lomy a trhlinami. Technologie, která se v našem podniku osvědčila, je svařování metodou TIG. Možnosti využití této metody nejsou pouze při renovaci, ale i při svařování nových dílů. Velkou výhodou této metody je rychlost celého procesu svařování a čistota sváru.

Díly, které renovujeme, jsou většinou vyrobeny ze slitin titanu, slitin hliníku, vysokopevné a vysokolegované oceli, slitin mědi a slitin hořčíku.

Klíčová slova:

- **TIG** (Tungsten Inert Gas) - svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu, v němčině je metoda označena zkratkou **WIG** (Wolfram Inert Gas)
- **MIG** (Metal Inert Gas – něm.) – svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu
- **MAG** (Metal Activ Gas – něm.) – svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu
- **TOO** (teplem ovlivněná oblast) – oblast svarového spoje, ve které dojde ke změnám mikrostruktury v důsledku působení zdroje tepla od svařování.
- **Interpass** (mezihousenková teplota) – teplota svarového kovu bezprostředně před započítím svařování druhé nebo další následující vrstvy vícehousenkových svarových spojů.
- **Katodová skvrna** v oblasti katody dochází k emisi elektronů, která se soustřeďuje do katodové skvrny.

Usage of TIG-method welding practically.

Summary:

Because I am working in aircraft repair factory and participate on the general overhauls of A/Cs, I've often to solve, whether aggregate or its part is repairable or is so damaged, that it has to be replaced.

One possibility of part's renovation is surfacing up to the right dimension and welding of parts with cracks and breaches. Well-proven technology in my company is TIG-method welding. Possibilities of usage of this method aren't only in renovation, but even in welding of new parts. Advantage of this method is high speed of welding and clear welds.

Parts renovated in our company are mostly manufactured from titanium alloys, aluminum alloys, high-strength steel, high-alloyed steel and copper and magnesium alloys.

Klíčová slova:

- **TIG** - (Tungsten Inert Gas - English) - **WIG** - (Wolfram Inert Gas - German)
- **MIG** - (Metal Inert Gas)
- **MAG** - (Metal Active Gas)
- **TOO** - (heat-affected zone)
- **Interpass** - (temperature of subbing)
- **Katodová skvrna** - (emission of electrons in area of cathode)

OBSAH

1	Úvod	2
2	Princip, výhody, nevýhody a oblasti použití technologie svařování metodou TIG	3
2.1	<i>Technika ručního svařování</i>	5
2.2	<i>Strojní svařování TIG</i>	14
3	Přehled zařízení používaných pro svařování metodou TIG	19
3.1	<i>Druhy svařovacích proudů</i>	22
3.2	<i>Svařovací hořáky TIG</i>	25
3.3	<i>Netavící se wolframové elektrody</i>	28
3.4	<i>Ochranné inertní plyny</i>	31
4	Experimentální posouzení jakosti svarů vybraných materiálů zhotovených metodou TIG	34
4.1	<i>Vady svarových spojů</i>	34
4.2	<i>Nastavení parametrů a volba funkcí</i>	36
4.3	<i>Hliník (plech tl. 3 mm, poloha PF, tj. svislá nahoru)</i>	38
4.4	<i>Hořčík (plech tl. 3 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)</i>	41
4.5	<i>Titan (plech tl. 8 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)</i>	43
4.6	<i>Austenitická CrNi ocel (plech tl. 2 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)</i>	48
4.7	<i>Měď ČSN 42 3005 (plech tl. 2 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)</i>	51
4.8	<i>Ocel L-ROL.33 (plech tl. 2 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)</i>	55
5	Závěr	65
6	Použitá literatura	66
7	Přílohy	I

1 Úvod

Metalurgické procesy hrají při svařování kovových materiálů významnou roli. V posledních letech se významně rozšířilo používání lehkých kovů jako hliníku, hořčíku, titanu a jejich slitin. Tato tendence je významná zejména v leteckém a automobilovém průmyslu, kde je podmíněna snahou vývojářů a konstruktérů vyrábět vozidla stále lehčí, snižovat spotřebu paliva a současně využívat zvláštnosti a přednosti jednotlivých materiálů. Proto se projektuje stále více konstrukčních prvků z lehkých kovů. Sortiment slitin používaných materiálů je širší a komplikovanější. Výzkumy svařovacích vlastností a metalurgických procesů při svařování těchto materiálů jsou náročnější, aby bylo možno zaručit výrobní kvalitu a provozní spolehlivost na vysoké úrovni.

V praxi se často setkáváme s požadavky na opravu svarových spojů nevyhovujících kvalitativním kritériím, opravu neshodných dílů nebo poškozených součástí a renovaci dílů opotřebovaných v provozu. Tyto mnohdy velmi náročné požadavky lze obvykle splnit aplikací vhodně zvolené metody tavného svařování.

Jednou z těchto metod je technologie svařování TIG. Tato technologie je významná zvláště tím, že se neustále vyvíjí, ať už je to ruční nebo strojní svařování. Produktivita práce ve výrobě svařovaných konstrukcí se zvyšuje zaváděním nových výrobních technologií, použitím výkonnějších strojů, jejich mechanizací a automatizací. Problematika opravného svařování a renovací je velmi různorodá, závislá především na druhu a tvaru opravovaného, případně renovovaného dílu, rozsahu opravy či renovace a zejména na materiálu a provozních podmínkách dílu. Nezanedbatelným faktorem je technická vybavenost pracoviště, odbornost a zkušenost personálu.

Cílem této práce je posoudit svařitelnost a jakost svarů na vybraných materiálech pomocí metody technologie svařování - TIG.

2 Princip, výhody, nevýhody a oblasti použití technologie svařování metodou TIG

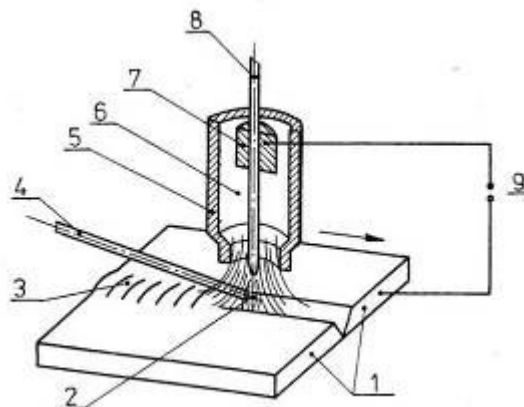
Svařování patří do oblasti strojírenských technologií vedle obrábění, tváření, povrchových úprav a dalších technologií. Zvládnutí svařování je závislé na znalostech celé řady vědních oborů, jako jsou například matematika, fyzika, chemie, fyzikální metalurgie, nauka o materiálech a další obory.

Současný vývoj oblasti svařování v ochranných plynech je hnacím motorem rozvoje svařování. Růst objemu svařovaných konstrukcí vykazuje především metoda TIG zvláště v oblasti svařování trubkových systémů chemických a tepelných zařízení - ruční svařování, nebo automatická verze orbitálního svařování.

Při svařování metodou TIG (obr. 1) hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99,995 %. Používá se argonu, hélia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování, nebo bez přídavného materiálu.

Obr. 1 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu – TIG¹

1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. přídavný materiál
5. plynová hubice
6. ochranný plyn
7. kontaktní kleštiny
8. netavící se elektroda
9. zdroj proudu



Obecně lze svařování rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a jejich slitiny. Pro svařování **uhlíkové** oceli se metoda TIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a

z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku, např. titanu a zirkonu.

Lze svařovat i různé materiály - ocel s mědí, bronzem nebo niklovými slitinami a návary v oblasti renovací např. nástrojové oceli, niklové a kobaltové tvrdonávary.

Svařování TIG má výrazný růst objemu svářečských aplikací, což se připisuje vysoké kvalitě spojů, operativnosti řízení procesu svařování a vysokému stupni automatizace a robotizace.

Svařování metodou TIG má proti jiným metodám tavného svařování tyto metalurgické a technologické výhody:

- a) inertní plyn zabezpečuje efektivní ochranu svarové lázně a přehřáté oblasti základního materiálu před účinky okolní atmosféry,
- b) inertní plyn zabraňuje propalu prvků a tím i vzniku strusky - výsledkem je čistý povrch svaru,
- c) vytváří velmi příznivé podmínky pro formování svarové housenky na straně povrchu i kořenové části svaru,
- d) nevyžaduje použití tavidel, ale lze je použít,
- e) vytváří elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů,
- f) zajišťuje vysokou operativnost při svařování v polohách,
- g) zabezpečuje svary vysoké celistvosti i na materiálech náchylných na naplynění a oxidaci při zvýšených teplotách,
- h) jednoduchá obsluha a přesná regulace parametrů svařování,
- i) svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace,
- j) svarová lázeň je viditelná a snadno ovladatelná,
- k) možnost velmi přesného dávkování množství tepla vneseného do svaru,
- l) svařovací oblouk je velmi flexibilní - jeho tvar a směr lze snadno ovládat magnetickým polem.

Metalurgické a technologické nevýhody svařování metodou TIG:

- a) obtížnější svařování nad hlavou,
- b) vznik intenzivního UV záření,
- c) vznik ozónu při svařování nerezových materiálů.

Z důvodu výše uvedené charakteristiky se svařování metodou TIG používá v těchto oblastech:

- svařované konstrukce z vysokolegovaných ocelí pro chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl, klasickou i jadernou energetiku,
- žárupevné a žáruvzdorné oceli pro stavbu kotlů, tepelných výměníků a pecí,
- titanové a speciální slitiny v oblasti výroby letadel a kosmické techniky,
- svařování hliníkových a hořčíkových slitin v oblasti dopravní techniky i všeobecného strojírenství.

2.1 Technika ručního svařování

Ruční svařování TIG je velmi používaná metoda především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny neželezných kovů. Má své nezastupitelné místo při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové a malosériové výrobě a tam, kde potřebujeme svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou.

Technika ručního svařování charakterizuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svarové lázni. Technika svařování TIG připomíná svařování plamenem, kde místo tepla plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější. Při svařování je důležité, aby přídavný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranného plynu a nebyl kontaminován vzduchem. Při kontaminaci hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce elektrody a zanesení oxidů do svarové lázně.

Metodou TIG se dá svařovat ve všech polohách a svařuje se zpravidla dopředu. Při svařování dopředu se hořák pohybuje vlevo (u praváků), tyčka přídavného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem.

V základní poloze je poloha hořáku kolmá k příčné ose svaru, čímž se zajistí rovnoměrné nastavení obou částí svařovaného materiálu.

Sklon hořáku v podélné ose je cca 10° vzad a úhel sklonu tyčky 60 až 80° vpřed od kolmice v místě hoření oblouku.

Polohování hořáku i přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování, složitosti a tvaru svarku, dostupnosti svaru atd.

Základní svařovací polohy, odpovídající sklon a orientace hořáku s přídavným materiálem a jejich pohyb ve svařové spáře jsou zobrazeny v příloze na obr. P1.

Vysunutí elektrody z keramické plynové trysky je přibližně dvojnásobek průměru elektrody pro tupé svary a u koutových svarů se vysunutí elektrody zvětšuje o 3 až 5 mm.

Důležitým předpokladem úspěšného svařování je příprava svařových ploch, která se řídí především tloušťkou a druhem svařovaných materiálů. Kromě běžných tvarů úprav úkosů, jako je lemový svar, I a V svar se často používají i při relativně malých tloušťkách U svary nebo jejich modifikace viz v příloze obr. P2.

Zásady pro ruční svařování hliníku a jeho slitin.

- používá se střídavý proud o frekvenci 40-250 Hz a inertní plyn Ar + 25-75 % He, nebo stejnosměrný proud s He + 10 % Ar,
- do tloušťky 5 mm se tupé svary svařují bez úkosu a bez mezery, doporučuje se však zkosit spodní hranu svaru cca 0,5 - 1 mm,
- větší tloušťky se upravují do „V“ úkosu a úhlem rozevření 80 až 90°, otupením 2 mm,
- hodnota proudu se volí cca 40 - 60 A na 1 mm tloušťky materiálu,
- průměr přídavného drátu se u tenkých plechů rovná tloušťce svařovaného materiálu,
- jako přídavný materiál se používá AlMg5 vhodný proti vzniku trhlin za tepla,
- pro AlSi slitiny je vhodný AlSi3 až 5,
- stehování se provádí střídavě od středu svaru po cca 100 mm. Šířka stehu nesmí překročit šířku budoucího svaru,
- délka oblouku 3 - 5 mm,
- pro svařování hliníku se používá svařování vpřed,
- doporučuje se předehřev 200 - 300 °C dle složitosti a tloušťky svarku,
- při začátku svařování přidat přídavný materiál až po prosednutí svařové lázně, které detekuje protavení kořene,
- při ukončení svaru použít funkci poklesu proudu a doplnit koncový kráter,
- pro čištění povrchu použít kartáčování, broušení nebo moření v NaOH pro odstranění oxidu hlinitého,
- identifikace slévarenských slitin dle barvy oblouku: bílý oblouk - AlSi, nazelenalý oblouk - AlMg.¹

Ochranný plyn musí mít min. čistotu 99,995 % Ar. Výjimečně se používá také helium nebo směs 50 % Ar + 50 % He. Čisté helium umožňuje svařovat mechanizovaným způsobem tenké plechy stejnosměrným proudem. Až na tuto výjimku se při svařování používá střídavý svařovací proud. Jeho použití dává výhodu, která spočívá v čisticím účinku, který je dán porušováním povrchu svarové lázně ionty v okamžiku, kdy je elektroda zapojena na plus pól. Čisticí účinek spočívá v mechanickém rozrušování tvořícího se povlaku oxidu Al_2O_3 . Základní parametry svařování jsou uvedeny v tab. 1.²

Tab. 1 Základní parametry pro svařování hliníku a jeho slitin technologií TIG

Tloušťka materiálu [mm]	Počet vrstev	Přídavný materiál Ø [mm]	Spotřeba argonu [l.min ⁻¹]	Svařovací proud pro polohu svařování [A]			Předehřev [°C]
				PA *	PC *	PE *	
1	1	2	7	60	50	40	-
2	1	2 - 3	7	80	80	75	-
3	1	3	8	140	135	130	-
4	1 - 2	3 - 4	9	180	170	160	-
5	1 - 2	3 - 4	10	200	190	170	-
6	2	3 - 4	10	280	240	230	-
8	2	4 - 5	12	320	270	260	150
10	2 - 3	5	14	360	280	270	200
12	3	5	16	420	330	280	200
20	7	5	20 - 25	450	-	-	200

Zásady pro ruční svařování vysokolegovaných ocelí

- používá se stejnosměrný proud s konstantním nebo impulsním průběhem a elektroda je na záporném pólu zdroje,
- plynová ochrana je zajištěna Ar, Ar + He, nebo Ar + H₂, pro austenitické oceli heliem i vodíkem se zvyšuje přenos tepla do svaru a tím i hloubka závaru a rychlost svařování,
- do tl. 2 mm se tupé svary svařují bez styčné spáry, do tl. 4 mm se styčnou spárou cca 1 mm a nad 4 mm se upravuje hrana do úkosu „V“ s rozevřením 60 až 70°, s otupením 2 mm,
- hodnota svařovaného proudu se volí od 30 do 50 A na 1 mm tloušťky materiálu,
- délka oblouku by měla odpovídat průměru elektrody,
- svařovat s minimálním možným tepelným příkonem do svaru,
- u vícevrstvých svarů dodržovat teplotu interpass max. 100 °C a používat úzké housenky,
- používat niobem stabilizované přídavné materiály o rozměrech menších než tloušťka materiálu (doporučené množství niobu je desetinásobek množství uhlíku),
- pro větší tloušťky svařovaných materiálů použít přídavný materiál, který dává svarový kov s malým obsahem δ feritu (snižuje vliv fosforu - rozpouští),
- vlivem špatné tepelné vodivosti je nutno stehovat v malých vzdálenostech cca 40 mm od středu svaru (pro svařování stehů je nutno použít formovacího plynu pro ochranu kořene),
- pro tenké plechy používat upínací přípravky a měděné podložky pro snížení deformace.¹

Chromové feritické oceli

U klasických feritických ocelí např. 17 040 může v TOO svarového spoje vzniknout martenzit, zatímco materiál neovlivněný svařováním je čistě feritický. V ohřevové části teplotního cyklu při svařování může v TOO uhlík, který se uvolňuje z rozpouštějících se karbidů, vyvolat vznik austenitu, který při rychlostech ochlazování odpovídajících podmínkám při svařování transformuje na martenzit. Feritické chromové oceli klasického typu svařujeme proto zásadně s předehřevem. Pro jejich svařování používáme s ohledem na možný vznik martenzitu přídavné materiály s nízkým obsahem difúzního vodíku.

Při svařování je nutné dokonalou čistotou svarových ploch, přídavných materiálů a ochranou tavné lázně udržet obsah $C+N < 0,04$ %, aby nedošlo ke vzniku martenzitu.

Snížením obsahu intersticiálních prvků C a N ve feritické oceli způsobí, že i v TOO svarového spoje dosáhneme čistě feritickou strukturu. Materiály tohoto typu nejsou náchylné na vznik studených trhlin a svařují se obvykle bez předehřevu.

Martenzitické chromové oceli (11,5 až 18 % Cr)

Svařují se v popuštěném, žíhaném, zušlechtěném nebo tvrdém stavu. Předcházející tepelné zpracování nemá praktický vliv na zakalení TOO a svarového kovu. Základním problémem při jejich svařování je jejich prokalitelnost a náchylnost na tvorbu studených trhlin. Proto při jejich svařování používáme zásadně předehřev, kontrolujeme interpass teplotu a aplikujeme dohřev svarových spojů. V pásmu přehřátí TOO a ve svarovém kovu je limitující hodnotou požadovaných mechanických vlastností obvykle hodnota vrubové houževnatosti. Proto je nutné svarové spoje martenzitických chromových ocelí tepelně zpracovat. Obvykle se tepelně zpracovávají žíháním na snížení vnitřního pnutí při teplotách pod A_{c1} .

Austenitické CrNi (CrNiMo) oceli

Austenitické oceli se svařují přídavnými materiály se stejným nebo podobným chemickým složením. Rozhodující je zde požadovaný obsah δ – feritu ve svarovém kovu. Je možné použít téměř všech známých technologií svařování, které zajistí dokonalou ochranu svarového kovu. Svařujeme je bez předehřevu, protože je nelze zakalit a nejsou náchylné na vznik studených trhlin (vysoká rozpustnost vodíku). Navíc by předehřev mohl nepříznivě ovlivnit korozní odolnost svarového spoje. S ohledem na náchylnost k tvorbě teplých trhlin limitujeme obvykle tepelný příkon na maximální hodnotu $15 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ a teplotu interpass na max. $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Snížený tepelný příkon snižuje rovněž nebezpečí růstu zrn v pásmu přehřátí TOO. Svarové spoje korozivzdorných austenitických ocelí se obvykle tepelně nezpracovávají.

Austeniticko-feritické CrNi oceli (duplexní oceli)

Protože duplexní oceli tuhnou jako oceli feritické, nejsou prakticky náchylné na vznik teplých trhlin. Mají velmi dobrou odolnost proti koroznímu praskání, kterou si zachovávají i svarové spoje. Svařujeme bez předehřevu nebo s teplotou předehřevu max. 100 až $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Svarové spoje se obvykle tepelně nezpracovávají.²

Zásady pro ruční svařování mědi a jejich slitin

- z důvodu velmi vysoké tepelné vodivosti aplikovat spoje s nejnižším odvodem tepla (tupé svary) a dle potřeby izolovat povrch svaru tepelně izolačním materiálem,
- svařovat měkkým obloukem dlouhým cca 5 - 10 mm s přímou polaritou elektrody,
- při svařování čisté mědi možno svařovat jen desoxidovanou měď,
- přídavný materiál volit nízkolegovaný cínový bronz s cca 1 % cínu. Svařuje se delším obloukem a svar se nepřekovává. Při použití čisté mědi nebo CuAg1 desoxidovaný fosforem, svar překovat při teplotě 800 až 850 °C a čistou měď svařovat jen na jednu vrstvu, jinak vznikají trhliny. Doporučený ochranný plyn je Ar nebo Ar + 50 % He. Čistota plynu je 4.5, tj. 99,995 %.
- předehřev volit dle tloušťky materiálu:
2 mm - 150 °C, 3 mm - 200 °C, 5 mm - 300 °C, 7 mm - 350 °C, 8 mm - 400 °C, 10 až 12 mm - 500 až 600 °C. Zajistit dohřívání na požadovanou teplotu i během svařování.
- svařovat stejnosměrným proudem s konstantním průběhem, tenké plechy do 1,5 mm impulsním proudem,
- složitější svarky vyztužit ocelovým skeletem proti zborcení,
- ruční svařování mosazi lze použít jen do obsahu zinku pod 20 % a svařovat malým proudem a malým tepelným výkonem. Zinkové páry musí být intenzivně odsávány.
- cínový, hliníkový a niklový bronz svařovat krátkým obloukem, malým proudem, minimálním vneseným teplem a malou rychlostí,
- hliníkové, beryliové a částečně křemíkové bronzy se doporučuje svařovat střídavým proudem,
- tenké plechy se svařují doleva, případně se svařovaný materiál nakloní o 15 - 20° od vodorovné polohy.¹

Na svařitelnost mědi mají vliv:

- chemické nečistoty (kyslík, vodík, vizmut, síra, fosfor, olovo),
- fyzikální vlastnosti (tepelná vodivost, roztažnost, objemová smršťivost, rozpustnost plynů v tekuté mědi apod.),
- změna plastických vlastností za tepla,
- stav materiálu před svařováním,
- použitý přídavný materiál,
- množství přivedeného tepla a rychlost ochlazování.²

Zásady pro svařování titanu a jeho slitin

- v místě spoje zabezpečit kovově čistý povrch bez oxidu titaničitého,
- používat přídavné materiály stejného nebo podobného chemického složení jako svařovaný materiál s malým obsahem nečistot,
- chránit svarový kov včetně spodní strany svaru (obr. 2) a (obr. 3), přídavný materiál i tepelně ovlivněnou oblast ochranným plynem nad teplotou 400 °C. Při teplotě nad 400 °C dochází k oxidaci povrchu a přípustná je pouze kovově lesklá až slabě slámově žlutá barva. Mírná oxidace se projeví slámově žlutou barvou, střední oxidace bronzovou až hnědou a silná oxidace modrou barvou. Světle šedou barvou svaru se projevuje vytvoření práškového oxidu na povrchu. Nad uvedenou teplotou dochází také k silné difúzi kyslíku a vzniku trhlin ve svaru.
- přednostně používat svary, které můžeme vyrobit bez přídavného materiálu,
- svařovat stejnosměrným proudem s přímou polaritou,
- použít plyn o vysoké čistotě min. 4.8, tj. 99,998 %.

Obr. 2 Využití bočního krytu v praxi

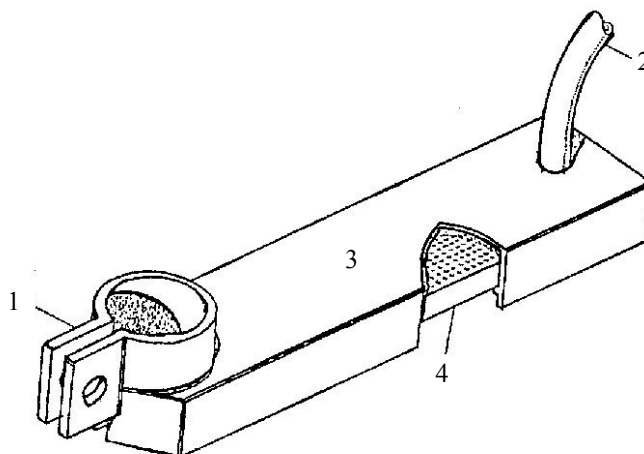


Obr. 3 Přípravek pro ochranu kořenové vrstvy



Pro svařování vysoce reaktivních kovů titanu, zirkonu atd. se k hořáku připevňuje boční kryt viz obr. 4. Tento přípravek, do kterého je přiváděn argon, chrání svar při ochlazování do teplot 300 – 350 °C, kdy již nehrozí nebezpečí oxidace.

Obr. 4 Boční kryt pro svařování reaktivních kovů¹



- 1 - objímka pro upevnění na svařovací hořák,
- 2 - přívod ochranného plynu,
- 3 - těleso krytu,
- 4 - keramické nebo kovové sítko

Formovací plyny se používají proti oxidaci kořene svaru a vysoko vyhřáté oblasti okolního základního materiálu. U titanu, zirkonu, martenzitické a feritické oceli se používají z důvodů nebezpečí vzniku trhlin nebo pórovitosti vlivem vodíku inertní plyny helium, argon.

Zásady pro svařování niklu a jeho slitin

- svarový úkos a svařovací tyčinky musí být čisté a zdrsňelé,
- tlustší plechy se svařují „V“ úkosem 75°, otupení 0,8 - 1 mm, svařová spára 0,4 - 1 mm,
- svařuje se stejnosměrným proudem s přímou polaritou, krátkým obloukem a vysokou rychlostí (nebezpečí naplynění),
- nutná ochrana kořene,
- nedoporučuje se předehřev,
- přídavné materiály stejné nebo podobné jako základní materiál a rozdělujeme je do 5 skupin: čistý Ni, Ni-Cr, Ni-Cr-Fe, Ni-Mo a Ni-Cr-Mo.¹

Přídavné materiály na svařování technického niklu a niklových slitin obsahují ještě desoxidací přísady (Ti, Si), přísady na redukování vlivu síry (Mg) nebo další legury (Nb). Po svařování je nutné provést tepelné zpracování.

Při svařování niklu a jeho slitin elektrickým obloukem v ochranných plynech TIG je nutné věnovat mimořádnou pozornost čistotě ochranného plynu. Čistota argonu musí být min. 4.5, tj. 99,995 %. Důležitá je i efektivnost plynové ochrany. Při svařování tenkých plechů je výhodnější použít svařování na podložku s přívodem argonu na ochranu kořene svaru. Slitiny Ni-Cr a Ni-Cr-Fe vyžadují při svařování ještě tzv. sekundární ochranu povrchu svaru tj. ochranu argonem celého zahřátého svarového spoje. Při nedostatečném zabezpečení ochrany povrchu i kořene částí svarového spoje argonem vykazují svarové spoje pórovitost a snížené plastické vlastnosti. Svařovaný proud je stejnosměrný, výhodné je použít svařování s pulsací.²

Svařování těžkotavitelných kovů

Do skupiny těžkotavitelných kovů můžeme zařadit tyto kovy s vysokou teplotou tavení: tantal - 2996 °C, molybden - 2620 °C, wolfram - 3390 °C, zirkon - 1852 °C, niob - 2468 °C, hafnium - 2230 °C.

Na svařování těžkotavitelných kovů se používá stejnosměrný proud s přímou polaritou. Vzhledem k vysoké citlivosti kovů na oxidaci je nutné zajistit dokonalou ochranu kořene svaru. Jako ochranný plyn se používá argon s čistotou min. 4.6, ale výhodnější je směs argonu s heliem, která přenáší větší množství tepla do svarové lázně.¹

2.2 Strojní svařování TIG

Ve srovnání s ručním svařováním se mechanizované a robotizované svařování TIG vyznačuje lepší ekonomičností a vyšší kvalitou svarů.

Cílem strojního svařování je:

- zvýšení kvality a užitých vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku - kolísání délky oblouku, nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu, kolísání rychlosti svařování, nedostatky plynové ochrany,
- zlepšení hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídavných materiálů,
- snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svářečů,
- zlepšit produktivitu svařování zvýšením rychlosti a využitím vysokovýkonných variant svařování (např. metoda horkého drátu nebo vícehořákové svařování),
- rozšířit okruh aplikací o svařování těžko svařitelných kovů.

Uvedené cíle lze dosáhnout vlastní charakteristikou svařování TIG a pomocí způsobů zabezpečení kvality svarových spojů, které lze rozdělit do těchto skupin:

- 1) Stabilizace vstupních parametrů svařování kam patří příprava a opracování polotovarů s předepsanou geometrií úkosů, minimálními tolerancemi, předepsaným stavem povrchu a definovaným upnutím.
- 2) Stabilizace rozhodujících svařovacích parametrů např. svařovacího proudu a napětí, rychlosti svařování, délky svařovacího oblouku a polohy hořáku. Typickým příkladem je proudový stabilizátor moderních zdrojů, který zajišťuje max. kolísání 0,5 % i při 10 % kolísání síťového napětí. Dalšími prostředky jsou rychlostní stabilizátory, polohové stabilizátory polohovadel a snímače polohy svarku k poloze hořáku. Typů snímačů polohy je celá řada a při svařování TIG se používají tyto: dotykové tenzometrické snímače jedno nebo dvousouřadnicové, kapacitní, indukční, obloukové, optické, laserové a elektrodové kontaktní. V poslední době se pro mechanizované způsoby svařování TIG rozšiřuje využití optických a laserových polohových snímačů vybavených CCD kamerou. Největší podíl doposud mají obloukové snímače založené na vyhodnocování změn svařovacích parametrů na oblouku.
- 3) Programové ovládání svařovacích parametrů umožňuje řídit celý svařovací proces z hlediska nastavení a změn svařovacích veličin - proudu, napětí, rychlosti, průtoku ochranného plynu atd. a také pohybové operace robota, polohovadla nebo mechanizace vedení hořáku (rozkyv hořáku atd.).

4) Řízení se zpětnou vazbou

Programové řízení je v současnosti realizováno elektronickou cestou s využitím zpětné vazby. Např. systém CCD kamerou s využitím laseru snímá tvar svarové lázně a porovnává ho s požadovaným tvarem spolu s vyhodnocením a korekcí odchylek. Zpětná vazba umožňuje zabezpečit konstantní geometrii svarové housenky i při měnících se parametrech svařování, např. různé tloušťce materiálu, změně tvaru úkosu aj. Jiný způsob automatického řízení se zpětnou vazbou využívá bezdotykové měření teploty svarové housenky těsně za obloukem nebo ze strany kořene svaru.

Strojní svařování se používá pro mechanizované způsoby svařování rovinných svarových spojů z vysokolegovaných ocelí i hliníku do tloušťek cca 5 mm.

Pro zvýšení produktivity této metody svařování TIG se ve vhodných aplikacích doporučuje využít výkonnější modifikace:

- a) Svařování zúženým obloukem, při kterém se zvyšuje stabilita oblouku a jeho zúžení menším průměrem plynové trysky, kde vnitřní $d = \text{průměr elektrody} + 2 \text{ až } 4 \text{ mm}$. Používá se pro svařování tupých svarů do tl. 5 mm bez mezery i pro měď, hliník a jeho slitiny.
- b) Tandemové svařování TIG - TIG a TIG - MIG, kde přední hořák (jeden nebo dva) slouží k přehřevu a zadní pro svařování. Tato varianta se používá pro oceli vyžadující přehřev a pro svařování mědi až do tl. 10 mm.
- c) Svařování MULTIWIG (multikatoda) je dvou až čtyřobloukové svařování, kde vzdálenost elektrod je tak malá, že se vytváří pouze jedna dlouhá svarová lázeň. Multikatodové svařování umožňuje svařovat rychlostí do 10 m.min^{-1} a využívá se pro podélné spoje při výrobě tenkých trubek.
- d) Oboustranné svařování zkracuje dobu svařování spoje a eliminuje úhlové deformace svaru.
- e) Využití vysokého obsahu vodíku ve směsi s argonem. Běžně se používá do 15 %, ale je známo použití až 35 % vodíku. Zvyšuje se průvar, rychlost svařování i životnost elektrody.

f) Svařování horkým drátem. Při tomto je přiváděný drát přehříván odporovým teplem při průchodu napájeného zvláštním zdrojem. Drát je přiváděn do tavné lázně při teplotě blízké se teplotě tavení. Tato metoda má následující výhody použití:

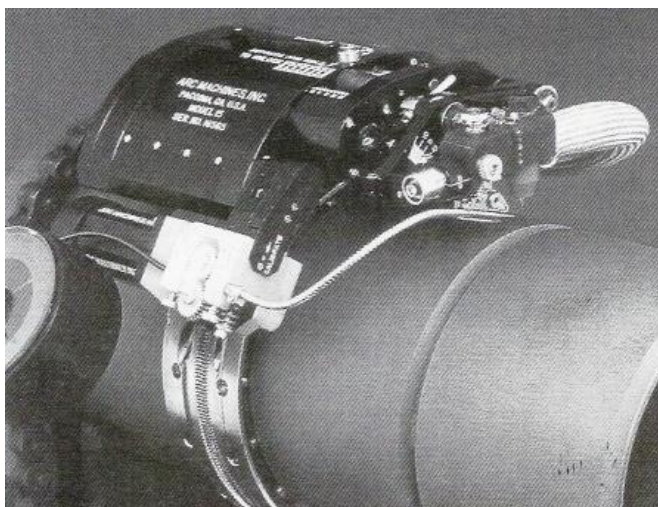
1. až čtyřikrát vyšší výkon navaření,
2. nižší nebezpečí pórovitosti svaru,
3. menší riziko studených spojů,
4. lepší přenos legujících prvků do svaru, poněvadž tavící se drát neprochází obloukem,
5. minimální ochlazení tavné lázně přiváděným přídavným materiálem,
6. vyšší svařovací rychlost a snížení tepelného ovlivnění základního materiálu.

Významné zastoupení má strojní svařování TIG také v oblasti svařování trubek a kombinace trubka - trubkovnice při výrobě tepelných výměníků, kde kromě ručního svařování se používá tzv. orbitálního způsobu svařování TIG.

Orbitální způsob svařování TIG

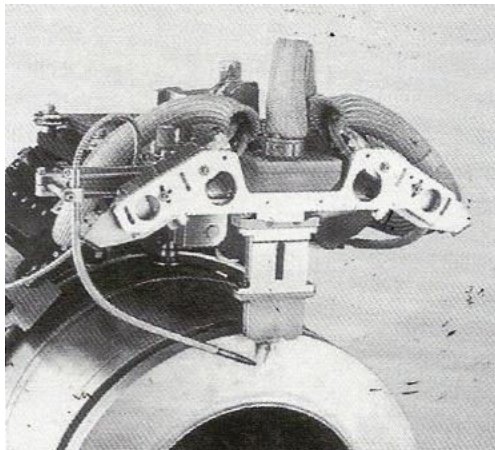
Při orbitálním svařování trubek větších průměrů (od 200 mm) je svařovací hlava navěšena na vodící desku nebo tvarovou vodící dráhu a vykonává kruhový pohyb o cca 370° tak, aby bylo zajištěno překrytí začátku svaru - viz obr 5. Svařovací hlava se skládá z vlastního hořáku, podavače drátu a pohybového ústrojí, které zajišťuje kruhový pohyb hlavy a oscilační pohyb hořáku ve svarovém úkosu.

Obr. 5 Svařovací zařízení pro svařování velkých průměrů trubek¹



Silnostěnné potrubí se svařuje do úzkého úkosu upravenou svařovací hubicí zobrazenou na obr. 6.

Obr. 6 Svařovací hlava pro svařování do úzkého úkosu¹



Menší průměry trubek (10 až 200 mm) se svařují hlavou navěšenou na tzv. upínací kleště, jejichž účelem je pevné a rychlé upnutí na vnějším průměru trubky – viz obr. 7. Funkce svařovací hlavy jsou stejné jako v předešlém případě. Dnešní moderní zařízení svařují pulsním proudem s pulsováním podávaného drátu a regulací parametrů svařování v závislosti na poloze hořáku na trubce. Při oscilaci (kývání) hořáku ve svarovém úkosu je možné regulovat parametry svařování (zvýšení proudu) v místech přiblížení elektrody ke stěně úkosu.

Obr. 7 Svařovací kleště pro orbitální svařování menších průměrů



Nejmodernější zařízení mají vizuální sledování oblouku a procesu svařování pomocí CCD kamer s možností archivace na CD-ROM. Orbitální mechanizované svařování se používá především při výrobě součástí jaderných a tepelných elektráren, kotlů, chemických, petrochemických a potravinářských zařízení.

Orbitální svařování kombinace trubka – trubkovnice je velmi podobné jako předešlá metoda, jen svařovací hlava je navěšena na středící a upínací trn, který je zasunutý do svařované trubky, nebo několika sousedících trubek při malých průměrech viz obr. 8.

Svařování probíhá bez přídavného materiálu, pouze natavením upravené trubky a trubkovnice, nebo je drát podáván bowdenem do oblouku. Plynová ochrana je zajištěna přívodem keramickou hubicí, ale některá speciální zařízení mají zvonovitý kryt celého místa svařování včetně okolí. Tato varianta je využita například pro svařování titanových výměníků pro jaderné elektrárny.

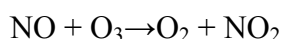
Obr. 8 Svařovací zařízení pro svařování kombinace trubka - trubkovnice



Bezpečnost při svařování metodou TIG

U svařování metodou TIG je nutno upozornit na velmi intenzivní UV záření vycházející z relativně dlouhého a stabilně hořícího oblouku, který není cloněn, např. struskou z obalu. Důsledné zakrytí všech částí těla je nutnou podmínkou ochrany zdraví při svařování.

Dále je při svařování, především nerezavějících ocelí v argonu, zvýšené nebezpečí vzniku ozónu. Relativně nejméně ozónu vzniká při svařování hliníku v argonu střídavým proudem. Množství ozónu lze snížit přidáním oxidu dusnatého NO, který se intenzivně slučuje s ozónem na oxid dusičitý dle následující rovnice:



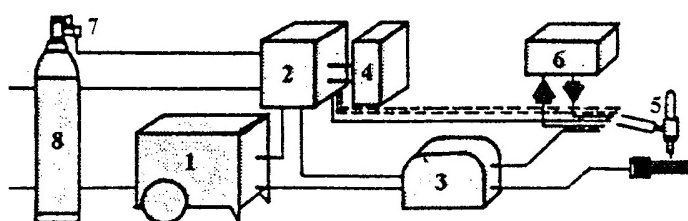
Takto označené plyny s 0,03 % NO jsou dodávány na trh pod označením MISON firmou AGA.

Při svařování vysokolegovaných ocelí se do ovzduší uvolňují oxidy legujících kovů, především chrómu a niklu, pro které platí nízké hodnoty NPK – nejvyšší přípustné koncentrace. Z těchto důvodů je nutno ochránit dýchací ústrojí svářečů dostatečným odsáváním zplodin svařování.

3 Přehled zařízení používaných pro svařování metodou TIG

Pro svařování metodou TIG volíme vždy zařízení, které je pro nás ekonomicky přijatelné a zároveň dostatečně vyhovuje podmínkám pro kvalitně odvedenou práci.

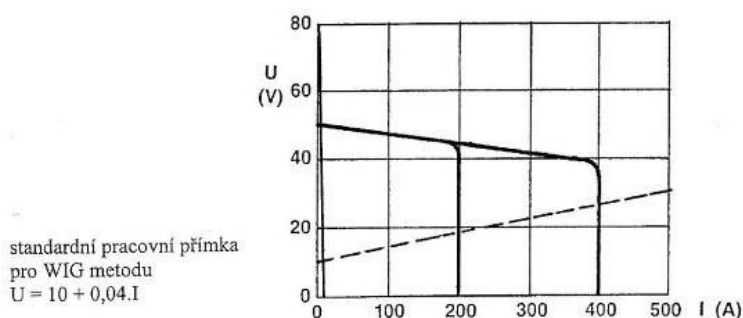
Obr. 9 Základní sestava zařízení pro svařování TIG stejnosměrným proudem¹



- | | |
|---------------------------------|--|
| 1 - zdroj stejnosměrného proudu | 2 - řídicí jednotka svařovacího obvodu |
| 3 - zapalovací jednotka | 4 - programátor |
| 5 - svařovací hořák | 6 - chladicí jednotka |
| 7 - redukční ventil | 8 - zásobník plynu |

Zdroj stejnosměrného proudu je usměrňovač se síťovým transformátorem nebo investor se strmou statickou charakteristikou. Napětí naprázdno nebývá obvykle vyšší než 75 V. Strmá charakteristika zdroje s vyznačenou standardní charakteristikou oblouku je na obr. 10.

Obr. 10 Voltampérová charakteristika zdroje pro TIG svařování¹



Řídicí jednotka obsahuje prvky k ovládní svařovacího procesu – začátek a ukončení svařování, náběh na začátku a sestup proudu na konci procesu, řízení různých úrovní proudu při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálů, tzv. minilogika, **pulzní jednotku**, zapínání a přerušování proudu.

Zapalovací jednotka zabezpečuje jiskrové bezzkratové zapálení oblouku pomocí vysokofrekvenčního vysokonapěťového ionizátoru nebo zkratem při velmi malém zapalovacím proudu, max. 6 A. Řídicím prvkem je při oddalování elektrody automaticky zvyšován proud na svařovací hodnotu.

Programátor v přímé návaznosti na řídicí jednotku zabezpečuje nastavení předfuku a dofuku plynu, zapínání a regulaci okruhu chladicí vody, aktivuje činnost ionizátoru a při mechanizovaném způsobu svařování řídí veškerý pohyb hořáku, případně celé svařovací hlavy. V případě robotizovaného svařování je napojen přímo na řídicí systém robota.

Svařovací hořák TIG zabezpečuje vlastní svařovací proces a bude popsán dále.

Chladicí jednotka zabezpečuje cirkulaci chladicí vody v celém systému. Skládá se ze zásobníku chladicí vody, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru na chlazení vody a propojovacích hadic včetně rychlospojek.

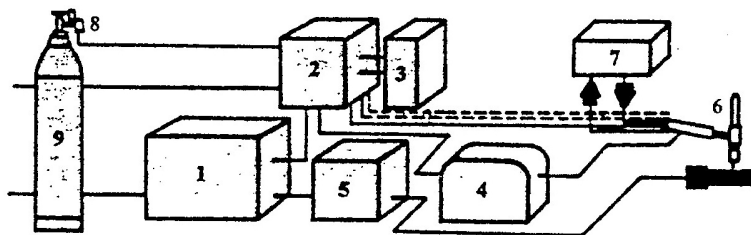
Zásobník ochranného plynu zabezpečuje spolu s redukčním ventilem požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem. Nejběžnější je tlaková láhev o objemu 10, 40 nebo 50 l, ale pro velký odběr inertního plynu jsou ekonomicky výhodné kapalné plyny v mobilních odpařovacích nádobách.

Spojovací a propojovací prvky mezi jednotlivými částmi jsou vodiče a hadice různých průměrů a délky. Všechny komponenty tvoří jeden celek svařovacího zařízení.

Zařízení na svařování střídavým proudem

Zařízení na svařování střídavým proudem (obr. 11) je ve srovnání s předešlým složitější, přestože většina komponentů je stejných. Starší zařízení se liší především zdrojem a u všech zařízení je doplněn stabilizátor oblouku a baterie kondenzátorů.

Obr. 11 Zařízení na svařování střídavým proudem¹



- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1 - zdroj střídavého proudu | 2 - řídicí jednotka |
| 3 - stabilizátor oblouku | 4 - zapalovací jednotka |
| 5 - baterie kondenzátorů | 6 - svařovací hořák |
| 7 - chladicí jednotka | 8 - redukční ventil |
| 9 - zásobník plynu | |

Zdroj střídavého proudu je nejčastěji svařovací transformátor upravený na svařování TIG pomocí výkonových elektronických prvků, které zvyšují strmost statické charakteristiky. U nových invertorových zdrojů je střídavé napětí odebíráno za VF transformátorem.

Stabilizátor je při svařování střídavých proudem velmi důležitým prvkem. Je zdrojem vysokonapěťových impulsů s vysokou frekvencí, které působí pouze v době, kdy svařovací proud má nulovou hodnotu a plní funkci pomocné zapalovací jednotky - ionizátoru.

Běžný stabilizátor indukuje do svařovacího obvodu proud o napětí 2500 až 6000 V, o frekvenci 2 až 5 MHz.

U moderních konstrukcí zdrojů se však častěji používá impulsní generátor s nízkou frekvencí, které mají nižší rušení telekomunikací.

Baterie kondenzátorů má při svařování důležitou úlohu, především při svařování hliníku a hliníkových slitin, vyrovnává deformovaný sinusový průběh, který je způsobený rozdílným ionizačním potenciálem wolframu a hliníku. Zlepšuje se tím čistící efekt svařovacího oblouku. Moderní svařovací zařízení mají obdélníkový průběh střídavého proudu a jsou vybavena funkcí „balance“, která umožňuje rozšíření nebo zúžení kladné, případně záporné periody proudu. Touto funkcí lze posílit buď čistící efekt, při kladné

periodě v případě zoxidovaného povrchu, nebo zvýraznit hloubku závaru při záporné periodě.

Novinkou v oblasti vyvážení střídavého průběhu proudu je systém D.O.C. – Dynamic Oxide Control (fa Migatronic) který automaticky sleduje okamžitou potřebu čištění svarové lázně a podle toho reguluje napájení kladné periody. V případě vysoké čistoty povrchu je výrazně posílena záporná půlvlna periody a tím je využito maximální množství energie pro tvorbu svarové lázně a zároveň klesá tepelné zatížení wolframové elektrody.

3.1 Druhy svařovacích proudů

Svařování stejnosměrným proudem

Svařování stejnosměrným proudem je základní způsob zapojení při svařování metodou TIG. Při tomto zapojení je elektroda připojena k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál na kladný (přímé zapojení). Rozdělení tepla oblouku je nerovnoměrné a přibližně 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Díky tomu není elektroda tepelně přetěžovaná a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Na velkou hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, které svoji kinetickou energii přeměňují na tepelnou.

Svařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou se používá pro spojování všech typů ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin. Tento způsob zapojení se dá použít i pro svařování hliníku v ochranné směsi plynů argonu a nejméně 75 % helia. Při svařování hliníku stejnosměrným proudem se díky vysoké vodivosti helia předává do svarové lázně velké množství tepla, které umožňuje roztavení i povrchových oxidů. Oxidy se vlivem povrchových sil stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně je čistý. Tento způsob svařování se používá především pro renovace a opravy rozměrných a silnostěnných hliníkových odlitků nebo svarků. Umožňuje spojovat i silnostěnné a tenkostěnné součásti především koutovým svarem.

Nepřímá polarita zapojení není z důvodu vysokého tepelného zařízení elektrody využívána a dá se výjimečně použít pro svařování tenkostěnných svarků z hliníku nízkým proudem.

Svařování střídavým proudem

Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku při kladné polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Výrazným problémem při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého, která chrání za běžných podmínek hliník proti další oxidaci. Vrstvička Al_2O_3 má však vysokou teplotu tavení $2050\text{ }^\circ\text{C}$ a při použití stejnosměrného proudu v argonu brání metalurgickému spojení, protože pokrývá povrch roztaveného hliníku jehož teplota tavení je cca $658\text{ }^\circ\text{C}$.

Čistící účinek vzniká při zapojení elektrody na kladný pól zdroje. Na základním materiálu se vytvoří katodová skvrna, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy. Tato místa mají nižší emisní energii pro emisi elektronů a po zasažení katodovou skvrnou se oxidy snadněji odpaří. Druhá forma čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty o relativně vysoké hmotnosti, které jsou urychlené směrem k tavné lázni, působí na oxidy mechanickým účinkem. Dynamickým účinkem tohoto proudu dochází ke stažení vrstvy oxidu k okraji svarové lázně. Při kladném zapojení elektrody vzniká pouze malý závar. Vysoká hloubka závaru se dosahuje při zapojení elektrody na záporném pólu zdroje, kdy do tavné lázně dopadají urychlené elektrony.

Svařování impulsním proudem

Impulsní svařování je nejnovější variantou TIG svařování, při kterém se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami a to základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý (obr. 12), sinusový lichoběžníkový nebo jiný.

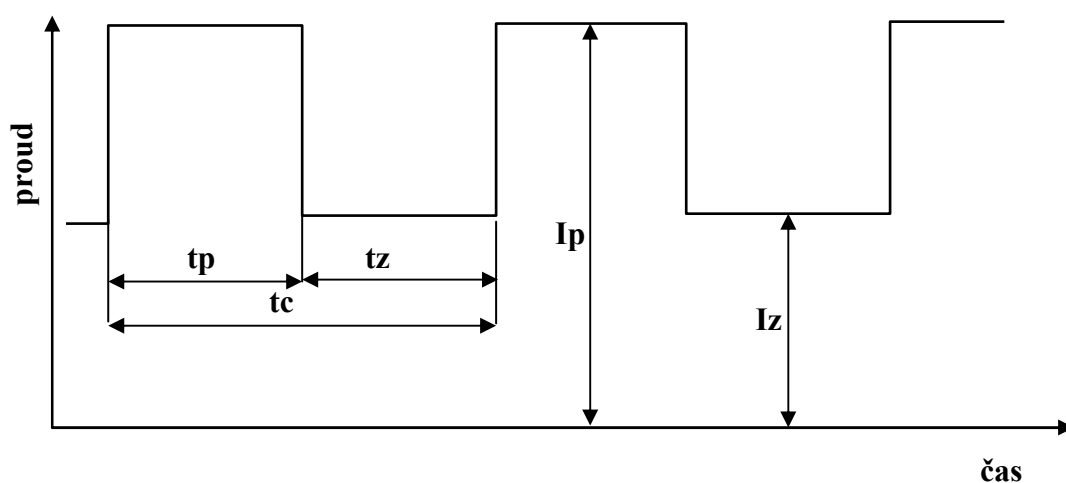
Základní proud I_z jehož hodnota je všeobecně nízká (cca $10 - 15\text{ A}$) zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase t_z . Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak v průběhu kratší doby lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. Toho se v praxi používá při požadavku zvláště hladkého svaru s plynulým přechodem do základního materiálu.

Impulsním proudem I_p v čase t_p dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu.

Tímto je dosažena velice přesná regulace svářecího režimu, dávkování hodnoty vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem, a proto vykazují svary malou TOO i výborné plastické vlastnosti, včetně nižší náchylnosti na praskání a menší deformace.

Součet času pulsního proudu t_p a času základního proudu t_z dává celkový čas cyklu t_c určující frekvenci pulsního svařování.

Obr. 12 Průběh pravoúhlého impulsního proudu¹



Při impulsním svařování se používají tyto druhy modulace proudu:

- dlouhé pulsy od 1 do 10 s pro tloušťku materiálu 4 až 6 mm
- střední pulsy s frekvencí 1 až 100 Hz, při svařování tlouštěk od 0,8 do 5 mm
- velmi krátké pulsy s frekvencí 1 až 20 MHz, pro svary Ti, speciálních ocelí a malé tloušťky 0,2 až 0,8 mm.

Rychlost svařování je při pulzním způsobu svařování velice důležitým parametrem protože zajišťuje dokonalé překrytí jednotlivých bodových svarů rovnoměrně na straně povrchu i kořene.

Rychlost musí být sladěna s ostatními parametry, především s frekvencí impulsů. Čím vyšší je frekvence, tím vyšší může být svařovací rychlost.

Výhody impulsního svařování:

- lepší celistvost, mechanické a plastické vlastnosti svarů,
- snížení tepelného ovlivnění materiálu a tím menší deformace,
- velmi dobré formování a vzhled svarové housenky,
- snížení náchylnosti svarů na vznik mezikrystalické koroze u vysokolegovaných ocelí,
- výhodný průřez svaru,
- možnost svařování plechu tl. 0,5 až 5 mm bez použití podložek,
- široká oblast regulace svařovacího proudu.

Nevýhody impulsního svařování:

- při nastavování frekvence pulzu může dojít k chybnému nastavení pulzních parametrů

Výše uvedené výhody impulsního svařování TIG se využívají v těchto oblastech:

- svařování tenkých plechů legovaných ocelí, mědi a měděných slitin,
- svařování různých tloušťek,
- jednostranně přístupné svary,
- polohové svary,
- svařování materiálů citlivých na přehřátí,
- svařování kořene trubek větších tloušťek.

3.2 Svařovací hořáky TIG

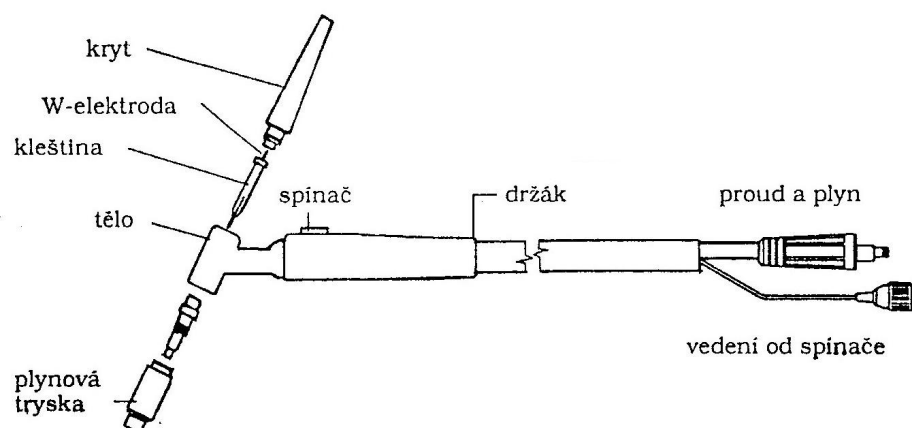
Svařovací hořáky (obr. 13) jsou nejzatíženější částí svařovacích zařízení. Zajišťují přívod elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, fixování polohy wolframové elektrody, přívod a odvod chladicí vody.

Hořáky rozdělujeme na chlazené procházejícím plynem do cca 150 A a vodou chlazené hořáky do 350 až 500 A pro ruční, ale především strojní svařování.

Hořáky mají vyměnitelné kleštiny, které zajišťují pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod. Pevné upnutí je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu. Další tepelně zatíženou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu do místa svařování.

Keramické trysky se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem a kovové, nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou.

Obr. 13 Svařovací hořáky¹



Průměr plynové trysky se volí podle požadované plochy, kterou chceme chránit. Orientační průměry plynových trysek jsou v tab. č. 2.

Tab. 2 Doporučené průměry plynových trysek¹

Proudový rozsah (A)	Průměry plynové trysky (mm)
Do 70	6 - 9
70 - 150	9 - 11
150 - 250	11 - 13
250 - 300	13 - 15
300 - 500	15 - 18

Pro zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čočky (sítka), které prodlouží laminární proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody.

Plynová sítko mohou snížit množství ochranného plynu až o 50 % a umožňují vysunutí elektrody na 15 až 20 mm.

Optimální průtok plynu závisí na těchto parametrech:

- druh svařovaného materiálu
- úhel sklonu hořáku
- typ ochranného plynu
- rychlost proudění okolního vzduchu
- hodnota proudu
- typ spoje
- velikost plynové trysky
- svařovací poloha

Na obr. 14 je znázorněna závislost průtoku argonu v závislosti na svařovacím proudu pro různé materiály.

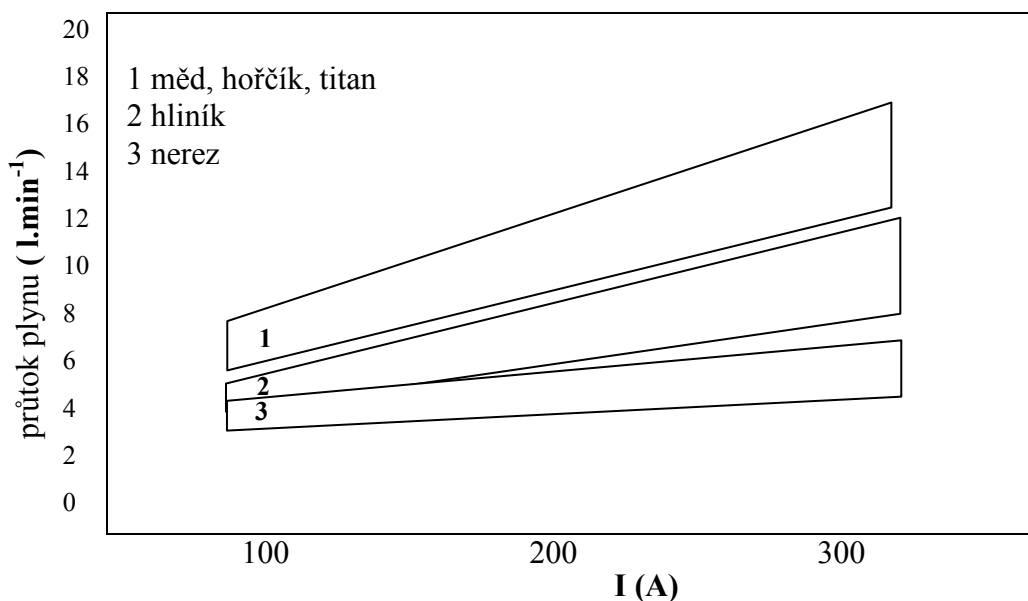
Při použití směsi argonu s heliem se musí průtok plynu zvýšit zhruba o 30 % při padesátiprocentním podílu helia v argonu.

K zajištění dokonalého plynového prostředí pro zapálení oblouku je svařovací zařízení vybaveno funkcí předfuku plynu. Zapálení oblouku je zpožděno proti začátku proudění plynu o 2 až 5 s. Naopak ochlazování elektrody a svarového kovu na teplotu, kdy již nehrozí oxidace je zajištěno funkcí dofuku. Tato funkce zajišťuje proudění ochranného plynu ještě 5 až 10 s po vypnutí proudu. Jestliže má elektroda modré nebo černé zbarvení je ochrana nedostatečná a dobu proudění plynu je třeba prodloužit.

Každý hořák je vybavený spínačem elektrického proudu, který umožňuje dvoutaktní nebo čtyřtaktní funkci spínání svařovacího proudu. Hořáky nových moderních zdrojů umožňují v průběhu svařování měnit svařovací proud plynule nebo skokově na předem nastavené hodnoty proudu.

Některé hořáky jsou vybavené zvonovitým krytem pro odsávání zplodin svařování. Mechanický filtr pro čištění a ventilátor tvoří příslušenství svařovacího zdroje.

Obr. 14 Závislost průtoku argonu na svařovacím proudu¹



3.3 Netavící se wolframové elektrody

Netavící se elektrody používané při svařování TIG se vyrábějí ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení 3380 °C, teplotu varu 5700 °C, měrný elektrický odpor $5,36 \cdot 10^{-8} \Omega$ a hustotu $19,1 \text{ g cm}^{-3}$.

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů – thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y), které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Přísada oxidů snižuje teplotu ohřevu elektrody o 1000 °C, zvyšuje životnost, zlepšuje se zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Zvýšení emise elektronů lze dosáhnout snížením výstupní práce při uvolnění elektronů. Prvky s nízkou výstupní prací (tab. 3) však nejsou vhodné z důvodů mechanických vlastností jako katodový materiál, a proto se přidávají k wolframovým elektrodám jako oxidická příměs. Při disociaci se thorium, cerium, yttrium, zirkonium a lanthan uvolňuje a pokrývá hrot wolframové elektrody, přičemž podstatně zvyšuje termoemisi elektronů. Delší životnost elektrody a vyšší proudovou zatížitelnost podporuje také vysoká teplota tavení oxidů.

Teploty tavení oxidů kovů, které se používají jako přísada do wolframových elektrod:

Oxid thoričitý	Th O ₂	3300 °C
Oxid lanthanitý	La ₂ O ₃	2300 °C
Oxid zirkoničitý	Zr O ₂	2700 °C
Oxid ceričitý	Ce O ₂	2600 °C
Oxid hafničitý	Hf O ₂	2900 °C
Oxid yttritý	Y ₂ O ₃	2700 °C

Naproti tomu oxid wolframový WO₃ má teplotu tavení pouze 1473 °C. Podstatně vyšší teploty tavení mají také nitridy uvedených kovů ve srovnání s nitridem wolframu.

Tab. 3 Výstupní práce elektronů základních oxidických příměsí a wolframu¹

Materiál	Výstupní práce elektronů (eV)
Wolfram	4,24 - 5,01
Oxid thoričitý	2,0 - 3,0
Oxid ceričitý	1,8 - 2,6
Oxid lanthanitý	1,7 - 4,2
Oxid yttritý	1,9 - 3,8

Volba typu elektrody závisí na druhu proudu a oblasti použití. Elektrody jsou normalizovány v ČSN EN 26 848 a jejich složení a barevné označení je uvedeno v tab. 4. Spotřeba netavicí se elektrody při zatížení proudem je cca 4 mm za hodinu.

Tab. 4 Přehled druhů vyráběných wolframových elektrod¹

Označení	Hmotnostní procento oxidů	Barevné označení
WP		zelená
WT 10	Th O ₂ 0,9 - 1,2	žlutá
WT 20	Th O ₂ 1,8 - 2,2	červená
WT 30	Th O ₂ 2,8 - 3,2	fialová
WT 40	Th O ₂ 3,8 - 4,2	oranžová
WZ 8	Zr O ₂ 0,7 - 0,9	bílá
WL 10	La O ₂ 0,9 - 1,2	červená
WC 20	Ce O ₂ 1,8 - 2,2	šedá
WL 20	La ₂ O ₃ 1,8 - 2,2	modrá
WLYC 10	La ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃ + Ce O ₂ 0,8 - 1,2	zlatá

Vyráběné průměry [mm]:

0,5	1,0	1,6	2,0	2,4	3,0	3,2	4,0	4,8	5,0	6,0	6,4	8,0	10
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Vyráběné délky [mm]:

50	75	150	175
----	----	-----	-----

Označování wolframových elektrod se řídí těmito zásadami:

- 1) první písmeno W značí wolfram jako základní prvek elektrod,
- 2) druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů, T – oxid thoričitý, Z - oxid zirkoničitý, L – oxid lantaničitý, C – oxid ceričitý,
- 3) druhé písmeno P (pure – čistý) charakterizuje elektrodu z čistého wolframu,
- 4) číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů.

Každá dodávaná elektroda musí být na jednom konci označena min. 3 mm barevným páskem odpovídajícího barevného odstínu. Elektroda se brousí na konci bez barevného označení do požadovaného tvaru.

Průměr, druh a způsob broušení funkčního konce elektrody závisí především na těchto faktorech:

- druhu svařovacího proudu,
- polaritě na elektrodě při stejnosměrném proudu,
- velikosti svařovacího proudu v závislosti na druhu základního materiálu a jeho tloušťce,
- typu, hloubce a tvaru svarového úkosu.

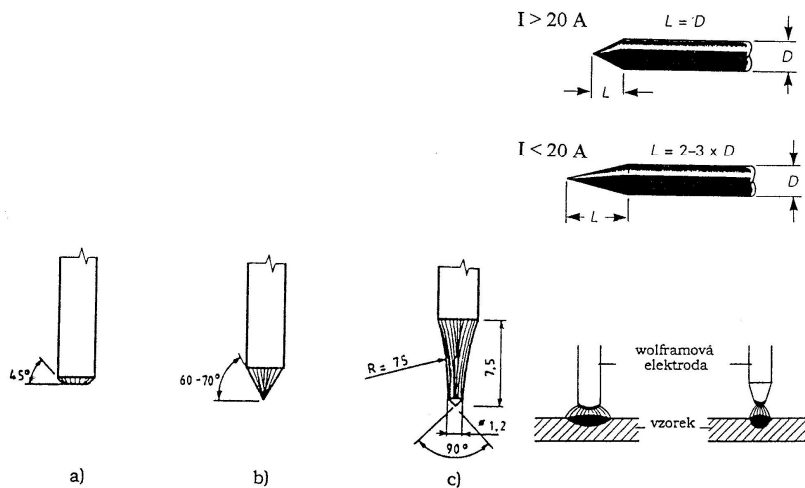
Funkční konec elektrod pro stejnosměrný proud se brousí do tvaru kužele s vrcholovým úhlem v závislosti na svařovacím proudu. Pro svařování střídavým proudem se brousí do tupého konce a při zatížení svařovacím proudem se povrchově nataví do kulového tvaru. Broušení konců elektrod je na obr. 15.

Při vlastním broušení je nutné orientovat elektrodu tak, aby vzniklé rýhy byly v podélném směru, což zajišťuje hoření oblouku z konce elektrody.

Doporučené hodnoty vrcholového úhlu pro stejnosměrný proud:

Svařovací proud	Vrcholový úhel
Do 20 A	30°
20 až 100 A	60° - 90°
100 až 200 A	90° - 120°
nad 200 A	120°

Obr. 15 Broušení konců elektrod a vliv úhlu broušení na hloubku závaru¹



3.4 Ochranné inertní plyny

Ochranné plyny zabezpečují ochranu netavící se elektrody, svarové lázně a její okolí proti vlivům okolního vzduchu, především proti oxidaci a naplynění. Současně vytvářejí příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, přenos tepla do svaru i jeho tvarování.

Argon

Argon (Ar) je jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu, který je inertní a nevytváří se žádným prvkem chemické sloučeniny. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku je 185,8 °C. Ve vzduchu je argonu 0,934 %. Argon má malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Z těchto důvodů se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot.

Hustota argonu je 1,784 kg.m⁻³, je tedy asi 1,4krát těžší než vzduch, a to přispívá k efektivnosti a velmi dobré schopnosti plynové ochrany především v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Dnes vyráběná a běžně nabízená čistota plynu je označována 4.5, tj. 99,995 %. Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku jako je titan, tantal a zirkon však vyžadují ochranu plynem vyšší čistoty např. 4.8, tj. 99,998 % nebo 5.0, tj. 99,999 %.

Ochranu argonu lze použít pro všechny svařitelné materiály a jeho použití je nejběžnější i z cenových důvodů.

Helium

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se He vyskytuje v množství kolem 1 %. Helium je velmi lehký plyn s hustotou 0,178 kg.m⁻³ a tato skutečnost snižuje efektivitu plynové ochrany, a proto vyžaduje pro dokonalou ochranu svaru vyšší průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou min. 4.6, tj. 99,996 % s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry od 5 do 20 ppm (ppm je desetitisícina procenta).

Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon. Ionizační potenciál helia 24,6 eV je také vyšší než u argonu, a proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce hoření.

Napětí na oblouku v heliu je výrazně vyšší než v argonu. Díky vysoké tepelné vodivosti je přenos tepla v oblouku velmi vysoký, a proto se směsi s heliem používají pro svařování materiálu s vysokou tepelnou vodivostí větších tloušťek, především hliníku a mědi včetně jejich slitin. Použitím helia ve směsi s argonem se zvýší hloubka závaru a zvýší rychlost svařování. Svařování v čistém heliu vyžaduje také zdroje s vysokým napětím naprázdno až 100 V a zapalování oblouku se provádí v ochraně plynu – argonu. He je velmi vhodné také pro mechanizované způsoby svařování.

Směsi argonu a helia

Směsi argonu a helia tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Ve směsi jsou spojeny výhodné vlastnosti obou plynů a pro svařování TIG se nejčastěji používají tyto kombinace 70 % Ar + 30 % He, 50 % Ar + 50 % He, 30 % Ar + 70 % He. Se stoupajícím obsahem helia se zvyšuje napětí na oblouku a tepelný výkon oblouku, což se pozitivně projevuje na tvaru a rozměrech svaru. Při svařování v uvedených směsích se zvyšuje rychlost svařování, hloubka závaru, nebo lze snížit přehřev kovů s vysokou tepelnou vodivostí. V dnešní době jsou směsi namíchány již v tlakových lahvích a směšovací zařízení se používá výjimečně.

Směsi argonu a helia se používají především pro svařování mědi a hliníku ručním nebo strojním způsobem a pro ostatní kovy se doporučují pro mechanizované svařování větších tloušťek. Např. rychlost svařování slitiny hliníku ve směsi ArHe 50/50 se zvýšila o 100 % oproti čistému argonu.

Směsi argonu a vodíku

Podobné vlastnosti jako argon s heliem má i směs argonu s vodíkem, který zlepšuje díky velmi vysoké tepelné vodivosti energetickou bilanci oblouku. Přídavkem vodíku 5 až 10 % se zlepšuje také čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Vodík se však může používat jen pro svařování vysoce legovaných austenitických a austeniticko-feritických CrNi ocelí, nebo niklu a jeho slitin. Podílem až 10 % vodíku se zlepšuje tvar a hloubka závaru i rychlost svařování o 30 – 50 %.

Směsi s vodíkem se nesmí použít pro svařování martenzitických a feritických CrNi ocelí, poněvadž způsobuje praskavost za studena a pro svařování hliníku a mědi z důvodu nebezpečí vysoké pórovitosti svaru. Díky redukčnímu charakteru vodíku je povrch svaru bez oxidů a nečistot.

Směsi argonu s dusíkem

Dusík podobně jako vodík je dvouatomový plyn, který má vyšší tepelnou vodivost a přenáší do svarové lázně větší podíl tepla. Běžný obsah dusíku se pohybuje kolem 10 % a používá se především pro svařování mědi a jejich slitin.

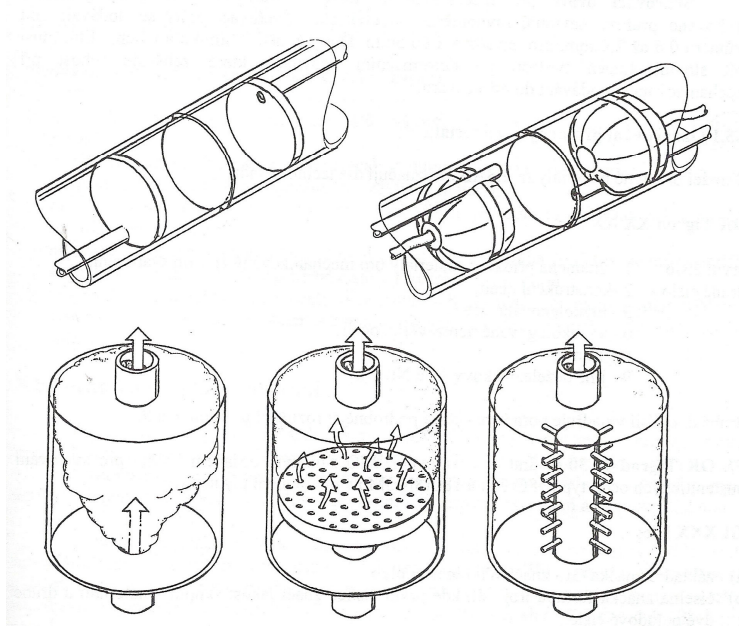
Formovací plyny pro ochranu kořene svaru

Formovací plyny se používají proti oxidaci kořene svaru a vysoko vyhřáté oblasti okolního základního materiálu. Používají se inertní, redukční nebo nereagující se svařovaným materiálem.

Pro svařování vysokolegovaných austenitických ocelí a niklových slitin můžeme jako formovacího plynu použít směs argonu s 2 až 10 % vodíku a nebo dusíku s 5 až 20 % vodíku. Tyto slitiny nejsou náchylné na vodíkovou křehkost. Všechny ostatní materiály Ti, Zr, martenzitické a feritické oceli atd. z důvodů nebezpečí vzniku trhlin nebo pórovitosti vlivem vodíku musíme chránit inertními plyny He, Ar.

Při svařování trubek nebo dutých těles ve svislé poloze se musí formovací plyn těžší než vzduch - Ar přivádět do spodní části svařovaného úseku, aby tvořící se plynový válec vytěsnil vzduch bez promísení směrem nahoru. Ze stejného důvodu se v případě lehčího plynu – dusík + vodík, nebo helium přivádí plyn do horní části a vytlačuje vzduch spodem. Samozřejmostí jsou dobře těsnící čela pro přívod plynu jejichž možné varianty jsou na obr. 16.¹

Obr. 16 Používané varianty utěsnění vnitřních prostorů při svařování trubkových svarů¹



4 Experimentální posouzení jakosti svarů vybraných materiálů zhotovených metodou TIG

Materiály, které jsme vybrali pro experimentální posouzení jakosti svarů, jsou běžně svařovány při renovaci součástí používané v leteckém průmyslu. Kvalita renovace součástí je závislá na správném zvolení metody technologie svařování.

Zkušební kus se hodnotí podle kritérií, která jsou platná pro jednotlivé vady. Vyhodnocování vad musí být v souladu s ČSN EN 25 817, není-li stanoveno jinak.

Zavedené tři stupně jakosti (tab. 5) se vztahují na jednotlivé svary, ne však na celý výrobek nebo jeho část. Pro jednotlivé svarové spoje na jednom výrobku lze předepsat různé stupně jakosti. Označení je voleno tak, aby stupně mohly být popř. rozšířeny.

Tab. 5 Tři stupně jakosti

Symbol	Stupeň jakosti
D	nízký
C	střední
B	vysoký

Svářeč vyhověl zkoušce pokud vady zjištěné ve zkušebním kusu, jsou v mezích stanovených pro stupeň jakosti B, s výjimkou nadměrného převýšení svaru, zvětšeného rozměru koutového svaru a nadměrně proteklého kořene, pro které platí stupeň jakosti C. Jestliže jsou na zkušebním kusu překročeny stanovené nejvyšší přípustné hodnoty, svářeč při zkoušce nevyhověl. Při zkoušce je nutné zohlednit i příslušná kritéria hodnocení pro nedestruktivní zkoušky.

4.1 Vady svarových spojů

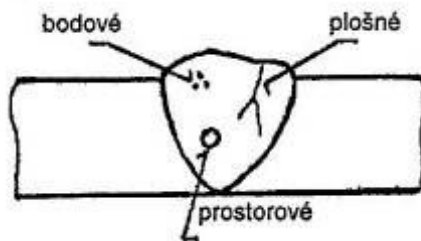
Vady ve svarech je nutno považovat za nebezpečné koncentrátoři napětí, které zvláště nepříznivě ovlivňují velikost meze únavy, ale mohou se též za určitých podmínek stát iniciátory křehkého lomu, a tím následného vyřazení součásti z provozu. K použití v provozu lze připustit pouze svary bez vad nebo jen s takovými typy vad, o kterých víme, že při známém provozním zatížení neohroží bezpečnost svařovaných konstrukcí.

Vady ve svarech rozdělujeme jednak podle tvaru (geometrie) a jednak podle polohy výskytu ve svaru.

Podle tvaru rozlišujeme ve svarech vady (obr. 17)

- **bodové** ke kterým počítáme mikropóry, příp. malé sférické vměstky (např. silikáty),
- **plošné** tj. trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, příp. neprůvary, nespojitosti návaru se základním materiálem (neprůvar v rovině souběžné s povrchem),
- **prostorové** plynové dutiny (bubliny, póry), vměstky (struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny (mezidentritické, kráterové).

Obr. 17 Rozlišení vad ve svarech podle tvaru³



Podle polohy vad ve svaru rozlišujeme vady (obr. 18)

- **povrchové** např. trhliny, studené spoje na svarové ploše, zápaly, neprovařený kořen a póry,
- **vnitřní** plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj (mezi vrstvami housenek, ale i mezi základním materiálem a svarovým kovem), neprůvar v kořeni (u oboustranného nebo koutového svaru).

Obr. 18 Rozlišení vad ve svaru podle polohy³



Přípustnost vad ve svarech

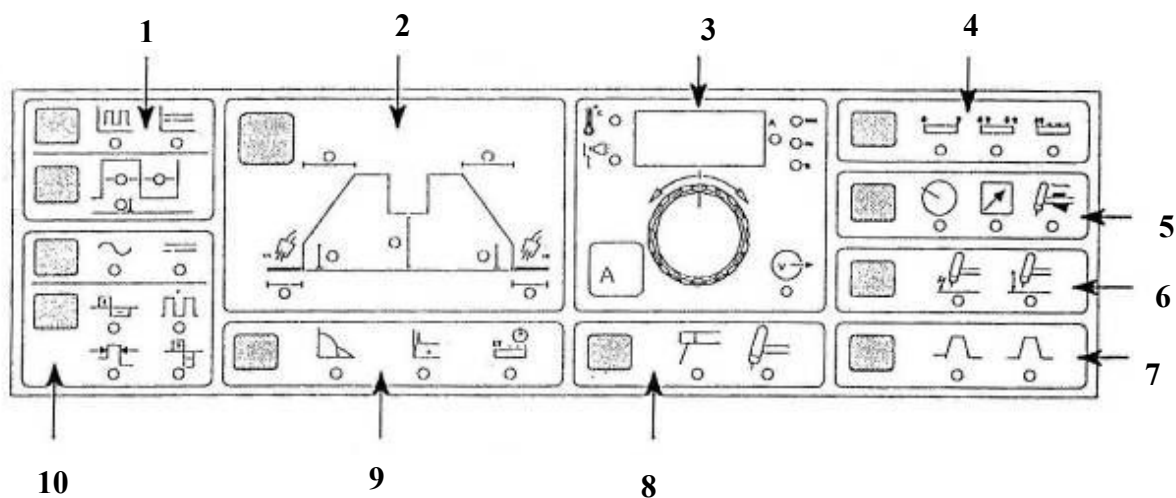
Přípustnost vad ve výrobcích obecně je stanovena druhem, velikostí a četností vyskytujících se vad v závislosti na typu výrobku (svaru), či konstrukce a způsobu jejich namáhání.

Pro bezpečnost svaru je rozhodující vada, která působí maximálně vrubovým účinkem resp. u které existuje nebezpečí, že se z ní vyvine při zatěžování svaru trhlinka. Ostatní vady, které neleží v rovině šířící se trhliny, nebudou prakticky přispívat ke snížení bezpečnosti svařovaných konstrukcí, jestliže jejich původní vrubový účinek oproti vrubovému účinku vzniklé a šířící se trhliny bude zanedbatelný. Přípustnost vad stanovuje konstruktér (projektant) výrobku na základě předpokládaného provozního namáhání s použitím principů lomové mechaniky a ovlivňuje technolog, který navrhuje a zajišťuje výrobu. Zda výrobek (svar) stanoveným kritériím jakosti a spolehlivosti užívání vyhovuje, ověřuje za použití příslušných metod pracovník nedestruktivní kontroly.³

4.2 Nastavení parametrů a volba funkcí

Jedním z předpokladů správného svařování je dokonalá znalost přístroje se kterým pracujeme. Pro vytvoření svařovaných vzorků a jejich následné posouzení byl zvolen třífázový svařovací zdroj, který je založen na investorové (spínavé) technologii. Je to zdroj koncipovaný pro svařování metodou TIG s přístrojovou deskou na obr. 19.

Obr. 19 Přístrojová deska⁴



1. nastavení pulsního svařování pro DC svařování,
2. nastavení předfuku, startovacího proudu, náběhu proudu, poklesu proudu, koncového proudu, dofuku a při čtyřtaktu redukováného proudu (0 - 100 %),
3. digitální display,
4. volba dvoutaktního nebo čtyřtaktního spínání,
5. volba ovládání (interní, dálkové a na hořáku),
6. volba zapalování oblouku (dotykové UF TIG, vysokofrekvenční HF TIG),
7. pilotní oblouk (osvětluje místo sváru, čímž usnadňuje nalezení počátečního bodu),
8. proces sváření (elektrodou, TIG),
9. charakteristika oblouku,
10. nastavení proudu a pulsního svařování pro AC svařování,

Je možno zvolit jeden ze dvou typů svařovacího proudu:

- AC (alternating current) střídavý proud
- DC (direct current) stejnosměrný proud

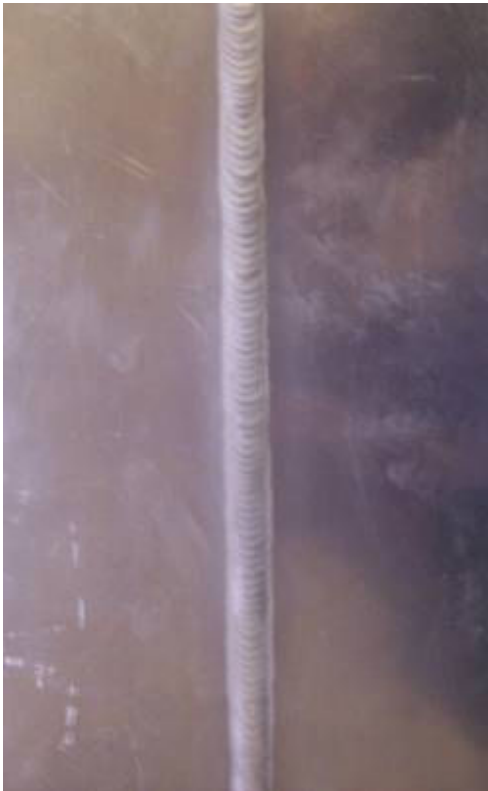
Ve svařovacím režimu TIG se AC používá pro svařování hliníku a jeho slitin, zatímco DC se používá pro další materiály.

Při svařování hliníku a jeho slitin v režimu TIG odstraní kladná půlvlna střídavého proudu oxidační vrstvu na povrchu materiálu a jeho záporná část půlvlny taví základní materiál.⁴

4.3 Hliník (plech tl. 3 mm, poloha PF, tj. svislá nahoru)

Zkušební vzorek na obr. 20 a 21 byl svařován střídavým proudem při kladné polaritě elektrody z důvodu čistícího účinku. Jako přídavný materiál byl použit drát kruhového průřezu o průměru 3 mm (AlSi 5). Materiál svařovaného plechu AlCu 4 Mg je vytvrditelná slitina s pevností kolem 400 MPa využívaná pro pevnostně náročné konstrukce (letectví). Měřítko obrázků je 1:3.

Obr. 20 Krycí vrstva



Obr. 21 Kořenová vrstva



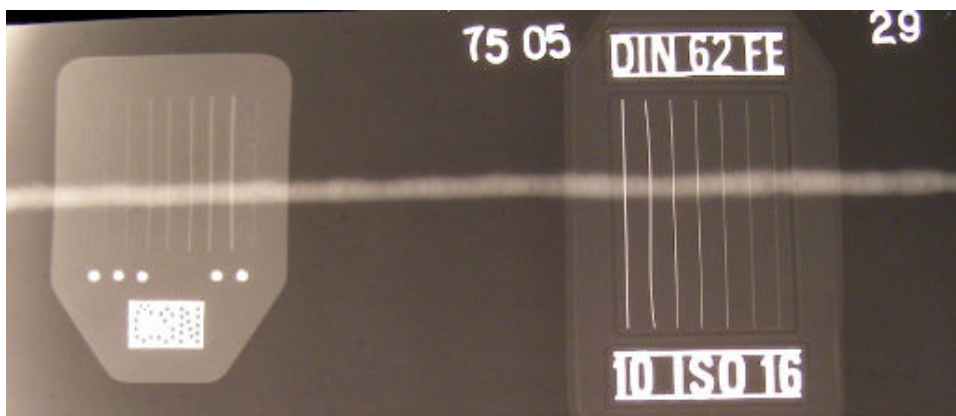
Způsob kontroly svařování hliníku a jejich slitin

Kontrola (RT) prozařováním patří mezi metody nedestruktivního zkoušení. Jakost radiogramu se kontroluje radiografickými měrkami. Podle ČSN (nebo DIN) jsou používány měrky drátkové ČSN EN 462-1. Drátkové měrky jsou založeny na řadě 19-ti drátků, které jsou rozděleny do čtyř skupin po sedmi drátcích odstupňovanými průměry. Měrky se označují číslem drátku největšího průměru, materiálem měrky (Fe, Cu, Al, Ti).

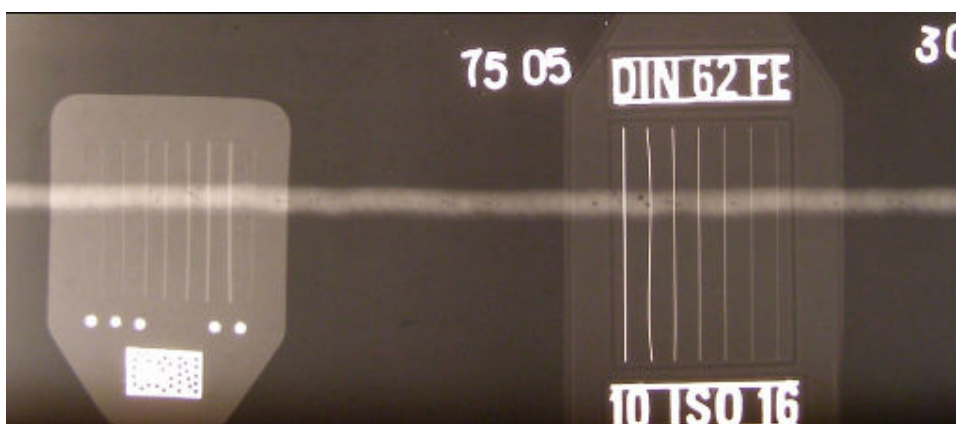
Jakost radiogramu se stanoví dle vzorce: $J = \frac{\phi}{t} \cdot 100$ ϕ - nejmenší průměr drátku měrky viditelný na radiogramu (mm) ; t – tloušťka prozařovaného materiálu (mm).⁵

Na obr. 22 a 23 můžeme vidět vyhodnocení radiogramu pomocí drátkových měrek.

Obr. 22 Radiogram s drátkovými měrkami: vzorek vyhověl



Obr. 23 Radiogram s drátkovými měrkami: vzorek nevyhověl



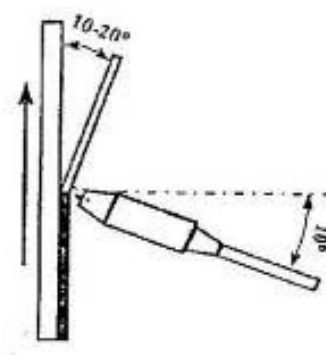
Rozbor označení zkoušky svářečů: EN 287 – 2 141 P BW W23 wm t03 PF ss nb

EN 287	–	číslo normy
2	–	hliník
141	–	metoda svařování – obloukové svařování netavicí se elektrodou v inertním plynu (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (bez úkosů)
W23	–	vytvrditelná hliníková slitina (AlCuMg)
wm	–	s přídavným materiálem
t03	–	tloušťka plechu = 3 mm
PF	–	poloha svislá nahoru viz obr. 24
ss	–	jednostranný svar
nb	–	bez podložky

Na obr. 23 jsou vidět plynové dutiny a póry vzniklé v důsledku mastnoty a vlhkosti na plechu, nebo na přídavném materiálu (většinou je to přídavným materiálem).

Největšími problémy při svařování hliníkových materiálů je pórovitost svarů, náchylnost na vznik trhlin za horka ve svarových spojích, přítomnost oxidické vrstvy Al_2O_3 na povrchu svařovaných materiálů a její rychlá tvorba během svařování a výrazný pokles pevnosti svarového spoje u vytvrditelných slitin.

Obr. 24 Sklon a orientace hořáku s přídavným materiálem (poloha svařování PF).



4.4 Hořčík (plech tl. 3 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)

Svařování hořčíkových slitin se provádí střídavým proudem při kladné polaritě elektrody. Zvolí se čistý wolfram o průměru 2 mm, který je značený zeleně a je vhodný pro svařování střídavým proudem.

Po strojním obrábění (zhotovení dvou plechů 120 x 300 mm) se plechy musí odmastit. Svařitelnost hořčíku a jeho slitiny v praxi nečiní problémy. Některé typy slitin vyžadují při svařování přehřev. Před svařováním se upraví svarové plochy. Jedná se o tupý svar, proto se dokonale slícují dotykové plochy. Pilníkem se lehce srazí ostré hrany, aby se lépe vytvářela plynulá kořenová vrstva. Plechy se doporučuje přehřát na teplotu 200 °C.

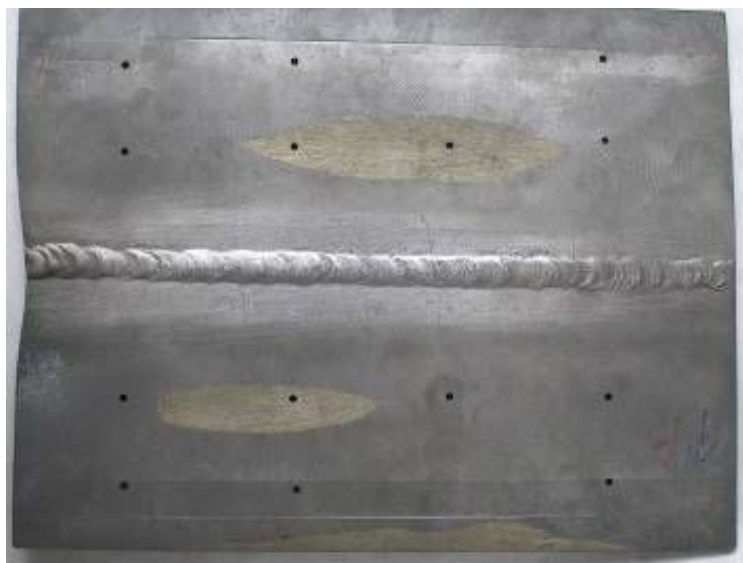
Plech se rozevře do písmene “V“ .Na jednom konci se hrany dotýkají a na druhém je tří milimetrová mezera. Svařuje se zprava do leva postupem vpřed. Tyčka (45859 W) přídatného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem. Po dokončení svařování se nechá vzorek vychladnout do pece, kde je teplota 200 °C na 16 hodin (při zkoušce 400 °C na ½ hod.). Nejprve provede zkušební komisař vizuální kontrolu, kde se hodnotí nejen svarový spoj samotný, ale i úprava zkušebních plechů (u tohoto vzorku na obr. 25 a 26 je v jednom místě propadlá kořenová vrstva). Poté se na zkušebním vzorku provede zkouška prozářením, kde se na snímku objevilo zrnko písku v důsledku odlévání hořčíkové slitiny (častá vada při svařování odlitků obr. 27).

Rozbor označení zkoušky svářečů:

141 P BW MgAl S wm t03 PA ss nb.

141	–	metoda svařování – (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (bez úkosů)
MgAl	–	hořčíková slitina
wm	–	s přídatným materiálem
t03	–	tloušťka plechu = 3 mm
PA	–	poloha vodorovná shora
ss	–	jednostranný svar
nb	–	bez podložky

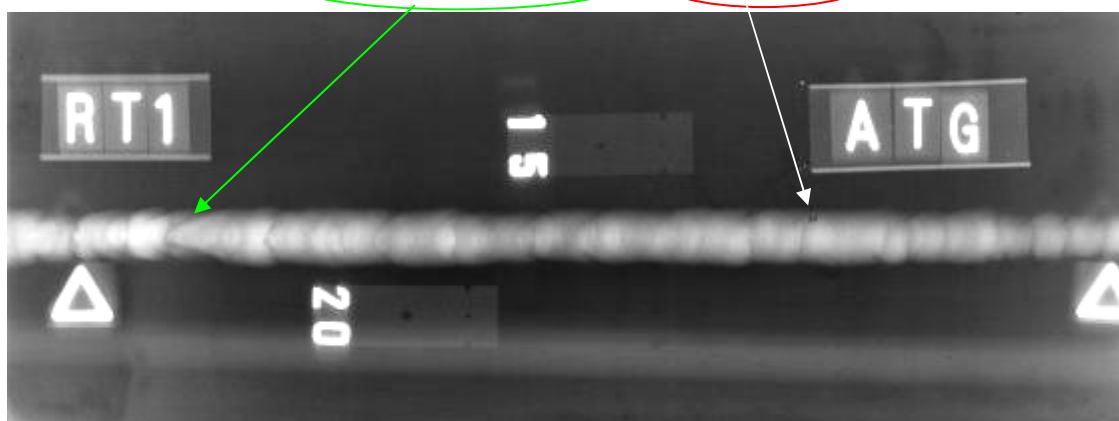
Obr. 25 Krycí vrstva



Obr. 26 Kořenová vrstva



Obr. 27 Radiogram RT 1 - propadlá kořenová vrstva a písek ve svaru



4.5 Titan (plech tl. 8 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)

Svářečská zkouška: **EN ISO 9606-5 141 P FW W53 wm t08 PA**

EN ISO 9606-5	–	číslo normy
141	–	metoda svařování – obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (s úkosy)
W53	–	skupina materiálů – slitiny titanu
wm	–	s přídatným materiálem
t08	–	tloušťka plechu = 8 mm
PA	–	poloha vodorovná shora

Svařitelnost titanu v praxi nečiní problémy za předpokladu, že svarová lázeň a tepelně ovlivněná oblast je dokonale chráněna inertním plynem před vnější atmosférou. Svařování v ochranných inertních plynech metodou TIG se používá v závislosti na tloušťce stěny svařovaného kusu. Pokud se nesvařuje ve zvláštních komorách naplněných ochranným plynem, musí být také spodní strana svarového spoje dokonale chráněna. Tepelné zpracování titanových slitin zahrnuje žhání na snížení pnutí, rozpouštěcí žhání a rekrytalizační žhání.

První vzorek na obr. 28, 29 a 30 je 8 mm titanový plech. Plech se svařuje stejnosměrným proudem s přímou polaritou. Zvolí se 3 mm průměr wolframové elektrody. Na tomto vzorku je použito pět svařovacích vrstev. První kořenová vrstva se svařuje s minimální mezerou mezi vzorky. Při počátečním natavení materiálu vznikne tavná lázeň, ve které se vytvoří otvor, do kterého se vkládá přídatný materiál. Tento otvor se musí neustále udržovat, aby bylo dosaženo požadovaného kořene svaru. Druhou, třetí a čtvrtou vrstvou se vyplní úkosy plechu a pátou vrstvou (krycí) se dokončí svar. Velikost svařovacího proudu je 160 A. Titanový materiál se svařuje velice dobře. Svářeč se rozhodně nemusí bát propadnutí kořene během svařování. Naopak drát se protlačuje v první kořenové vrstvě právě do vytvořeného otvoru tavné lázně. U tohoto materiálu je teplota žhání na snížení pnutí 540 až 600 °C.⁶

Obr. 28 Krycí vrstva



Obr. 29 Kořenová vrstva



Obr.30 Radiogram – vzorek je vyhovující



Titan (plech tl. 1 mm, poloha PA)

Svářečská zkouška: **EN ISO 9606-5 141 P BW W51 wm t01 PA ss nb**

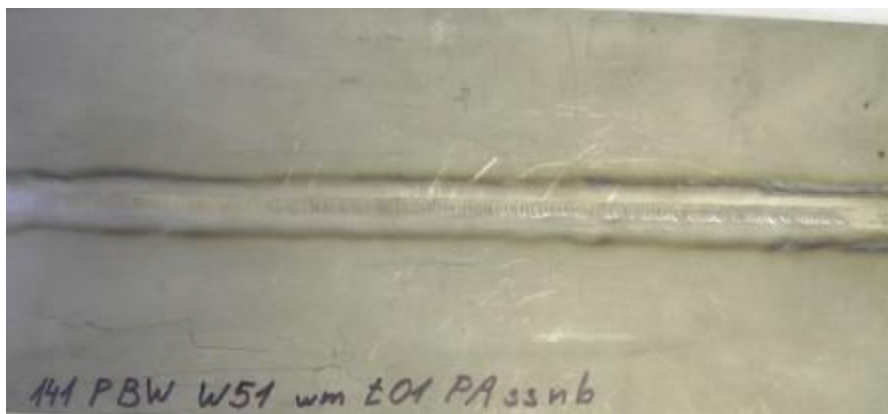
EN ISO 9606-5	–	číslo normy pro tavné svařování titanu
141	–	metoda svařování – obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (bez úkosů)
W51	–	skupina materiálů – čistý titan
wm	–	s přídavným materiálem
t01	–	tloušťka plechu = 1 mm
PA	–	poloha vodorovná shora
ss	–	jednostranný svar
nb	–	bez podložky

U druhého vzorku na obr. 31, 32 a 33 se jedná o tupý svar a proto se musí dokonale slícovat dotykové plochy. Pilníkem se lehce srazí ostré hrany, aby se lépe vytvářela plynulá kořenová vrstva. Oba plechy se musí dostatečně odmastit a nastehovat v přípravku. Svařuje se stejnosměrným proudem s přímou polaritou s přídavným materiálem zprava do leva. Velikost svařovacího proudu je 60 A a průměr wolframové elektrody je 1,6 mm. Použije se wolfram legovaný 2 % oxidu thoria, který je značený červeně a je vhodný zejména pro svařování pro nízko i vysokolegovaných ocelí, včetně nerezových materiálů. Nasadí se boční kryt (obr. 3) a pustí se ochranný plyn do přípravku pro ochranu kořene svaru (obr. 4).

U tohoto vzorku se může použít pulzní svařování o velikosti proudu 70 až 76 A. Frekvence se může nastavit od 1 – 300 Hz. Pravidlo pro nastavení frekvence je „čím menší tloušťka materiálu, tím vyšší nastavení frekvence“.

Na obr. 34 a 35 je ukázán špatně zvolený postup ochrany svarového kovu včetně kořene svaru, přídavného materiálu i tepelně ovlivněné oblasti ochranným plynem. V tomto případě nebyl použit boční kryt (obr. 3) pro zajištění dostatečně dlouhé doby chladnutí svaru, ani přípravek na ochranu kořenové vrstvy (obr. 4).

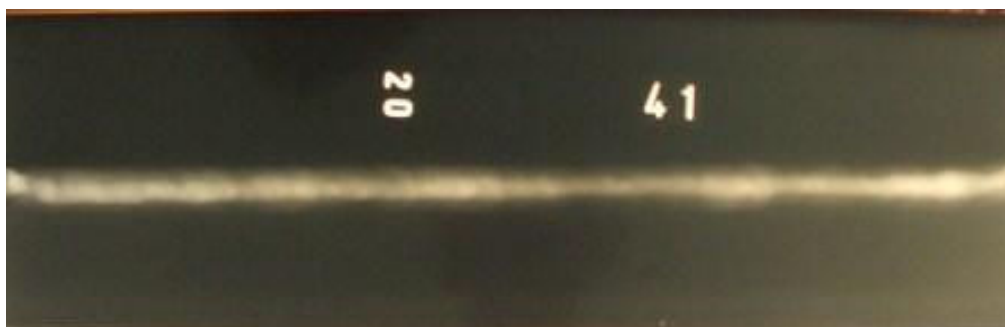
Obr. 31 Krycí vrstva



Obr. 32 Kořenová vrstva



Obr. 33 Radiogram – vzorek je vyhovující



Obr. 34 Krycí vrstva



(světle šedý práškový oxid na povrchu)

Obr. 35 Kořenová vrstva



(bronzová až hnědá střední oxidace)

4.6 Austenitická CrNi ocel (plech tl. 2 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)

Rozbor označení zkoušky svářečů: EN 287 – 1 141 P BW 8 nm t2 PA ss nb

EN 287	–	číslo normy
1	–	ocel
141	–	metoda svařování – obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (bez úkosů)
8	–	austenitická korozivzdorná ocel (17 241)
nm	–	bez přídavného materiálu
t 2	–	tloušťka plechu = 2 mm
PA	–	poloha vodorovná shora
ss	–	jednostranný svar
nb	–	bez podložky

Složení materiálu 17 241:

Cr = 17 až 20 %, Ni = 8 až 11 %, Mn = 2 %, C = 0,12 %, Si = 1 %, S = 0,03 %.

Austenitická, chromniklová ocel 17 241 ČSN 41 7241 (AISI 304), která je z důvodu svého nízkého obsahu uhlíku po svařování u síly plechu do 6 mm odolná proti mezikrystalické korozi i bez dodatečné tepelné úpravy. Tato ocel je schválena pro teplotní namáhání do 300 °C. Při vyšších pracovních teplotách by se měla používat titanem stabilizovaná ocel 17 246 ČSN 41 7246 (AISI 321). Přídavný materiál pro tuto austenitickou ocel je pro metodu TIG - OK Tigrod 308L. U této zkoušky nebyl použit přídavný materiál.

Před svařováním se plechy musí řádně očistit a odmastit. Jedná se o tupý svar, proto musíme dokonale slícovat dotykové plochy. Pilníkem se lehce srazí ostré hrany, aby se lépe vytvářela plynulá kořenová vrstva. V přípravku se plech nastahuje (obr. 36). Důležitou podmínkou pro vyhovující svar (obr. 37, 38, 39) je ochrana kořene svaru formovacím plynem. Na obr. 40 a obr. 41 je ukázka zápalů na krycí vrstvě a kráterový kořen svaru v důsledku nepoužití formovacího plynu pro ochranu kořene svaru. Pro svařování se použije stejnosměrný impulsní proud o velikosti 72 A.

Obr. 36 Příprava plechů pomocí bodových svárů v přípravku před svařováním



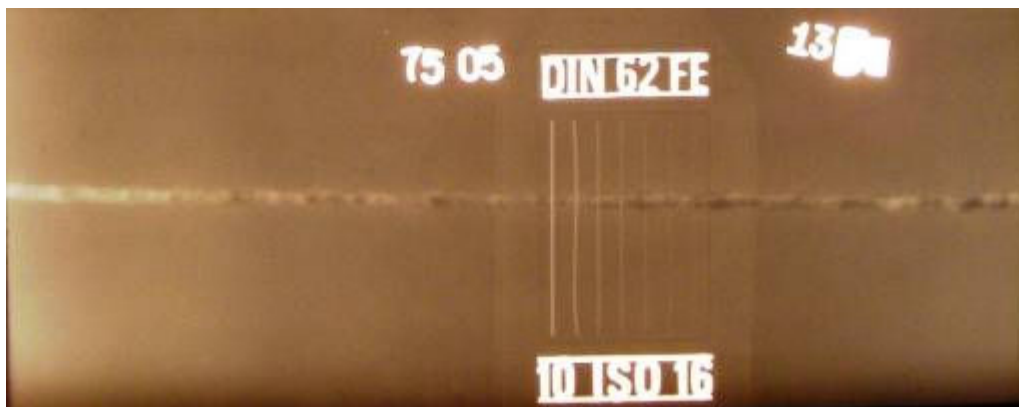
Obr. 37 Krycí vrstva



Obr. 38 Kořenová vrstva



Obr. 39 Radiogram s drátkovými měrkami: vzorek vyhovuje



Obr. 40 Propadlá krycí vrstva - vzorek nevyhovuje



Obr. 41 Nechráněná zčernalá kráterová kořenová vrstva - vzorek nevyhovuje



4.7 Měď ČSN 42 3005 (plech tl. 2 mm, poloha PA, tj. vodorovná shora)

Svářečská zkouška: **EN ISO 9606-3 141 P BW W31 wm t02 PA**

EN ISO 9606-3	–	číslo normy pro tavné svařování mědi a slitin mědi
141	–	metoda svařování – obloukové svařování netavicí se elektrodou v inertním plynu (TIG)
P	–	2x plech (120 x 300 mm)
BW	–	tupý svar (bez úkosů)
W31	–	skupina materiálů – čistá měď
wm	–	s přídavným materiálem
T 02	–	tloušťka plechu = 2 mm
PA	–	poloha vodorovná shora

Složení:

Cu = 99,5 %,

Al = 0,05 %, As = 0,10 %, Fe = 0,05 %, Pb = 0,10 %, Sb = 0,08 %, Sn = 0,15 %.

Vlastnosti:

Hustota – 8,890 g.cm⁻³

R_m – 205 až 265 MPa

Díky vysoké tepelné vodivosti, poklesu plastických vlastností v intervalu teplot 300 až 650 °C, poklesu tuhosti a pevnosti při teplotách nad 600 °C, nepříznivému formování svaru při svařování v polohách a vysoké tekutosti nataveného materiálu se měď svařuje trochu obtížněji než běžné oceli. Nejprve se měď předeřeje na 200 °C. Pro svařování technické mědi se použije stejnosměrný svařovací proud s přímou polaritou. Na prvním zkušebním vzorku se svařovalo bez přídavného materiálu obr. 42 a 43. Stačilo zvolit správnou velikost proudu, která v tomto případě byla 120 A. Technika svařování měděných a ocelových materiálů je rozdílná. U mědi je to velký proud a relativně dlouhá doba vytvoření tavné lázně a následná větší svařovací rychlost než u ocelových materiálů.

Na druhém vzorku se svařovalo s přídavným materiálem. Komplikace nastala pokud se vložil přídavný materiál na okraj tavné lázně. Okamžitě došlo k ochlazení tavné lázně, které způsobilo zpomalení svařování. Zde docházelo velice lehce k propadnutí kořenové vrstvy obr. 45. Jednou z možností bylo zvolit co nejmenší průměr přídavného materiálu, nebo svařovat první vrstvu bez přídavného materiálu a druhou vrstvu s přídavným materiálem obr. 46 a 47 (nebezpečí vzniku trhlin).

Přídavný materiál se stříhal z plechu ČSN 42 3005. Lze použít i dráty pro elektroniku stejné normy ČSN 42 3005.11. Nedoporučují se jako přídavný materiál slitiny mědi (CuSn8, CuCd0,2). Příliš velký proud může způsobit tvorbu trhlin. Dohřevem v peci se může zabránit vzniku horkých trhlin ve svaru a vzniku mikrotrhlin.⁷

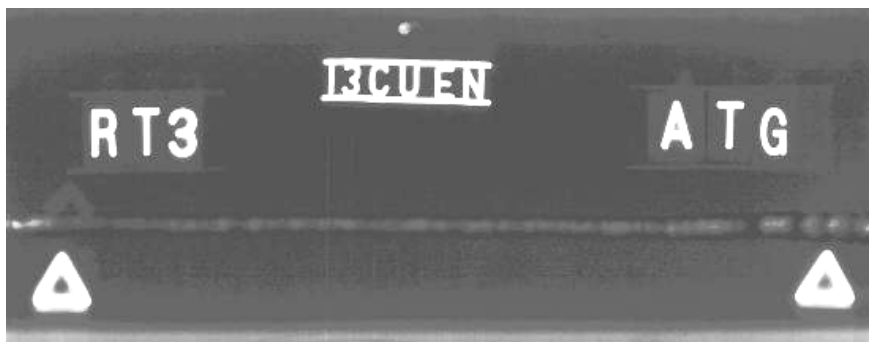
Obr. 42 Bez přídavného materiálu - krycí vrstva a zápaly



Obr. 43 Bez přídavného materiálu - kořenová vrstva



Obr. 44 Radiogram – příliš hubený kořen a zápaly



Obr. 45 Propadlá kořenová vrstva



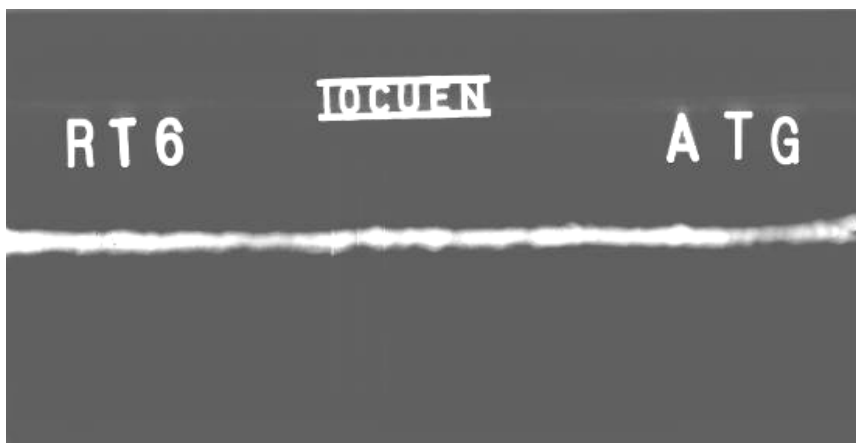
Obr. 46 S přidavným materiálem – krycí vrstva



Obr. 47 S přídavným materiálem – kořenová vrstva



Obr. 48 Radiogram – vzorek je vyhovující



Svařování tohoto materiálu v praxi nečiní problémy, pokud se dodržují podmínky podle ČSN 05 1310. Před svařováním se plech přehřívá na 350 až 400 °C. Po svařování se popustí na teplotu 690 až 720 °C. Svařuje se stejnosměrným proudem s přímou polaritou elektrody. Lze použít spodní ochranu kořene formovacím plynem jako u titanových a u nerezových materiálů (zpomalení ochlazování).

Pokud chceme materiál zušlechťovat na R_m min. 931 MPa (kalení L-ROL.6), nebo R_m min. 110 MPa (kalení L-ROL.7), musí se provést po svařování žihání na měkko při teplotě 720 až 740 °C s prodlevou asi 4 hodiny a pozvolna ochlazovat v peci, kalení probíhá při teplotě 870 až 900 °C a po prohřátí ochlazovat v oleji (pro L-ROL.6). Popuštění probíhá při teplotě 530 až 610 °C s prodlevou podle potřeby, ochlazovat ve vodě (pro L-ROL.6).

Parametry materiálu:

- C_e - uhlíkový ekvivalent, který vyjadřuje vliv chemického složení základního materiálu na jeho svařitelnost,
- P_H - parametr, podle něhož lze stanovit teplotu přehřevu pro vyloučení vzniku trhlin za studena. Je ovlivněn difúzním vodíkem ve svaru,
- H.C.S. - parametr, podle něhož lze přibližně určit náchylnost svarového spoje k trhlinám za horka,
- P_{SR} - parametr, zahrnující vliv legujících prvků k náchylnosti oceli ke vzniku žihacích trhlin.

Uhlíkový ekvivalent je $C_e = 0,83$, parametr $P_H = 0,6$, parametr H.C.S = 12,9, $P_{SR} = -0,9$ (žihací tok). Pevnost v tahu [R_m] je max. 735 MPa. Tažnost [A] je min. 16 %.

Tab. 6 Přehled značek výběrových ocelí

Značka výběrové oceli	Přibližné porovnání oceli	
	ČSN	Ruské
L-ROL	14 331	30ChGSA
L-CM3	15 130	30ChMA
L-ROL-N	16 532	30ChGSNA

První vzorek na obr. 49, 50 a 51 se svařoval s předehřevem při teplotě 350 °C bez přídavného materiálu. Zvolil se stejnosměrný proud o velikosti 60 A. Na obrázcích jsou vidět zápaly na povrchu krycí vrstvy. To znamená, že byl nastaven zbytečně velký proud. Správná velikost proudu by v tomto případě byla 55 A. Po svařování se nechal vzorek pomalu vychladnout v peci.

Druhý vzorek na obr. 53 a 54 se svařoval s předehřevem při teplotě 400 °C s přídavným materiálem L-ROL. Kromě špatného napojení vzorek vyhovuje. Svařoval se stejnosměrným proudem o velikosti 60 A. Druhý vzorek se nechal po svařování pomalu vychladnout v peci. Třetí vzorek se svařoval stejnosměrným proudem o velikosti 58 A. Po svařování se tepelně popustil při teplotě 720 °C.

Čtvrtý vzorek na obr. 55, 56 se svařoval s předehřevem při teplotě 350 °C s chromniklovým přídavným materiálem. Svařoval se stejnosměrným proudem o velikosti 58 A.

Oceli L-ROL jsou citlivé na tepelné zpracování. Proto ohřev na teplotu austenizace, délka prodlevy a rychlost ochlazování mají v průběhu svařování podstatný vliv na strukturu svarového spoje. Ocel je náchylná k tvorbě horkých trhlin.

Pokud chemické složení svarového kovu neodpovídá chemickému složení základního materiálu, může mít svarový kov při vyšším obsahu legujících prvků vyšší prokalitelnost a tím i vyšší náchylnost k trhlinám a zkřehnutí. Po svařování vzorků jsem provedl tepelné popuštění při teplotě 720 °C.⁸

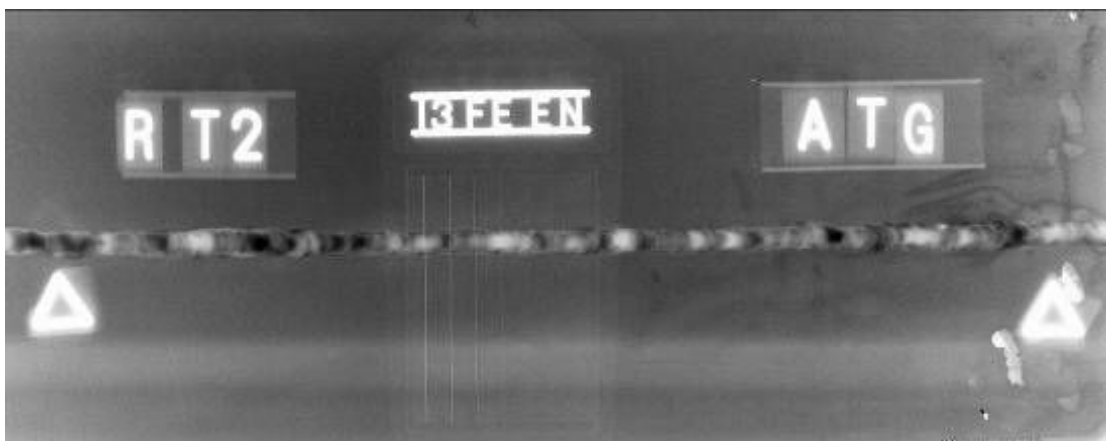
Obr. 49 Krycí vrstva bez přídavného materiálu – se zápaly



Obr. 50 Kořenová vrstva bez přídavného materiálu



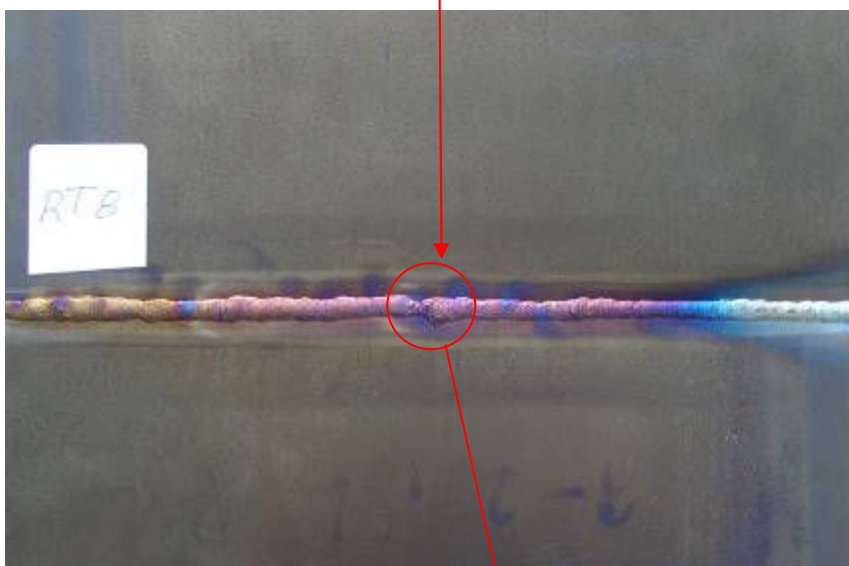
Obr. 51 Radiogram – propadlá krycí vrstva (velký svařovací proud)



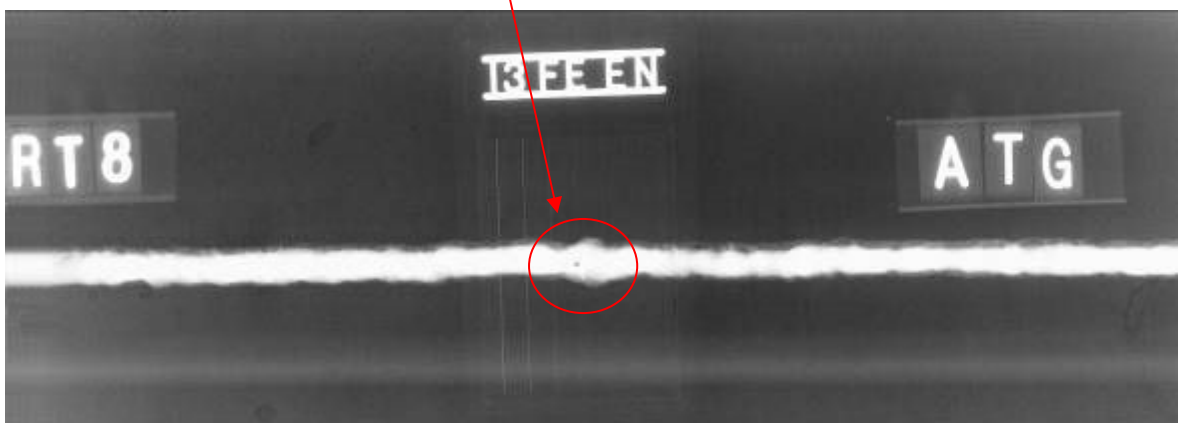
Obr. 52 Krycí vrstva s přídavným materiálem L-ROL (špatné napojení)



Obr. 53 Kořenová vrstva s přídavným materiálem L-ROL



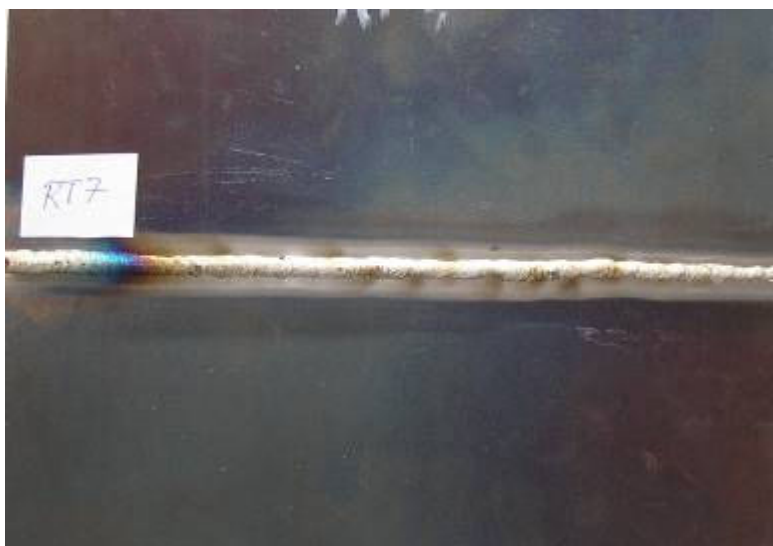
Obr. 54 Radiogram – vzorek je vyhovující



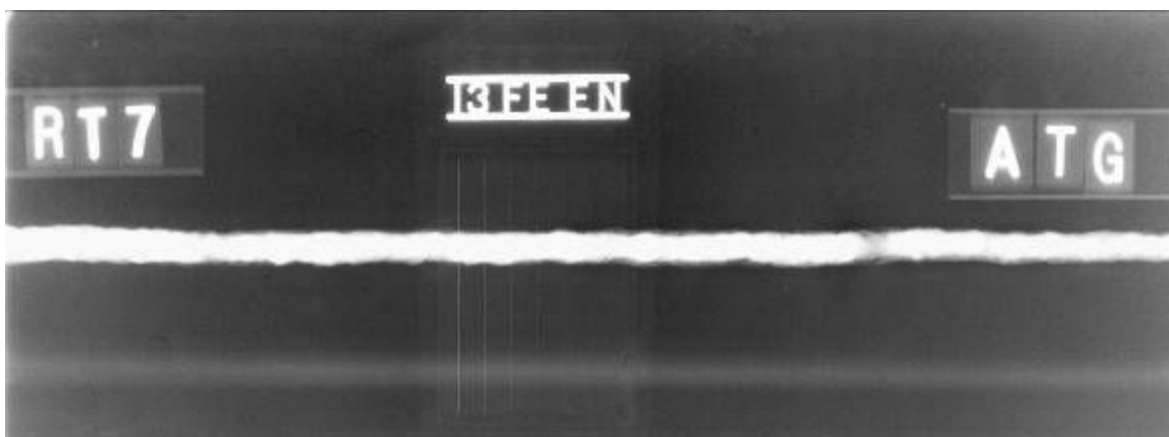
Obr. 55 Krycí vrstva s přídavným materiálem chromnikl



Obr. 56 Kořenová vrstva s přídavným materiálem chromnikl



Obr. 57 Radiogram – vzorek je vyhovující



Zkouška tahem

Kromě kontroly svařovaných vzorků na prozařování se provedly u tří vzorků zkoušky tahem podle ČSN 42 0310. Trhací zkouškou se zjistila **pevnost v tahu, kontrakce a tažnost** zkoušeného materiálu. Zkouškou se prokázali rozdíly mezi vzorkem (obr. 64, 65), který byl popuštěn při teplotě 720 °C a vzorkem (obr. 61, 62), který byl pouze pomalu ochlazován v peci při teplotě 300 °C. Porovnáním těchto hodnot s vzorkem (obr. 58, 59), který nebyl svařován, jasně prokázala u materiálu L-ROL nutnost tepelného popuštění po svařování. U vzorku, který se nepopustil, ale byl pouze pomalu ochlazován (předešlo se tvorbě trhlin), došlo k přetržení v místě tepelně ovlivněné oblasti. Pevnost v tahu vzorku je menší než u popuštěného vzorku a tažnost ($A = 11 \%$) nevyhovuje hodnotě ($A = 16 \%$) pro žíhaný materiál podle normy ONL 2103.⁹

$$\text{Pevnost v tahu} - R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Kontrakce} - Z = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100[\%]$$

$$\text{Tažnost} - A = \frac{l_u - l_0}{l_0} [\%]$$

Pracovní diagram (obr. 60, 63, 66) udává závislost poměrného prodloužení ϵ na napětí σ (nebo změny délky Δl na zatěžující síle F).

Hodnoty použité v pracovním diagramu trhacího stroje:

P - Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) σ_{Pt} je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F (kterou snese zkušební vzorek) a původního průřezu tyče S_0 .

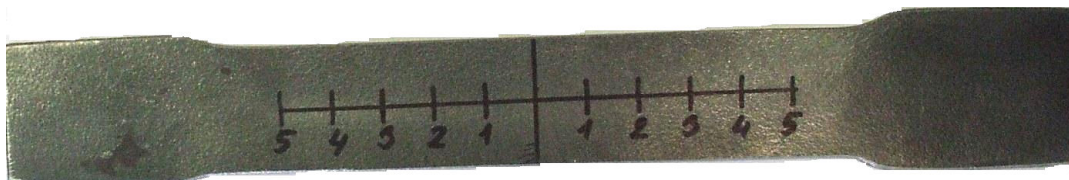
K - Pevnost v kluzu (mez kluzu v tahu) σ_{Kt} je napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly.

E - Napětí σ_{Et} je **mez pružnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

U- Napětí σ_{Ut} nazýváme **mez úměrnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (**Hookův zákon**).¹⁰

Vzorek L-ROL.33, podle kterého se posuzovali dva další svařované a trhané vzorky, nebyl svařovaný.

Obr.58 Porovnávací vzorek L-ROL.33



Obr.59 Porovnávací vzorek L-ROL.33 po zkoušce tahem

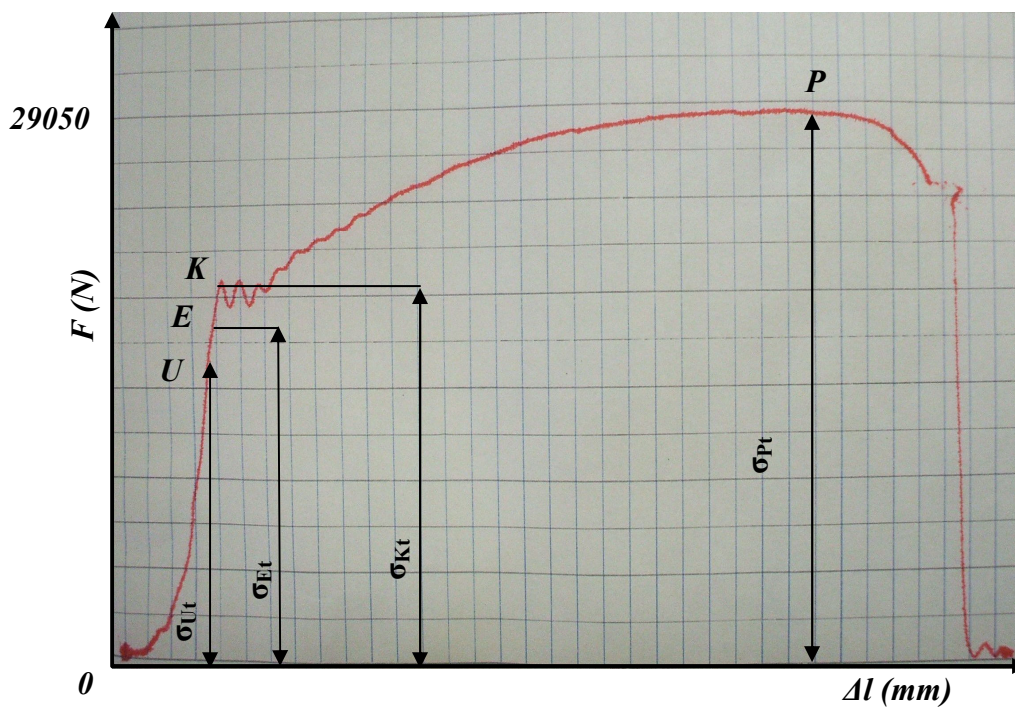


Pevnost v tahu:
$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} = \frac{29050}{50} = 581 \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Kontrakce -
$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 = \frac{50 - 38}{50} * 100 = 24[\%]$$

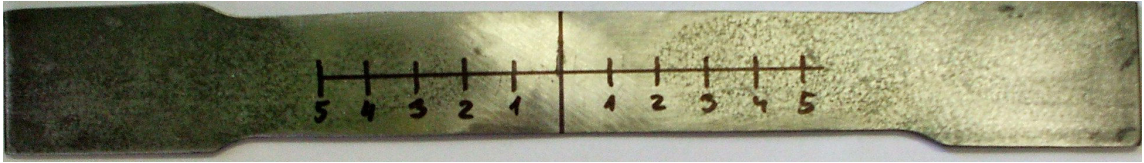
Tažnost -
$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} = \frac{122 - 100}{100} = 22[\%]$$

Obr. 60 Pracovní diagram trhacího stroje pro nesvařovaný vzorek

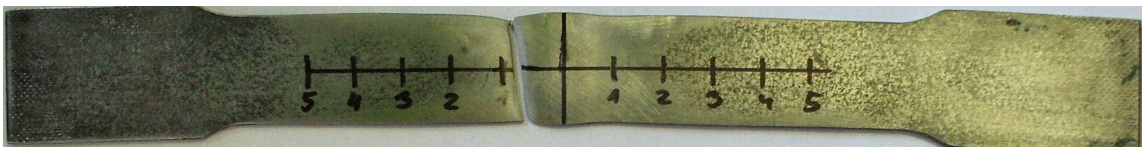


Vzorek svařovaný s přídatným materiálem L-ROL se nechal po svařování pomalu ochlazovat v peci při teplotě 300 °C.

Obr. 61 Vzorek po svařování pomalu ochlazován při teplotě 300 °C



Obr. 62 Vzorek po zkoušce tahem

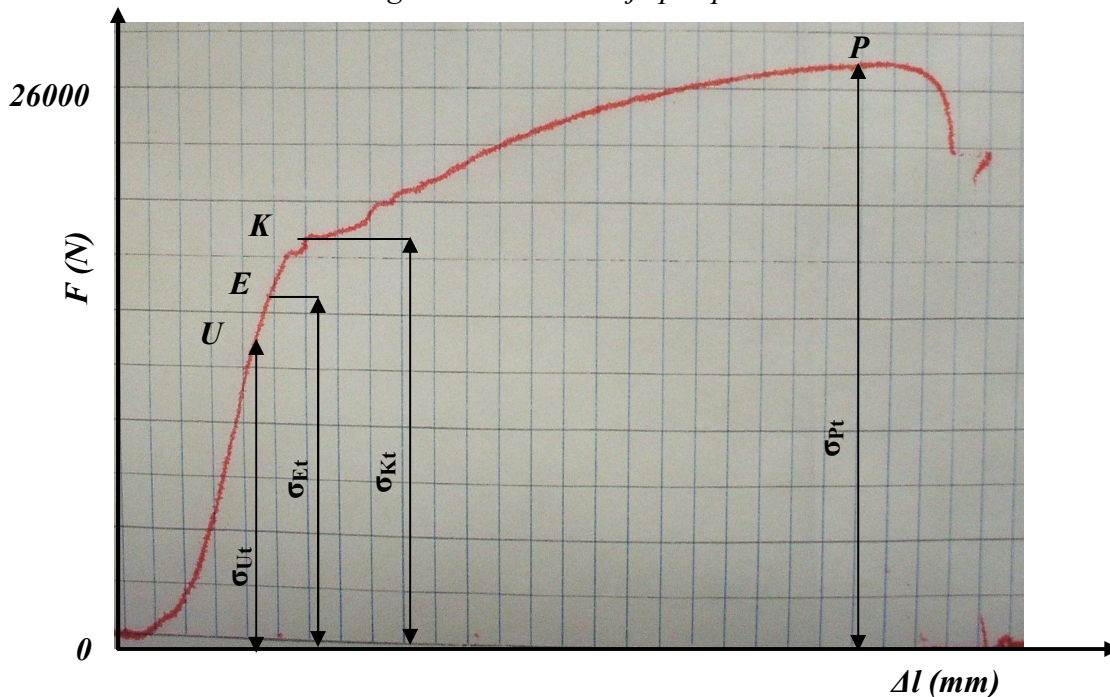


Pevnost v tahu:
$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} = \frac{26000}{50} = 520 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Kontrakce -
$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 = \frac{50 - 46}{50} * 100 = 8[\%]$$

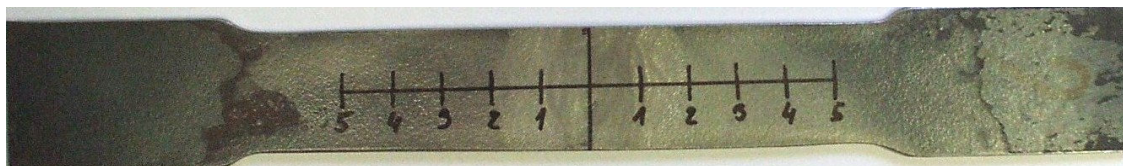
Tažnost -
$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} = \frac{111 - 100}{100} = 11[\%]$$

Obr. 63 Pracovní diagram trhacího stroje pro pomalu chladnoucí vzorek

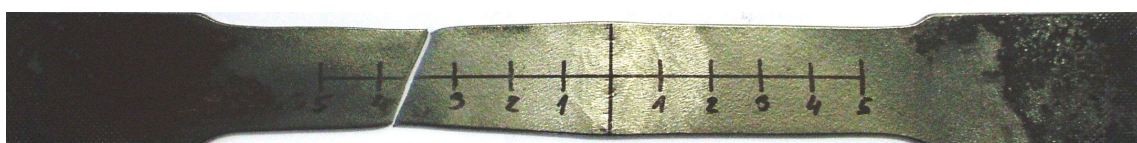


Vzorek svařovaný s přídavným materiálem L-ROL byl po svařování popuštěn při teplotě 720 °C.

Obr. 64 Vzorek po svařování popuštěný při teplotě 720 °C



Obr. 65 Vzorek po zkoušce tahem

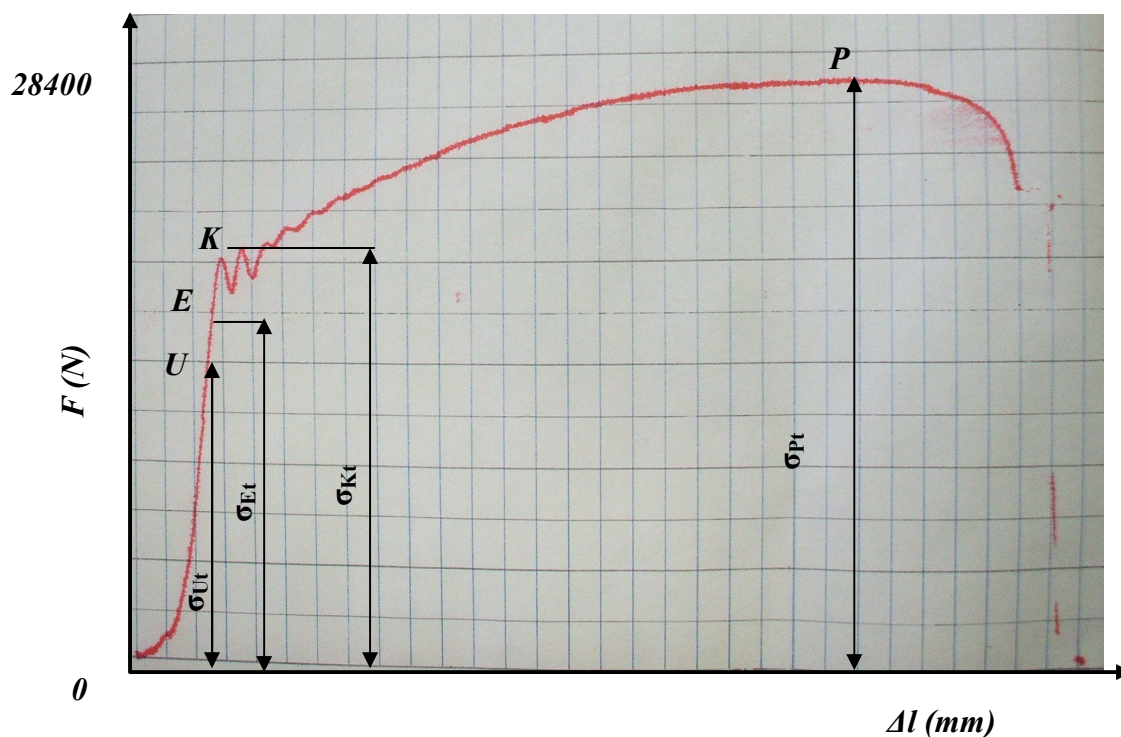


Pevnost v tahu:
$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} = \frac{28400}{50} = 568 \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Kontrakce -
$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 = \frac{50 - 42}{50} * 100 = 16[\%]$$

Tažnost -
$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} = \frac{119 - 100}{100} = 19[\%]$$

Obr. 66 Pracovní diagram trhacího stroje popuštěného vzorku



5 Závěr.

Vzhledem k tomu, že podmínky jsou v každé organizaci jiné, je nutné znát základní zásady efektivnosti svařečské výroby, tj. problematiku pracnosti, investičních a výrobních nákladů jednotlivých svařečských technologií. Snižování výrobních nákladů a zvyšování produktivity práce nelze stanovit bez porovnávání efektivnosti různých výrobních variant. Je důležité stanovit optimální technologii, která zajistí při vysoké kvalitě výrobku nejvyšší produktivitu práce při nejmenších výrobních a investičních nákladech.

Velká většina renovovaných dílů, které se opravují svařováním nebo navařováním se v podniku LOM Praha provádí technologií svařování TIG. Samozřejmě se využívají i jiné metody svařování (plamenem, metodou MIG/MAG a obloukové svařování obalenou elektrodou), ale metoda TIG je z hlediska ekonomického a z hlediska dodržení požadavků na jakost a spolehlivost nejperspektivnější. Oblast, kde tuto metodu nevyužíváme, je obloukové svařování obalenou elektrodou při renovaci a navařování litinových materiálů a oblast pájení plamenem.

Prověрка efektivnosti opravárenské technologie by se měla provádět periodicky, zejména s přihlédnutím na existenci nových zařízení a progresivních technologií, vliv konkurenčních výrobků apod.

Ukázka dílů, které se renovují v našem podniku technologií svařování TIG je uvedena v příloze na obr. P3 až P7.

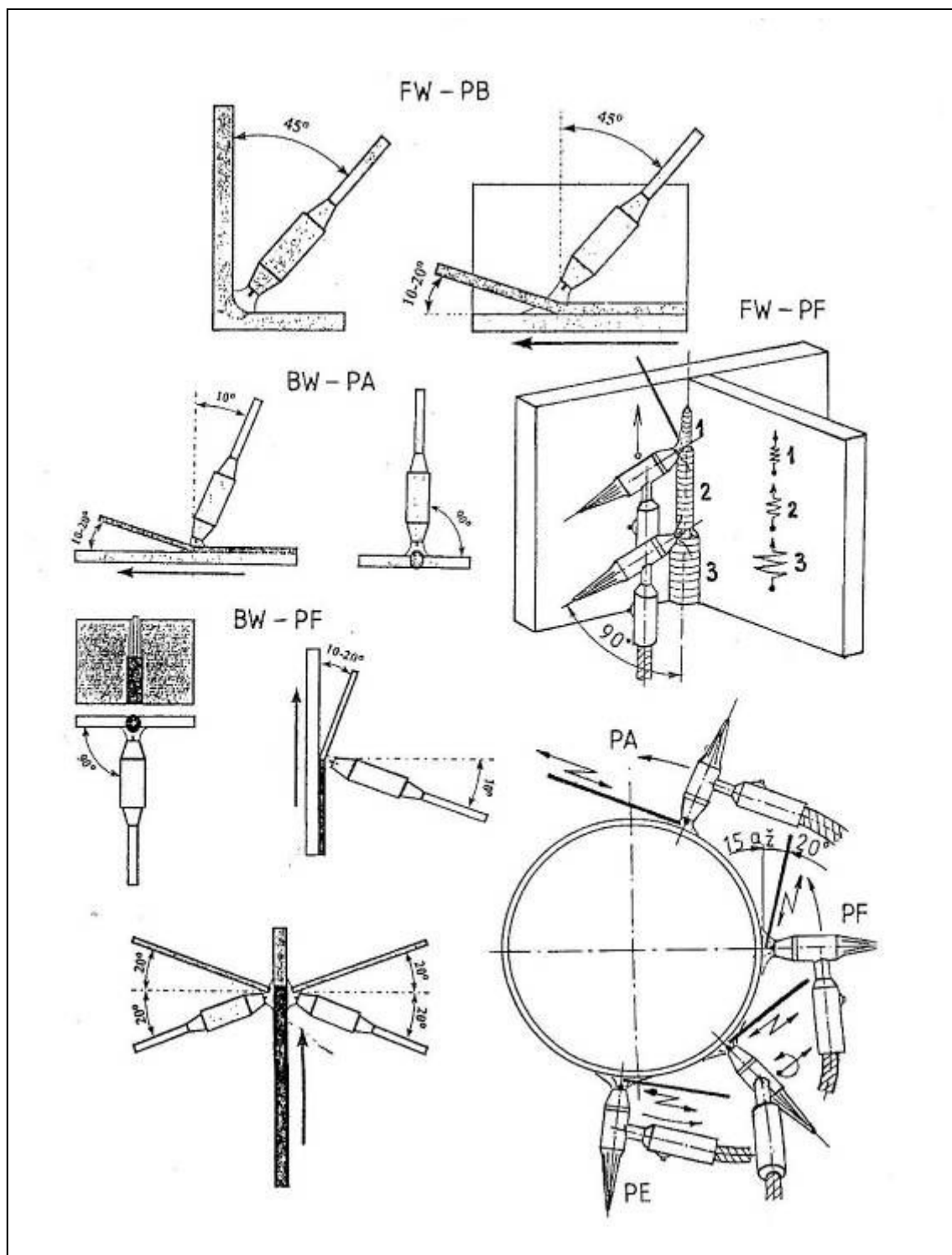
6 Použitá literatura

1. Kolektiv autorů, Česká svářečská společnost ANB, Zeross: Technologie svařování a zařízení. Ostrava, 2001
2. Kolektiv autorů, Česká svářečská společnost ANB Zeross: Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava, 1999
3. Kolektiv autorů, Česká svářečská společnost ANB, Zeross: Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, Ostrava, 1999
4. Návod k obsluze přístroje NAVIGÁTOR VODNÍ MODUL COMMANDER od firmy MIGATRONIC
5. Kolektiv autorů, Česká svářečská společnost ANB, Zeross: Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, Ostrava, 1999
6. ČSN EN ISO 9606-3, Zkoušky svářečů-tavné svařování-měď a slitiny mědi, 2001
7. ČSN EN ISO 9606-3, Zkoušky svářečů-tavné svařování-titan a slitiny titanu, zirkon a slitiny zirkonu, 2001
8. ONL 2103, Plechy z uhlíkových a slitinových ocelí válcované za tepla používané v leteckém průmyslu: AERO Letňany, 1967
9. ČSN EN 10002-1, Kovové materiály-Zkouška tahem, 1994
10. http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/data/st1/zk3_1.htm

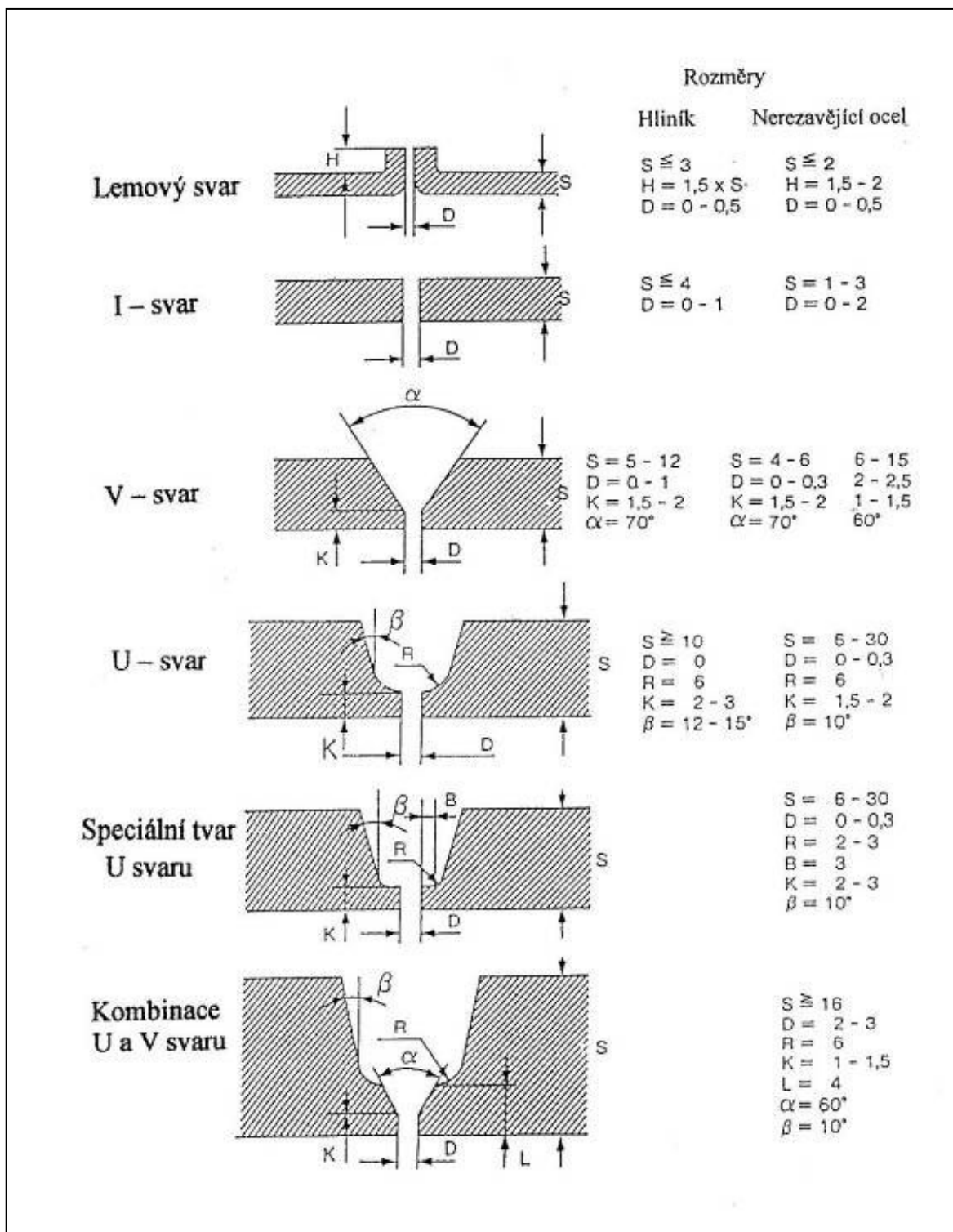
7 Přílohy

1. Obr. P1 Základní svařovací polohy u svařování metodou TIG.
2. Obr. P2 Příprava svarových ploch pro svařování metodou TIG.
3. Obr. P3 Hořčikové slitiny, které se svařují při renovaci.
4. Obr. P4 Titanové slitiny, které se svařují při renovaci.
5. Obr. P5 Nerezové materiály, které se svařují při renovaci.
6. Obr. P6 Materiály L-ROL, které se svařují při renovaci.
7. Obr. P7 Hliníkové slitiny, které se svařují při renovaci.

Obr. P1 Základní svařovací polohy u svařování metodou TIG



Obr. P2 Příprava svarových ploch pro svařování metodou TIG

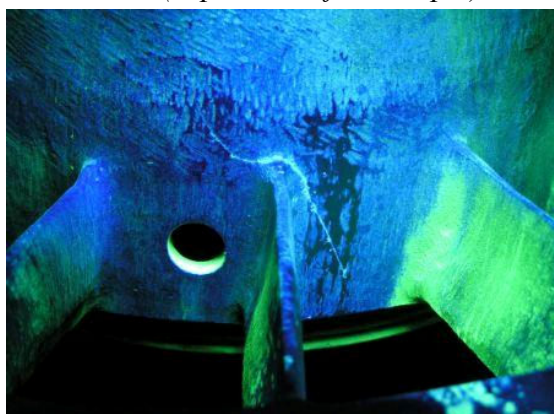


Obr. P3 Hořčikové slitiny, které se svařují při renovaci

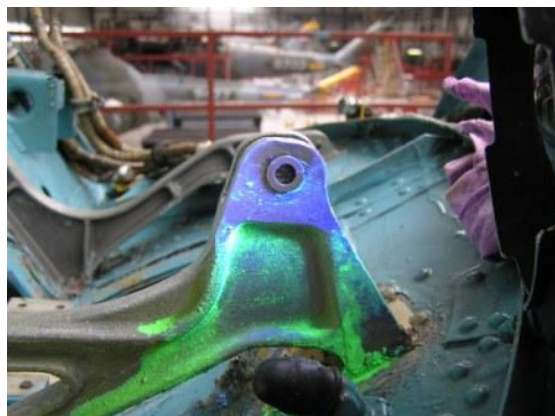
Konzola kolektivního řízení



Ventilátor (kapilární defektoskopie)



Konzola uchycení spouštěcího motoru AI-9V



Obr. P4 Titanové slitiny, které se svařují při renovaci

Objímka výfuku



Protipožární přepážka



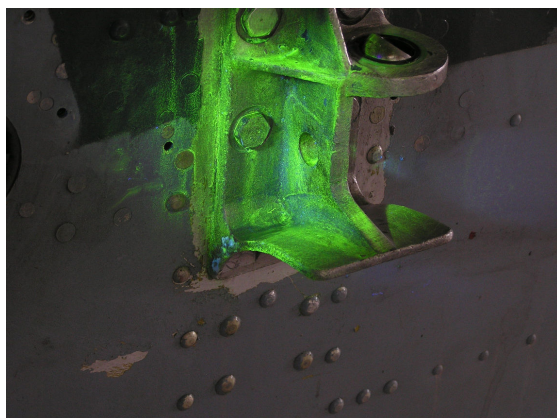
Obr. P5 Nerezové materiály, které se svařují při renovaci

Vyhřívání a ventilace KO-50 na vrtulníku Mi-17



Obr. P6 Materiály L-ROL, které se svařují při renovaci

Konzola uchycení závěsníků BD3-57



Úchyty pro schůdky



Zástavba rámu pro pancéřování vrtulníků Mi-17



Obr. P7 Hliníkové slitiny, které se svařují při renovaci

Přídavné nádrže



Podvěsné nádrže



Konzola uchycení přídavných nádrží



Konzole a přístrojové krytky

