

# بهینه سازی و تأثیر پارامترهای پالسی جوشکاری قوسی تنگستنی با گاز محافظ در روکش دهی فولاد St37 با الکتروود Nob73G2

محسن جهانیان نجف آبادی<sup>۱</sup>، حمید غیور<sup>۲\*</sup>، مسعود کثیری<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف

آباد، ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد،

ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد،

ایران

\*hamidghayour70@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۱۰)

## چکیده

در این پژوهش به بررسی ساختار میکروسکوپی و خواص سایش روکش ایجاد شده بر سطح فولاد ساده کربنی پرداخته شد. بدین منظور نمونه هایی از جنس فولاد ساده کربنی توسط روش جوشکاری قوس تنگستن تحت گاز محافظ (GTAW) با یک نوع الکتروود بدون پوشش تجاری در دو حالت جریان پیوسته و پالس روکش کاری شدند. مقطع عرضی نمونه ها به وسیله ی میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. به کمک آزمون سختی سنجی، مقدار سختی نمونه ها بررسی گردید. آزمون سایش بین روی دیسک به منظور بررسی مقاومت به سایش نمونه های روکش کاری جوش شده و فولاد ساده کربنی انجام شد. سطوح سایش توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که نمونه روکش کاری شده با تنظیمات صحیح پالس دارای بیشترین سختی سطحی و در نتیجه کمترین نرخ سایش است. جهت بهینه سازی شرایط جوشکاری و مشخص کردن نسبت تأثیرگذاری هر کدام از عوامل مورد استفاده در حالت پالسی بر میزان سختی، از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده و از تحلیل نسبت S/N استفاده شد. در نهایت پس از تحلیل نتایج کلی مشخص گردید که در بین عوامل متغیر، جریان بیشینه و جریان کمینه، به ترتیب تأثیرگذارترین عوامل بر پاسخ در نظر گرفته شده می باشند.

## کلمات کلیدی:

الکتروود بدون پوشش، روکش کاری قوس تنگستن تحت گاز محافظ، جریان پالسی، طراحی آزمایش.

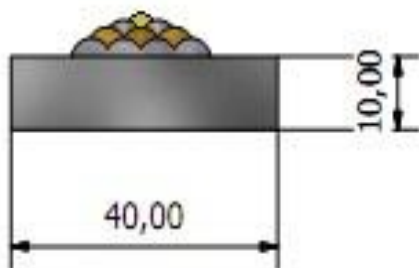
## ۱- مقدمه

روکش کاری سطوح به روش جوشکاری معمولاً در صنایع مختلف برای افزایش عمر مفید قطعات تشکیل دهنده یک مجموعه جهت مقاومت به سایش سطوح یا بازیابی سطوح فرسوده استفاده می شود. در فرآیندهای روکش کاری، یک

(جریان زمینه) در یک فرکانس منظم برقرار می شود [۸-۹]. روش تاگوچی، اجازه می دهد تا تأثیر پارامترها به صورت مجزا و مستقل از سایر پارامترهای دیگر ارزیابی شود [۱۰-۱۳]. به علاوه تاکنون هیچ مطالعه سیستماتیک از آنالیز تأثیر پارامترهای پالسی بر خواص سایشی روکش های جوشکاری شده و همچنین رسوب الکترودهای بدون پوشش تجاری بر سطح زیر لایه های فلزی صورت نگرفته است. در این پژوهش سطح فولاد St37 با استفاده از یک نوع الکتروود بدون پوشش، با استفاده از روش جوشکاری قوس تنگستن تحت محافظت گاز آرگون خالص در دو حالت جریان پیوسته و پالسی، پوشانده شده و تأثیر ترکیبات و مورفولوژی های حاصله بر سختی و رفتار سایشی پوشش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش، فولاد ساده کربنی St37 با درصد کربن حدود ۰/۲ درصد، با ابعاد ۱۰\*۴۰\*۱۰ mm به عنوان فلز پایه استفاده گردید و قبل از روکش کاری، سطح آن جهت برطرف نمودن اکسیدهای سطحی برس زنی و سپس توسط استون شسته شد. سپس سطح هر نمونه با چهار لایه جوش مطابق شکل ۱ روکش کاری شد که برای این منظور از الکتروود بدون پوشش Nob 73G2 تولید کشور انگلستان به قطر ۲/۴mm با آنالیز جوش ارائه شده در جدول ۱، استفاده شده است.



شکل (۱): شمایی از زیر لایه و تعداد لایه های روکش جوشکاری شده

آلیاژ همگن بر روی سطح یک فلز نرم (معمولا فولاد کم یا متوسط کربن) رسوب داده می شود [۱-۲]. ویژگی های لایه های سخت، تابعی از ترکیب شیمیایی، شرایط انجماد، سرعت سرد شدن (پس از انجماد)، ریز ساختار و نوع، شکل و توزیع فازهاست [۳]. جوشکاری اخیرا به طور گسترده جهت روکش دهی سطوح استفاده شده است. بدین منظور از روش های مختلف از جمله جوشکاری قوس الکتریکی دستی<sup>۱</sup>، قوس تنگستن<sup>۲</sup> و لیزر استفاده می شود [۴]. مطالعات جدید محققان بیشتر بر روی ذوب لیزری جهت اصلاح سطح متمرکز شده است. در حالیکه منبع حرارتی قوس تنگستن<sup>۳</sup>، پتانسیل استفاده جهت روکش دهی و اصلاح سطح را دارد. به علاوه روش جوشکاری قوس تنگستن تحت گاز محافظ، هزینه تمام شده پایین تری داشته و به علاوه تشکیل تخلخل ها و ترکیبات اکسیدی کمتری را به دلیل استفاده از گاز محافظ آرگون می توان انتظار داشت [۵]. در این تکنیک نفوذ پوشش و فلز پایه در محل فصل مشترک، اتصال بسیار محکمی را پدید می آورد. انتخاب صحیح پوشش و شرایط مناسب جوشکاری موارد اصلی در موفقیت کار هستند. درصد رقت، نقش اساسی در جمع بندی خصوصیات یک سطح سخت شده را بازی می کند [۶]. مفهوم رقت، درصد فلز پایه در فلز جوش رسوب داده شده است. اگر درصد رقت زیاد باشد، بنابراین درصد فلز پایه در فلز جوش رسوب داده شده زیادتر خواهد شد و برعکس. در رقت های زیاد، خواص پوشش به دلیل حضور مقدار بیشتری از فلز پایه در جوش به میزان مورد انتظار افزایش نمی یابد. بدین جهت فرآیندهای جوشکاری کمترین درصد رقت را ایجاد نمایند، معمولا برای روکش کاری ترجیح داده می شوند [۷]. از جمله این روش ها، جوشکاری قوسی تنگستن گاز با استفاده از جریان پالسی<sup>۴</sup> که در سال ۱۹۵۰ میلادی توسعه یافت، می باشد. در این روش جوشکاری جریان جوشکاری از یک سطح بالا (جریان پالسی) به سطح پایین

جدول (۱): ترکیب فلز جوش حاصل از الکتروود بدون پوشش Nob 73 G2 (درصد وزنی)

Fe	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti	Al	نوع
Bal	0.42	0.97	0.13	6.23	1.92	0.16	0.04	درصد وزنی %Wt

یک از این عوامل سه سطح قابل تنظیم براساس جدول ۳ در نظر گرفته شد. به منظور بررسی اثر چهار پارامتر مذکور از طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده شد. با توجه به تعداد پارامترها (چهار) و تعداد سطوح در نظر گرفته شده برای هر یک از آنها (سه سطح)، از آرایه ی ۹ آزمایشی (L<sub>9</sub>) استفاده شد، این آرایه در جدول ۴ ارائه شده است.

طی این تحقیق، ابتدا جوشکاری به روش قوس تنگستن تحت محافظت گاز آرگون با درجه خلوص ۹۹/۸ درصد وبا استفاده از جریان پیوسته انجام شد که پارامترهای به کار گرفته شده طی این فرآیند در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول (۲): پارامترهای تنظیم شده بر روی مولد جوشکاری GTAW با

جریان پیوسته

پارامتر	واحد اندازه گیری	مقدار تنظیمی
شدت جریان جوشکاری	(A)	120
سرعت جوشکاری	(m/s)	1.8*10 <sup>-3</sup>
میزان خروج گاز محافظ	(L/min)	8
جنس الکترود مصرف نشدنی	-	w-2%thorium
قطبیت الکترود	-	DCEN

جدول (۳): محدوده تغییرات پارامترهای فرآیند PCGTAW

نماد	پارامتر فرآیند	واحد	سطح (۱)	سطح (۲)	سطح (۳)
P	جریان پیک	A	120	150	180
B	جریان زمینه	A	60	80	100
T	کسر زمان روشن بودن پالس	%	80%	60%	20%
F	فرکانس	Hz	7	4	1

چهار پارامتر اصلی جوشکاری در حالت پالسی (PCGTAW) عبارت از جریان پیک (P)، جریان زمینه (B)، درصد زمان روشن بودن پالس (T) و فرکانس اعمال پالس (F) هستند که برای هر

جدول (۴): طرح آزمایش براساس طراحی آزمایش آرایه L تاگوچی

شماره آزمایش	فرکانس	زمان	جریان کمینه	جریان بیشینه	سختی (HRC)	حرارت ورودی Kj/mm
۱	۱	۱	۱	۱	۵۶/۵	۰/۷۹
۲	۲	۲	۲	۱	۵۵/۲	۱/۲۸
۳	۳	۳	۳	۱	۵۳/۹	۱/۴۵
۴	۳	۲	۱	۲	۵۴/۲	۱/۴۲
۵	۱	۳	۲	۲	۵۳	۱/۸
۶	۲	۱	۳	۲	۵۴/۸	۱/۳۵
۷	۲	۳	۱	۳	۵۱	۲/۱۷
۸	۳	۱	۲	۳	۵۵/۸	۱/۱۹
۹	۱	۲	۳	۳	۵۲	۲/۰۲

در این رابطه  $t_p$  و  $t_B$  به ترتیب زمان برقراری قوس در جریان پیک و زمان برقراری قوس در جریان زمینه می باشد. با محاسبه شدت جریان متوسط، می توان مقدار حرارت ورودی به منطقه جوش در حالت جوشکاری پالسی را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود [۱۵]:

$$HI = \frac{60 + I_m + v}{s} \quad (۴)$$

در این رابطه  $V$  ولتاژ جوشکاری و  $S$  سرعت جوشکاری می باشد.

جهت انجام آزمون سایش از روش پین روی دیسک (ASTMG-99) استفاده گردید [۱۶]. برای این منظور از نمونه های روکش کاری شده، نمونه های سایش به شکل پین و به قطر ۵mm و با شعاع عرقچین ۵mm سنگ زده شدند. دیسک مورد استفاده در این آزمون از نوع فولاد بلبرینگ DIN۵۲۱۰۰ با سختی حدود ۶۳ راکول سی، قطر ۵۰ mm و ضخامت ۵mm بود. نمونه های روکش کاری شده در حالت جوشکاری با جریان پیوسته و پالسی تحت بار ۶ kgf مورد آزمایش سایش قرار گرفتند که برای هر دو نمونه، مسافت سایش ۵۰۰ متر انتخاب شد و پس از انجام آزمون، کاهش وزن نمونه ها ثبت گردید. ساختار نمونه روکش کاری شده در قسمت روکش و همچنین فصل مشترک توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه های پوشش داده شده تحت سختی سنجی راکول سی بر روی سطح پوشش، قرار گرفتند. همچنین به منظور تعیین فازهای موجود در ساختار از آنالیز نقطه ای و نقشه آنالیز عنصری استفاده شد. پس از آزمایش سایش نیز سطح سایش نمونه های پین توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

شکل ۲ مکانیزم رشد غیر اپی تکسیال در مرز ذوب بین زیرلایه فولاد ساده کربنی و فلز جوش را نشان می دهد. به دلیل این که ترکیب فلز جوش با ترکیب فلز پایه متفاوت است و همچنین

شرایط بهینه براساس نتایج سیگنال به نویز (S/N) تعیین گردید. اساساً سه نوع نسبت S/N را می توان با توجه به مشخصه کیفی مورد نظر در نظر گرفت که عبارتند از: هرچه بیشتر بهتر (HB)، هرچه کمتر بهتر (LB) و اندازه اسمی بهتر (NB). بزرگترین نسبت S/N مربوط به بهترین عملکرد می باشد. از آنجایی که هدف از این تحقیق دست یابی به بیشینه سختی و مقاومت به سایش در روکش ایجاد شده می باشد، به همین دلیل از مشخصه کیفی HB بر اساس معادله زیر استفاده شد:

$$S/N = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (۱)$$

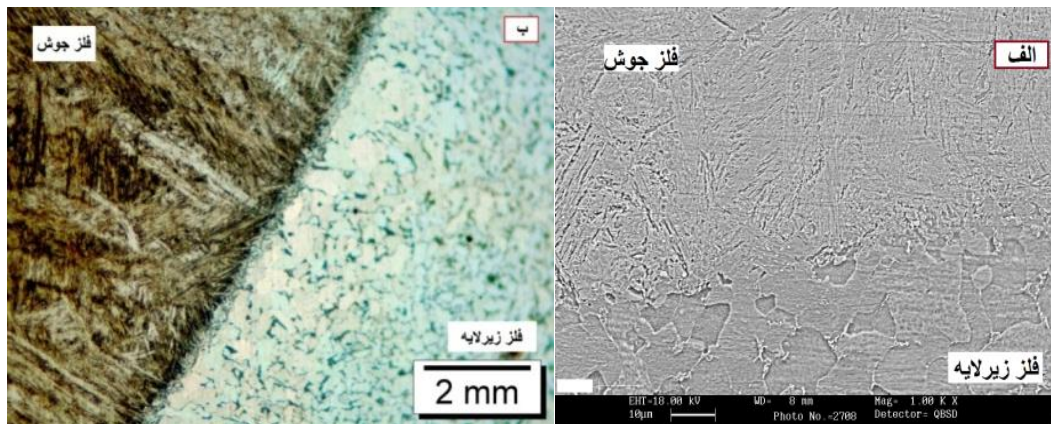
که  $y_i$  هر کدام از نتایج به دست آمده و  $n$  تعداد آزمایشات است. بعد از محاسبه و ترسیم نسبت های S/N متوسط برای فاکتورهای مختلف در سطوح متفاوت، سطح بهینه برای هر فاکتور که در واقع دارای بزرگ ترین نسبت S/N در سطوح آن فاکتور است، تعیین می شود. نسبت S/N پیش بینی شده  $(S/N)_{Predicted}$  که از سطوح بهینه پارامترهای PCGTAW استفاده می کند به صورت زیر قابل محاسبه است [۱۴]:

$$(S/N)_{Predicted} = (S/N)_m + \sum_{i=1}^p ((S/N)_i + (S/N)_m) \quad (۲)$$

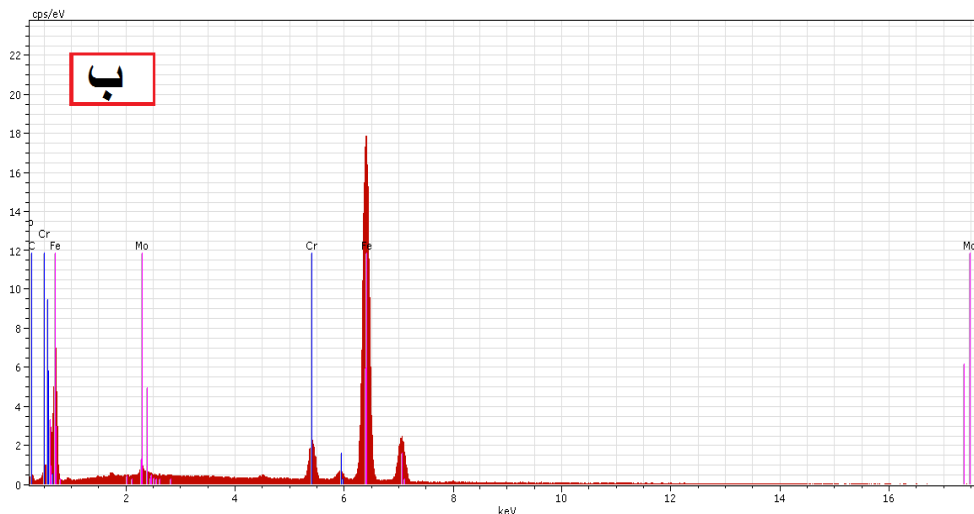
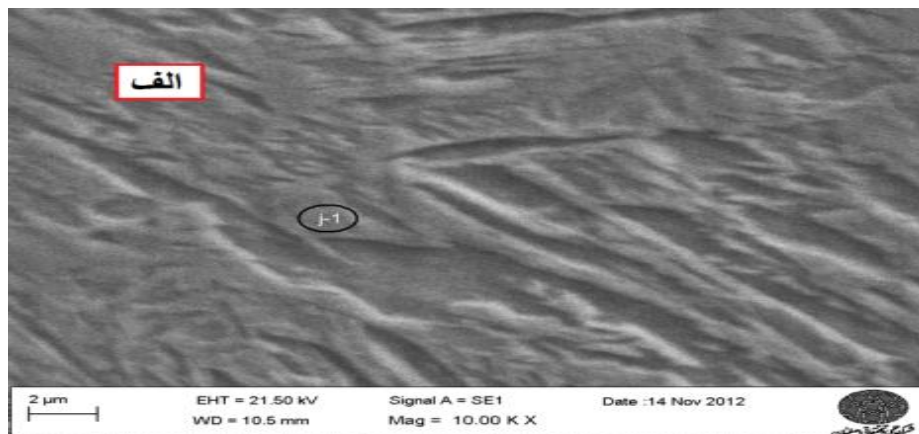
که  $(S/N)_m$  میانگین کل نسبت S/N،  $(S/N)_i$  میانگین نسبت S/N در سطح بهینه و  $P$  تعداد پارامترهای مؤثر در فرآیند PCGTAW می باشد. پس از تعیین نسبت S/N پیش بینی شده، مقدار سختی پیش بینی شده را می توان با استفاده از معادله (۱) به دست آورد. در نهایت آزمایش تایید براساس شرایط کاری بهینه و به منظور تصدیق مقادیر پیش بینی شده انجام می شود. اگر نتایج پیش بینی شده تایید شوند، در این صورت شرایط کاری بهینه قابل قبول است. با توجه به اینکه جریان جوشکاری در فرآیند PCGTAW بین دو جریان زمینه (B) و جریان پیک (P) در حال تغییر است. بنابراین جریان متوسط جوشکاری یا به طور خلاصه جریان متوسط به صورت زیر بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود [۱۵]:

$$I_m = \frac{p \times t_p + B \times t_B}{t_p + t_B} \quad (۳)$$

ساختار بلوری فلز جوش با ساختار بلوری فلز پایه متفاوت است، های جدیدی در مرز ذوب جوانه زده است. در این حالت، دیگر رشد اپی تکسیال امکان پذیر نبوده و دانه



شکل (۲): ریزساختار مرز ذوب با مکانیزم رشد غیر اپی تکسیال: (الف): ریزساختار حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی و (ب): ریزساختار حاصل از میکروسکوپ نوری



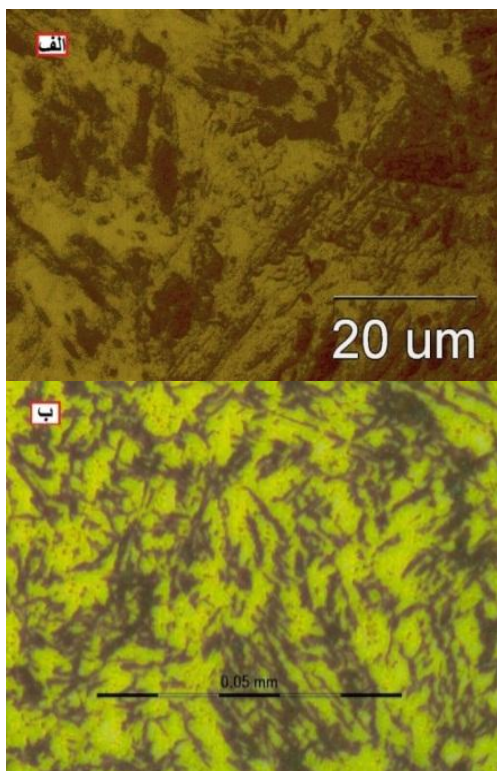
شکل (۳): (الف): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پوشش ایجاد شده با جریان پیوسته و (ب): گراف مربوط به آنالیز نقطه ای EDAX از نقطه مشخص j-1 در شکل ۳ الف

شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین درصد عناصر آنالیز شده در جدول ۵ آورده شده که مشخص می نماید، در تمامی سطح پوشش، فازی جز آستنیت و مارتنزیت تشکیل نشده و عنصر کروم که دارای درصد وزنی قابل توجهی در این آلیاژ است به صورت محلول جامد در ریزساختار پراکنده است.

پس از رویه سختی نمونه فولاد ساده کربنی، جهت اطمینان از وجود فازهای تشکیل شده در کل ریزساختار پوشش، با استفاده از آنالیز نقطه ای دستگاه میکروسکوپ الکترونی، تعدادی از نقاط مختلف ریزساختار مورد بررسی قرار گرفت که نمونه ای از تصویر همراه با نقطه ی مورد نظر همچنین گراف حاصل در

جدول(۵): درصد عناصر آنالیز شده از آنالیز نقطه ای EDAX مربوط به نقطه 1-j

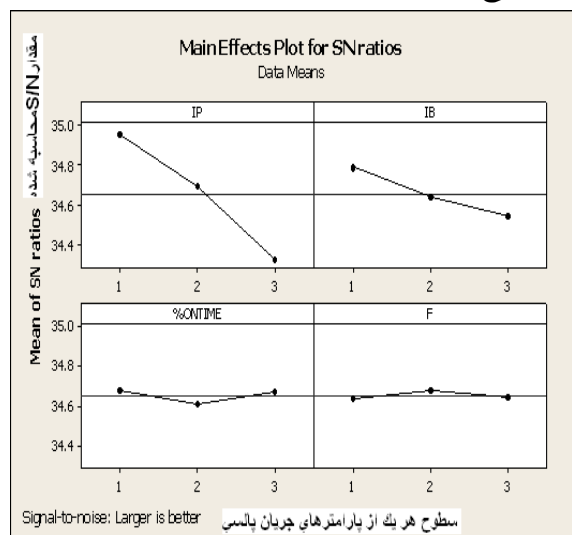
[norm. at.%]	[norm. wt.%]	[wt.%]	series	Element
93.58028368	75.59446244	77.484853	K-series	Carbon
0.442169993	1.54627117	1.58493877	K-series	Chromium
5.569554921	20.9192825	21.44241096	K-series	Iron
0.31788669	1.358585642	1.39255979	K-series	Copper
0.09010472	0.581398248	0.595937273	L-series	Molybdenum
100	100	102.5006998	Sum:	



در شکل ۴ تأثیر جریان پالسی بر روی ریزساختار قابل مشاهده می باشد. افت میزان جریان از مقدار حداکثر به حداقل آن نه تنها باعث کاهش میزان حرارت ورودی (جدول ۴) و جلوگیری از تاب برداشتن قطعه می شود، بلکه فرصتی مناسب برای انجماد حوضچه مذاب است تا در سیکل بعدی، مکان های مناسب جوانه زنی از جمله بازوهای ثانویه ی دندریتی شکسته شده در مذاب، عواملی تأثیرگذار بر کاهش اندازه ی ریزساختار به شمار آید. همچنین مقدار سختی سطحی روکش ایجاد شده به روش جوشکاری با جریان پیوسته ۵۰HRC اندازه گیری شد که نسبت به مقدار سختی پوشش های ایجاد شده به روش جوشکاری پالسی که در جدول ۴ نشان داده شده، کمتر است.

شکل (۴): تصویر میکروسکوپ نوری از مقاطع عرضی ریزساختار نمونه روکش کاری شده با: (الف):جریان پیوسته و (ب): جریان پالسی

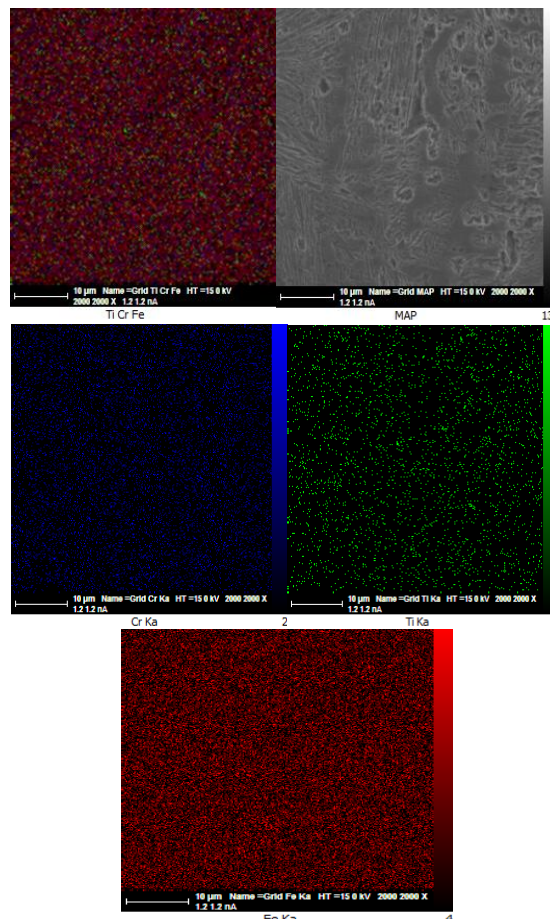
پس از به دست آوردن اعداد مربوط به سختی سطحی روکش نمونه ها، از روش تحلیل آزمایش S/N، تحلیلی در مورد درجه تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای متغیر بر روی میزان سختی به عمل آمد. با توجه به این که معمولاً مقاومت به سایش یک ماده ارتباط مستقیم با سختی آن ماده دارد [۱۸]، از مقدار S/N هر چه بیشتر بهتر (HB)، که رابطه آن قبلاً ذکر گردید، استفاده شد. به این ترتیب هر یک از عوامل جوشکاری پالسی که مقدار S/N بیشتری را دارا باشد، آن عامل تأثیرگذاری بیشتری در دست یابی به ماکزیمم مقدار سختی و در نتیجه حداقل نرخ سایش دارد. شکل ۶ نمودارهای مربوط به تأثیرگذاری تک تک عوامل را در هر سه سطح نشان می دهد.



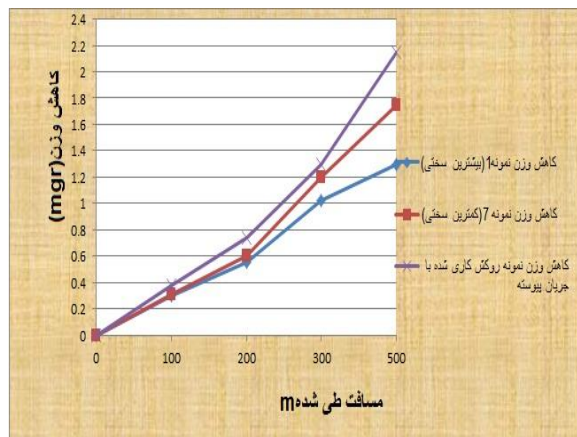
شکل (۶): نمودارهای نرخ S/N مربوط به تأثیرگذاری هر یک از عوامل در هر یک از سطوح

با بررسی نمودارهای شکل ۶ می توان دریافت که هر یک از عوامل جریان بیشینه در سطح ۱ و جریان کمینه نیز در سطح ۱ دارای تأثیرگذاری بیشتری بوده اما فرکانس و زمان روشن بودن پالس به دلیل قرار داشتن سطوح مختلف آنها تقریباً در یک سطح، نسبت تأثیرگذاری کم تری در نتایج دارند. همچنین جدول ۶، ترتیب تأثیرگذاری هر یک از عوامل جوشکاری را نشان می دهد به این ترتیب که، جریان بیشینه با بیشترین مقدار S/N در هر سه سطح، در مرتبه اول تأثیرگذاری و به همین

با توجه به این که امکان تشکیل کاربید و همچنین پایداری کاربید تشکیل شده در فولاد های آلیاژی از منگنز و کروم به سوی عناصری که لایه الکترونی d آنها دارای الکترون های کم تری می باشد (نظیر تیتانیوم) افزایش می یابد [۱۷] و در آلیاژ انتخاب شده جهت الکتروود پوشش کاری نیز عناصر کاربید زایی چون تیتانیوم وجود داشت، بنابراین امکان تشکیل فاز TiC در شرایط جوشکاری پالسی به نظر می رسد که پس از انجام روکش کاری، جهت اطمینان از این امر، از نقشه آنالیز عنصری اشعه ایکس استفاده شد و نتیجه ی آن در شکل ۵ آورده شده است. بررسی تصویر حاکی از عدم تشکیل فازهای کاربیدی بوده و بیان کننده ی این است که عناصر کروم و تیتانیوم به صورت محلول جامد در ریزساختار پوشش پراکنده می باشند.

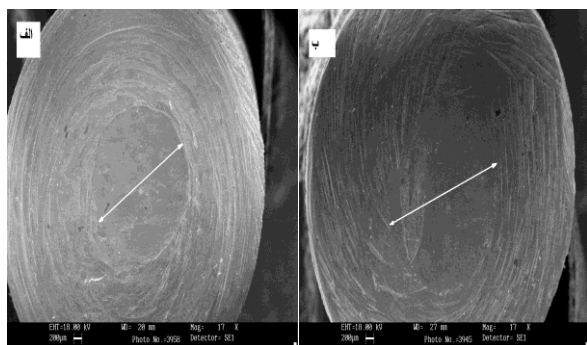


شکل (۵): نقشه آنالیز عنصری تهیه شده از ناحیه روکش کاری با جریان پالسی



شکل (۷): نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت لغزشی با اعمال نیروی ۶ کیلوگرمی برای ۳ نمونه انتخاب شده

همچنین قطر عرقچین ساییده شده از بین ها در تصاویر نشان داده شده در شکل ۸ الف و ب که مربوط به سطوح سایش بین نمونه شماره ۱ (بیشترین سختی) و بین نمونه روکش کاری شده با جریان پیوسته (کمترین سختی) می باشد، مؤید میزان سایش کم تر در نمونه با سختی زیادتر است. آقای داوین [۱۹] و همکاران نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش سختی پوشش، عموماً مقاومت به سایش افزایش می یابد.



شکل (۸): تصویر میکروسکوپ الکترونی جهت مقایسه سطح مقطع ساییده شده از بین ها: (الف): بین روکش کاری جوشی با جریان پالس و بیشترین سختی و (ب): بین از نمونه روکش جوشی با جریان پیوسته و کمترین سختی

در شکل ۹ الف، سطح سایش نمونه روکش کاری شده ی شماره ۱ که دارای بیشترین سختی سطحی است نشان داده شده است. مکانیزم سایش در این نمونه سایش خستگی

ترتیب جریان کمینه در دومین سطح تأثیرگذاری و زمان روشن بودن پالس و فرکانس با تأثیرگذاری یکسان، در مرتبه سوم قرار دارند. تنظیمات A1 و B1 و C1 و D2 به عنوان شرایط بهینه در نظر گرفته شد که نتایج در جدول ۷ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مقدار ماکزیمم سختی پیش بینی شده برابر (HRC) ۵۷ می باشد که البته پس از انجام روکش کاری نهایی به دلیل شرایط پیش بینی نشده در ضمن آزمایش و همچنین غیر اتوماتیک بودن روش جوشکاری، مقدار سختی برابر با (HRC) ۵۶/۵ به دست آمد که برابر با همان نمونه ی شماره ۱ می باشد و این نمونه به عنوان شرایط بهینه در نظر گرفته شد.

جدول (۶): ترتیب تأثیرگذاری هر یک از عوامل جوشکاری پالس در ایجاد ماکزیمم سختی

Level	IP	IB	%ONTIME	F
1	55.80	54.80	54.13	53.90
2	54.30	53.97	53.83	54.23
3	52.03	53.37	54.17	54.00
Rank	1	2	3.5	3.5

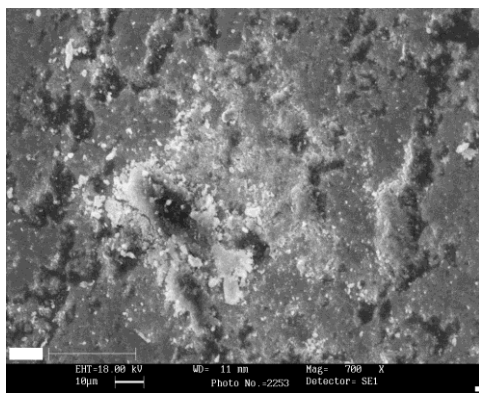
جدول (۷): نتایج مربوط به پیش بینی سطوح پارامترهای جوشکاری پالس برای حالت بهینه طراحی آزمایش

سطوح پارامترهای پیش بینی شده				مقدار S/N	سختی پیش بینی شده (HRC)
IP	IB	%ONTIME	F	35.1311	57.0333
1	1	1	2		

نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت سایش برای نمونه های روکش کاری شده جوشی با جریان پیوسته و جریان پالس تحت بار ۶ kgf در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل دیده می شود که نمونه های روکش کاری شده ی پالسی که دارای کمترین و بیشترین سختی می باشند در مقایسه با نمونه روکش کاری شده با جریان پیوسته، از مقاومت به سایش بیشتری برخوردار هستند.

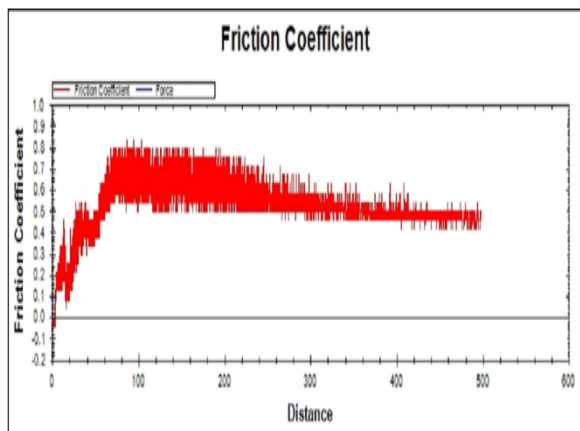


سختی سطحی کم تری نسبت به نمونه قبل (نمونه شماره ۱) می باشد، نشان داده شده است. در این نمونه نیز مکانیزم سایش خستگی، به دلیل وجود ساختار مارتنزیت پر تنش دیده شد. علاوه بر آن در اثر فشار و حرارت ناشی از اصطکاک مناطق وسیعی از سطح نمونه اکسید شده که با افزایش زمان سایش باعث شدت یافتن نرخ سایش در این نمونه شده است.



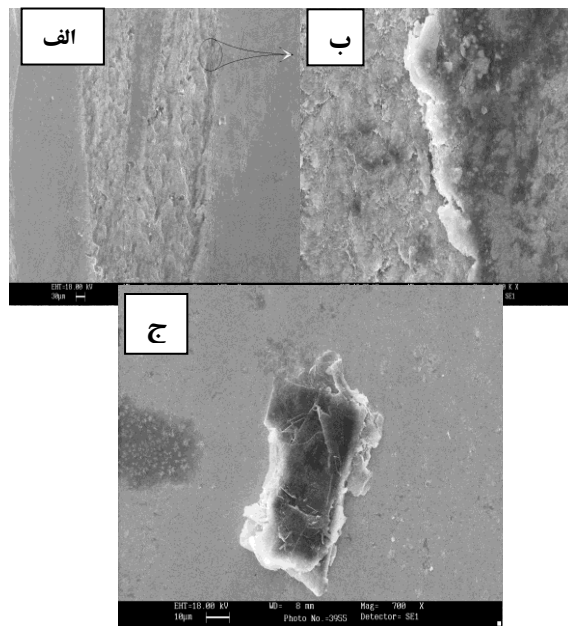
شکل (۱۰): تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به سطح سایش نمونه روکش کاری شده با جریان پیوسته

نمودار شکل های ۱۱ و ۱۲ ضریب اصطکاک برحسب مسافت لغزشی را برای پوشش ایجاد شده در حالت جوشکاری پیوسته، پوشش ایجاد شده در حالت پالسی و دارای بیشترین سختی را نشان می دهد.



شکل (۱۱): نمودار ضریب اصطکاک برحسب فاصله برای نمونه پوشش کاری شده با روش جوشکاری پیوسته تحت بار ۶ کیلو گرم

سطحی است. سایش خستگی سطحی را می توان با تشکیل ترک و جدا شدن ماده از سطح به علت اعمال نیروهای متناوب تکراری در سطوح، شاخص نمود. چون ساختار نمونه مارتنزیتی، یک ساختار پرتنش می باشد در اثر نیروهای وارده در ضمن سایش، خستگی زیر سطحی ایجاد شده و در نتیجه، ایجاد و رشد ترک اتفاق می افتد که باعث جدا شدن ذرات جسم می شود که در شکل ۹ ب به صورت واضح تر نشان داده شده است. ذرات جدا شده از سطح در این مکانیزم دارای سطوح شکست صاف و بدون دندان است که بیان کننده مکانیزم ایجاد ترک می باشد. تصویری از ذره جدا شده در این مکانیزم در شکل ۹ ج نشان داده شده است.



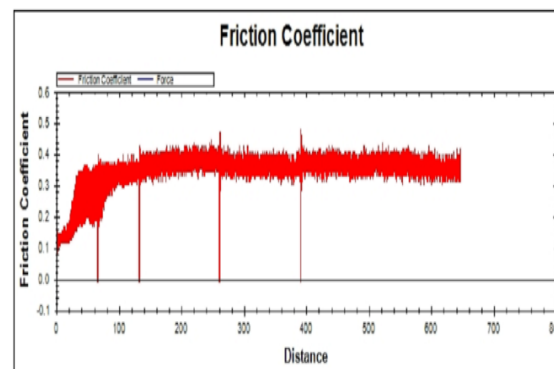
شکل (۹): تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح سایش نمونه شماره ۱: (الف): قسمت جدا شده سطح در اثر مکانیزم خستگی زیر سطحی، (ب): ایجاد ترک های کناره و زیر سطحی و در نتیجه جدا شدن ذرات و (ج): ذره سایش جدا شده در اثر مکانیزم رشد ترک خستگی

در شکل ۱۰ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به آزمون سایش نمونه پوشش کاری شده با جریان پیوسته که دارای

۵- طراحی آزمایش به روش تاگوچی می تواند شرایط بهینه از نظر مقدار سختی و در نتیجه مقاومت به سایش را پیش بینی نماید.

#### ۵-مراجع

- [1] Welding, Brazing and Soldering. ASM, Metals Park, OH 1993.
- [2] M. F. Buchely, J. C. Gutierrez, L. M. Leo'n, A. Toro, "The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys", Vol. 259, pp. 52-61, 2005.
- [3] C. Fan, M. Chen, C. M. Chang & W. Wu, "Microstructure Chang Cused by  $(Cr,Fe)_{23}C_6$  Carbides in High Cromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys", Surface and Coating Technology , Vol. 21, pp. 908-912, 2006.
- [4] Y. C. Lin & S. W. Wang, Vol. 265, pp.720-725, 2004.
- [5] M. Eroglu & N. O zdemir, "Surf. Coat", Technol, Vol. 154, pp. 209-217, 2002.
- [6] L. M. Gourd, "Principles of welding technology", Viva Books, New Delhi, 1998.
- [7] K. Marimuthu, N. Murugan, "Prediction and optimization of weld bead geometry of PTAhardfaced valve seat rings", Vol. 19, pp. 143-149, 2003.
- [8] T. SenthilKumar, V. Balasubramanian & M. Y. Sanavullah, "Influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on the tensile properties of AA6061 aluminium alloy", Mater. Design, Vol. 28, pp. 2080-2092, 2007.
- [9] A. A. Gokhale, D. J. Tzavaras & H. D. Brody, "Ecer GM, in: proceeding of conference on grain refinement in casting and welds", St. Louis (MO), TMS-AIME, pp. 47-223, 1982.
- [10] P. J. Ross, "Taguchi techniques for quality engineering", New York, McGraw-Hill, PP. 24-98, 1998.
- [11] C. Montgomery Douglas, Design and analysis of experiments, New York, John Wiley & Sons, PP. 395-476, 1997.



شکل (۱۲): نمودار ضریب اصطکاک برحسب فاصله برای نمونه پوشش کاری شده با روش جوشکاری پالسی، تحت بار ۶ کیلوگرم

نمودار شکل ۱۱، مقدار ضریب اصطکاک متوسط ۰/۵۵ را نشان داد در حالی که در نمونه روکش کاری شده با جریان پالسی (شکل ۱۲) مقدار متوسط ضریب اصطکاک ۰/۳۵ می باشد، مقدار اصطکاک کم تر در این نمونه به دلیل افزایش بیشتر سختی سطحی و در نتیجه کاهش اکسید شدن سطح نمونه، در مکانیزم سایش این نمونه است. آقایان گلعدار و امیرکاوی [۲۰] نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که کاهش مقدار اصطکاک در نمونه پوشش داده شده به دلیل تغییر مکانیزم سایش در این نمونه و همراه شدن با اکسید شدن سطحی می باشد.

#### ۴-نتیجه گیری

- ۱- با استفاده از الکتروود های بدون پوشش تجاری با کربن کم (کم تر از ۰/۵٪) و کروم کم (کم تر از ۰/۷٪) می توان پوشش های سختی بر سطح فولاد ساده کربنی ایجاد نمود.
- ۲- ریزساختار مارتنزیت به دلیل داشتن سختی زیاد می تواند به عنوان فاز مقاوم به سایش در روکش کاری استفاده شود.
- ۳- تغییر در عوامل جریان پالسی می تواند باعث تغییر در میزان حرارت ورودی به منطقه جوش شود.
- ۴- با کاهش میزان حرارت ورودی، سرعت سرد شدن حوضچه جوش افزایش می یابد که نتیجه ی آن افزایش میزان سختی روکش می باشد.

[18] J. Hao Chen, C. C. Hsieh, P. S. Huo, C. M. Chang, C. M. Lin, P. T. Yuon Wu & W. Wu, *Met. Mater. Int.*, Vol. 19, No.1, PP. 93-98, 2013.

[19] J. R. Davis & Associates, "SURFACE ENGINEERING FOR CORROSION AND WEAR RESISTANCE", pp. 153-15, 2001.

[۲۰] ع. گلغذار و ا. امیرکاوئی، "ایجاد پوشش های مقاوم به سایش روی زیر لایه فولاد CK45 به روش الکترو اسپارک"، فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی مواد دانشگاه آزاد مجلسی، سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۹.

#### ۶- پی نوشت

- [1] SMAW
- [2] TIG
- [3] GTAW
- [4] PCGTAW

[12] M. Sadrzadeh & T. Mohammadi, "Sea water desalination using Electrodialysis, Desalination", PP. 440-447, 2008.

[13] S. MadhavPhdke, "Quality engineering using robust design", NJ, Prentice Hall, 1989.

[14] S. Kaytakoglu, et al, "Optimization of parametric performance of a PEMFC", *J. Hydrogen Energy*, Vol. 32, PP. 4418-4423, 2007.

[15] P. K. Giridharan & N. Murugan, "Optimization of pulsed GTA welding process parameter for the welding of AISI 304L stainless steel sheets", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 40, No.5-6, pp. 478-489, 2009.

[16] ASTM G99 – 05, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, 2010.

[۱۷] م. گلغذار، "اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ویرایش دوم، چاپ چهاردهم، ۲۷ و ۲۸، ۱۳۷۸.