



بهینه سازی پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن گاز پالسی در اتصال غیرمشابه مونل ۴۰۰ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶L

علی خلیلی^۱، مسعود کثیری عسگرانی^{۲*}، مرتضی شمعیان^۳

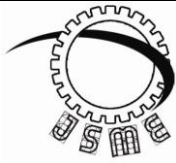
* نویسنده مسئول: m.kasiri.a@gmail.com

| واژه‌های کلیدی | چکیده |
|--|---|
| جوشکاری غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی سوپر آلیاژ پایه نیکل جریان پالسی تاگوچی | در این مقاله بهینه سازی پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن-گاز پالسی از جمله جریان پالس، جریان زمینه، فرکانس پالس و کسر زمان روشن بودن پالس در اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316L و سوپر آلیاژ پایه نیکل مونل ۴۰۰ با استفاده از فلز پر کننده ERNiCr3، ارزیابی شد. جهت بدست آوردن شرایط بهینه از روش طراحی آزمایش تاگوچی، آرایه L9، استفاده گردید. بر روی نمونه های جوشکاری شده آزمون های خواص مکانیکی انجام و سپس آنالیز واریانس انجام گرفت. با پیش بینی شرایط بهینه، نمونه پیشنهادی مورد آزمایش واقع گردید و نتایج آزمایشهای آن با نتایج حاصل از آزمایش بر روی نمونه بهینه طراحی شده مطابقت نشان داد. پارامترهای بهینه قوس تنگستن گاز پالسی در این اتصال، جریان پالس ۱۴۰ آمپر، جریان زمینه ۶۰ آمپر، فرکانس پالس ۳ هرتز و کسر زمان روشن بودن پالس ۵۰ درصد می باشد. نمونه ی بهینه طراحی شده با نمونه پیشنهادی تاگوچی در حدود ۹۸/۷ درصد همخوانی دارند. جریان پالس با درصد ۲۳/۴ و فرکانس پالس با درصد ۲۸/۲ به عنوان تاثیرگذارترین پارامترها شناسایی شدند. خواص مکانیکی، شامل آزمایش های خمش، کششی، سختی سنجی بررسی شد. در طی اعمال آزمایش کشش بر روی نمونه ها، شکست از سمت فلز پایه مونل ۴۰۰ اتفاق افتاد که از نوع شکست نرم می باشد. بنابراین استحکام فلز جوش تایید کننده آزمونهای کشش و خمش می باشد. |
| تاریخ ارسال: ۹۵/۰۷/۰۵ | |
| تاریخ بازنگری: ۹۵/۰۹/۲۷ | |
| تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۱ | |

۱- دانشجوی 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- استاد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.



Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of Solid Mechanics in Engineering

<http://jsme.iaukhsh.ac.ir>



Optimization of the Pulsed Gas Tungsten Arc Welding Parameters in Dissimilar Joint Between MONEL 400 and Austenitic Stainless Steel AISI 316L

Ali Khalili¹, Masoud Kasiri-Asgarani^{2*}, Mortaza Shamanian³

* Corresponding Author: m.kasiri.a@gmail.com

Abstract:

In this research, optimization of the pulsed gas tungsten arc welding including pulse current, background current, pulse frequency and on time were investigated in welding of non-similar materials of austenitic stainless steel AISI 316L and nickel-base super alloy of MONEL 400 by using ERNiCr3 filler metal. In order to obtain optimum conditions of welding the Taguchi method with the L9 array was used. The mechanical properties such as bending, tensile test and hardness test were performed on the samples and after that analysis of the variance was performed. By predicting optimal conditions, the proposed model was examined and the results of computational analysis show a significant similarity with results of the experiment. Optimal parameters of pulsed tungsten arc welding were the pulse current of 140 mA, background current of 60 mA, pulse frequency of 3 Hz and the ON periods of pulse was 50%. The optimized sample with the Taguchi method and the welded sample show the similarity of 98.7%. Pulse current percentage of 23.4 and pulse frequency of 28.2 were identified as the most influential parameters during the welding. Tensile test results showed that the failure occurs on the side of the base metal on Monel 400 one and hence the failure is the ductile one. These results show the strength of the weld metal confirmed the tensile and bending tests.

Key words:

Dissimilar welding
Austenitic Stainless Steel
Nickel Base Super Alloy
Pulse current
Taguchi

1- MSc Student, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

2- Assistant Professor, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

3- Professor, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

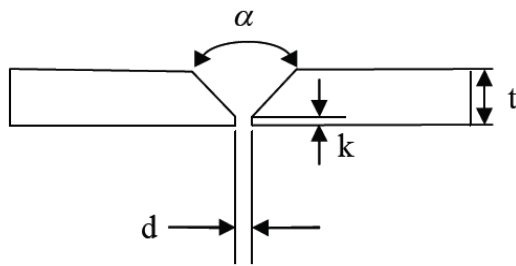
۱- مقدمه

تحقیق دیگری شمعیان و همکارانش، تأثیر جریان پالسی را بر ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ بررسی کرده اند. این بررسی ها نشان داد که استفاده از روش پالسی در فلز جوش منجر به ایجاد ساختار دانه ریز و همچنین اپیتکسیال شده که باعث افزایش سختی می گردد. اندازه گیری درصد فریت دلتا نشان داد که روش پالسی باعث افزایش مقدار اندکی از فریت دلتا شده که افت مقدار کمی از استحکام کشش و انعطاف پذیری را در پی خواهد داشت [۵]. کومار و همکارانش در مقاله ای رفتار خوردگی دمای بالای فلز جوش مونل ۴۰۰ و ۳۰۴L را در روش GTAW به روش پالسی بررسی کرده اند. یافته های ایشان حاکی از این است که در سمت مونل منطقه ذوب جزئی و در سمت ۳۰۴L منطقه فاز ثانویه بوجود آمده است. در آزمون کشش شکست در سمت فلز پایه ۳۰۴L اتفاق افتاد. دریافته های آنها نمایان است که فلزات پایه ۳۰۴ و مونل ۴۰۰ نسبت به مناطق دیگر جوش مقاومت به خوردگی بالاتری دارند [۶]. کارنوکاران و همکارانش بررسی تأثیر جریان پالسی بر توزیع دما برگرد جوش و خصوصیات فولاد زنگ نزن ۳۰۴L به روش GTAW با استفاده از روش پالسی را انجام دادند. با توجه به تحقیقات ایشان، استفاده از جریان پالسی باعث اصلاح دانه در منطقه ذوب و بهبود خواص مکانیکی میشود. کاهش ماکزیمم حرارت ورودی در روش پالسی، باعث جلوگیری از تنش پسماند به خصوص در جوشکاری ورق های نازک می گردد. خواص مکانیکی در روش پالسی برتر از روش معمولی است و ساختار دانه ریزتر و انجماد دندریتی حاصل ثابت کننده تأثیر جریان پالسی در بهبود خواص مکانیکی می باشد [۷].

در این تحقیق بهینه سازی پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن-گاز پالسی از جمله جریان پالس، جریان زمینه، فرکانس پالس و کسر زمان روشن بودن پالس در اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316L و سوپر آلیاژ پایه نیکل مونل ۴۰۰ با ضخامت کم (۳mm) با استفاده از فلز پر کننده ERNiCr3، مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به جهت دستیابی بهتر به هدف با انجام کمترین

اتصال غیرمشابه سوپر آلیاژهای پایه نیکلی و فولاد های زنگ نزن آستنیتی در طی سالهای گذشته در صنایع مختلف دریایی، هوافضا، هسته ای و شیمیایی کاربرد فراوانی پیدا کرده است [۱]. از جمله روشهای ایجاد اتصال در بین این دو آلیاژ، فرآیند جوشکاری قوس تنگستن گاز می باشد. یکی از مهمترین مشکلاتی که در جوشکاری غیرمشابه سوپر آلیاژهای پایه نیکل و فولادهای زنگ نزن آستنیتی بوجود می آید، ایجاد ترک انجمادی در منطقه تحت تأثیر حرارت (HAZ) می باشد. حرارت ورودی جوشکاری، شدیداً بر روی ریز ساختار منطقه متأثر از حرارت به خصوص در اتصال های غیرمشابه تأثیر می گذارد. به ویژه این که حرارت ورودی جوشکاری باعث افزایش رشد دانه در منطقه نزدیک خط ذوب می شود. از طرفی ساختار دانه ها بر استحکام، چقرمگی، انعطاف پذیری و مقاومت خوردگی آلیاژها تأثیر می گذارد. از این رو اعمال روشی که باعث کاهش حرارت ورودی در منطقه جوشکاری و ناحیه تحت تأثیر حرارت گردد دارای اهمیت ویژه ای می باشد [۲ و ۳].

در زمینه اتصال این آلیاژها و با جریان پالسی پژوهش هایی انجام گردیده است. به عنوان مثال، چوو و همکارانش در مطالعه ای به بررسی اثر پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن گاز با جریان پالسی نسبت به جریان ثابت بر روی فلز جوش دو فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۰ و ۳۰۴ پرداختند. نتایج نشان داد که در جریان پالسی با افزایش فرکانس پالس، فاصله پالس، نسبت دامنه پالس و همچنین کسر بیشتر زمان روشن بودن پالس، باعث کاهش تنش پسماند می گردد. همچنین در فولاد ۳۱۰ به دلیل خاصیت هدایت حرارتی و ضریب نفوذ گرمایی کمتر نسبت به ۳۰۴ تنش پسماند کمتری در همان جریان پالس مشابه بوجود آمده است. همچنین در این تحقیق مشخص گردید که در جوشکاری پالسی محدوده کوچکتري از منطقه تنش پسماند کششی، نسبت به جوشکاری جریان ثابت بوجود آمده است که دلیل آن کاهش مقدار حرارت ورودی است [۳]. در



شکل ۱- طرح اتصال مورد استفاده و مشخصات

جدول ۲- مشخصات ابعادی طرح اتصال

| ضخامت ورق (t) | ارتفاع ریشه (k) | درز ریشه (d) | زاویه شیار (α) |
|---------------|-----------------|--------------|----------------|
| ۳ میلی متر | ۱ میلی متر | ۲ میلی متر | ۸۵ درجه (α) |

نمونه های آماده سازی شده توسط فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن گاز (GTAW) با اعمال جریان پالسی (PCGTAW) جوشکاری شدند. قبل از جوشکاری برای کلیه نمونه ها یک نگهدارنده جهت جلوگیری از تاب برداشتن و همچنین ایجاد گاز پشت بند تهیه شد. جوشکاری نمونه ها با استفاده از دستگاه جوش گام الکتریک مدل Pars-EL 631 به صورت دستی انجام شد. الکتروود مصرف نشدنی مورد استفاده، الکتروود تنگستنی ۲٪ اکسید توریم به قطر ۲/۴ میلی متر بود. گاز آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد با دبی ۳۰ لیتر بر دقیقه به عنوان گاز محافظ استفاده شد. پارامترهای جوشکاری با استفاده از آزمایشات انجام شده در کارگاه جوشکاری و همچنین بررسی مقالات بدست آمدند. درمورد پارامترهای اصلی جوشکاری PCGTAW با توجه به مقالات چهار پارامتر اصلی این فرآیند، جریان پیک (P) (Pulse current)، جریان زمینه (current) (Background) (B)، کسر زمان روشن بودن پالس (T) (On time) و فرکانس اعمال پالس (Pulse frequency) (F) در نظر گرفته شد. این پارامترها در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۰].

آزمایش، از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده گردید.

۲. مواد و روش انجام آزمایش

در این تحقیق از ورق فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶L AISI در شرایط آنیل انحلالی و سوپر آلیاژ پایه نیکل مونل ۴۰۰ آنیل انحلالی شده هر کدام با ضخامت ۳ میلیمتر به عنوان فلزات پایه استفاده شد. جهت اتصال فلزات پایه از فلز پرکننده اینکونل ۸۲ (ERNiCr-3) با قطر ۱/۶ میلیمتر استفاده شد. انتخاب فلز پرکننده در این تحقیق علاوه بر ترکیب شیمیایی بر اساس پارامترهای دیگری مانند خواص مکانیکی حاصله، پایداری حرارتی، مقاومت به خوردگی، دردسترس بودن و هزینه ها انجام شد. بر همین اساس از استانداردهای AWS A5.14, AWS A5.9 و همچنین از استاندارد CASME SEC.II, Part و مشخصات ارائه شده از طرف سازنده استفاده شد [۸, ۱۱ و ۹]. از آنالیز کوانتومتری جهت تعیین دقیق ترکیب شیمیایی فلزهای پایه و فلز پرکننده استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده در جدول ۱ ارائه شده است.

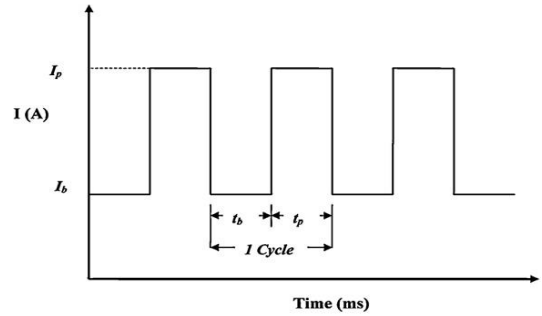
جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده مورد استفاده

| عنصر | Fe | Nb | S | Co | Cu | Ti | Si | Mn | Mo | Ni | Cr | C |
|----------------|------|-----|------|------|-------|----|-----|------|-----|------|------|-------|
| ASTM Monel ۴۰۰ | ۲/۱۱ | - | ۰/۰۱ | - | ۳۰/۲۵ | - | ۰/۴ | ۱/۰۷ | - | ۰/۱ | بقیه | ۰/۱ |
| AISI 16L۳ | بقیه | - | ۰/۰۲ | - | ۰/۲ | - | ۰/۸ | ۱/۲ | ۲/۶ | ۱۲/۹ | ۱۸/۵ | ۰/۰۲۵ |
| ERNiCr-۳ | ۳ | ۲/۵ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | ۰/۵ | - | ۰/۵ | ۳ | - | ۲۰ | بقیه | ۰/۱ |

برای ایجاد اتصال بین فلزات پایه ورق هایی به ابعاد ۳*۷۰*۲۲۰ میلی متر تهیه شد. به منظور انجام عملیات جوشکاری ذوبی لازم بود تا در ابتدا ورق ها را از یک طرف مطابق با طرح مناسب اتصال آماده سازی نمود. بدین منظور نمونه ها برای اتصال لب به لب با شیار V شکل آماده سازی شدند. طرح اتصال مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول ۲ مشخصات ابعادی طرح اتصال را نشان می دهد.

جدول ۵- آزمایشهای طراحی شده به روش تاگوچی طبق آرایه L9

| شماره آزمایش | کسر زمان | | | | | | |
|---------------------|----------------|----------------|-------------|---------------------|------------------|------------------|----------|
| | جریان پالس (A) | جریان زمین (A) | فرکانس (Hz) | ولتاژ روشن بودن (V) | میانگین جوش (mm) | جریان طول خط (I) | کسر زمان |
| آزمایش صفر (CCGTAW) | - | - | - | - | - | - | - |
| آزمایش یک | ۱۰۰ | ۵۰ | ۱ | ۳۵٪ | ۱۴/۵ | ۶۷/۵ | ۲۲۰ |
| آزمایش دو | ۱۰۰ | ۶۰ | ۳ | ۵۰٪ | ۱۴/۵ | ۸۰ | ۲۲۰ |
| آزمایش سه | ۱۰۰ | ۷۰ | ۶ | ۶۵٪ | ۱۴/۵ | ۸۹/۵ | ۲۲۰ |
| آزمایش چهار | ۱۲۰ | ۵۰ | ۳ | ۶۵٪ | ۱۴/۵ | ۹۵/۵ | ۲۲۰ |
| آزمایش پنج | ۱۲۰ | ۶۰ | ۶ | ۳۵٪ | ۱۴/۵ | ۸۱ | ۲۲۰ |
| آزمایش شش | ۱۲۰ | ۷۰ | ۱ | ۵۰٪ | ۱۴/۵ | ۹۵ | ۲۲۰ |
| آزمایش هفت | ۱۴۰ | ۵۰ | ۶ | ۵۰٪ | ۱۴/۵ | ۹۵ | ۲۲۰ |
| آزمایش هشت | ۱۴۰ | ۶۰ | ۱ | ۶۵٪ | ۱۴/۵ | ۱۱۲ | ۲۲۰ |
| آزمایش نه | ۱۴۰ | ۷۰ | ۳ | ۳۵٪ | ۱۴/۵ | ۹۴/۵ | ۲۲۰ |



شکل ۲- پارامترهای فرآیند GTAW پالسی [۹].
 I_p : Pulse Current, (A)
 I_b : Background Current, (A)
 t_p : Pulse Current Duration, (ms)
 t_b : Background Current Duration, (ms)
 $F = 1/(t_p + t_b)$: Pulse Frequency, (Hz)
 % on time: The Pulse Current Duration in One Cycle

به منظور بررسی چهار پارامتر اصلی جوشکاری PCGTAW یعنی جریان پیک (P)، جریان زمینه (B)، درصد زمان روشن بودن پالس (T) و فرکانس اعمال پالس (F)، از طراحی آزمایش به روش تاگوچی و یک آرایه L9 استفاده شد، این آرایه در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- آرایه L9 تاگوچی (چهار فاکتور سه سطحی)

| شماره آزمایش | ستون ها | | | |
|--------------|---------|---|---|---|
| | D | C | B | A |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ |
| ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۲ |
| ۵ | ۱ | ۳ | ۲ | ۲ |
| ۶ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ |
| ۷ | ۲ | ۳ | ۱ | ۳ |
| ۸ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ |
| ۹ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳ |

پارامترهای تعیین شده برای انجام اتصال در این پژوهش در جدول (۴) آورده شده است. همچنین آزمایشات طراحی شده نیز در جدول (۵) آورده شده اند.

جدول ۴- سطوح بدست آمده جهت جوشکاری PCGTAW

| نماد | پارامتر فرایند | واحد | سطح ۱ | سطح ۲ | سطح ۳ |
|------|-------------------------|------|-------|-------|-------|
| P | جریان پیک | A | ۱۰۰ | ۱۲۰ | ۱۴۰ |
| B | جریان زمینه | A | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ |
| F | فرکانس پالس | Hz | ۱ | ۳ | ۶ |
| T | کسر زمان روشن بودن پالس | % | ۳۵٪ | ۵۰٪ | ۶۵٪ |

برای بررسی خواص مکانیکی، آزمونهای مکانیکی شامل آزمون کشش، آزمون خمش و آزمون ریز سختی سنجی بر روی نمونه های جوشکاری شده انجام شد. به منظور ارزیابی خواص کششی نمونه هایی از فلزات پایه و فلز جوش بر اساس استاندارد ASTM E8 تهیه شد. آزمون خمش به منظور تعیین سلامت قطعات جوشکاری شده انجام شد. نمونه ها طبق استاندارد SEC.IXASME جهت انجام آزمون خمش رویه و ریشه آماده سازی شدند [۱۱].

۳. نتایج و بحث ها

۳-۱. محاسبه نسبت مقدار میانگین

در ابتدا شرایط بهینه ای طراحی آزمایش تاگوچی بررسی گردیده است. متوسط میانگین جوابها برای هر عامل (نسبت سیگنال به نویز (s/n)) بر اساس نتایج حاصل از آزمایش کشش با مبنای هر چه بزرگتر بهتر (BB) از رابطه (۱) بدست آمده است.

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

نتایج حاصل از آزمایش کشش و خمش و میزان حرارت ورودی و نسبت میانگین برای هر آزمایش در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶) نتایج حاصل از آزمایشات طراحی شده به روش

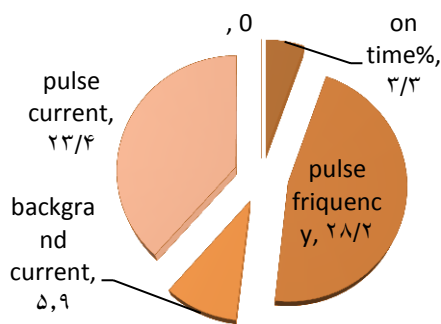
| شماره آزمایش | جریان جریان | | | | جریان فرکانس | | روشن بودن | | استحکام | | نتایج | | میزان |
|--------------|-------------|-----|----|---|--------------|-------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | I | Ip | Ib | F | T% | F | Mpa | UTS | Ratio | کشش | خمش | حرارت | |
| آزمایش صفر | ۱۱۰ | - | - | - | - | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ | ۵۱۱/۳ |
| آزمایش یک | ۶۷/۵ | ۱۰۰ | ۵۰ | ۱ | ۳۵٪ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ | ۵۱۱/۷ |
| آزمایش دو | ۸۰ | ۱۰۰ | ۶۰ | ۳ | ۵۰٪ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ | ۵۴۲ |
| آزمایش سه | ۸۹/۵ | ۱۰۰ | ۷۰ | ۶ | ۶۵٪ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ |
| آزمایش چهار | ۹۵/۵ | ۱۲۰ | ۵۰ | ۳ | ۶۵٪ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ | ۵۳۰ |
| آزمایش پنج | ۸۱ | ۱۲۰ | ۶۰ | ۶ | ۳۵٪ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ | ۵۱۹ |
| آزمایش شش | ۹۵ | ۱۲۰ | ۷۰ | ۱ | ۵۰٪ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ |

کسر زمان روشن بودن پالس با ۳/۳ درصد می باشد. حال با توجه به نمودار شکل ۶ و جدول ۸، نمودار توزیع درصد تاثیر عوامل مختلف در شکل (۷) آورده شده است.

شکل ۶- تاثیر عوامل مختلف بر روی مقدار میانگین (نسبت سیگنال به نویز (S/N)) بر اساس اطلاعات میانگین جوابهای استحکام کششی برای هر عامل در سطوح مختلف.

جدول ۸- آنالیز واریانس (ANOVA) نتایج بدست آمده از آزمایش کشش

| عوامل | درجه آزادی DOF | مجموع مربعات S | واریانس V | میانگین مربعات S ^۲ | درصد تاثیر P% |
|----------------|----------------|----------------|-----------|-------------------------------|---------------|
| P | ۲ | ۰/۲۳۱۶۰۱ | ۰/۲۳۱۶۰۱ | ۰/۱۱۵۸۰۰ | ۲۳/۴ |
| B | ۲ | ۰/۰۱۸۶۷۷ | ۰/۰۱۸۶۷۷ | ۰/۰۰۹۳۳۸ | ۵/۹ |
| F | ۲ | ۰/۳۲۵۸۹۷ | ۰/۳۲۵۸۹۷ | ۰/۱۶۲۹۴۹ | ۲۸/۲ |
| T% | ۲ | ۰/۰۰۳۶۳۳ | ۰/۰۰۳۶۳۳ | ۰/۰۰۱۸۱۷ | ۳/۳ |
| Residual Error | . | . | . | . | . |
| Total | ۸ | ۰/۵۷۹۸۰۸ | ۰/۵۷۹۸۰۸ | . | ۱۰۰٪ |



شکل (۷) - نمودار توزیع درصد تاثیر پارامترهای جوشکاری پالسی بر استحکام کششی

با توجه به نمودار شکل ۶ و جدول ۷ شرایط بهینه ای را که توسط طراحی آزمایش تاگوچی در این پژوهش پیش بینی شده است، در جدول (۹) مشخص شده است.

| ردیف | پارامتر | سطح | مقدار |
|------|-----------------------|-----|-------|
| ۱ | Pulse current(P) | ۳ | ۱۴۰ |
| ۲ | Background current(B) | ۲ | ۶۰ |
| ۳ | Pulse frequency(Hz) | ۲ | ۳ |
| ۴ | On time(%) | ۲ | ۵۰ |

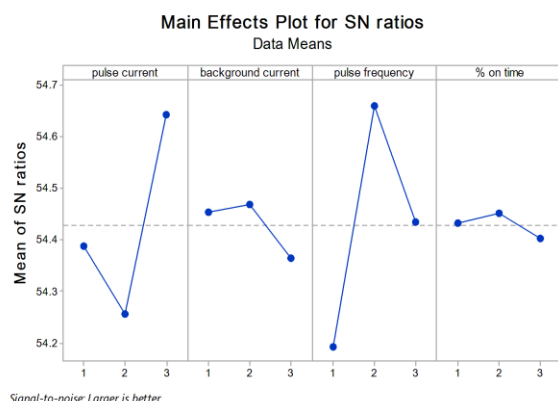
۲-۳. مقایسه نتیجه ی تجربی با نتیجه ی حاصل از پیش بینی طراحی آزمایش

متوسط میانگین (نسبت سیگنال به نویز) برای هر فاکتور در سطوح مختلف در جدول (۷) آورده شده اند. بر اساس اطلاعات بدست آمده از این جدول نمودارهایی مشابه نمودار شکل (۶) توسط نرم افزار مینی تب بدست آمده است. در این نمودار بیشترین تاثیر هر عامل در هر سطح را بر نتایج آزمایش ها نشان داده است.

جدول ۷- محاسبه متوسط میانگین جوابها برای استحکام کششی

| عوامل | I | Ib | T | F |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| سطح ۱ | ۵۲۴/۲ | ۵۲۸/۲ | ۵۲۷ | ۵۱۲/۶ |
| سطح ۲ | ۵۱۶/۳ | ۵۲۹ | ۵۲۸/۳ | ۵۴۰/۸ |
| سطح ۳ | ۵۳۹/۸ | ۵۲۳/۱ | ۵۲۵ | ۵۲۷ |

برای محاسبه درصد تاثیر عوامل، آنالیز واریانس انجام شده است. نتایج آنالیز واریانس در جدول ۸ آورده شده است. همانطور که مشخص می باشد، بیشترین تاثیر مربوط به فرکانس پالس با ۲۸/۲ درصد و کمترین تاثیر مربوط به



حال عدد مورد نظر (۵۴/۹۳) را در رابطه (۱) قرار داده ($54.93 = \frac{1}{x^2} \log_{10} 10$) و با حل عبارت مذکور مقدار مجهول یا همان استحکام کششی پیش بینی شده که برابر است با ۵۵۷/۸۳ مگا پاسکال بدست می آید. مقایسه این عدد با استحکام کششی بدست آمده از روش تجربی یعنی ۵۵۷/۵۳ مگاپاسکال، نشان می دهد که دو روش تجربی و پیش بینی شده از طریق طراحی آزمایش، تقابل نزدیکی با هم دارند و در واقع صحت طراحی آزمایشی که در این پژوهش استفاده گردیده است به اثبات می رسد.

جدول (۱۰) پاسخ میانگین نسبت سیگنال به نویز (S/N)

| سطح | جریان بیشینه | جریان کمینه | فرکانس پالس | کسر زمان روشن ماندن پالس |
|-------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|
| ۱ | ۵۴/۳۹ | ۵۴/۴۵ | ۵۴/۱۹ | ۵۴/۴۳ |
| ۲ | ۵۴/۲۶ | ۵۴/۴۷ | ۵۴/۶۶ | ۵۴/۴۵ |
| ۳ | ۵۴/۶۴ | ۵۴/۳۶ | ۵۴/۴۳ | ۵۴/۴۰ |
| درصد تاثیرات رتبه تاثیر گذاری | ۰/۳۹ | ۰/۱۰ | ۰/۴۷ | ۰/۰۵ |
| | ۲ | ۳ | ۱ | ۴ |

۳-۳. اعتبار سنجی با انجام آزمایش کشش و خمش

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشهای کشش و خمش (جدول ۱۱) و مقایسه ی استحکام کششی ناحیه جوش نمونه های بدست آمده با نتایج حاصل از استانداردها و با توجه به شکست نمونه ها از سمت فلز پایه مونل ۴۰۰ لذا این نتیجه گیری به دست می آید که اتصال مذکور دارای خواص مکانیکی مطلوبی می باشد و تایید کننده روش انتخاب شده می باشد.

جدول (۱۱) نتایج حاصل از آزمایش های کشش و خمش

| شماره نمونه محل شکست | استحکام کششی (Mpa) | استحکام تسلیم (Mpa) | درصد ازدیاد طول (%) | نتیجه آزمایش خمش |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| ۱ فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۱۱/۷ | ۱۹۰ | ۵۲/۲ | تایید |
| ۲ فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۴۲ | ۳۰۰ | ۵۰ | تایید |
| ۳ فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۱۹ | ۲۳۰ | ۵۰ | تایید |
| ۴ فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۳۰ | ۲۸۰ | ۴۷ | تایید |
| ۵ فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۱۹ | ۲۳۰ | ۴۴ | تایید |

به منظور تایید نتایج تجربی، آزمون تایید انجام شد. با توجه به کمترین حرارت ورودی و بیشترین استحکام کششی و همچنین پارامتر های تاثیر گذار در این پژوهش، همانطور که در جدول (۶) مشاهده می گردد، آزمایش نهم نتایج نزدیکی به طرح پیشنهادی تاگوجی دارد. آزمون تایید با استفاده از پارامتر های بهینه ی بدست آمده یعنی، جریان پالس ۱۴۰ آمپر و جریان زمینه ۶۰ آمپر و فرکانس پالس ۳ هرتز و کسر زمان روشن بودن پالس ۵۰٪ انجام گردید. استحکام کششی بدست آمده از آزمون تایید برابر با ۵۵۷/۵۳ مگا پاسکال می باشد. حال با استفاده از روابط موجود میزان استحکام کششی پیش بینی شده توسط تاگوجی بر مبنای نسبت میانگین (S/N) پیش بینی شده توسط سطوح بهینه ی پارامتر های طراحی شده از رابطه (۳) بدست

$$\left[\frac{S}{N} \right]_{\text{predicted}} = \left[\frac{S}{N} \right]_m + \sum_{i=1}^n \left(\left[\frac{S}{N} \right]_i - \left[\frac{S}{N} \right]_m \right)$$

آمده است و با میزان تجربی مقایسه گردیده شده است.

(۳)

در رابطه (۳)، $\left[\frac{S}{N} \right]_m$ به عنوان میانگین کل نسبت (S/N) و $\left[\frac{S}{N} \right]_i$ به عنوان میانگین نسبت (S/N) در سطوح بهینه و n به عنوان تعداد پارامتر های اصلی طراحی که تاثیر گذار بر مشخصه کیفیت می باشند.

در مورد استحکام کششی، مقدار میانگین کل نسبت (S/N) یعنی همان $\left[\frac{S}{N} \right]_m$ که از جدول (۷) بدست آمده

است برابر با ۵۴۴/۱۲ می باشد، همچنین مقدار $\left[\frac{S}{N} \right]_i$ برای

سطوح بهینه ی P3، B2، F2 و T2 از جدول (۱۰) بدست

می آیند. مقادیر بدست آمده به ترتیب برابر با: ۵۴/۶۴، ۵۴/۴۷، ۵۴/۶۶ و ۵۴/۴۵ می باشند. حال با استفاده از اعداد

بدست آمده و قرار دادن در رابطه (۳)، مقدار $\left[\frac{S}{N} \right]_{\text{predicted}}$

یعنی نسبت (S/N) پیش بینی شده به دست می آید که برابر

است با:

$$54.93 = (54.45 - 54.43) + (54.66 - 54.43) + (54.47 - 54.43)$$

$$\left[\frac{S}{N} \right]_{\text{predicted}} = 54.43 + ((54.66 - 54.43) + (54.47 - 54.43))$$

ASTM A335 Low Alloy Steel by Gas Tungsten Arc Welding. Journal of Advanced Materials and Processing, Vol.1, 2013, No. 4, PP. 33-40.

[4] Tseng K.H., Chou C.P., The Effect of Pulsed GTA Welding on The Residual Stress of a Stainless Weldment. Journal of Materials Processing Technology, Vol.123, 2002, PP. 346-353.

[5] H.R.Zareie, M.Shamanian, "Effects of pulsed GTA Welding on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 316 Stainless Steel Welds", IIW International Congress on Welding & Joining, 30 November- 03 December 2009, pp.452-460, Iran.

[6] Narayanan, S. Ramkumar, K. Devendranath. " High temperature corrosion behavior of PCGTA weldments of Monel 400 and AISI 304 exposed in the molten salt environment at 600°C" International Journal of ChemTech Research; May/June 2014, Vol. 6 Issue 3, p1775.

[7] N.Karunakaran" Effect of Pulsed Current on Temperature Distribution, Weld Bead Profiles and Characteristics of GTA Welded Stainless Steel Joints" Department of Mechanical Engineering, Annamalai University, Annamalai Nagar – 608002, India.

[8] ANSI/AWS A5.9/A5.9M, " Specification For Bare Stainless Steel Welding Electrodes And Rods, 2nd Printing", American Welding Society, Edition 7th, 2007.

[9] ANSI/AWS A5.14/A5.14M, " Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods- Includes Errata", American Welding Society, Edition: 9th 2009.

[10] www.millerwelds.com. TIG Handbook, miller welding company.

[11] ASME Sec IX, "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedure", Article II, Welding Procedure Qualification, American Society of Mechanical Engineers, Edition: 2th, 2001.

| | | | | | |
|---|-------------------|-----|-----|----|-------|
| ۶ | فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۰۰ | ۲۷۰ | ۴۳ | تایید |
| ۷ | فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۴۳ | ۲۹۰ | ۴۷ | تایید |
| ۸ | فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۲۶ | ۲۳۰ | ۴۰ | تایید |
| ۹ | فلز پایه مونل ۴۰۰ | ۵۵۰ | ۳۲۰ | ۵۳ | تایید |

۴. نتیجه گیری

۱- طراحی آزمایش تاگوجی با آرایه **L9** به عنوان نمونه با شرایط بهینه شناخته شد و نزدیکترین نمونه به نمونه ی پیشنهادی تاگوجی استفاده گردید.

۲- اعمال جریان پالسی نسبت به جریان ثابت، باعث افزایش استحکام کششی و استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول در آزمایش کشش اتصال گردید و شکست از ناحیه فلز پایه مونل ۴۰۰ نشان دهنده کیفیت مناسب جوش می باشد.

۳- پارامترهای بهینه قوس تنگستن گاز پالسی در اتصال غیرمشابه مونل ۴۰۰ و فولاد زنگ نزن آستنیتی **L316** جریان پالس ۱۴۰ آمپر، جریان زمینه ۶۰ آمپر، فرکانس پالس ۳ هرتز و کسر زمان روشن بودن پالس ۵۰ درصد می باشد.

۴- تاثیر گذارترین پارامترها قوس تنگستن گاز پالسی در اتصال غیرمشابه مونل ۴۰۰ و فولاد زنگ نزن آستنیتی **L316**، جریان پالس با ۲۳/۴ درصد و فرکانس پالس با ۲۸/۲ درصد می باشد.

۵- بیشترین استحکام کششی جوش با کمترین حرارت ورودیه جوش مطابقت نشان داد.

مراجع:

[1] Lippold.Jonch, welding metallurgy and weldability of stainless steels, trans by Shamanian. Morteza, Rahmati. Mohammad, Esfahan univercity of technology, 2008.

[2] John N.DuPont, John C.Lippold, Samuel D. Kiser, Welding Metallurgy and Weldability Of Nickel-base Alloys, trans by: Shamanian. M, Purmohamadi. H, Amini.M, Mostafaey. M, Esfahan Univercity Of Esfahan, 2013.

[3] Hajiannia I., Shamanian M., Kasiri ., The Weld ability Evaluation of Dissimilar Welds of AISI 347 Stainless Steel to