

Laser cladding of Inconel 625 on ASTM A575 steel

M.H. Zakeri, A.R. Nasresfahani*, S.M. Barekat

Department of Materials Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran.

Received 12 Septemner 2021 ; Accepted 10 January 2022

6

Abstract

In this research, the microstructure of Inconel 625 cladded layer on ASTM A575 steel has been investigated. By examining different parameters, the optimal single-pass sample with the least amount of dilution, porosity and fusion and suitable wetting angle was determined. Then cladding process with the optimal parameter was performed. The microstructure of the cladding layer was evaluated from the base metal to the top. Due to different cooling rates, dendritic morphologies were observed at different distances. Also, the cladding layer was free of any cavities, porosity and cracks and its thickness was 0.9 mm (900 micrometers). The results of (XRD) and (EDS) analyzes indicate that the γ phase is formed and there is a relatively uniform distribution of elements in the cladding layer. These results also indicate that no change in the chemical composition of the substrate surface was achieved near the interface. The hardness test results also show that the hardness starts from 320 VHN at the top surface and reaches to 135 VHN in the base metal with a gentle slope. This slope of hardness can be attributed to the cooling or heating rates of the substrate.

Keywords: Laser Cladding, Inconel 625, A575 steel, microstructure, hardness, cladding parameters.

Corresponding Author: <u>nasr_alireza@yahoo.com</u>



دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران.

دريافت مقاله: 1400/10/20؛ پذيرش مقاله: 1400/06/21

چکیدہ

در این پژوهش، ریزساختار لایه روکش شده اینکونل 625 با استفاده از لیزر فیبری بر روی فولاد ASTM A575 مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا پارامترهای مختلف فرایند روکش کاری لیزری از جمله دارا بودن کمترین میزان رقت، تخلخل و آمیختگی و نیز بهترین زاویه ترشوندگی برای یک نمونه بهینه تک پاس مشخص و سپس نسبت به انجام فرایند روکش کاری اقدام شد. ریز ساختار روکش از راس آن تا زیر لایه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی ها نشان داد با توجه به نرخ سرد شدن متفاوت در فواصل مختلف، انواع ریخت دندریتی قابل مشاهده است. همچنین پوشش عاری از هر گونه حفره، تخلخل و ترک و ضخامت آن 9/0 میلی متر (900 میکرومتر) میباشد. نتایج حاصل از آنالیزهای فازی(XRD) و عنصری(EDS) نشان دهنده تشکیل فاز گاما و توزیع نسبتا یکنواخت عناصر در پوشش میباشد. این نتایج همچنین نشان دهنده آن است که تغییری در ترکیب شیمیایی سطح زیرلایه در نزدیک فصل مشترک حاصل نشده است. نتایج سختی سنجی نیز نشان دهنده آن است که تغییری در ترکیب شیمیایی سطح زیرلایه در نزدیک فصل مشترک حاصل نشده است. نتایج سختی سنجی نیز نشان دهنده آن است که سختی از MINO

> كلمات كلیدی: روكش كاری لیزری، اینكونل 625، فولاد ASTM A575، ریزساختار، سختی، پارامترهای لایه نشانی. اینده مسئول، یست الكترونیكی: <u>nasr-alireza@yahoo.com</u>

1- مق*د*مه

سوپر آلیاژها، از جمله فلزات مقاوم در برابر حرارت، خوردگی و اکسیداسیون میباشند. این آلیاژها به لحاظ ترکیب شیمیایی شامل سه گروه پایه نیکل، نیکل-آهن و پایه کبالت هستند. آلیاژ اینکونل 625 جزو آن دسته از آلیاژهای پایه نیکل است که دارای مقدار قابل توجهی کرم و مولیبدن میباشد. این آلیاژ دارای مقاومت عالی در برابر خوردگی و اکسایش بوده و از خواص کششی و خستگی مناسبی تادمای۲۰۵8بر خوردار است.

استحکام بالای این آلیاژ ناشی از حضور مولیبدن و نیوبیم است. بنابراین برای افزایش استحکام نیازمند عملیات رسوب سختی نخواهد بود. حضور این عناصر در کنار هم سبب ایجاد مقاومت زیاد در برابر خوردگی شده و همزمان مقاومت به اکسایش و کربوره شدن را نیز افزایش میدهد. همچنین با توجه به اینکه استحکام کششی این آلیاژ زیاد است، در نتیجه مقاومت به خوردگی - خستگی و مقاومت در برابر ترکهای ناشی از خوردگی تنشهای یونهای کلریدی زیادی دارد که همین خاصیت

موجب به کارگیری گسترده آن در صنایع دریایی شده است. از جمله موارد کاربردهای دریایی این آلیاژ میتوان به کابلهای مهارکننده قایق، پرههای موتورهای ناوها، سیستمهای رانش اضطراری و اتصالات جداکننده زیردریاییها، داکتهای اگزوز قایق، محافظ کابلهای ارتباطی زیر دریا و رابط کابلهای الکتریکی اشاره کرد. همچنین به دلیل قابلیت جوشکاری و لحیمکاری بالا در صنایع هوایی و هستهای نیز کاربردهای فراوانی دارد [3-1].

فولاد ASTM A575 یکی از فولادهای کربنی پر کاربرد است. جوش پذیری بسیار خوب این فولاد موجب شده است از آن در صنایع گوناگونی از قبیل نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع حمل و نقل زمینی و دریایی و نیز صنایع ساختمانی کاربردهای فراوانی داشته باشد. به همین دلیل بسیاری از تحقیقات در زمینه متالورژی جوشکاری از جمله بررسی فرایند انجماد جوش، ریزساختار فلزجوش و منطقه تحت تاثیر حرارت، استحالههای فازی حالت جامد در حین جوشکاری و ناپیوستگیهای جوشکاری بر روی این فولاد انجام شده است [4].

در روکش کاری لیزری از منبع حرارتی لیزر برای نشاندن لایه در روکش کاری لیزری از منبع حرارتی لیزر برای نشاندن لایه نازک روی فلزپایه استفاده می شود. در این روش قسمتی از رسیدن به زیر لایه می شود. بخش دیگر آن نیز یک لایه سطحی نازک از زیرلایه را ذوب و موجب تشکیل یک پیوند متالورژیکی قوی با کمترین اختلاط بین زیرلایه و روکش می شود.

حرارت ورودی بسیار کم در این حالت باعث آمیختگی خیل کم رسوب با زیر لایه می شود. همچنین منجر به تشکیل ناحیه متاثر از حرارت بسیار باریک به همراه حداقل اعوجاج و پیچیدگی می شود. فرایند روکش کاری لیزری به دلیل سرعت انتقال حرارت بالا سبب ظریف شدن ساختار و یکنواخت شدن ترکیب شیمیایی در سطح پوشش می شود. در این روش از یک پرتو لیزر پرانرژی به جای قوس یا شعله گاز به عنوان منبع حرارتی استفاده می شود. پرتوهای لیزر امکان به وجود آوردن لایه هایی با ضخامت کم و دسترسی آسان تر به سطوح را نسبت

به الکترود یا مشعل فراهم می سازند. از عمده کاربردهای روکش کاری لیزری می توان به بازسازی سطوح فرسوده توربین های هوایی و صنعتی، قطعات شناورهای دریایی، قطعات صنایع نفت و مجموعه های در معرض سایش اشاره کرد. پارامترهای مهم و تأثیر گذار بر کیفیت روکش لیزری ایجاد شده شامل توان متوسط، سرعت روبش لیزری و نرخ تغذیه پودر می اشد. عمده مواد مورد استفاده در روکش کاری لیزری، شامل سیم، پودر و خمیر می باشند که پودر بیشترین مورد استفاده را دارد [6و7].

فولاد A517 یکی از فولادهایی است تحقیقات متعددی بر روی رفتار خوردگی و سایشی پوششهای اعمالی بر روی آن انجام شده است [8و9]. ولی تاکنون گزارشی مبنی بر تحقیق بر فولاد A575 و نحوه روکش کاری منتشر نشده است. در این تحقیق روکش اینکونل 625 به روش لیزر بر روی این فولاد انجام و پارامترهای موثر در مورد بررسی قرار گرفته است.

2- مواد وروش تحقيق

از پودر تجاری اینکونل 625 با ترکیب شیمیایی مطابق با جدول(1) و مورفولوژی و اندازه دانه نشان داده شده در شکل(1) به عنوان ماده اولیه جهت روکشکاری و از ورقههای فولاد ASTM A575 با ابعاد 14×4×1 سانتیمتر و ترکیب شیمیایی جدول(2) به عنوان زیر لایه استفاده شد. قبل از انجام فرایند روکشکاری، ابتدا ورقههای فولادی تا زبری حدود یک میکرومتر سنبادهزنی و پولیش شد.

آنگاه از دستگاه لیزر فیبری برای لایه نشانی استفاده گردید. بهمنظور یافتن پارامترهای بهینه، ابتدا روکشکاری لیزری به صورت تک پاس طی27 مرحله با پارامترهای مختلف انجام شد. جدول(3) پارامترهای مختلف روکشکاری لیزری تک پاس را نشان میدهد. شکل(2) طرح وارهای از سطح مقطع یک نمونه تک پاس را نشان میدهد که برای تعیین میزان آمیختگی از رابطه 1 قابل محاسبه است. (1)

پس از انجام فرایند روکشکاری، کلیه نمونهها به وسیله دستگاه

Al%	Si%	Fe%	Mo%	Cr%	Nb%	Ni%	عنصر
١/۵	•/٢٨	١/٣٢	11/04	۲۰/۳۷	٣/۴١	81/0	مقدار (درصد وزنی)
	اندازه ذرات						
	مورفولوژي						

جدول 1- ترکیب شیمیایی و مشخصات یودر تجاری اینکونل625.

جدول 2- ترکیب شیمیایی فولاد ASTM A575 (درصد وزنی).

P%	S%	Mn%	C%	Fe%
٠/٠۵	•/•۵	•/۶	٠/٢	مابقى

وایرکات برش وسطح آنها سنبادهزنی و پولیش شد. از محلول 1 گرم FeCl₃ و 10 میلیلیتر HCl و 5 میلیلیتر HNO₃ هم به عنوان محلول حکاکی استفاده شد.آنگاه به منظور انتخاب پارامترهای بهینه، 27 نمونه تک پاس فوق از نظر یکنواختی ضخامت و هندسه پوشش، تراکم بالا و عدم حضور عیوب از قبیل ترک و حفره مورد بررسیهای اولیه قرار گرفتند. این بررسیها نشان داد میتوان نمونه شماره S3 را به عنوان نمونه بهینه جهت روکشکاری چند پاس انتخاب نمود.



شکل 1- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی از ذرات پودر اینکونل 625.

با توجه به پارامترها و نتایج جدول(3)، مشخص شد که رفتار تغییر ارتفاعروکشهایلیزریتابعی از هر سه پارامتراصلی فرایند یعنی، نرخ تزریق پودر (F)، سرعت روبش(S) و توان لیزر (P)

می باشد که مقدار آن از 0/85 تا 1/65 میلی متر متغیر می باشد. همانگونه که مشاهده می شود، افزایش ارتفاع روکش با افزایش نرخ تغذیه یودر و کاهش سرعت روبش لیزری افزایش یافته است. مقدار یهنای روکش از 0/9 تا 1/4 میلیمتر متغیر میباشد که با افزایش توان لیزر و کاهش سرعت روبش افزایش می یابد. و نرخ تزریق پودر نیز اثر کمی بر پهنای روکش دارد. زاویه ترشوندگی (θ)، برای نمونههای تک پاس 27 گانه اندازهگیری شد که مقدار آن از 37 تا 98 درجه متغیر بود. زاویه ترشوندگی (θ) نقش مهمی را در کیفیت روکش ایفا میکند و به خصوص برای همپوشانی و جلوگیری از ایجاد تخلخل از اهمیت خاصی برخوردار است. مشخص شد که هر سه پارامتر اصلی فرایند روکش کاری بر زاویه ترشوندگی تاثیر دارد. با افزایش توان و سرعت روبش، زاویه ترشوندگی کاهش یافته و افزایش نرخ تغذيه پودر، سبب افزايش زاويه ترشوندگي مي گردد. همچنين می توان نتیجه گرفت که هر سه پارامتر اصلی فرایند روکش کاری برروی عمق نفوذ و درصد آمیختگی موثر میباشند، که از بین سه عامل فوق، توان متوسط تاثیر بیشتری دارد. از روی اطلاعات خروجي از جدول (3) نتيجه مي شود كه درصد آميختگي از 7% تا 20% متفاوت میباشد. که با افزایش توان، عمق نفوذ و درصد آمیختگی افزایش مییابد که ناشی از افزایش انرژی ورودی با افزایش توان میباشد. در نتیجه در یک نرخ پاشش پودر و سرعت روبش ثابت انرژی بیشتری توسط زیر لایه جذب شده و عمق نفوذ افزایش مییابد. جهت تعیین ترکیب فازی پودر اینکونل 625، زیرلایه و روکش شماره1 از الگوی پراش پرتو ایکس حاصل از دستگاه پراش سنج فیلیپس باولتاژ 40کیلوولت، تابش (Cu(Ka با طول موج 0/15406 نانومتر

	0(1	h()	h(W(mm)	Г	S	Р	شماره
/.D	$\theta(aegre)$	D(MM)	n(mm)	w(mm)	r			نمونه
14/1	۵۲	•/10	•/90	١/٠	100	6	300	S1
1774	40	•/14	•/٩	•/٩	100	8	300	S2
۱۲/۳	7 77	•/17	•/٨۵	•/90	100	10	300	S3
١٢	64	•/11	١/•	1/1	200	6	300	S4
11/0	¥V	•/17	•/90	۱/۰	200	8	300	S5
٩	٣٩	•/1	١	۰/۹	200	10	300	S 6
1.19	٨۶	•/17	1/1	•/90	300	6	300	S 7
۱۰/V	۶۲	•/17	١	1/1	300	8	300	S 8
V	۶۵	•/•٨	1/1	۱/۰	300	10	300	S9
١٣	42	•/10	١	1/1	100	6	400	S10
74	٨٢	•/٣	•/٩	١/٠	100	8	400	S11
10/7	۶۵	•/\A	١	۲/۱	100	10	400	S12
۱۰/٣	87	۰/۱۳	1/1	1/1	200	6	400	S13
14/0	٨V	•/1V	۱/۰	۱/۰	200	8	400	S14
11	٩٣	•/14	١/٢	٦/٣	200	10	400	S15
V/Λ	٩٠	•/11	۲۳۲	۱/۰	300	6	400	S16
٩/۶	٧۵	•/10	۱/۴	1/1	300	8	400	S17
٨	٩۵	•/17	1/0	1/30	300	10	400	S18
۱۲/۵	٨۶	٠/٢	1/4	١/٢	100	6	500	S19
۲.	٩٣	۰/۳۵	1/47	۲/۲	100	8	500	S20
18/3	۶۱	•/۲٩	١/۴٨	1/10	100	10	500	S21
11/1	ЛЛ	۰/٣	1/40	1/4	200	6	500	S22
10/1	٩۵	۰/۲۵	1/0	۳۷	200	8	500	S23
١٣	۸۵	/ ۲ ۲	1/00	۱/۳	200	10	500	S24
14/2	94	•/۲۵	1/0	١/٢	300	6	500	S25
۱۳/۳	٩٧	٠/٢	1/8	١/٢	300	8	500	S26
١٢	٩٨	•/٢١	1/80	1/4	300	10	500	S27

جدول 3- نحوه انتخاب پارامترهای روکش کاری لیزری تک پاس پوشش اینکونل 625

و اندازه گام 0/05 درجه بر ثانیه استفاده شد.

الگوهای بهدست آمده با استفاده از نرم افزار Xpert High Score مورد ارزیابی قرار گرفتند. از میکروسکوپ نوری جهت بررسی ریز ساختار و هندسه روکش استفاده و از نرمافزار Digimizer جهت تعیین زاویه ترشوندگی، میزان آمیختگی و ارتفاع روکش استفاده شد.

3- نتایج و بحث
1-3- بررسی ریز ساختار
شکل (3) تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از مقطع
نمونههای تک پاس حاصل از روکش کاری لیزری را نشان
میدهد.

نمونه S3 دارای ریز ساختار همگن شامل یک مرز واضح نسبتا صاف در فصل مشترک پوشش و زیر لایه با درصد کم آمیختگی را نشان می دهد.

این موضوع بیانگر پیوند متالورژیکی و چسبندگی مطلوب روکش به زیر لایه میباشد. همانطور که در شکل (3) مشاهده میشود، نواحی سیاه رنگ کوچک و نامنظم نشاندهنده حفرات گازی و ناخالصیها است که با توجه به مقدار کم تاثیر زیادی بر خواص مکانیکی و کیفیت روکش ندارد. همچنین ارتفاع متوسط روکش 9/0 میلیمتر و درصد آمیختگی 17/2 و مقدار تخلخل آن کمتر از 1% و زاویه ترشوندگی متوسط 2/34 درجه میباشد. شکل (4) نشاندهنده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با 50 درصد همپوشانی میباشد.



شکل 3- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از مقطع نمونههای تک پاس ایجاد شده با روکش کاری لیزری.

این در حالی است که روکش شامل ترکیبی از کاربیدها و فاز لاوه میباشد. با توجه به شکل(8)، در ناحیه نزدیک فصل مشترک، گرادیان دمایی و نرخ سرد شدن بالا بوده و لذا جبهه انجماد به صورت مسطح میباشد. منطقه بعدی روکش شامل دندریتهای ستونی ریز و ظریف بوده و در میانه روکش به علت کاهش هدایت حرارتی و کاهش نرخ سرد شدن جبهه همانگونه که ملاحظه میشود این پوشش که دارای ارتفاع 1 میلیمتر میباشد تقریبا عاری از هرگونه تخلخل، حفره، ترک و متراکم میباشد شکلهای(5تا7) به ترتیب ریزساختار فلزپایه، فصل مشترک روکش با فلزپایه و سطح روکش را نشان میدهند. ریزساختار فلزپایه شامل فریت و پرلیت ولی در ناحیه فصل مشترک فریتهای سوزنی و ویدمن اشتاتن دیده می شود.

انجماد بهصورت آشفته در آمده و شامل ترکیبی از کریستالهای هممحور و ستونی در کنار هم بوده و در نواحی بالای روکش دندریتها هم محور میباشد.



شکل 4- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ارتفاع روکش اینکونل 625 با 50 درصد همپوشانی.



شکل 5- تصویر میکروسکوپی نوری با بزرگنمایی500 - ریز ساختار فلزپایه شامل فریت و پرلیت.

فاز گاما اولین فازی است که در حین سرد شدن مذاب اینکونل تشکیل می شود. این فاز طبق الگوی پراش پرتو ایکس نشان داده شده در شکل (9)، قابل مشاهده است[10 و 11].

ریزساختار آن شامل فازهای ثانویه یوتکتیکی گاما-لاوه به همراه رسوبات کاربیدی (کمپلکس غنی از نیوبیوم MC, M₆C) میباشد که در مراحل پایانی انجماد تشکیل شده است

(جدول4). فاز یوتکتیک لاوه در دماهای بالا و یا در حین انجماد در اثر جدایش نیوبیوم در ساختار به وجود می آید (شکل7).



شکل6- تصویر میکروسکوپی نوری از ریز ساختار منطقه متأثر از حرارت شامل فریت ویدمن اشتاتن و فریت سوزنی.



شکل7- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ریزساختارروکش شامل فازهای لاوه و کاربیدهای آلیاژی.

پس از اعمال روکش روی زیر لایه ترکیب شیمیایی پوشش بررسی شده و با آنالیز اینکونل 625 ارایه شده در جدول (1) مقایسه شد، با توجه به شکل(10) آنالیز عنصری آهن، کروم، نیکل، مولیبدن، نیوبیم و سیلیسیم را به صورت خطی در مقطع روکش و فصل مشترک آن با فلزپایه نشان میدهد. ملاحظه می شود که مقدار نیکل وکروم به عنوان عناصر اصلی پوشش تغییر چندانی نکرده است. این موضوع نشاندهنده این واقعیت

Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-07-04



شكل8- تصاوير ميكروسكوپي الكتروني روبشي از روكش تا زير لايه.

است که روکش کاری با پارامترهای بهینه انجام شده است. با حرکت از سطح روکش به طرف زیر لایه، آمیختگی آهن در روکش ثابت ولی در منطقه فصل مشترک افزایش یافته است. شکل (11) پروفیل ریزسختی روکش و فصل مشترک آن را با زیرلایه نشان میدهد. مشاهده میشود که سختی پوشش دارای بیشترین میزان در مقیاس ویکرز است. میانگین سختی در این قسمت 320 ویکرز است. این در حالی است که سختی فلزپایه حداکثر 135 ویکرز است. این در حالی است که سختی ناحیه متاثر از حرارت است. شکل (11) نشان دهنده آن است که سختی از منطقه روکش تا فلزپایه با یک شیب ملایم کاهش یافته است. علت این امر را میتوان ناشی از دو پدیده دانست. اول اینکه مقداری از فلز پایه همراه با پودر اینکونل 625 ذوب و با آن مخلوط شدهاست. لذا درصد آهن در این قسمت افزایش

و موجب کاهش سختی شده است. دوم اینکه قسمتی از فلزپایه تحت تاثیر حرارت قرار گرفته و فازهای ثانویه بوجود آمده در حین سرد شدن موجب شده است تا حدودی سختی این ناحیه را نسبت به فلزپایه افزایش دهد.

4- نتيجەگىرى

پارامترهای مختلف روکش کاری بر میزان تخلخل، آمیختگی، زاویه ترشوندگی و ضخامت پوشش موثر و بهینه شدن پوشش تایع این پارامترهاست. ارتفاع روکش با افزایش نرخ تغذیه پودر و کاهش سرعت روبش لیزری افزایش مییابد در حالی که افزایش و یا کاهش توان لیزر اثر کمی روی ارتفاع روکش دارد. پهنای روکش با افزایش توان لیزر افزایش مییابد و با کاهش سرعت روبش پهنای روکش کاهش مییابد و نرخ پاشش پودر



جدول 4- ترکیب شیمیایی ریز ساختار روکش با 50 درصد هم پوشانی شامل فازهای ۲ و لاوه برحسب درصد وزنی.

	نقاط				
Fe	Nb	Mo	Cr	Ni	
٩/٩	۲/۶	٨/۵	۲۳/۵	۵V/۵	فاز ۲
٧/٢	۱۲/۳	۱۳/۹	١٨/٧	44/0	فاز لاوه

و مطلوب ایجاد گردید. درهنگام روکش کاری سطوح، همپوشانی پاس های مجاور به میزان %50 بهترین نتیجه از کاهش عیوب را ایجاد میکند. در فرایند روکش کاری لیزری بالا بودن سرعت انتقال حرارت سبب ظریفتر شدن ریزساختار و یکنواختی در ترکیب شیمیایی سطح پوشش خواهد شد. ریزساختار قسمت بالایی پوشش به صورت دندریتی هم محور و در نزدیک فصل مشترکبه صورتستونی می باشد. نتایج سختی سنجی نشان دهنده آن است که دو عامل ترکیب آلیاژی و ریزساختار در پروفیل اثر ناچیزی دارد. با افزایش توان لیزر عمق نفوذ و درصد آمیختگی افزایش می بابد. با افزایش توان لیزر و سرعت روبش، زاویه ترشوندگی کاهش می بابد و افزایش نرخ تغذیه پودر، سبب افزایش زاویه ترشوندگی می شود. روکشی از لحاظ خوردگی مطلوب می باشد که دارای کمترین میزان آمیختگی، زاویه ترشوندگی کم، ارتفاع بهینه و عاری از هرگونه عیب باشد. با توان W 300، سرعت روبش سطح mm/s و نرخ تزریق پودر somg/s و آمیختگی %12، پوشش عاری از تخلخل انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، چاپ اول، 1393.

8- F. Ostovan, E. Hasanzadeh, M. Toozandehjani, E. Shafiei, K. R. J, A. Amrin, "Microstructure, Hardness and Corrosion Behavior of Gas Tungsten Arc Welding Clad Inconel 625 Super Alloy over A517 Carbon Steel Using ERNiCrMo3 Filler Metal", Journal of Materials Engineering and Performance. 29, 6919–6930 (2020)

9- M. Zarifi, M. Esmailzadeh, S. N. Hosseini, E. Shafiei, "Wear and Corrosion Behaviors of Inconel 625- Cladded Layer on P460N Steel in Different Environments", Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 52, Issue 4, p.1972-1984

10- D. Verdi, M.A. Garrido, C.J. Monez, P. Poza, "Cr3 C_2 incorporation into an Inconel 625 laser cladded coating: Effects on matrix microstructure, mechanical properties and local scratch resistance", Materials and Design 67- (2015) 20-27.

11-Yi-tong LONG, Pu-lin NIE, Zhu-guo LI, Jian HUANG, Xiang LI, Xin- mei XU, "Segregation of niobium in laser cladding Inconel 718 superalloy", Transactions Nonferrous Metals Society. China 26 (2016) 431-456.

سختی موثر است. به همین جهت سختی فصل مشترک و ناحیه متاثر از حرارت با یک شیب ملایم از 320VHN در روکش به 150VHN در زیر لایه میرسد.

منابع

1- S.Eric, Supper alloys, WAILEY, 2012.

3- ASM specialty Handbook: Nickel, Cobalt and Their alloys.

4-J.R. Davis, "Corrosion of Weldments", ASM International, 2006.

5- ASM Handbook, Volume 20, pages 357-382.

6- ر. شجاع رضوی، روکش کاری لیزری، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، چاب اول، 1395.

7- ر. شجاع رضوى، م. عرفانمنش، فراورى مواد با ليزر،