

## نقش تیتانیوم در بهبود رفتار خوردگی روکش اینکونل ۶۲۵ اعمال شده به روش

### جوشکاری TIG بر فولاد ساده کربنی

صادق تراکمی، بهنام لطفی، زهره صادقیان

گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۹/۸ - پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۲/۴)

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر افزودن تیتانیوم به روکش IN625 تولید شده با استفاده از فرآیند جوشکاری الکتروود قوسی تنگستن-گاز بر رفتار خوردگی روکش است. بدین منظور در ابتدا لایه‌ای از IN625 بر روی زیرلایه فولاد ساده کربنی جوشکاری سطحی شد و سپس تیتانیوم خالص به روش جوشکاری الکتروود قوسی تنگستن - گاز بر روی روکش قبلی اعمال شد. بر اساس مقدار ذوب فیبر تیتانیوم، روکش آلیاژی حاوی ۲۹ و ۳۹ درصد وزنی تیتانیوم بدست آمد. بررسی های ریزساختار روکش های حاصل با استفاده از میکروسکوپ نوری انجام شد. به منظور مطالعه رفتار خوردگی از آزمون پلاریزاسیون تافل استفاده شد. نتایج آزمون پلاریزاسیون سیکی نشان داد که روکش آلیاژی NiTi مقاومت به حفره دار شدن بهتری در مقایسه به روکش اینکونل از خود نشان می دهد. در میان روکش های مورد بررسی، روکش آلیاژی حاوی ۳۹ درصد تیتانیوم، با افزایش حدود ۱/۵ ولت در پتانسیل برگشت نسبت به روکش اینکونل بالاترین مقاومت به حفره دار شدن را نشان داد. واژه های کلیدی: جوشکاری قوسی تنگستن-گاز، تیتانیوم، IN625، روکش NiTi، مقاومت به خوردگی.

## The role of titanium in improvement of corrosion behavior of Inconel 625 layer clad on mild steel by TIG welding

S. Trackme, B. Lotfi and Z. Sadeghian

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of Ti addition on corrosion behavior of IN625 surface clad layer fabricated by Tungsten inert gas (TIG) welding. For this purpose a layer of IN625 was clad on plain carbon steel and pure Ti was subsequently embedded into the clad layer by TIG surface welding. According to Ti content added by surface welding clad layers containing 29 and 39 wt.% Ti were obtained. Microstructural investigations of clad layers were conducted by optical microscopy (OM). Potentiodynamic polarization testing was used to study the corrosion behavior of the clad layers. Cyclic polarization experiments showed improved corrosion resistance of resultant Ni-Ti layer compared to that of IN625 clad layer. Surface clad layer containing 39 wt.% Ti showed a repass potential ( $E_p$ ) of 1.5 V higher than that of IN625 with the highest pitting resistance among fabricated clad layers.

**Keywords:** Tungsten inert gas welding, Titanium, IN625, NiTi clad, corrosion resistance.

**E-mail of corresponding author:** behnaml@scu.ac.ir .



## مقدمه

خوردگی بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار زیاد نیکل و کروم باعث افزایش مقاومت آلیاژ در بسیاری از محیط‌های احیایی و اکسید کننده شده است [۲]. از طرف دیگر کبالت و مولیبدن علاوه بر افزایش استحکام محلول جامد، مقاومت به خزش فوق‌العاده‌ای را در دماهای بالاتر از  $800^{\circ}\text{C}$  ایجاد می‌کنند. حضور کربن و نیتروژن باعث تشکیل انواع کاربیدها، نیتريد‌ها و کربونیتريد‌ها در آلیاژ شده و این امر می‌تواند استحکام آن را در دمای بالا بهبود بخشد [۴]. البته علیرغم خواص مطلوب مذکور روکش از جنسین آلیاژ مقاومت به خوردگی حفره‌ای کمی دارد، لذا با افزودن عناصر آلیاژی مانند تیتانیوم در مرحله روکش کاربانتظار می‌رود که بتوان خواص آن را بهبود بخشید [۶].

افزودن  $\text{Ti}$  به روکش پایه نیکل منجر به تشکیل ترکیبات بین فلزی نظیر  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  و  $\text{Ni}_2\text{Ti}$  می‌گردد [۷]. در دیاگرام فازی تعادلی  $\text{Ni-Ti}$  سه ترکیب بین فلزی پایدار  $\text{Ti}_2\text{Ni}$ ،  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  و  $\text{NiTi}$  و ترکیبات ناپایدار دیگری مانند  $\text{Ni}_2\text{Ti}$  مشاهده می‌شود. ترکیبات بین فلزی  $\text{Ni-Ti}$  دارای خواص مطلوبی چون شکل پذیری به دلیل ساختار بلوری FCC به علت سختی بالایی [۸]. این ترکیبات در عین حال خیلی ترد نیستند و به دلیل دارا بودن مقاومت به خوردگی بالا جهت پوشش و لایه‌نشانی کاربرد فراوانی دارند. تشکیل لایه‌های آلیاژی  $\text{Ni-Ti}$  خواص بسیار چشمگیری از جمله خواص مکانیکی در دمای بالا، چگالی پایین در مقایسه با سوپر آلیاژها، مقاومت خزشی خوب تا بالاتر از دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  و مقاومت اکسیداسیون تا بالاتر از  $900^{\circ}\text{C}$  را در پی خواهد داشت [۹ و ۱۰].

هدف از این پژوهش ایجاد روکش آلیاژی IN625 با استفاده از فرایند جوشکاری الکتروود قوسی تنگستن-گاز بر روی فولاد ساده کربنی و بررسی اثر افزودن تیتانیوم با درصد‌های مختلف بر روی سطح به منظور بهبود رفتار خوردگی بوده است.

آلیاژهای تجاری مورد استفاده جهت روکش کاری عمدتاً آلیاژهای پایه کبالت، آهن و نیکل هستند. در میان روکش-های آلیاژهای مختلف، آلیاژهای پایه نیکل قابلیت تحمل دمای نسبتاً بالا و مقاومت به خوردگی مناسبی دارند [۱]. مقاومت به خوردگی مطلوب آلیاژهای پایه نیکل به دلیل تشکیل یک لایه اکسید محافظ و پایدار بوده و باعث کاربرد فراوان این آلیاژ در صنایع شیمیایی و صنایع نیروگاهی شده است [۲]. این دسته مواد به طور موفقیت آمیزی برای اجزاء مختلف قطعات در معرض شرایط سخت کاری به ویژه خوردگی و خزش استفاده می‌شوند. این مواد دارای خواص مطلوبی نظیر سختی بالا، حفظ استحکام در دمای بالا و مقاومت خوردگی هستند [۱].

سوپر آلیاژهای پایه نیکلی به دلیل زمینه محلول جامد غنی از نیکل و نیز وجود رسوبات بین فلزی سخت در ریزساختار خود، سختی بالایی داشته و خواص خوردگی خوبی از خود نشان می‌دهد. ضمن اینکه قابلیت کاربرد در دمای بالا از جمله ویژگی‌های این آلیاژها بوده و تمایل برای استفاده از این آلیاژها را به عنوان ماده روکش افزایش می‌دهد. پرکاربردترین آلیاژ این گروه آلیاژهای اینکونل می‌باشد [۳].

گروه آلیاژی اینکونل از خانواده‌ی محلول جامد بین نشین نیکل- کرومی باشد و به طور کلی برای کاربردهای دمایی نسبتاً بالا استفاده می‌شود. آلیاژهای اینکونل مقاوم به اکسیداسیون و خوردگی هستند. در دماهای بالا، روی سطح اینکونل لایه مقاوم، پایدار و غیرفعال از اکسید تشکیل می‌شود که از پیشرفت خوردگی جلوگیری می‌کند. در میان آلیاژهای پایه نیکلی، IN625 شامل درصد بالایی از کروم نیکل و مولیبدن می‌باشد که باعث مقاومت به خوردگی و استحکام مکانیکی بالایی می‌شود. حضور سایر عناصر آلیاژی در ترکیب شیمیایی این آلیاژ خصوصیات ویژه و ممتازی به آن بخشیده بطوریکه به عنوان قطعات با استحکام و مقاومت به

## مواد و روش انجام آزمایش

### مواد مورد استفاده

#### زیرلایه

به منظور ایجاد روکش قطعاتی از جنس فولاد ساده کربنی با ابعاد  $30 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$  به عنوان زیرلایه استفاده گردید. ترکیب شیمیایی این آلیاژ در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی زیرلایه فولاد ساده کربنی

ترکیب شیمیایی	%C	%Si	%Mn	%S
	<0.17	<0.134	0.5	<0.035

قبل از فرآیند روکش دهی، با استفاده از دستگاه فرز لایه‌ی اکسیدی سطح زیر لایه حذف شد. با استفاده از همین دستگاه و همانند آنچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود منطقه جوش تعبیه شد. سپس به منظور چربی‌زدایی و حذف ذرات ناخالصی روی سطح، از شستشو با الکل استفاده شد.

#### روکش داخلی

به منظور ایجاد لایه‌ی میانی بین زیرلایه و لایه‌ی اصلی روکش از الکتروود از جنس سوپر آلیاژ IN625 استفاده شد. آلیاژ  $\text{Ni21.5Cr9Mo3.7Cb(Nb)}$  موسوم به IN625 سوپر آلیاژ پایه نیکل است. ترکیب شیمیایی این آلیاژ در **Error!** **Unknown switch argument.** آورده شده است.

## روکش خارجی

آلیاژهای تیتانیم دارای بالاترین نسبت استحکام به وزن در مقایسه با سایر فلزات است ولی بدلیل قیمت بالا تنها در کاربردهای خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. چگالی پایین و بخصوص تشکیل لایه اکسید سطحی از خواص بارز این آلیاژ است. به منظور بررسی تاثیر افزودن تیتانیم بر خواص خوردگی روکش پایه نیکل IN625 از سیم جوش‌هایی به قطر ۲ mm استفاده شد.

### فرایند جوشکاری

عملیات ذوب سطحی به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و با استفاده از دستگاه جوش گام الکترونیک مدل DIGI TIG PSQ400 AC/DC انجام شد. الکتروود مصرف نشدنی مورد استفاده الکتروود تنگستنی حاوی ۲٪ توریم به قطر ۲/۴ mm انتخاب شد. در این پژوهش جوشکاری نمونه‌ها تحت پلازیمه DCEN انجام شد تا حرارت ورودی بیشتری تامین شود.

میزان دمش گاز آرگون در این فرآیند ۸ لیتر بر دقیقه انتخاب شد تا عمل حفاظت به خوبی انجام گیرد. به منظور رفع مشکل تجمع رطوبت در داخل شلنگ در مورد جوش‌های اولیه، پیش از شروع روکش‌کاری، گاز آرگون به مدت چند ثانیه توسط ماشه گاز در مشعل به بیرون رانده شد. عملیات جوشکاری تحت پارامترهای ذکر شده در جدول ۳ انجام شده و در شکل ۱ نیز نمایی از مراحل انجام فرایند روکش‌کاری نشان داده شده است.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی آلیاژ IN625

	Ni	Cr	Al	Fe	C	Ti	Mn	P	Si	Co	S	Mo
Min	Bal.	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Max		23	0.4	5	0.1	0.4	0.5	0.015	0.5	1	0.015	10.0



شکل ۱. نمایشی از روند تهیه نمونه‌ها در حین الف) آماده سازی سطحی، ب) تراز کردن دو قطعه ج) جوشکاری د) و ه) تصاویر سه نمونه جوشکاری سطحی شده

طول قوس (mm)	زاویه تورچ (درجه)	دبی گاز تنگستنی (L/min)	قطر الکترود (mm)
۲	۱۵ درجه	۸	۲/۴

جدول ۳. پارامترهای عمومی جوشکاری

در این پژوهش سه نمونه جوشکاری جهت بررسی تاثیر افزودن میزان تیتانیوم به روکش مورد ارزیابی قرار گرفت. در تمامی نمونه‌ها ابتدا یک پاس اینکونل روی سطح زیرلایه جوشکاری شد. این پاس از جوشکاری با سرعت  $13 \text{ mm/s}$  تحت جریان ۱۶۰ آمپر انجام شد. سپس به منظور بررسی اثر افزودن تیتانیوم به روکش ایجاد شده، نمونه ۲ و ۳ مطابق جدول ۴ بر روی روکش قبلی جوشکاری شد. میزان حرارت ورودی که بر اساس رابطه ۱-۱ محاسبه می‌شود از پارامترهای مهم جوشکاری می‌باشد.

$$\text{Heat Input} = \mu \frac{E \times I}{V} (1-1)$$

که در آن  $V$  سرعت جوشکاری،  $E$  ولتاژ جوشکاری و  $I$  جریان جوشکاری است.

جدول ۴. پارامترهای جوشکاری در نمونه‌های مختلف

سرعت جوشکاری (mm/s)	جریان پاس اول (آمپر)	میزان اینکونل اضافه شده در پاس اول (گرم)	میزان تیتانیوم اضافه شده در پاس دوم (گرم)	جریان پاس دوم (آمپر)	سرعت جوشکاری (mm/s)
-	-	۱۲	۰	-	-
۱۳.۵	۱۶۰	۱۱	۷	۱۶۰	۱۳.۵
۱۸	۱۶۰	۱۰	۴	۱۶۰	۱۸

## بررسی های آزمایشگاهی

### بررسی های میکروسکوپی

به منظور بررسی ریزساختاری سطح مقطع نمونه های روکش دهی شده عمود بر خط جوش از میکروسکوپ نوری استفاده شد. مراحل سنباده زنی تا سنباده ۱۵۰۰ و مرحله ی پولیش با استفاده از محلول سوسپانسیون اکسید آلومینیوم ۰/۳ و ۰/۵ درصد انجام شد. بدلیل متفاوت بودن لایه ها، اچ نمونه در سه محلول اچ مجزا انجام شد. محلول نایتال، ماربل و کرول به ترتیب برای اچ زیرلایه فولادی، IN625، و تیتانیوم مورد استفاده قرار گرفت.

### ارزیابی رفتار خوردگی

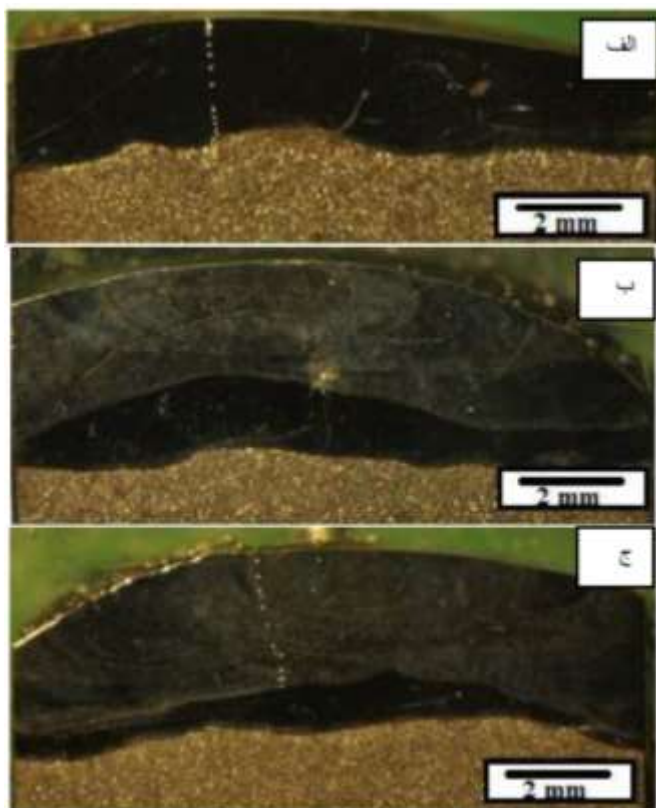
آزمون پلاریزاسیون سیکی برای بررسی رفتار خوردگی نمونه ها با استفاده از دستگاه Parastat 2273 مورد استفاده قرار گرفت. الکتروده اشباع کالومل به عنوان الکتروده مرجع و یک جفت گرافیت به عنوان الکتروده کمکی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تاخیر ۳۰ دقیقه ای، پتانسیل با نرخ  $1\text{mV/s}$ ،  $100\text{mV}$  پایین تر از پتانسیل مدار باز شروع شد و هنگامی که دانسیته جریان به  $5\text{mA/cm}^2$  رسید، روبش پتانسیل معکوس شد و این روبش در حالت معکوس، تا زمانی که نمودار یک حلقه بسته شد ادامه یافت. نتایج آزمون با استفاده از نرم افزار Power Suite مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از پایان آزمون، مرفولوژی سطحی نمونه ها جهت بررسی خوردگی حفره ای با استفاده از میکروسکوپ نوری مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

#### تاثیر افزودن تیتانیوم بر رفتار خوردگی لایه IN625

شکل ۲ تصاویر استریوگرافی از سطح مقطع سه نمونه جوشکاری شده را نشان می دهد. روکش IN625 دارای

ضخامت متوسط  $2 \pm 0.1\text{mm}$  بوده و از یکنواختی ضخامت خوبی برخوردار است. به دلیل عدم حضور ناپیوستگی، حفره و آخال انتظار می رود این روکش از استحکام و چسبندگی مناسبی برخوردار باشد. همانطور که در شکل ۱- ب و ۱- ج مشاهده می شود، افزودن لایه تیتانیوم موجب افزایش ضخامت کلی روکش آلیاژی شده است.



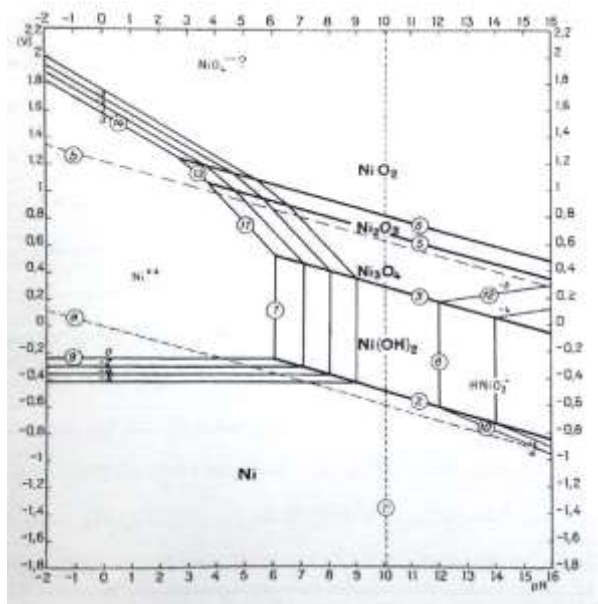
شکل ۲. تصویر استریوگرافی از سطح مقطع نمونه الف)

روکش IN625، ب) روکش IN625-29%Ti و

ج) IN625-39%Ti

#### تاثیر افزودن تیتانیوم بر رفتار خوردگی لایه IN625

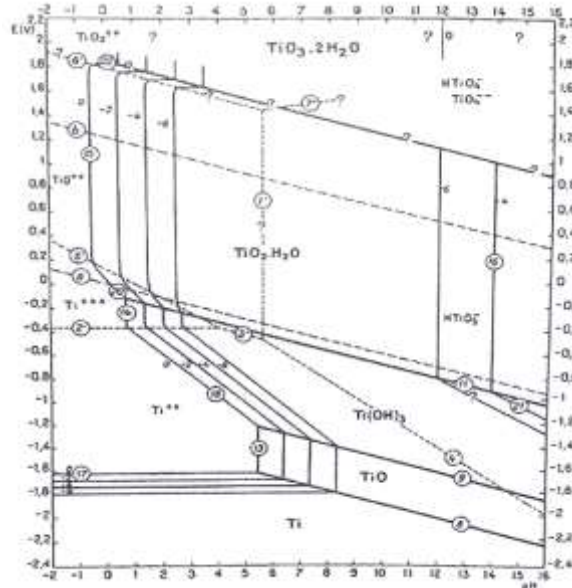
با توجه به دیاگرام پوربه Tiخالص در محیط های آبی (شکل ۳) می توان گفت که در محدوده pHهای ۳ به بالا و پتانسیل های ۰/۸- ولت به بالا (مثبت تر) فاز پایدار Ti اکسید تیتانیوم  $\text{TiO}_2$  می باشد. البته در پتانسیل های خیلی بالاتر (حدود ۱/۲ ولت) دی اکسید تیتانیوم که لایه پسیو بوده و مقاومت



شکل ۴. دیاگرام پوربه عنصر Ni در محیط های آبی و دمای ۲۵°C [۱۲].

با توجه به مطالب گفته شده می توان نتیجه گرفت که آزمایش های انجام گرفته در شرایطی بوده است که از لحاظ ترمودینامیکی  $TiO_2$  پایدار بوده ولی Ni به صورت محلول جامد می باشد. بطور کلی در مورد ماهیت لایه روپین تشکیل شده بر سطح آلیاژهای نیکل-تیتانیم باید به این نکته اشاره کرد که آنالیز XPS انجام گرفته بر روی سطح آلیاژهای نیکل-تیتانیم پسو شده، حاکی از وجود ترکیب  $TiO_2$  بر سطح آن می باشد [۱۱]. نکته دیگری که باید به آن توجه کرد این است که اکسید فلز فعالی همچون تیتانیوم بلافاصله در تماس با هوا تشکیل شده و در محلول های آبی نقش لایه روپین را بازی می کند. نظریه Uhlig بر این باور است که در مرحله اولیه روپینگی آندی تیتانیم یک لایه تک اتمی اکسیژن بر سطح تیتانیم تشکیل شده و باندهای کوالانت با تیتانیم بوجود می آید [۱۲]. ولی باید توجه کرد که لایه روپین تنها شامل  $TiO_2$  نیست و نتایج تحقیقات محققین مختلف نشانگر وجود مقداری Ni به صورت ترکیبات اکسیدی در خارجی

الکتریکی خیلی بالایی نیز دارد، ناپایدار شده و Ti به صورت  $TiO_4^{2-}$  یا  $HTiO_4^-$  در محیط آبی حل می شود. همچنین با افزودن  $Cl^-$  به محلول باعث کوچکتر شدن منطقه پسو خواهد شد.

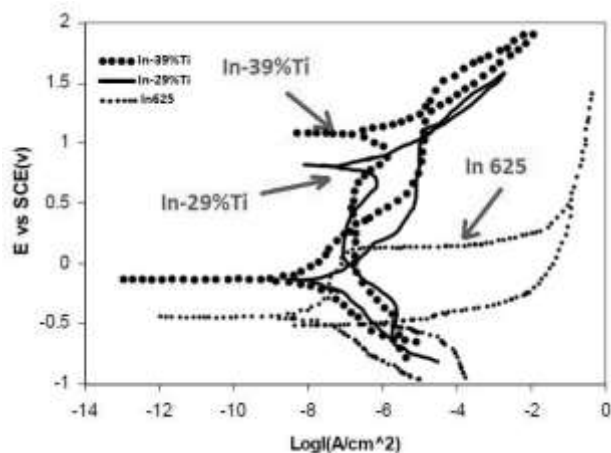


شکل ۳. دیاگرام پوربه عنصر Ti در محیط های آبی و دمای ۲۵°C [۱۲].

همچنین با توجه به دیاگرام پوربه Ni (شکل ۴) منطقه خوردگی نیکل در pH های پایین ۹ به پتانسیل  $-0.4$  ولت محدود می گردد یعنی در pH های کوچکتر از ۹ و پتانسیل  $-0.4$  ولت به بالا Ni به صورت های  $Ni^{++}$  وارد محلول خواهد شد. البته لازم به ذکر است که Ni در پتانسیل های بالا یک منطقه روپینگی دارد که این منطقه روپینگی در  $pH=9$  به طور تقریبی از پتانسیل ۴۰۰ میلی ولت (نسبت به SHE) شروع می شود و با کاهش pH این پتانسیل افزایش می یابد و در واقع با کاهش pH از ۹ احتمال پسو شدن Ni نیز کاهش یافته و مشکل تر می گردد. ترکیبات موجود در لایه مقاوم به خوردگی Ni،  $Ni(OH)_2$ ،  $Ni_3O_4$  و  $Ni_2O_3$  پیش بینی می شود.

همانطور که مشاهده می شود شاخه آندی منحنی های روکش آلپازی In625-Ti دارای سه منطقه مشخص است که عبارتند از: منطقه پلاریزاسیون تافل، منطقه رویین و منطقه پس از رویین. در منطقه پلاریزاسیون که رابطه خطی بین  $E$  و  $\log I$  برقرار است از لحاظ فیزیکی نشان دهنده حل شدن یونهای فلزی است. در منطقه پسو با بالا رفتن پتانسیل، افزایش در دانسیته جریان عبوری از مدار و نمونه به وجود نمی آید. این منطقه از لحاظ فیزیکی نشان دهنده تشکیل لایه ای با مقاومت الکتریکی و یونی بالا است که مانع عبور جریان الکتریکی می گردد. در ادامه با افزایش بیشتر پتانسیل، سطح نمونه وارد منطقه پس از رویین خواهد شد؛ در این منطقه واکنش هایی در فصل مشترک نمونه و محلول اتفاق می افتد که باعث می شود منحنی های برگشت، شاخه آندی منحنی را قطع کند که این مطلب نشانگر مقاومت به حفره دار شدن نمونه است. شکل ۶ نشان دهنده تصاویر میکروسکوپی سطح نمونه In625-39%Ti قبل و بعد از آزمون خوردگی می باشد. تصاویر میکروسکوپی نشان دهنده صاف تر شدن سطح نمونه بعد از آزمون نسبت به قبل از آزمون در اثر خوردگی یکنواخت است.

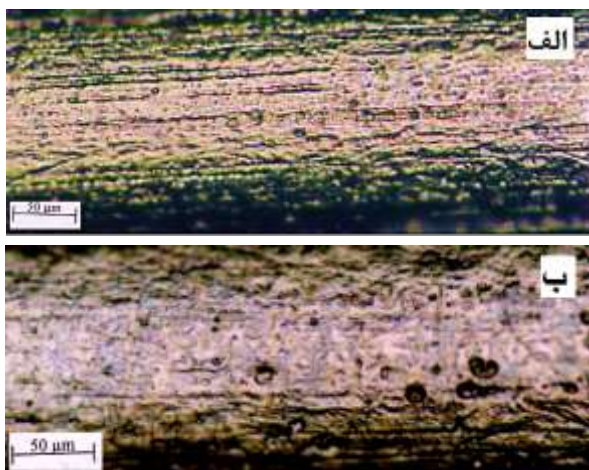
ترین سطح لایه اکسیدی موجود بر سطح آلیاژ می- باشد [۱۳]. افزایش مقدار Ni وارد شده در محلول الکترولیت آزمون خوردگی می تواند تایید کننده وجود لایه اکسید نیکل در خارجی ترین سطح نمونه باشد که به صورت کاتیون های  $Ni^{2+}$  وارد محلول شده است [۱۴]. شکل ۵ منحنی های پلاریزاسیون نمونه های مختلف را نشان می دهد و مقادیر پتانسیل خوردگی، پتانسیل حفره دار شدن، پتانسیل پسویته مجدد و دانسیته خوردگی از این نمودار استخراج و در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۵. منحنی پلاریزاسیون سیکلی روکش های حاوی تیتانیوم و روکش اینکونل

جدول ۵. مشخصه های خوردگی روکش های مختلف در محلول ۳/۵ درصد NaCl در دمای اتاق.

	$E_{corr}(mV)$	$E_{pit}(mV)$	$E_{re-passive}(mV)$	$i_{corr}(\mu A/cm^2)$
In625	-۴۶۰	-	-	۸
In625-29% Ti	-۱۹۰	۱۰۴۰	۸۸۰	۵/۸
In625-39% Ti	-۱۹۰	۱۱۷۰	۱۲۲۰	۶





شدن و مساحت حلقه بسته در این دو نمونه متفاوت است به طوری که نمونه In625-39%Ti دارای پتانسیل حفره دار شدن بزرگتری است. این موضوع می تواند مربوط به حضور عناصر آلیاژی بیشتری در ترکیب این روکش باشد که آن نیز بدلیل گرمای ورودی بیشتر جوشکاری و نفوذ بیشتر عناصر از لایه اینکونل به لایه بیرونی بوده است [۱۶]. همچنین با توجه به نتایج افزایش پتانسیل رویینگی مجدد در نمونه In625-39Ti نسبت به In625-29Ti به خوبی مشهود است که دلیل آن را می توان ناشی از ایجاد لایه رویین ناشی از حضور عناصر آلیاژی در روکش دانست.

با توجه به منحنی ها ملاحظه می شود که نمونه In625 دارای منحنی پلاریزاسیون سیکیلی متفاوتی نسبت به روکش های آلیاژی In625-Ti است، به گونه ای که یک شکست لایه پسیو با شیب بسیار تند در پتانسیل های بالا واقع در شاخه آندی رفت مشاهده می شود به گونه ای که دانسیته جریان به سرعت افزایش یافته و به یک مقدار حدی رسیده است. بدین ترتیب با افزایش پتانسیل، دانسیته جریان ثابت مانده تا اینکه به پتانسیل برگشت برسد. در منحنی برگشت با کاهش پتانسیل ابتدا دانسیته جریان ثابت مانده و سپس با سرعت بسیار کمی شروع به کاهش می کند. این کاهش دانسیته جریان در منحنی برگشت به گونه ای است که  $E_{corr}$  منحنی برگشت پایینتر از منحنی رفت واقع می شود. این نوع نمودارهای پلاریزاسیون سیکیلی نشانگر ایجاد حفره های عمومی در سطح آلیاژ است و در نهایت کل لایه رویین شکسته شده و در واقع لایه رویین پایداری در سطح تشکیل نمی شود به طوری که بعد از روبش پتانسیل به سمت مقادیر مثبت در منحنی رفت به جای اینکه سطح نمونه نجیب تر شود، فعالتر نیز شده است.

### نتیجه گیری

روکش آلیاژی In625-Ti مقاومت به حفره دار شدن بالاتری

شکل ۶. تصویر میکروسکوپی نوری از سطح نمونه In625-39%Ti (الف) قبل از آزمون خوردگی (ب) بعد از آزمون خوردگی.

در مورد نمونه های روکش آلیاژی In625-Ti می توان اظهار داشت که علیرغم شکل ظاهری نمودار پلاریزاسیون سیکیلی که نشان دهنده تقاطع شاخه رفت آندی توسط شاخه برگشت منحنی بوده و در نتیجه حساسیت به خوردگی موضعی می باشد ولی نزدیک بودن  $E_{prot}$  به  $E_{pit}$  نشانگر کم بودن حساسیت به خوردگی موضعی است. همچنین  $E_{corr}$  در منحنی برگشت خیلی بالاتر از  $E_{corr}$  در منحنی رفت می باشد که این مورد نیز گویای تشکیل یک لایه اکسیدی خیلی موثر در سطح نمونه است. به عبارت دیگر بعد از پلاریزاسیون آندی نمونه در منحنی رفت احتمال می رود که یک لایه ی اکسیدی یکنواخت موثر و محافظ در سطح نمونه ایجاد شده باشد. به طوری که سطح نمونه را نجیب تر و غیر فعال تر می نماید. صیقلی تر شدن سطح نمونه پس از انجام آزمون خوردگی در شکل ۶ این موضوع را تایید می کند.

از طرف دیگر برای کاهش سریع دانسیته جریان در منحنی بازگشت نیز می توان دو علت بیان نمود. اول اینکه افزایش دانسیته جریان به خاطر حفره دار شدن لایه ی اکسیدی نبوده و علت دیگری نظیر اکسید شدن آب  $(2H_2O+O_2+4e^-)$  و  $OH^-$  در سطح نمونه و انحلال آندی در منطقه ترانس پسیو (خوردگی یکنواخت) داشته است و یا اینکه اگر حفره ای نیز بوجود آمده، این حفره حفره ی بزرگ و پایداری نبوده است زیرا با کاهش پتانسیل در منحنی برگشت بلافاصله پسیو مجدد اتفاق افتاده و در نتیجه کاهش شدیدی در دانسیته جریان مشاهده شده است [۱۵].

بر اساس منحنی های پلاریزاسیون و پارامترهای خوردگی مشاهده می شود که مقاومت به خوردگی In625-29%Ti و In625-39%Ti تقریباً یکسان است. اما پتانسیل حفره دار

اینکونل شده که نشاندهنده افزایش مقاومت به حفره دار شدن این روکش ها نسبت به روکش اینکونل بوده که دلیل آن را می توان وجود فاز های بین فلزی Ni-Ti در روکش دانست.

نسبت به روکش اینکونل داشت بطوریکه با افزودن ۲۹ و ۳۹ درصد تیتانیوم به روکش اینکونل به ترتیب موجب افزایش حدود ۱/۵ و ۱/۲۵ ولت در پتانسیل برگشت نسبت به روکش

## مراجع

- [1] R.C. Reed, *The Superalloys - Fundamentals and Applications*, Cambridge University Press, (2006).
- [2] W. F. Smith, *Structure and Properties of Engineering Alloys*, Mc Grow Hill, (1993).
- [3] A. M. HandBook, *Materials Selection and Design*, 20(1997).
- [4] . W. Mankins and . J. Hosier, *Microstructure and phase stability of Inconel alloy 625*, Metallurgical Transactions A, 5(1974)2579-2590.
- [5] "http://www.specialmetals.com".
- [6] H. Wang and H. Tang, *Microstructure and wear properties of laser clad Ti<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>Si/Ni<sub>3</sub>Ti multiphase intermetallic coatings*, Materials Science & Processing, 80(2005)1677-1682.
- [7] Y. Luo and D. Li, *New wear-resistant material: Nano-TiN/TiC/TiNi composite*, MATERIALS SCIENCE, 36(2001), 4695-4702.
- [8] C. Leyens and M. Peters, *Titanium and Titanium Alloys*, Willey, (2003).
- [9] I. Polmear, *Light Alloys Titanium alloys*, Elsevier Ltd, (2005).
- [10] F. Liu and . J. Xu, *Wear resistance of micro-arc oxidation coatings on biomedical NiTi alloy*, Alloys and Compounds, 487(2009)391-394.
- [11] M. H. Wu, *Fabrication of Nitinol Materials and Components*, Proceedings of the International Conference on Shape-Memory and Superelastic Technologies, (2001)285-292.
- [12] . M. Pourbaix, *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*, 2(1974)213-221.
- [13] B. O. Brien, *Passivation of nitinol wire for vascular implants*, Biomaterials, 23(2002) 1739-1748.
- [14] ا. مفاخری, بررسی رفتار خوردگی آلیاژ نایتینول در محیط شیبیه ساز یسده بدن "پایان نامه کارشناسی ارشد. 1383,
- [15] S. Shabalovskaya, *Effect of chemical etching and aging in boiling water on the corrosion resistance of Nitinol wires with black oxide resulting from manufacturing process*, J Biomed Mater Res B Appl Biomater, (2003)331-340.
- [16] M. L. Lethabane and P. A. Olubambi, *Corrosion behaviour of sintered Ti-Ni-Cu-Nb in 0.9% NaCl environment*, Journal of Materials Research and Technology, 4(2015)367-376.

- [17] H. Guide, *Selection Guide to Lincoln hardfacing Materials and Procedure*," The Lincoln Electric Company, (2005)3-5.
- [18] R. Nugent, *Alloy 625 Surfacing of Tool and Die Steels*, *Welding Journal*, 65(1986)33-39.
- [19] W. Handbook, *Surfacing*, American Welding Society, 3A(1970).
- [20] A. M. HandBook, *Surface Engineering*, 5(1994).
- [21] . J. R. Davis and Associates, *Handbook, Weld Cladding and Dissimilar Joining*, ASM Metals Handbook, 6(1993)789-794.