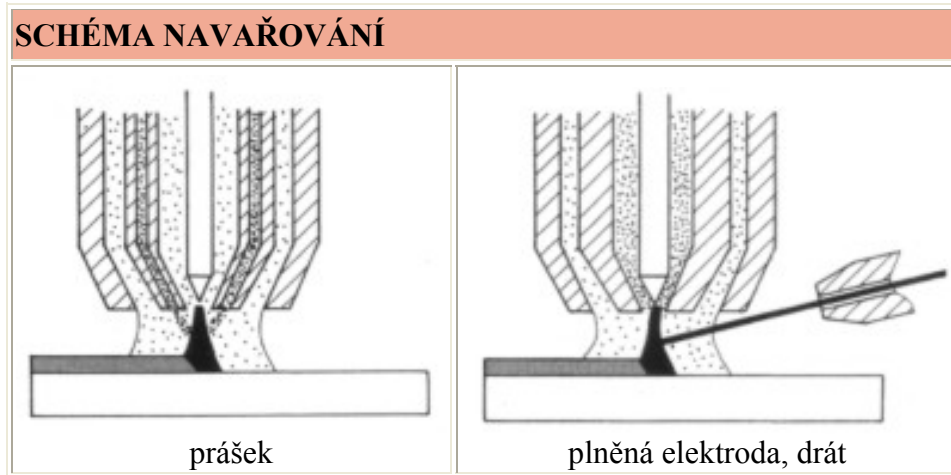


Plazmové svařování (navařování) - 15

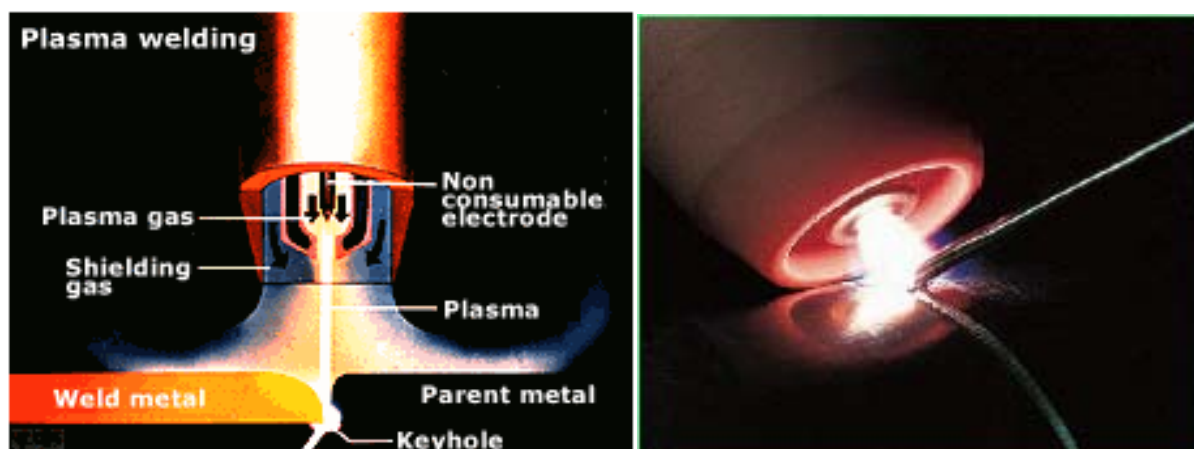
Aplikace plazmatu je ve světě značně rozšířena, zejména při navařování prášků a drátů. Metoda má základ v použití vysoce koncentrovaného proudu plazmy pro tavení navařovaného materiálu. Při navařování lze nezávisle na sobě regulovat množství tepla a přídavného materiálu. Tím je možné dosáhnout optimálního tepelného režimu s minimálním natavením základního materiálu. Takto vytvořený návar je metalurgicky spojen se základním materiálem.



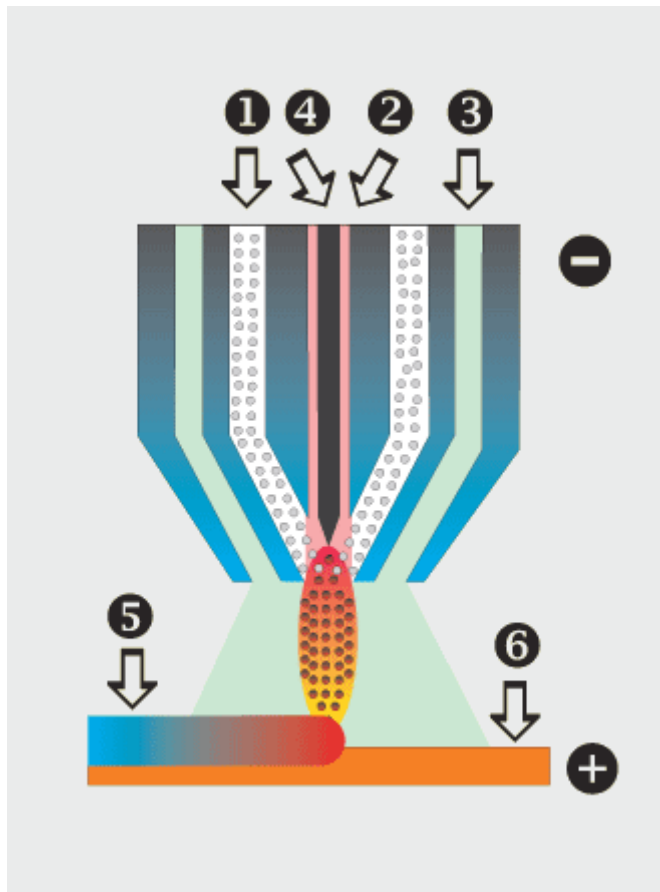
Obr. 1 Schéma navařování

Plazmové svařování patří mezi moderní, vysoce produktivní metody obloukového svařování v ochranné atmosféře. Je charakterizováno velmi vysokou koncentrací energie a vysokou pracovní teplotou.

Svařování plazmou (PAW - Plasma Arc Welding) je metoda velmi podobná TIG. Vznikla jejím vývojem a zaručuje vyšší produktivitu. Svařování plazmou využívá koncentrace tepla a dynamického účinku plazmy, což je výsledkem zúžení elektrického oblouku, který se tvoří mezi wolframovou elektrodou a svařencem. Plazmový plyn, který proudí okolo elektrody, se vlivem tepla oblouku prudce roztahuje, mění se v plazmu a proudí otvorem velmi vysokou rychlostí. Sekundární plyn se využívá k vlastní ochraně tavné lázně (Ar, Ar+H₂).



Obr. 2, 3 Plazmové svařování



1. Přídavný materiál - prášek
2. Plazmový plyn - argon
3. Ochranný plyn - dusík
4. Wolframová elektroda
5. Návar
6. Podklad

Obr. 4 Popis svařovací hubice

PAW se používá třemi způsoby:

1. Mikroplazmové svařování se svařovacím proudem 0,1 A - 20 A.
2. Středněplazmové svařování se svařovacím proudem 20 A - 100 A.
3. Svařování klíčovou dírkou (keyhole welding), nad 100 A, kde plazmový oblouk proniká tloušťkou stěny a při posuvu svařovací trubice dochází vlivem povrchového napětí ke slévání roztaveného kovu v místě za "klíčovou dírkou".

SVAŘOVÁNÍ „KLÍČOVOU DÍRKOU“

Teplo a dynamický účinek oblouku vytvářejí otvor na přední straně tavné lázně. Tento otvor, kde oblouk přechází přes materiál, se nazývá klíčová dírka. Při posuvu plazmového hořáku ve směru svařování dochází vlivem povrchového napětí k opětovnému spojení svarového kovu za klíčovou dírkou. Tento efekt umožňuje svařování tupých svarů do tloušťky 8 mm bez úpravy svarového úkosu a na jeden průchod. Spotřeba přídavného materiálu se tak sníží až na 1/10. Ekonomický přínos této metody je zřejmý. Snadná kontrola průvaru, nízká citlivost na změny délky oblouku, vysoká stabilita oblouku i při nízkých parametrech společně s malou tepelně ovlivněnou oblastí zajišťují vysokou kvalitu svařovacího procesu. Svařování metodou klíčové dírky je velmi vhodné pro automatizaci svařovacího procesu.

SROVNÁNÍ S OSTATNÍMI TECHNOLOGIEMI

Předností plazmového svařování je stabilní svařovací proces, charakteristický tvar svaru – zejména kořene, což umožňuje svařování bez podložení kořene až do tlouštěk 10 mm. V základních rysech se svařování plazmou podobá metodě TIG (WIG) – oblouk hoří mezi netavící se elektrodou a základním materiálem nejčastěji v ochranné atmosféře inertního plynu. Na rozdíl od svařování metodou TIG se používá hořák s intenzivně chlazenou výstupní hubicí menšího průměru, která oblouk zužuje na poměrně malou plochu svařence. Na zvýšení hustoty energie se podílí ochranný (fokuzující) plyn. Koncentrované teplo zaručuje hluboké natavení základního materiálu, dobré formování kořene a charakteristický průřez svaru. Ve srovnání s laserovým paprskem má plazmový oblouk nižší koncentraci energie, avšak nesrovnatelně vyšší energetickou účinnost a nižší celkové provozní náklady. Na obrázku 1 si můžeme všimnout rozdílu v rozložení teplot u plazmového oblouku a u svařování metodou TIG. U plazmy je zřejmá vyšší koncentrace energie, a tím i délka oblouku.

Svařování plazmou přináší následující výhody:

- vyšší rychlost svařování,
- menší tepelně ovlivněnou oblast, a tím i menší deformace,
- menší převýšení svaru, a tím i snížení pracnosti následného opracování svaru,
- zachování příznivých mechanických hodnot základního materiálu,
- vynikající vzhled svaru při snadné reprodukovatelnosti,
- vynikající kvalitu svaru (rentgenovou čistotu),
- snížení pracnosti přípravy svařových ploch,
- do tloušťky 8 mm není nutné svařové plochy úkosovat,
- lze svařovat jedním průchodem a pouze z jedné strany,
- úspora přídavného materiálu.

OBLASTI POUŽITÍ

Společným znakem všech oblastí použití svařování plazmou je vysoká kvalita a produktivita procesu při minimálním tepelném ovlivnění základního materiálu. To vše předurčuje použití této metody zejména pro svařování ušlechtilých materiálů v následujících oblastech průmyslu:

- jaderný průmysl
- chemický průmysl
- potravinářství
- elektronika
- stavba lodí
- letecký průmysl
- automobilový průmysl
- kosmický průmysl
- ropný průmysl

Zvláštní postavení má plazmové svařování tlakových nádob a potrubních systémů v chemickém a potravinářském průmyslu. Kombinací svařovacího procesu s vhodnými zařízeními lze docílit optimálních kvalitativních i ekonomických ukazatelů. Příklady praktického nasazení této technologie jsou uvedeny na následujících obrázcích. Na obrázku 3 je znázorněno svařování podélných svarů lubů tlakových nádob.

Jaká svařovací poloha?

Plazmové svařování se dá provádět ve vodorovné nebo svislé poloze. Nejčastěji bývá požadována poloha PA, ale kontrola tavné lázně je dostatečně spolehlivá i při ostatních polohách. Ve svislé poloze je kontrola dokonce ještě snazší než poloze PA, a to následkem směru toku nataveného základního materiálu. Avšak vzhledem k velikostem konstrukcí, jež se mají svařovat, je poloha PA mnohdy jedinou, která přichází v potaz. Velké pláty pro nádrže se běžně svařují v obrubovacích zařízeních nebo na válečkových dopravnících, za pomoci sloupů a výložníků. Proto se polohy PA používá nejčastěji, hned po ní je nejpoužívanější svislá poloha PF a poloha ve stěně PC.

Tak např. svařují-li se kontejnery o tloušťce stěn pouze 4-5 mm ve vodorovné poloze, to znamená když je kontejner normálně postaven na své dno, je výsledkem menší výskyt vyboulenin, ale - a to je mnohem důležitější - je zde možno přistoupit k mechanizaci celého procesu svařování.

Optimální volba plynu

Nejúspornějším plazmovým plynem a ochranným plynem je v řadě aplikací při svařování argon. Kombinace Ar + 30% He zase poskytuje příležitost používat slabšího proudu, což se příznivě projevuje na prodloužení životnosti hořáku a elektrody. Směsi argonu a helia, v nichž podíl helia přesahuje 30 %, přenášejí na svařenec více tepla a takto se zvyšuje riziko toho, že buď dojde k nadměrné penetraci anebo že naopak penetrace bude slabá. K tomu dochází zvláště v poloze PA při svařování součástí z hliníkových směsí tenčích než 5 mm.

Směsi plynů s vyšším než 30% podílem helia jsou vhodné pro svařování hliníkových součástí do tloušťky zhruba 8 mm ve svislé poloze.

I když směsi argonu s heliem mají vyšší koeficient tepelné vodivosti než samotný argon, je obtížné zvyšovat svařovací rychlosti s cílem kompenzovat zvýšení svařovací teploty. Svařovací rychlosti pro argon a argono-heliové směsi jsou stejné a pohybují se, např. u plátů o tloušťce 5 mm, v pásmu od 21 do 25 cm/min.

Účinek svařovacích parametrů

Nedůležitější svařovací parametry při plazmovém svařování jsou tyto:

- svařovací proud - ten ovlivňuje vlastnosti svarů prostřednictvím výstupního tlaku plazmy a teploty. Zesílení napětí proudu činí svar širším, jak na povrchu, tak v kořenové části spoje. Je-li svařovací proud ve vztahu ke svařovací rychlosti a tloušťce materiálu příliš silný, způsobuje to přílišnou penetraci svarové lázně. Podobný účinek může mít také příliš slabý svařovací proud. Podobný vliv má tlak a průtok plazmového plynu. Je tedy zapotřebí sladit tyto parametry tak aby se dosáhlo požadovaného spoje, což vyžaduje znalost chování kovů při tavení a příslušné know-how ověřené praxí.
- rychlost toku plazmového plynu - ta souvisí s kinetickou energií oblouku, a týká se tedy i hloubky penetrace. Úměrně s narůstající tloušťkou materiálu resp. s rychlostí svařování se musí zvyšovat též rychlost toku plazmového plynu. Právě tato rychlost je první z parametrů, jež je zapotřebí určovat při stanovování parametrů pro svařování. Je typické, že tato rychlost je nižší než je tomu v případě nízkoslitinových ocelí o podobných tloušťkách, a pohybuje se v pásmu od 2,5 do 3,5 litru za minutu.

- svařovací rychlost - její rozpětí je poměrně úzké (20 až 30 cm/min). Příliš vysoká rychlost vede k nadměrné penetraci, tento efekt však nemůže být kompenzován tím, že se zesílí svařovací proud anebo tím, že se použije aktivních plynů s dobrou tepelnou vodivostí.

Konečné výsledky při svařování součástí plazmou jsou v praxi ovlivňovány samozřejmě ještě dalšími parametry, jako je např. složení plazmy a ochranných plynů, napětí v oblouku, rychlost posuvu svařovacího drátu, konstrukce hořáku, příprava drážky, čistota materiálu anebo způsob seřízení svařovací aparatury.

Svařování plazmou je v mnohém výhodnější, a to např. v tom, že příprava svarového spoje je jednoduchá, anebo v tom, že se při tomto svařování dosahuje mimořádně vysoké kvality takto provedeného spoje. Tupý I-spoj se dá především používat u materiálů do tloušťky do 8-10 mm, zatímco materiály tlustší je možno svařovat na tupém spoji Y.

O to více je nutno, aby svářeč o zákonitostech plazmového svařování věděl co nejlépe a aby je také co nejlépe prakticky ovládal. Jakmile se mu však tento proces podaří zvládnout, samozřejmě včetně potřebné úrovně a kvality svařovacího zařízení a zpracovávaného (tj. svařovaného) materiálu, jsou výsledkem vysoce produktivně provedené svary špičkové kvality.

Fyzikální princip

Zdrojem tepla je úzký svazek plazmy o teplotě $T=10000^{\circ}\text{C}$ (řádově) vystupuje nadzvukovou rychlostí z plazmové trysky - plazma vzniká z plazmového plynu disociací molekul.....Argonu; pro ocel...čistý dusík; vodík - výhody: - malá deformace a dobrý vzhled svaru - svařují se těžkovitelné kovy.....mikroplazmové svařování materiálů o tloušťce $t=0.01-1\text{mm}$ (folie) - svařování součástí malých rozměrů: - teplotní čidla - různé součásti automobilového a leteckého průmyslu - zhotovování nástřiků.....plazmové pokovování

Plazma, jako silně ionizovaný plyn, má některé společné rysy s obyčejnými plyny a platí v něm mnohé plynové zákony. Jsou tu však i zásadní rozdíly, které se nejvíce projevují při působení magnetického pole. V takovém případě působí na částice plazmatu velké síly (tzv. Lorentzovy), které neexistují v plynu neutrálních atomů. Při pohybu částic ve směru magnetického pole jsou tyto síly rovny nule, při jejich pohybu napříč jsou naopak největší a tomuto pohybu brání. Druhý velký rozdíl spočívá v tom, že elektrony a ionty v plazmatu na sebe vzájemně silně působí Coulombovými silami. Oba tyto faktory v kombinaci s velkou elektrickou vodivostí plazmatu vedou k tomu, že vlastnosti plazmatu a rovnice popisující jeho pohyb pod vlivem působení elektrického, či magnetického pole jsou značně odlišné od obyčejných plynů a kapalin.

Je-li plazma umístěno v elektrickém poli, vzniká v něm elektrický proud a vylučuje se tepelná energie. Přitom energii v poli dostávají nejprve elektrony díky své větší pohyblivosti a potom tuto energii předávají kationtům při srážkách. Při takové srážce nedojde kvůli značným rozdílům ve hmotnostech obou částic k přenosu celé energie, nýbrž pouze její části. Při nízkém tlaku, kdy je počet srážek relativně malý, vede tento fakt k tomu, že kinetická energie elektronů je větší, než kinetická energie iontů. Jinak řečeno, teplota elektronového plynu je vyšší, než teplota iontového plynu (neisotermické plazma), čehož využívají např. úsporné zářivky. Bylo zjištěno, že například v kladném sloupci doutnavého výboje při velmi malém tlaku může u rtuťového sloupce přesahovat teplota elektronového plynu 1 MK, a teplota iontů současně nepřevyšuje několik set stupňů. Při zvýšení tlaku se počet srážek zvětšuje a zlepšuje se tepelná výměna mezi elektronovým a iontovým plynem, a proto se teplotní rozdíl mezi

nimi vyrovnává. Při dostatečně vysokém tlaku mají elektrony a ionty stejnou teplotu (isotermické plasma). Isotermické plasma vždy vzniká při ionizaci s pomocí vysoké teploty, například v kanále jiskrového výboje.

Technologie svařování

Návarové (přídavné) materiály

Výběr přídavných návarových materiálů se provádí podle řady kritérií, například podle požadované tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, pracovní teploty, chemické odolnosti, typu legujících prvků apod. Plazmou lze navařovat materiály na bázi železa, kobaltu i niklu. Návarové materiály se vyrábějí ve formě prášku, drátů a trubiček. Problematika správné volby návarového materiálu je velmi složitá.

Možnosti plazmového navařování

Ve výrobním sortimentu máme stroje a hořáky pro vnější navařování z čela, na obvodě, a vnitřní navařování v otvorech. Plazmové navařování bylo aplikováno při použití odpovídajících přídavných materiálů na těsnící plochy průmyslových armatur (desky klínů a sedla šoupátek, kuželky regulačních a uzavíracích ventilů, talíře a sedla zpětných klapek apod.), ventily a vahadla spalovacích motorů, litinové i bronzové formy na sklo, formy na keramiku, šneky a komory dopravníků, zuby rypadel a bagrů, válce dopravníků v hutích, součásti čerpadel a turbín, střížné a obráběcí nástroje apod. V poslední době se velmi často používá tato metoda i pro opravy a renovace.

Výhody:

- díky koncentraci plazmy je oblast tavení poměrně úzká a tím se minimalizuje tepelné ovlivnění základního materiálu
- při navařování vzniká velice tenká přechodová vrstva mezi základním materiálem a vlastním návarem cca 1-2mm
- ve spolupráci s polohovacím zařízením lze vytvářet velice rovnoměrné vrstvy návaru (tolerance výšky návaru 1mm) a tím snižovat náklady za následné obrábění

Nevýhody:

- přídavný materiál ve formě prášku je nejdražší formou přídavného materiálu ve srovnání s elektrodou nebo drátem

PŘÍKLADY NAVAŘOVACÍCH MATERIÁLŮ

OZNAČENÍ	TYP MATERIÁLU	INF. TVRDOST	PROVOZNÍ TEPLoty
UTP A DUR 250	FeCrSiMnTiC	250 HB	do 450 °C
UTP A DUR 350	FeCrSiMnTiC	450 HB	do 450 °C
UTP A DUR 600	FeCrSiMnC	54 - 60 HRC	do 450 °C
UTP A DUR 650	FeCrSiMnMoVWC	55 - 60 HRC	do 500 °C
UTP A 8051 Ti	FeNiTiC	200 HB	do 500 °C
UTP A 5	FeSiMnC	200 Hb	do 500 °C
UTP A LEDURIT 60	FeCrMnC	57 - 60 HRC	do 600 °C
UTP A CELSIT 721	CoCrNiMoC	30 - 32 HRC	do 900 °C
UTP A CELSIT 706 V	CoCrWC	40 - 42 HRC	do 900 °C
UTP A CELSIT F	CoCrNiWC	45 - 48 HRC	do 900 °C
UTP A CELSIT 712 SN	CoCrWC	48 - 50 HRC	do 900 °C
UTP AF DUR 250	FeCrSiMnC	280 HB	do 450 °C
UTP AF DUR 350	FeCrSiMnC	370 HB	do 450 °C
UTP AF DUR 600	FeCrSiMoMnWC	55 - 58 HRC	do 450 °C
UTP AF DUR 650	FeCrWMnTiMoC	58 - 62 HRC	do 550 °C
UTP AF BM	FeMnCrNiC	200 (400) HB	do 550 °C
UTP AF BMC	FeCrC	260 HB (550 HV)	do 550 °C
UTP A 7	FeCrNiMnC	200 HB (400 HV)	do 700 °C
UTP AF LEDURIT 60	FeCrC	56 - 58 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 68	FeCrNbMnSiC	63 - 65 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 70	FeCrMoNbWVSiC	68 HRC	do 600 °C
UTP AF LEDURIT 76	FeCrNbVSiMnBC	68 - 70 HRC	do 700 °C
UTP AF CELSIT 721	CoCrNiMoC	30 - 35 HRC	do 900 °C
UTP AFCELSIT 706 V	CoCrWC	38 - 42 HRC	do 900 °C
UTP CELSIT 712	CoCrWC	48 - 50 HRC	do 900 °C
UTP ANTINIT DUR 500	FeCrNiMnSiMoVC	45 - 54 HRC	do 450 °C



Obr. 5 Průmyslové armatury svařené plazmou

Volba formy přídavného materiálu

Pro navařování plazmou se nejčastěji používají přídavné materiály ve formě prášku, drátu nebo trubičky. Z technického hlediska je v podstatě jedno, kterou formu přídavného materiálu zvolíme. Jiná situace je u ceny návaru. Materiály na bázi kobaltu je nejvýhodnější navařovat ve formě prášku. Je to technologie, která splňuje veškeré požadavky kladené na kvalitu návaru a navíc je velmi výhodná ekonomicky. Nebudeme uvádět konkrétní čísla, protože ceny kobaltových slitin velmi kolísají v závislosti na ceně surovin.

Obecně však lze říct, že cena prášku je vždy nižší o 20-40% oproti obaleným elektrodám nebo trubičkám a navíc je potřeba díky výhodám plazmového navařování výrazně menší množství materiálu. Pokud navařujeme součást plazmou, tak návar včetně práce stojí méně než samotný přídavný materiál ve formě elektrod nebo trubiček. Obrácená situace je u prášku na bázi železa, jeho cena je 2-3x vyšší než drátu. Tento cenový rozdíl nelze vyrovnat výhodnějšími vlastnostmi plazmy, a proto navařování těchto materiálů není příliš rozšířené. Používá se ve speciálních případech, kde nelze použít jinou technologii nebo není k dispozici přídavný materiál v jiné formě. Ve větším měřítku se používá navařování plazmou se studeným drátem. Tento způsob navařování sice využívá výhodu levného přídavného materiálu, ale pro nízký výkon je ekonomicky výhodný jen pro menší návary, nebo opravy stávajících návary. Tuto nevýhodu odstraňuje technologie plazmového navařování horkým drátem.

Technologie navařování plazmou s horkým drátem byla vyvinuta speciálně pro navařování sedel a desek klínů šoupátek materiálem na bázi železa. Oproti běžně používaným metodám navařování v ochranném plynu nebo pod tavidlem má stejné výhody jako navařování práškem, to je: minimální promíšení se základním materiálem, lze použít již návar z první vrstvy o síle 2-3 mm, minimální deformace navařované součásti vlivem nízkého tepelného ovlivnění, snížení nákladů na opracování návary vzhledem k rovnoměrnosti a přesnosti navařené vrstvy (rozměry návaru lze udržet v toleranci 0,5 mm), široký rozsah

výkonu natavení 0,5 -6 kg/hod., je možno na stejném zařízení navařovat malé i velké součásti, rovnoměrná tvrdost. Technologie navařování plazmou s horkým drátem je úspěšně nasazena v sériové výrobě od roku 1996.

Typy svarových spojů

Plazma-MIG-svařovací proces je možno použít pro 4 až 6 mm tlusté plechy z materiálu AlMgSi0,5 bez omezení v polohách do úžlabí, vodorovně a příčně (PA až PC). Vysoké odtavovací výkony jsou dosažitelné při rychlosti podávání drátu až 20 m/min (přídavný materiál AlMg4,5Mn). Při tupých spojích je však žádoucí svarová spára nebo odpovídající úprava svarových ploch tak, aby se tam vešel odtavený objem drátu. Při plechách do 2 mm jsou reprodukovatelné průběhy spojů dosažitelné jen při MIG-impulzní technice a minimálním plazmovém toku.

Plazmové svařování s +elektrodou a vysokými svařovacími proudy umožňuje při hliníkových dílcích ekonomické spojování s vynikající kvalitou spojů. Svařovací zkoušky různých slitin hliník-hořčík (AlMg2,7Mn, AlMg3, AlMg4,5Mn, a AlMgSi0,5) ukazují, že plechy o tloušťce 2 až 8 mm je možno při použití drátů AlMg3 a AlMg5 (průměr 1,2 mm) a proudů 100 až 200 A kvalitně spojovat jak technikou "Durchdruck", tak i technikou "Stichloch".

Plazmový paprsek se ve srovnání s WIG- i MIG-obloukem vyznačuje vyšší hustotou výkonu, a tím umožňuje jednovrstvé svařování I-svarů až do tloušťky 8 mm v poloze do úžlabí rychlostí až přes 1 m/min. Spodní hranice tloušťky stěny, kterou je možno svařit technikou "Stichloch" leží při plazmovém svařování střídavým proudem asi na 1 mm, při plazmovém svařování s elektrodou + je asi na 2 mm. Plazmové svařování střídavým proudem je rovněž vhodné pro koutové a přeplátované svary s ručním nebo mechanickým vedením hořáku. Plazmové svarové spoje na hliníkových materiálech (AlMg-slitiny) jsou zřídka pórovité a neobsahují žádné vady.

Popis zařízení

PPC 250 FCS

Plazmový navařovací automat PPC 250 FCS (obr. 6) je určen na navařování tvarových součástí (přední, konečné a ústní sklářské formy a pod.) rotačních součástí z čela nebo na obvod (sedla, klíny a kuželky armatur, středící kroužky, dýnka a závěrové hlavy sklářských forem apod.), nerotačních součástí z čela, metodou PTA s práškem.

Obr. 6

- polohovací systém hořáku, řízený ve 4 osách
- polohovadlo navařované součásti řízené ve 2 osách
- programování metodou "předved' a proved"



Použitá literatura

<http://www.konstrukce.cz/clanek/434-trendy-vyvoje-svarovani-plazmou/>

<http://www.esab.com/cz/cz/education/processes-paw.cfm>

<http://www.svarak.cz/c/cz/svarove-spoje-typy-svarovani-vyhody-a-nevyhody.htm>

<http://www.kskct.cz/stroje/plazma/plazma.html>

<http://www.servisarmatur.cz/?c=navar-pta>

http://www.welding.cz/vyvoj/svar_01/01_1-5.htm