

Přípravek pro navařování citlivých materiálů

Monika Boxanová^{1,*}

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Pro vytvoření kvalitního návaru z titanu a jeho slitin je nutné zajistit dokonalou plynovou ochranu tavné lázně před účinky vzdušného kyslíku. Používají se inertní plyny, jako je argon nebo hélium, s čistotou 99,999 %. Plynovou ochranu je nutné udržovat, dokud teplota neklesne pod 300 °C. Pokud není ochrana dost kvalitní, dochází k nežádoucí reakci s kyslíkem, k snížení mechanických vlastností a k zabarvení okolí návaru. V předkládaném příspěvku je zaznamenán postup výroby přípravku pro navařování titanu a dalších citlivých materiálů metodou navařování plazmatem (PTA). Jsou zde popsány výrobní postupy a následné navařování. Cílem příspěvku je vytvoření funkčního přípravku, který zajistí dostatečnou ochranu pro celý proces navařování citlivých materiálů.

Klíčová slova: navařování plazmatem – PTA, titan

1. Úvod

Titan je polymorfní kov bílé barvy, který se v přírodě vyskytuje v podobě oxidů (rutil TiO_2). V průmyslu je čistý titan získáván Krollovým procesem. Jedná se o velmi lehký kov, který má vysokou mechanickou pevnost a odolnost proti korozi. Cena technicky čistého titanu je 1292 Kč/kg (metalminer, ke dni 20. 3. 2019), proto je čistý titan využíván pro speciální aplikace v lékařství nebo chemickém a potravinářském průmyslu. [1] [2]

Vytvoření kvalitního návaru z titanu a jeho slitin je podmíněné nejen správnými parametry navařování, ale hlavně dokonalou plynovou ochranou. Vysoké teploty při navařování zvyšují afinitu titanu ke kyslíku za vzniku nežádoucího oxidu titaničitého. TiO_2 má za důsledek nežádoucí zabarvení navařeného povlaku. Pokud není ochrana dostatečná, projeví se to na zabarvení samotného návaru a jeho okolí. Plynová ochrana je zajištěna prouděním plynu okolo tavné lázně. Používají se inertní plyny, jako je argon nebo hélium, titan je také možné navařovat ve vakuu. Ochranná atmosféra musí být udržována, dokud teplota neklesne pod 300 °C a musí mít vysokou čistotu. Čistota plynu by měla být 99,999 %, protože už u čistoty 99,995 % může docházet k nevhodnému zabarvení výsledného návaru. Pro dosažení ideální čistoty návaru je vhodné těsně před začátkem navařování očistit základní materiál acetonem od nečistot. [2] [3]

Správně provedený titanový návar je lesklý, reflexivní a pohledově vypadá jako zmrzlá rtuť. Pokud je ale okolí návaru zabarvené do hněda, jedná se pořád o kvalitně provedený návar. [3]

V technické praxi se pro svařování a navařování citlivých slitin používají svařovací komory. Tyto komory poskytují atmosféru inertního plynu bez vlhkosti a používají kontrolní ukazatele znečištění atmosféry. Komory jsou konstruované do tvaru boxu, do kterého je přístup ke svařenci umožněn pomocí přístupového zipu a rukavic. Tím je zajištěna ochrana proti kontaminaci základního a přídavného materiálu i inertního plynu. Svařování a navařování ve svařovacích komorách zajišťuje spoje nejvyšší

kvality, bez trhlin a nečistot. Možnosti aplikace těchto komor pro strojní navařování v pracovním prostoru navařovacího automatu jsou omezené. Mimo jiné i vzhledem k vysoké pořizovací ceně je vhodné hledat nová, ekonomicky výhodná řešení. [4] [5]

Plazmové navařování (Plasma Transferred Arc) je založeno na principu přeneseného oblouku, kdy plazmový oblouk hoří mezi základním materiálem (+ pól, anoda) a wolframovou elektrodou (- pól, katoda). PTA využívá tři druhy plynů, a to plazmový, podávací a ochranný plyn. Nejčastěji používaný je argon, jako technicky dostupný inertní plyn. Přídavný materiál ve formě prášku je přiváděn podávacím plynem do proudu plazmatu a dopadá do tavné lázně. Tavná lázeň je vytvořena působením tepla plazmového oblouku na základní materiál. Mezi nejčastěji navařované součásti patří řezné nástroje, sedla ventilů a součástky do stavebního a chemického průmyslu. Ukázky návaru provedených metodou PTA jsou na Obr. 1. [6] [7]



Obr. 1. Ukázka návarů metodou PTA [Krška Zdeněk, KSK.]

* Kontakt na autora: monika.boxanova@fs.cvut.cz

2. Experiment

2.1. Návrh a konstrukce přípravku

Přípravek je navržen ve formě utěsněné, mírně přetlakové komory s předpokládaným stálým průtokem inertní atmosféry a s možností kontroly procesu během navařování. Přípravek je složen z hliníkové základní desky s vyfrézovanou drážkou pro umístění obvodových ochranných skel. Ochranná skla jsou čírá z důvodu umožnění jednodušší manipulace se základním materiálem uvnitř přípravku, pro zjednodušení programování navařovacích programů a pro kontrolu vlastního procesu. Samotné vyzářování při navařovacím procesu je odstíněno dvěma navařovacího automatu, proto nebylo nutné použít ztmavená skla. Počet skel je osm a jsou umístěna na základní desce v drážce tvaru osmiúhelníku. V drážce jsou usazeny pomocí silikonového tepelně odolného tmelu. Na sklech je upevněn hliníkový límeč s vyfrézovanou drážkou pro uchycení horní strany skel. Límeč je pokryt grafitovým filcem a dvěma řadami těsnění (Obr. 2). Díky této vrstvě je zajištěn pohyb horní desky po spodní části přípravku.



Obr. 2. Spodní část přípravku

Horní část přípravku (Obr. 3) je složena z hliníkové desky zhotovené z plechu tloušťky 5 mm a slouží pro utěsnění přípravku. Nachází se v ní obdélníkový otvor, který je určen pro hořák. Navařovací hořák je s horní deskou spojen koženou manžetou, upevněnou na hořáku a na horní desce. Rozměry kožené manžety jsou zvoleny tak, aby byl zajištěn vertikální pohyb hořáku při proměnlivých výškách navařování. Na hořáku je kůže přichycena

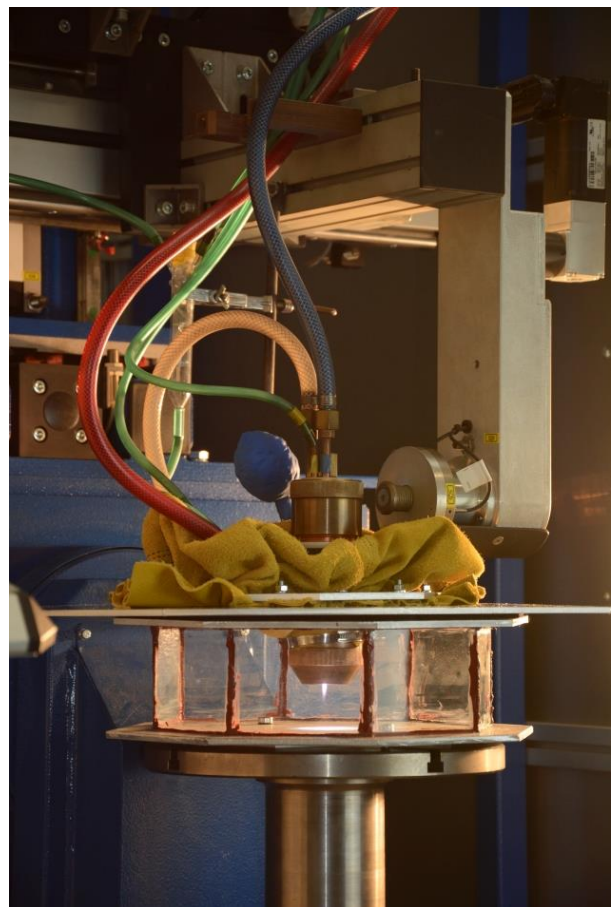


Obr. 3. Horní část přípravku

pomocí hadicové spony, na horní desce je ukotvena pomocí rámečku a šroubů. Dále je v kůži umístěn otvor pro kontrolní ukazatel (balónek) těsnosti přípravku.

Celý přípravek je šrouby upevněn na stole polohovadla navařovacího automatu. Konstrukce přípravku zajišťuje volný pohyb spodní části přípravku vůči horní desce. Tímto uspořádáním je zajištěna možnost navařování přímých i kruhových návarů. Jako ochranný plyn byl použit argon s čistotou 99,999 %. Umístění přípravku nainstalovaném na navařovacím automatu je zobrazeno na Obr. 4, výkres přípravku je zobrazen na Obr. 10.

Před samotným navařování protéká přípravkem ochranný plyn po dobu 100 sekund. Tím jsou zajištěny vhodné podmínky pro navařování citlivých materiálů díky sníženému obsahu O_2 a CO_2 uvnitř přípravku. Po navaření návaru je vhodné nechat protékat ochrannou atmosféru do té doby, než teplota návaru klesne pod $300\text{ }^\circ\text{C}$.

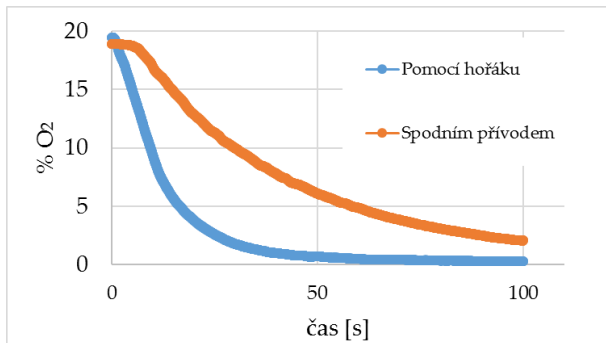


Obr. 4. Přípravek umístěný na navařovacím automatu

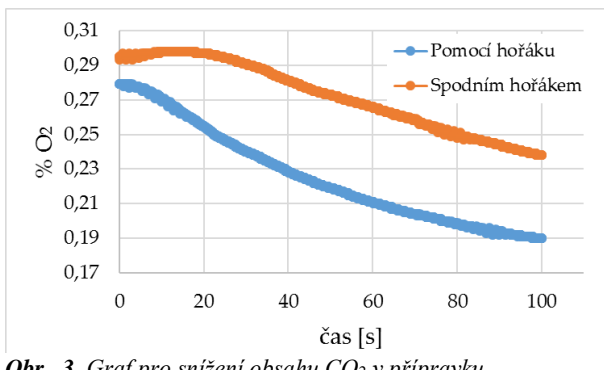
2.2. Ověření funkčnosti přípravku

Těsnost přípravku byla ověřena dle několika hledisek.

Pomocí snímačů přístroje ALMEMO byla změřena procentuální hodnota obsahu O_2 a CO_2 uvnitř přípravku. Měření probíhalo pro dvě možnosti průtoku ochranného plynu, a to pomocí hořáku při průtoku plynu $17,5\text{ l/min}$ a pomocí spodního přívodu při průtoku plynu 10 l/min . Hadička pro spodní přívod plynu je vedena skrz otvor pro šroub na základní desce přípravku. Průběhy a grafické porovnání poklesů jsou zobrazeny na Obr. 5 a Obr. 6.

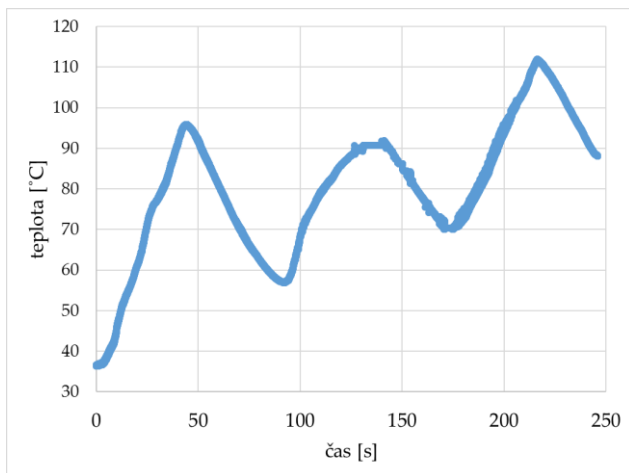


Obr. 5. Graf pro snížení obsahu O₂ v přípravku



Obr. 3. Graf pro snížení obsahu CO₂ v přípravku

Měření teploty uvnitř přípravku proběhlo při navařování vzorku skládající se ze tří navařených vrstev. Při navařování první a druhé vrstvy vystoupala teplota k hodnotě 90 °C, při navařování třetí vrstvy teplota překročila hodnotu 110 °C (Obr. 7).



Obr. 7. Graf teploty při navaření třívrstvého návaru

I když teplota při navařování nedosáhla vysokých hodnot, došlo k prasknutí některých ochranných skel. K prasknutí došlo z důvodů nerovnoměrného ohřevu skla a také z důvodu rozdílné tepelné roztažnosti hliníkové konstrukce a vlastního skla. Skla se v důsledku tepelné roztažnosti zdeformovala a praskla.

V kůži je umístěn kontrolní ukazatel přetlaku v podobě balónku. Při zapnutí průtoku ochranného plynu dojde k nafouknutí balónku do vzpřímené polohy.

Nejdůležitějším ukazatelem jsou navařené povlaky popsané podrobněji v odstavci 2.4.

2.2. Navařovací automat

Přípravek byl konstruován pro navařovací automat typu PPC 250 R6 (KSK, s.r.o., Česká republika). Tento automat je určen pro navařování rotačních i nerotačních součástí, součásti lze navařovat z čela nebo na obvodu. Přídavný materiál je prášek. Automat umožňuje pulzní navařování o proudu 50–250 A a frekvencích 0–200 Hz. Trajektorii plazmatronu lze řídit v 6ti osách – 4 osy plazmatronu a 2 osy polohovadla. Průměr stolu činí 300 mm, jeho nosnost je max. 70 kg. [8]



Obr. 8. Navařovací automat PPC 250 R6 [8]

2.3. Přídavný materiál

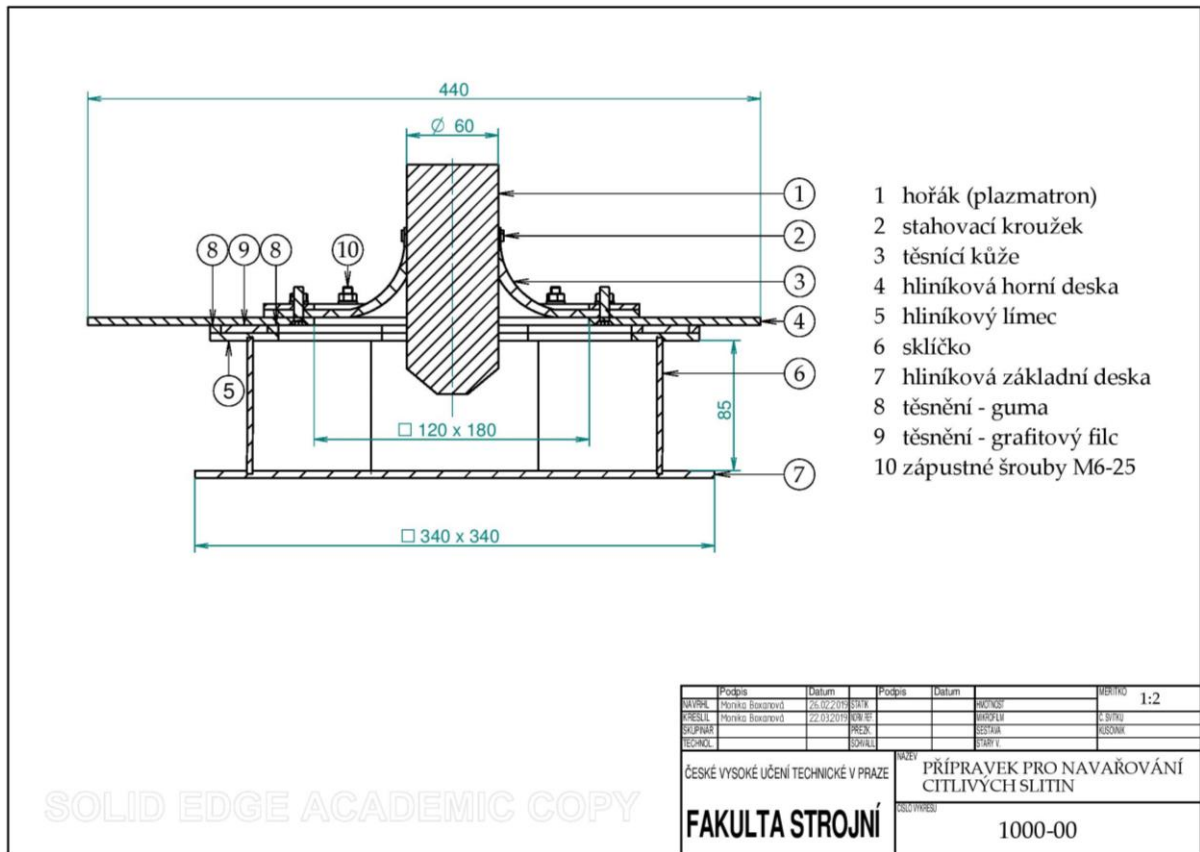
V rámci experimentu byl použit přídavný materiál Titan Grade 1 v podobě prášku o velikosti částic 90–200 μm. Chemické složení materiálu je zobrazeno Tabulce 1. Jedná se o komerčně čistý titan, který je snadno svařovatelný a houževnatý. Má optimální tažnost a tváritelnost za studena. Vysoké navařovací teploty zásadně neovlivňují mikrostrukturu fáze α. Typické použití je pro letecký a chemický průmysl. [9]

Tabulka 1. Chemické složení přídavného materiálu Titan Grade 1 uvedené v hmotnostních %, [10]

C	Fe	H	N	O	Ti
hm%	hm%	hm%	hm%	hm%	hm%
0,013	0,019	0,001	0,005	0,05	základ

2.4. Zkušební návary

Pro získání informací o funkčnosti přípravku byly navařeny dva zkušební návary z přídavného materiálu Titan Grade 1. Navařovací parametry byly pro oba návary totožné a jsou uvedeny Tabulce 2. První návar (A) byl vyhotoven mimo komoru navařovacího přípravku. Návar B byl navařen uvnitř přípravku při působení ochranné argonové atmosféry. Návary jsou široké 10 mm a dlouhé 60 mm.



Obr. 9. Výkres navařovacího přípravku pro citlivé materiály

Tabulka 2. Navařovací parametry

v [m/s]	IH [A]	IL [A]	TH [s]	TL [s]
4	130	45	0,15	0,55



Obr. 10. Návar A a návar B

3. Diskuze a závěr

V rámci této experimentální práce byl navržen a zkonstruován přípravek pro navařování citlivých materiálů metodou plazmového navařování PTA. Pro vytvoření přípravku byla použita základní deska, límec a horní deska z hliníkové slitiny. Mezi základní desku a límec

bylo umístěno osm svářečských čirých skel, která byla mezi desky umístěna pomocí topenářského tmelu. Skla jsou umístěna do tvaru osmiúhelníku. V horní hliníkové desce se nachází otvor pro hořák. Plazmový hořák je s přípravkem spojen pásem kůže, která je na hořák připevněna pomocí hadicové spony a na horní desku pomocí šroubů. Argon s čistotou 99,999 % byl použit jako ochranný plyn.

Při navaření zkušebních návarů došlo k popraskání ochranných skel. V dalších experimentech je proto nutné zasadit skla do přípravku tak, aby byla umístěna na pružném povrchu a byla tak kompenzována teplotní roztažnost.

Těsnost přípravku byla ověřena dle několika hledisek.

Pokles procentuálního obsahu O_2 a CO_2 uvnitř přípravku byl zaznamenán pomocí měřicí stanice AL-MEMO. Pokles byl měřen pro dvě možnosti napouštění přípravku ochranným plynem, a to pro napouštění pomocí hořáku a pomocí dolního přívodu. Při přívodu plynu pomocí hořáku došlo po čase 100 s k poklesu procentuálního obsahu O_2 o 98,6 % na hodnotu 0,26 % a obsahu CO_2 o 31,9 % na hodnotu 0,19 %. U spodního přívodu byly poklesy procentuálního hodnot obsahů plynů v přípravku pozvolnější, minimálních hodnot bylo dosaženo po delším čase, a to za 300 s pro O_2 a za 250 s pro CO_2 . Pro možnost dolního přívodu byly časy pro dosažení minimálních hodnot delší, proto byly vyhodnoceny jako nevhodné. Vzhledem k faktu, že přípravek je konstruován jako přetlaková komora se stálým průtokem, dochází k únikům ochranné atmosféry, a proto nelze uvnitř přípravku dosáhnout ideální hodnoty obsahu O_2 pro navařování titanu.

Nedochází k nežádoucímu úniku ochranného plynu.

Pro ověření funkčnosti přípravku byly navařeny dva zkušební návary z Titanu Grade 1. Návar A, který byl navařen mimo komoru navařovacího přípravku, je charakteristický pravděpodobně oxidickým povlakem šedého zbarvení. Povlak se vytvořil při navařování kvůli nedokonalé ochraně chladnoucího navařeného kovu. V navařené struktuře je patrné promísení se základním materiálem. Vady na povrchu housenky vypovídají o okysličení tavné lázně.

Návar B byl navařen uvnitř přípravku za působení ochranné atmosféry a nejeví známky oxidace. Povrch návaru B je kovově lesklý bez viditelných vad. Kvůli nestabilitě podávání prášku došlo k posypání přidávným materiálem již tuhajícího kovu.

Bylo prokázáno, že přípravek poskytuje dostatečnou ochranu pro vytvoření 3D navařovaných součástí nebo polotovarů z vysoce citlivých materiálů technologií plazmového navařování (PTA).

Poděkování

Děkuji panu Ing. Ondřeji Vrátnému Ph.D. za pomoc při vyhotovení přípravku. Dále děkuji společnosti KSK s.r.o. za možnost pracovat na jejich moderním zařízení.

Tento projekt vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT SGS19/163/OHK2/3T/12 "Výzkum, optimalizace a inovace výrobních procesů".

Literatura

- [1] FROES, F.H. a B. DUTTA. The Additive Manufacturing (AM) of Titanium Alloys. *Advanced Materials Research* [online]. 2014, **1019**, 19-25 [cit. 2018-12-21]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1019.19. ISSN 1662- 8985. Dostupné z: <https://www.scientific.net/AMR.1019.19>
- [2] KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařitelnost TITANU a jeho slitin*. Praha, 2018.
- [3] COLLIER, Jody. Welding Titanium. *WeldingTipsandTricks* [online]. b.r. [cit. 2018-11- 25]. Dostupné z: <http://www.weldingtipsandtricks.com/welding-titanium.html>
- [4] Welding Chambers Glovebox. *Glovebox.org* [online]. b.r. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.gloveboxes.org/welding-chambers-glovebox/>
- [5] Flexible Enclosure Welding. *Fabricating Metalworking* [online]. b.r. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2015/11/flexible-enclosure-welding/>
- [6] SCHWARZ, Drahomír a Ivo HLAVATÝ. Svařování plazmovým obloukem. *Svět svaru*. 2014, (1), 5. ISSN 1214-4983.
- [7] MORAVEC, Jaromír. *Teorie svařování a pájení II: speciální metody svařování*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-439-9.
- [8] Plazmové automaty. *KSK Česká Třebová* [online]. b.r. [cit. 2016-10-04]. Dostupné z: <http://www.kskct.cz/plazmove-automaty/>
- [9] Titanium Grade 1: Commercial pure titanium. *Institut for Energy Technology* [online]. Norway, b.r. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: https://www.ife.no/en/ife/departments/materials_and_corrosion_tech/files/facts-and-figures-for-commonly-used-titanium-alloys
- [10] *Werkzeugniss 2.2 nach EN 10204: Titanpulver ATSM Gd1 90-200 µm*. Deutsche Edelstahlwerke, 2018.