

# DIFÚZNÍ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE S POUŽITÍM PŘECHODOVÝCH MEZIVRSTEV

Ladislav KOLAŘÍK<sup>A</sup>, Marie KOLAŘÍKOVÁ<sup>A</sup>

ČVUT v Praze, FS, Technická 4, Praha 6, 166 07, tel: +420 224 352 630, email: ladislav.kolarik@fs.cvut.cz

## Abstrakt

*Příspěvek pojednává o difúzním svařování v inertní ochranné atmosféře za použití nízkého tlaku. Je zde popsán způsob a parametry svařování nejpoužívanější titanové slitiny (TiAl6V4) s vysokolegovanou korozivzdornou austenitickou ocelí (X5CrNi18-10) za použití Ni mezivrstvy s tloušťkou 20  $\mu\text{m}$ . Vytvořené spoje byly vyhodnoceny metalograficky, dále byla provedena EDS analýza chemického složení rozhraní svarového spoje a změřen průběh nanotvrdosti. Výsledky ukazují na vhodnost použití Ni mezivrstvy při tomto způsobu spojování materiálů.*

**Klíčová slova:** difúzní svařování, Ni mezivrstva, Ti slitiny, korozivzdorná ocel

## 1. Úvod

Dnešní doba vyžaduje vytvářet stále náročnější výrobky z různých typů kovových i nekovových materiálů, které mají požadované mechanické vlastnosti při různých teplotách a zatíženích. Proto stále roste i potřeba spojování různorodých materiálů.

Svařování kombinovaných materiálů konvenčními technologiemi je zpravidla doprovázené problémy vyplývajícími z jejich odlišných mechanických a fyzikálních vlastností. Tyto problémy limitují použitelnost konvenčních technologií, které nejsou v mnoha případech aplikovatelné. Běžně používané konvenční způsoby tavného i tlakového svařování nelze často použít k vytvoření kvalitního spoje těchto materiálů. Proto je nutné použít některou ze speciálních metod svařování, mezi něž patří i difúzní svařování [2].

Difúzní svařování je metoda, kterou je možné svařit teoreticky jakékoliv kombinace kovů, stejně jako kovy s nekovy. Problémy při svařování kombinovaných kovových materiálů jsou charakteristické podstatnými rozdíly v teplotě tavení, hustotě, v součinitelích teplotních roztažností apod. Proto i při difúzním svařování kombinovaných kovů je velmi obtížné se vyhnout vzniku tvrdých a křehkých intermetalických fází na rozhraní spojů. V případě svařování dvou nesvařitelných nebo obtížně svařitelných materiálů se problém řeší obvykle použitím přechodových mezivrstev buď v pevném, nebo v tekutém stavu [5].

## 2. Použité materiály a jejich vlastnosti

Pro experimentální vytvoření heterogenního spoje byla použita nejčastěji používaná titanová slitina TiAl6V4 (typu  $\alpha+\beta$ ) a standardní austenitická korozivzdorná ocel 1.4301 (dle EN 10 027-2).

Titan je velmi drahý materiál, proto se musí často kombinovat s jinými kovy, zároveň je však ve většině materiálů málo rozpustný. Při svařování titanu s dalšími materiály tavnými metodami je velkým problémem vznik křehkých intermetalických fází ( $\text{Fe}_2\text{Ti}$ ,  $\text{FeTi}$ ) ve svaru [5]. Dalším velkým problémem při svařování je velká reaktivita se vzdušnými plyny, již při poměrně malých teplotách. Z těchto důvodů

se jeví velmi perspektivně pro svařování heterogenních spojů s titanem – speciální technologie jako je např. laserové svařování [1] nebo difúzní svařování [2, 3, 6]. Druhé jmenované technologii se věnuje tento příspěvek.

Jednou z nejčastějších kombinací využívaných v průmyslu, je spojování titanu s ocelí. Pro tyto spoje se často využívá mezivrstev, které obvykle tvoří tzv. přechodový materiál, který se dobře spojuje jak s titanem, tak s ocelí. Zlepšuje proces difúze, plastické tečení a schopnost přizpůsobení se povrchu. Celkově zajišťuje lepší kvalitu spoje. Mezivrstvy se nanáší ve formě tenké folie, stříkaného nebo galvanického povlaku. Pro tvorbu mezivrstev se nejčastěji využívají plastické kovy jako Ni a Cu [2, 3, 5]. Příspěvek popisuje způsob a výsledky difúzně vytvořených kombinovaných spojů titanu s ocelí s Ni mezivrstvou.

Použitá titanová slitina - Grade 5 (TiAl6V4) má výbornou korozní odolnost, pevnost a houževnatost. Ti reaguje za vyšších teplot velmi aktivně s kyslíkem a tvoří s ním stabilní oxidy. Kyslík je v Ti rozpustný za relativně vysokých teplot a již v malém množství velmi negativně působí na mechanické vlastnosti svarového kovu. Proto je při svařování nutné používat inertní ochrannou atmosféru, nejčastěji Ar (a to nejen v blízkém okolí svarové lázně, ale v mnohem větší šířce než u dobře svařitelných materiálů, nezbytná je i ochrana kořenové oblasti).

Vysokolegovaná chrom - niklová austenitická ocel 1.4301 (X5CrNi 18-10) je nejvíce používána v potravinářském průmyslu. Je korozivzdorná v běžné městské atmosféře, odolná vůči vodě i slabým alkáliím a kyselinám. Ocel 1.4301 je dobře svařitelná všemi dostupnými technologiemi tavného svařování, za dostatečného stupně ochrany a dodržení vhodného teplotního režimu (vzhledem k jednofázové struktuře je nutné při svařování zejména limitovat vnesené teplo – nejčastější problémy souvisí se vznikem trhlin za tepla).

Pro dobré spojení uvedených materiálů byla použita niklová mezivrstva, kterou tvořil galvanický povlak o tloušťce 20  $\mu\text{m}$ , nanesená na ocelový vzorek.

**Tab. 1:** Reálné chemické složení použitých základních materiálů

TiAl6V4	Ti	Al	V	Zr	Fe	Cr	C	Mo	Si	Mn
	88,3	7,1	4,2	0,035	0,159	0,012	0,02	0,05	0,029	0,003
X5CrNi 18-10	C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	Mo	Co	Fe	
	0,025	18,6	7,9	1,5	0,4	0,4	0,2	0,2	70,34	

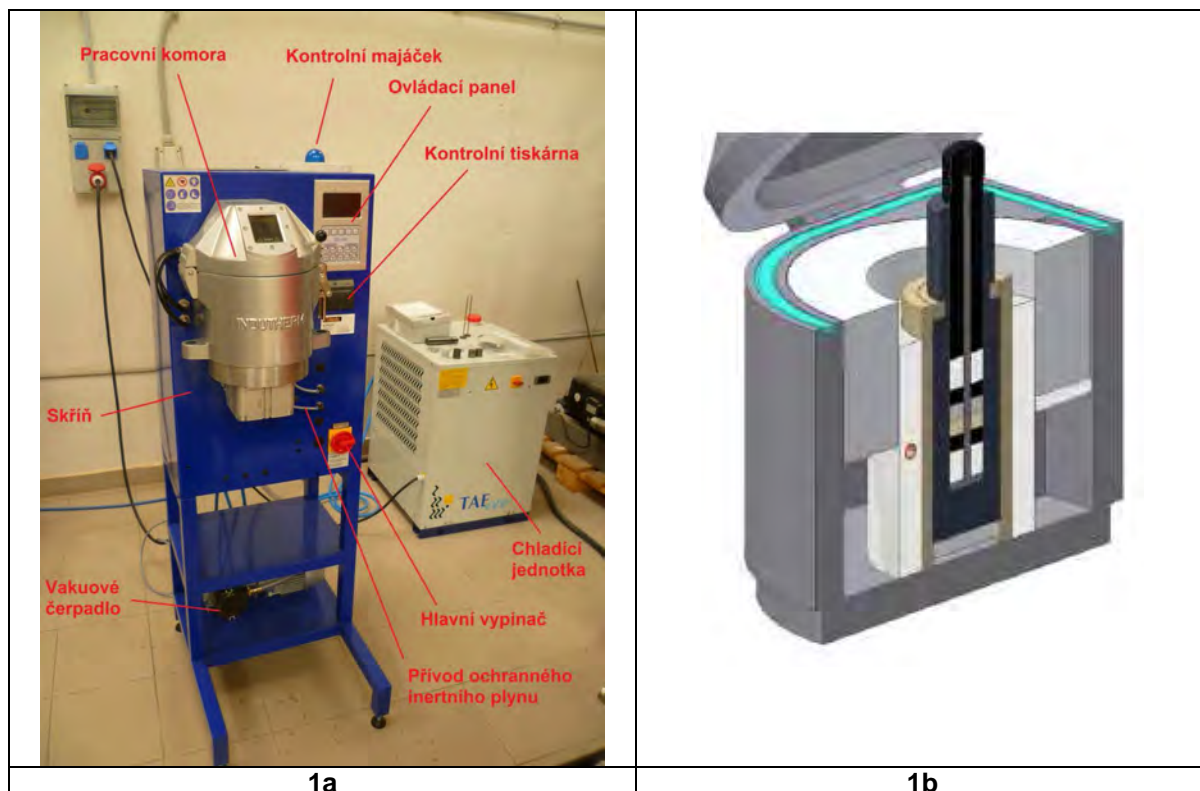
**Tab. 2:** Mechanické a fyzikální vlastnosti použitých materiálů

materiál	$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	Tvrdość [HV]	E [GPa]	Teplota tavení [°C]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel teplotní roztlačnosti [10 <sup>-8</sup> K <sup>-1</sup> ]
TiAl6V4	1000	890	365	114	1650	4430	9,5
X5CrNi 18-10	750	220	226	200	1476	7850	16

### 3. Použití experimentální zařízení

Svařování vzorků bylo provedeno v Laboratoři výuky svářečských technologií na Fakultě strojní, ČVUT v Praze. Pro svařování bylo použito zařízení Indutherm SU 450, které je ukázáno na Obr. 1a. Ohřev spojovaných součástí se provádí v pracovní komoře přestupem tepla z grafitového kelímku, ve kterém jsou spojované části uloženy. Kelímek je ohříván indukčním generátorem. Svařování probíhá v inertní atmosféře. Vzorky rotačního tvaru jsou do komory vkládány na trnu (Obr. 2a), proto musí mít v ose vyvrtaný otvor o průměru 5 mm. Způsob

ohřevu a teplený cyklus lze plně naprogramovat a řídí ho termostat vybavený termočlánkem umístěným uvnitř grafitového kelímku.



**Obr. 1:** Celkový pohled na zařízení pro difúzní svařování (1a), detail pracovní komory se založenými vzorky (1b)

Po důkladné přípravě povrchů (je třeba především dodržet správnou rovinnost a drsnost povrchu) se připravené vzorky na sebe položí čelními plochami a umístí na ocelový trn, na kterém se vloží do pracovní komory difúzní svařečky. Uspořádání svařovaných materiálů je zobrazeno na obrázku 2a [7].

Správné uložení zkušebních vzorků na ocelovém trnu, včetně izolačních keramických a grafitových kroužků, je velmi důležité kvůli zabránění poškození přípravku, zařízení a zabezpečení samotného procesu svařování. Velikost průměru vzorků byla limitovaná velikostí vnitřního průměru grafitového kelímku. Použity byly vzorky o průměru 30 mm a tloušťce 5 mm, které byly broušeny a leštěny na drsnost  $R_a = 0,01 \mu\text{m}$ .

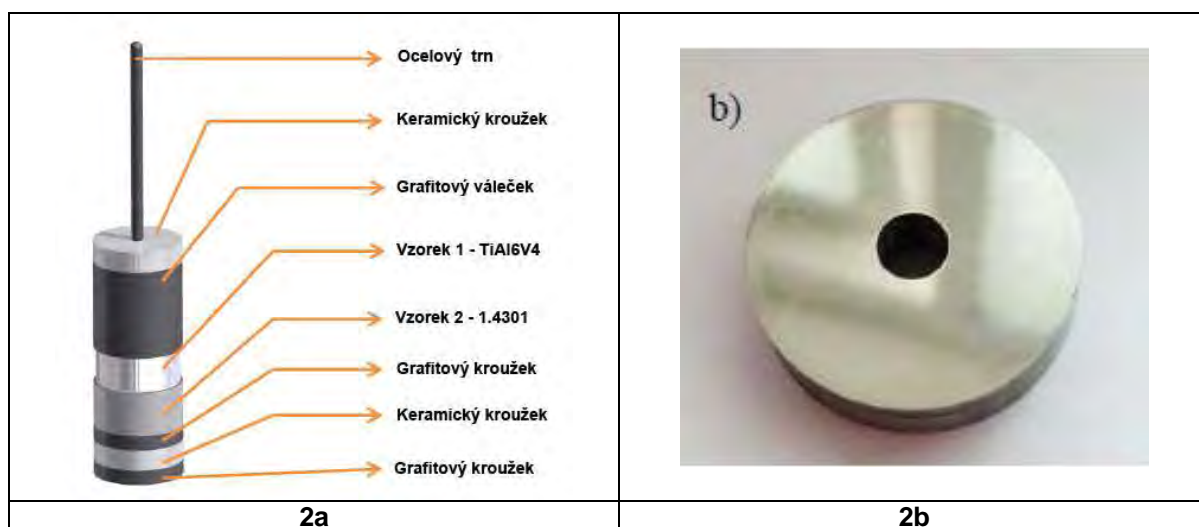
#### 4. Experiment

Difúzní svařování je proces, při kterém jsou součásti v těsném kontaktu za kontrolovaného tlaku a v určeném čase ohřívány na danou teplotu. Tyto podmínky umožní při místní plastické deformaci a maximálním přiblížení povrchů difuzi atomů mezi dvěma spojovanými částmi, což zajistí vysokou pevnost spoje.

Experimentálně byly odladěny svařovací parametry – svařovací teplota  $900^\circ\text{C}$ , svařovací čas 900s, svařovací tlak 0,25 MPa. Jako inertní ochranný plyn byl použit Argon čistoty 4.6.

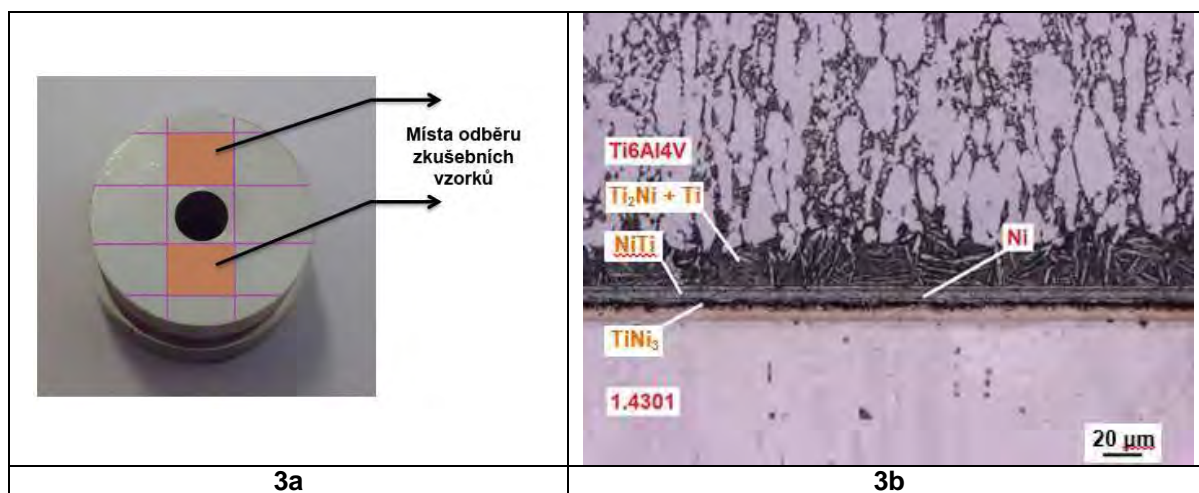
Pracovní komora byla plynem naplněna po celou dobu svařování, až do vychladnutí komory na teplotu  $100^\circ\text{C}$ . Komora byla před svařováním předehřáta na teplotu  $500^\circ\text{C}$ .

Ze svařeného vzorku s niklovou mezivrstvou byly vytvořeny metalografické výbrusy a vyhodnocen průběh chemického složení a mechanických vlastností heterogenního spoje.



**Obr. 2:** Uspořádání zkušebních vzorků na ocelové trnu (2a), detail zkušebního vzorku (2b)

## 5. Vyhodnocení výsledků

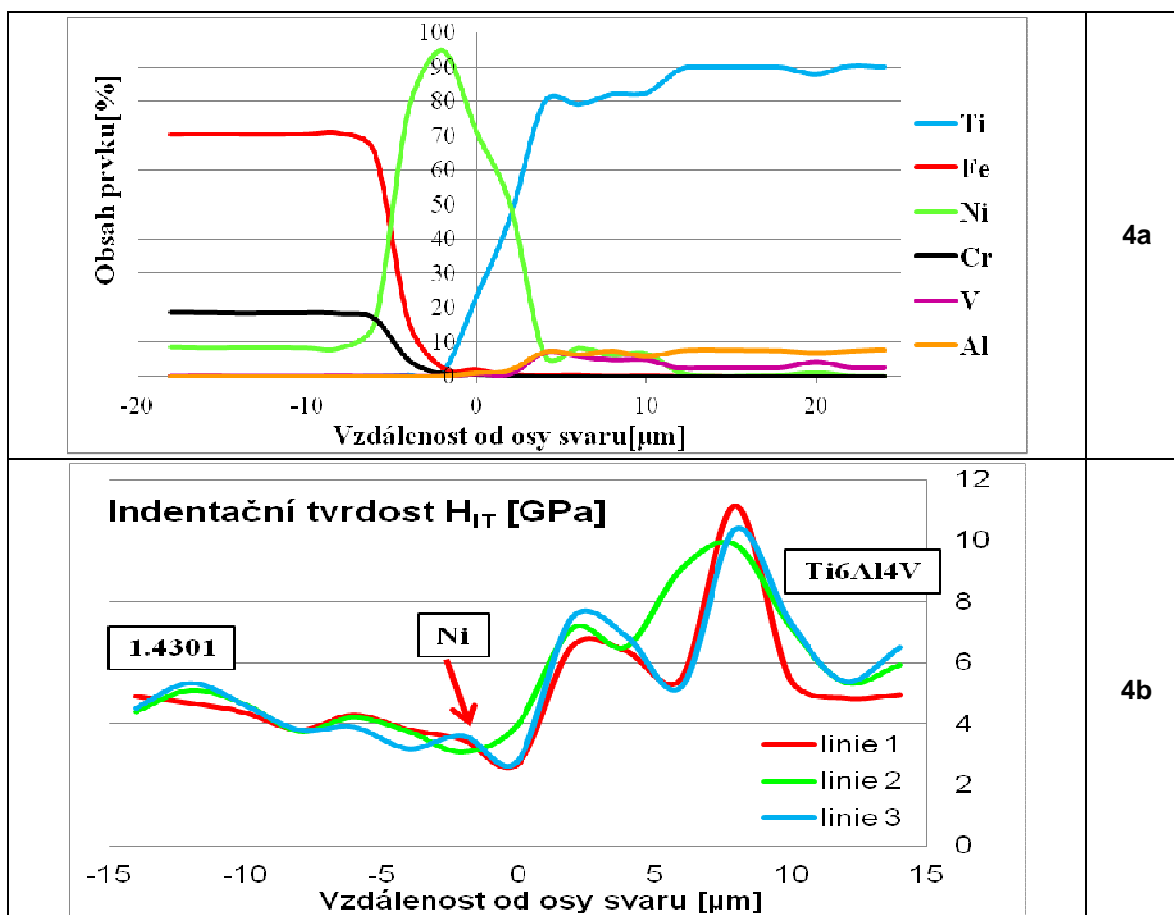


**Obr. 3:** Místa odběru metalografických vzorků (3a), detail mikrostruktury spoje (3b)

Chemická analýza byla provedena na skenovacím elektronovém mikroskopu TESCAN VEGA 3 LMU s EDS analyzátořem. Mikromechanické vlastnosti byly zjištěny pomocí nanoindentačního zařízení Hysitron TI 950 TribolIndenter™. Metodika měření nanotvrlosti je detailně popsána v [4].

Z průběhu chemického složení je vidět, že oblast svaru a jeho bezprostředního okolí je rozdělena do několika pásem (Obr. 4a) s odlišnými vlastnostmi. V ose svaru se vytvořila fáze  $TiNi_3$ . Její větší část (cca 4  $\mu m$ ) je umístěna od osy svaru směrem k titanové slitině. Směrem do oceli už nevznikla žádná fáze, došlo zde pouze k difúzi Ni do oceli a Cr a Fe do niklové mezivrstvy. Směrem do titanové slitiny přechází fáze  $TiNi_3$  do fáze NiTi, široké cca 6  $\mu m$ . Fáze

NiTi má vyšší indentační tvrdost ( $H_{IT} = 10$  GPa) než ostatní okolní fáze ( $H_{IT} = 5$  GPa). Na fázi NiTi navazuje eutektická směs  $Ti_2Ni + Ti$  [8].



**Obr. 4:** průběh chemického složení rozhraním spoje (4a), průběh nanotvrdosti (4b)

Z měření indentační tvrdosti (Obr. 4b) je vidět, že niklová mezivrstva má pozitivní vliv na průběh mechanických vlastností a průběh nanotvrdosti je přes jednotlivé oblasti pozvolný.

## 6. Závěr

Při použití Ni mezivrstvy při difúzním svařování korozivzdorné austenitické oceli s titanovou slitinou nedochází k tak velkým změnám mechanických vlastností v blízkosti svaru. Proto při výše popsaném způsobu vytváření svarových spojů (malými tlaky v ochranné atmosféře) může být použití mezivrstvy výhodné. Další výzkum bude dále směřovat na vyzkoušení různých tloušťek a materiálů mezivrstvy a způsobů jejího nanesení. Dále je třeba detailněji ověřit mechanické vlastnosti vytvořených spojů (tahová zkouška, mikrocharpy a ohybová zkouška).

## Poděkování

Výzkum byl financován z dotačních prostředků MŠMT v rámci projektu SGS CVUT SGS13/187/OHK2/3T/12

## LITERATURA

- [1] SAHUL M., SAHUL, M., TURŇA, M.: Zváranie vybraných kombinovaných ocelí diskovým laserom, *Sborník konferencie Zvárania 2012*, VUZ, 2012
- [2] KOLAŘÍK, L., KOLAŘÍKOVÁ, M., KOVANDA, K., VONDROUŠ, P. Difúzní svařování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, č. 4 [cit. 2012-11-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/difuzni-svarovani.html>
- [3] KAZAKOV. N.F. Diffuzionnaja svarka materialov, *Mašinostrojenije*, Moskva, 1976
- [4] ŠEPITKA, J., LUKEŠ, J., STANĚK, L., FILOVÁ, E., BURDÍKOVÁ, Z., ŘEZNÍČEK, J. Nanoindentation of intervertebral disc tissues localised by SHG imaging, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. Vol. 15, No S1 (2012), pp. 335 – 336
- [5] TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvárania*, Alfa, Bratislava, 1989
- [6] JÁŇA, M., TURŇA, M. KOLAŘÍK, L., KOLAŘÍKOVÁ, M.: Difúzne zváranie kombinovaných kovov, *Sborník konferencie Zvárania 2012*, VUZ, 2012
- [7] KOSTOLNÝ, I.: Difúzne zváranie kombinovaných kovov, *Diplomová práca, STU v Bratislave, MTF so sídlom v Trnave*, Trnava, 2013
- [8] KOLAŘÍK, L., KOLAŘÍKOVÁ, M., NOVÁK, P., SAHUL, M., VONDROUŠ, P.. *The Influence of Nickel Interlayer for Diffusion Welding of Titanium and Austenitic Stainless Steel*. In: *Metal 2013*. Ostrava: TANGER, spol. s r.o., 2013.