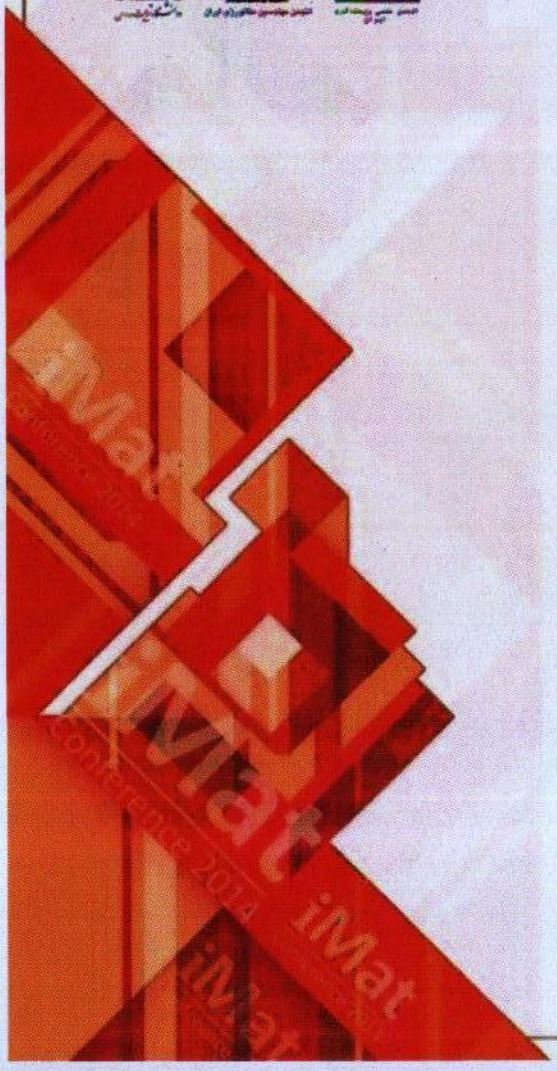
۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳
مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی، تهران
18 - 19 Nov., 2014
Shahid Beheshti Conference Center, Tehran, Iran
www.imatconf.com
info@imatconf.com



iMat
Conference 2014
3rd International Engineering Materials & Metallurgy Conference

هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین المللی

مواد مهندسی و متالورژی

(انجمن مهندسین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

شماره گواهی: ۹۳۰۸۳۴۰

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می‌شود مقاله

بکارگیری روشهای آماری در مدلسازی و تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) آلیاژهای آلومینیوم

نویسنده اول: **فرهاد کلاهان**، نویسنده دوم: **سید ابوالفضل سجادی**

در بخش پوستر هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین المللی مواد مهندسی و متالورژی

مورخ ۲۷ و ۲۸ آبان ماه سال ۱۳۹۳ پذیرفته شده است.

موفقیت روز افزون شما را در عرصه‌های علمی و اجرایی کشور عزیزمان آرزومندیم

دکتر فرشید مالک
دبیر کنفرانس

دکتر امیر عبداله زاده
دبیر علمی کنفرانس

8th Congress & 3rd International
Engineering Materials & Metallurgy
Conference
Iranian Metallurgical Engineering Society & Iranian Foundrymen's Soci-
18-19 Nov., 2014 - Shahid Beheshti Conference Center, Tehran, Iran

iMat
Conference 2014

هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین المللی
مواد مهندسی و متالورژی
(انجمن مهندسین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران)
۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳ – مرکز همایش‌های بین المللی شهید بهشتی، تهران

Modeling and specifying optimal levels of control parameters in Friction Stir Welding (FSW) of Aluminum Alloys by Statistical Methods

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a new method in solid state welding. Like other welding techniques, strength of the welded joint is one of the most important quality criteria. Tensile Strength is affected by such parameters as rotating speed (W), traverse speed (V), axial force (F) and tool geometry (G). The objective of this research is to model and to determine the optimal levels of process parameters of FSW for 5052 Aluminum alloy. Experimental data have been used for process modeling. The experiments are designed and carried out based on L_{36} Taguchi design of experiments. Then by using analysis of variance (ANOVA), the effect of each process parameter on tensile strength has been determined. Process parameters optimization is also performed based on Signal-to-Noise (S/N) ratio of Taguchi method. The results indicate that by selecting the rotating speed (W) at its highest level and the traverse speed (V) at its lowest level, joints with higher Strength may be obtained.

Keywords: Friction Stir Welding, Taguchi design, optimization, ANOVA, Regression.

8th Congress & 3rd International
Engineering Materials & Metallurgy
Conference
Iranian Metallurgical Engineering Society & Iranian Foundrymen's Soci-
18-19 Nov., 2014 - Shahid Beheshti Conference Center, Tehran, Iran

iMat
Conference 2014

هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین المللی
مواد مهندسی و متالورژی
(انجمن مهندسین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران)
۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳ – مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی، تهران

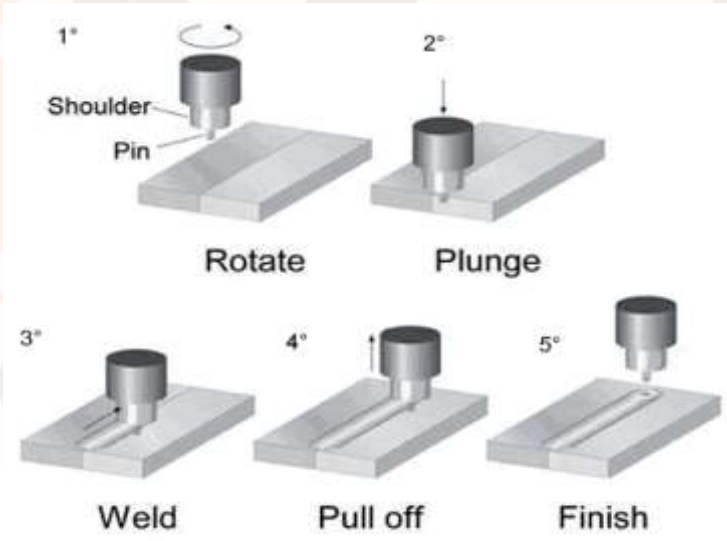
بکارگیری روش‌های آماری در مدلسازی و تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) آلیاژهای آلومینیوم

چکیده: جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) یکی از روش‌های جدید جوشکاری حالت جامد است. همانند سایر روش‌های جوشکاری، استحکام اتصال مهم‌ترین مشخصه‌ی در این فرآیند می‌باشد. استحکام کششی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی متاثر از پارامترهای ورودی آن مانند سرعت دورانی، نرخ پیشروی، نیروی عمودی و هندسه ابزار است. هدف از این تحقیق، مدلسازی آماری و تعیین سطوح بهینه پارامترهای فرآیند در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ورق‌های آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ می‌باشد. به منظور مدلسازی از داده‌های تجربی استفاده شده است. آزمایشات بر اساس جدول طراحی آزمایشات L_{36} تاگوچی طراحی و اجرا شده‌اند. سپس به کمک آنالیز واریانس (ANOVA) میزان تاثیر پارامترهای فرآیند بر استحکام کششی اتصال تعیین شده است. بهینه‌سازی پارامترها نیز بر اساس تحلیل نسبت سیگنال به نویز (S/N) در روش تاگوچی انجام یافته است. نتایج نشان می‌دهد که با انتخاب سرعت دورانی (W) بالاتر و سرعت پیشروی(V) کمتر اتصالاتی با استحکام بیشتر حاصل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی،طراحی تاگوچی،بهینه‌سازی،تحلیل واریانس، رگرسیون

مقدمه

آلیاژهای الومنیوم به دلایل مختلف از جمله نسبت استحکام به وزن بالا، مقامت به خوردگی خوب و قابلیت شکل پذیری مناسب در بسیاری از کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه تولید قطعات آلومینیومی پیچیدگی خاصی ندارد اما اتصال این آلیاژها می‌تواند منجر به مشکلاتی جدی گردد. فقدان تبدیل ساختاری در حالت جامد و رسانش گرمایی و الکتریکی عالی منجر به بروز مشکلاتی در جوشکاری ذوبی و مقاوتی آلیاژهای الومینیوم می‌شود. این امر موجب استفاده روزافزون از روش‌های جوشکاری در حالت جامد مانند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برای اتصال این از آلیاژها شده است. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یک روش اتصال حالت جامد است که در آن قطعه‌کار بوسیله حرارت ناشی از اصطکاک بین سطح ورق و سطح یک ابزار مخصوص خمیری شده و اتصال شکل می‌گیرد. ابزار در این روش دارای دو قسمت مهم است: شانه ابزار و پین.شانه ابزار وظیفه تولید حرارت جهت تغییرشکل پلاستیک ماده در منطقه جوش را دراد و وظیفه پین اختلاط مواد پیرامون خود برای شکل– گیری جوش می‌باشد(شکل ۱).این روش منجر به تولید اتصالات جوشکاری شده فاقد عیب و دارای خصوصیات فیزیکی خوب می‌شود.(جیها، مورتی، دیواکارا، سریکومار، ۲۰۰۳)(هوآنگ و کوک، ۲۰۰۰)



شکل ۱–سازوکار جوشکاریاصطکاکی– اغتشاشی[5]

اخیرا تحقیقات متعددی بر روی این روش جوشکاری انجام شده است. کوون، کیم و جونگ (۲۰۰۹) مطالعاتی در مورد جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ورق‌های آلومینیوم ۵۰۵۲ با ضخامت ۲mm را انجام دادند. آنان دریافتند با افزایش سرعت دورانی از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰rpm استحکام کششی افزایش یافته و از آن به بعد کاهش می‌یابد. آنان همچنین نشان دادند که با کاهش سرعت دورانی اندازه دانه در منطقه اختلاط[1] کاهش

[1]Stir Zone

می‌یابد. آداموفسکی و اسزدوکو (۲۰۰۷) جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ورق‌های آلیاژ آلومینیوم 6082-T6 را به منظور بررسی خصوصیات مکانیکی و ساختاری و تغییرات آنها تحت مقادیر پارامتری متفاوت مورد بررسی قراردادند. آنها دریافتند که استحکام مکانیکی نمونه‌های جوش داده شده با افزایش سرعت پیشروی (V)، با سرعت دورانی ثابت، افزایش می‌یابد. پالانیول و کوشی (۲۰۰۹) در مورد جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژهای آلومینیوم غیرمتشابه 6351-T6 و 5083-H111 و بررسی خواص کششی با استفاده از ابزارهایی با هندسه متفاوت و سرعت پیشروی مختلف تحقیق کردند و دریافتند ابزار با هندسه مربعی و سرعت پیشروی متوسط (۶۳ mm/min) بهترین اتصال را تولید می‌کند.کومبار، ساهو، ساماجدار، دی و بهانومورتی (۲۰۱۱) جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ را به منظور بهینه کردن و حصول خصوصیات مکانیکی مناسب در مناطق مختلف جوش مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که مستحکم‌ترین قسمت جوش در مرکز جوش[1] در سمت پسرو و سپس در سمت پیشرو می‌باشد. لاکشمینارایانان و بالاسوبرامانیان (۲۰۰۸) پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم RDE-40 را با استفاده از روش تاگوچی بهینه‌سازی کرده و تاثیر هر پارامتر را مشخص کرده‌اند و نشان دادند که سرعت دورانی (W)، سرعت پیشروی (V) و نیروی محوری عمودی (F) بیشترین تاثیر را در فرآیند دارند. احمد خدیر، شیبایانگی و ناکا(۲۰۰۶) خصوصیات مکانیکی و ساختاری جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 2024-T3 را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند با افزایش سرعت دورانی تا ۱۰۰۰rpm اندازه دانه‌ها در منطقه اختلاط افزایش می‌یابد اما با افزایش تا بیشتر از این مقدار تغییر محسوسی ایجاد نمی‌شود. آنها بیشترین استحکام کششی اتصال را در ۱۲۵۰rpmبدست آوردند.

هدف از این تحقیق تعیین میزان تاثیر پارامترهای فرآیند بر میزان استحکام اتصال حاصل و همچنین بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی جهت حصول استحکام کششی بیشینه می‌باشد. ابتدا با استفاده از طراحی آزمایشات با روش تاگوچی ترکیبی از پارامترهای این فرآیند(سرعت دورانی،سرعت پیشروی،نیروی عمودی و هندسه ابزار) انتخاب کرده و پس از انجام آزمایشات، تست‌های کشش و حصول خروجی مورد نظر (استحکام کششی) تحلیل‌های آماری برای مشخص کردن ترکیب پارامتری مناسب جهت حصول اتصالی با استحکام بیشینه انجام خواهد شد. و تحلیل واریانس[2] نمودارهای برهمکنش[3]، بررسی نسبت سیگنال به نویز[4] در بدست آمدن پارامترهایی با سطح مطلوب جهت حصول استحکام کششی بیشینه به کار گرفته خواهدشد.

مواد و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش

آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ یکی از پرکاربردترین آلیاژهای سری ۵ می‌باشد که بعلت جوش پذیری مناسب در صنایعی همچون هواپیمایی، کشتی‌سازی و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ دارای ۲.۲ تا ۲.۸ درصد منیزیوم بوده و عنصر آلیاژی غالب در آن منیزیوم می‌باشد. خصوصیات مکانیکی آلیاژ ۵۰۵۲ در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

---

[1] Nugget

[2] Analysis of Variance (ANOVA)

[3] Interaction Plot

[4] Signal to Noise ratio

دستگاه مورد استفاده در جوشکاری یک دستگاه فرز FUS22 ساخت کشور رومانی می‌باشد که تغییر کاربری یافته و از آن به عنوان دستگاه جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی استفاده می‌شود. ابزارها در سه شکل متفاوت استوانه‌ای، مربعی و مثلثی از جنس فولاد تندبر[1] با روش سنگزنی ساخته شده‌اند. برای اندازه‌گیری دقیق نیروی عمودی از لودسل فشاری مدل AB 140 با ظرفیت ۱۰۰۰ kg استفاده شده‌است.

جدول۱- خصوصیاتفیزیکی آلومینیوم۵۰۵۲

ازدیادطول (%)	استحکامکشش (MPa)	دمایذوب°C	چگالی(Kg/m^3)
۱۴-۲۰	۱۷۰-۲۱۵	۶۰۷-۶۵۰	۲۶۸۰

پارامترهای فرآیندکه شامل سرعت دورانی (W)، سرعت پیشروی (V)، نیروی عمودی (F) و هندسه ابزار (G) به همراه سطح‌های انتخابی و مقادیر آنها در جدول ۳ نشان داده شده‌است. نمونه‌ها از ورق‌هایی با ابعادcm ۱۰*۵ تهیه شده که با کنار هم قرار دادن و انجام عملیات جوشکاری ورقی با ابعاد cm۱۰*۱۰حاصل می‌شود. در تولید نمونه‌های تست کشش از استاندارد ASTM E8M و در انجام تست کشش از دستگاه تست کشش ZWICK Z250 استفاده شده‌است. لازم به ذکر است که در آخرین ستون جدول ۲، سطوح پارامتری ۱ ، ۲ و ۳ بترتیب معرف ابزارهایی با هندسه استوانه‌ای ، مربعی و مثلثی هستند.

جدول ۲-پارامترهای ورودی و سطوح آنها

Level	*W*	*V*	*F*	*G*
۱	۸۰۰	۲۵	۲۵۰	۱
۲	۱۲۰۰	۴۰	۳۰۰	۲
۳		۶۳	۳۵۰	۳

[1] High Speed Steel (HSS)

انجام آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

هدف از این تحقیق بررسی میزان تاثیر پارامترهای جوشکاری و تعیین همزمان مقادیر بهینه‌ی این پارامترها به منظور بهبود استحکام کششی اتصال در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ می‌باشد.در این فرآیند پارامترهای سرعت دورانی ابزار (W)، سرعت پیشروی ابزار (V)، نیروی عمودی (F) و هندسه ابزار (G) مورد مطالعه قرار می‌گیرند.استحکام کششی[۷](TS) نیز به عنوان خروجی فرآیند در نظر گرفته شده‌است.پارامترهای سرعت پیشروی، نیروی عمودی و هندسه ابزار دارای سه سطح و پارامتر سرعت دورانی دارای دو سطح می‌باشند.

طراحی آزمایش‌ها در محیط نرم‌افزار MINITAB 16 انجام گرفته است. با توجه به ترکیب ۳ پارامتر ۳ سطحی و یک پارامتر ۲ سطحی، تاگوچی دو ترکیب آزمایش را پیشنهاد می‌کند: طراحی متعامد با ۱۸ آزمایشو طراحی متعامد با ۳۶ آزمایش. با توجه به تعداد پارامترها، سطوح آنها و همچنین امکان بروز خطا در انجام آزمایش‌ها به دلیل نقص دستگاه یا خطای انسانی، جهت حصول ترکیب آزمایشی با ظریب اطمینان بالاتر از طراحی متعامد L_{36} استفاده می‌کنیم. در جدول ۳ ترکیب آزمایشات به همراه خروجی‌های مورد نظر نشان داده شده‌است. در این جدول ۴ ستون اول مربوط به متغیرهای ورودی و دو ستون آخر بترتیب مقدار استحکام کششی اتصال حاصل و نسبت سیگنال به نویز آنست.

جدول۳-جدول آزمایش‌ها و نتایج خروجی

ردیف	W(rpm)	V(mm/min)	F(kg)	G	TS(MPa)	S/N ratio
۱	۸۰۰	۲۵	۲۵۰	۱	۱۵۲.۰۲	۴۳.۶۳۸
۲	۸۰۰	۴۰	۳۰۰	۲	۲۱۹.۵۸	۴۶.۸۳۱
۳	۸۰۰	۶۳	۳۵۰	۳	۱۶۰.۳۰	۴۴.۰۹۸
۴	۸۰۰	۲۵	۲۵۰	۱	۱۵۲.۰۲	۴۳.۶۳۸
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
۱۷	۸۰۰	۶۳	۳۰۰	۱	۱۸۸.۸۱	۴۵.۵۲۰

[7]Tensile Strenght

۱۸	۸۰۰	۲۵	۳۵۰	۲	۲۲۵.۰۷	۴۷.۰۴۶
۱۹	۱۲۰۰	۴۰	۲۵۰	۱	۱۵۷.۱۷	۴۳.۹۲۷
۲۰	۱۲۰۰	۶۳	۳۰۰	۲	۲۲۴.۴۶	۴۷.۰۷۸
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۳	۱۲۰۰	۴۰	۳۵۰	۲	۱۵۶.۶۸	۴۳.۹۰۰
۳۴	۱۲۰۰	۶۳	۲۵۰	۱	۱۱۵.۸۴	۴۱.۲۷۷
۳۵	۱۲۰۰	۲۵	۳۰۰	۲	۲۰۲.۰۶	۴۶.۱۰۹
۳۶	۱۲۰۰	۴۰	۳۵۰	۳	۱۵۱.۰۰	۴۳.۵۷۹

توابع مختلفی از جمله تابع خطی، درجه دو و لگاریتمی را می‌توان بر داده‌های آزمایشگاهی برازش[1] داد. برای رسیدن به مدلی با ضرایب همبستگی مناسب از روش بهترین زیرمجموعه[2] استفاده شده‌است. در این روش مدل‌های برازش گوناگون با ترکیب پارامترهای مختلف به همراه ضرایب همبستگی مربوطه محاسبه شده و می‌توان مدل مطلوب را به راحتی انتخاب کرد. بدین ترتیب، مدل تعدیل شده با حذف داده‌های بی معنی بصورت زیر بدست می‌اید:

$$TS=-178+0.188W+4.34V+213G-59.3G*G-0.00538W*V+0.0351W*G \qquad (۱)$$

$$R\text{-}sq = 94.3\ \% \quad R\text{-}sq(adj) = 92.8\ \% \quad R\text{-}sq(pred) = 90.79\ \%$$

[1] Regression

[2] Best Subset

تحلیل واریانس[1]

به دلیل اینکه در آزمایش‌های عاملی کسری، تنها بخشی از مجموعه حالات ممکن مورد آزمایش قرار می‌گیرند، به منظور حصول اطمینان از دقت نتایج نهایی، می‌بایست از روش‌های آماری مناسب استفاده نمود.تحلیل واریانس، یک روش آماری استاندارد است که در محاسبه درجه اطمینان و تعیین درصد مشارکت هریک از متغیرهای ورودی بر روی خروجی فرآیند، کاربرد دارد(روی، ۱۹۹۰). در ادامه تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی نتایج جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلومینیوم ۵۰۵۲ ارائه شده‌است.

جدول ۵ تحلیل واریانس برای استحکام کششی اتصال در جوشکاری الومینیوم ۵۰۵۲ را نشان می‌دهد.این تحلیل بر اساس سطح اطمینان ۹۵٪ (عدم قطعیت ۵٪) انجام شده است.ستون دوم جدول درجه آزادی[2] هریک از پارامترها، ستون سوم مجموع مربعات[3] ، ستون چهارم مجموع مربعات تعدیل یافته[4] ،ستون پنجم میانگین مجموع مربعات[5] ، ستون ششم آماره F، ستون هفتم آماره P و ستون هشتم میزان تاثیر هریک از پارامترهای ورودی بر خروجی مورد نظر (P%) را نشان می‌دهند.آماره P به منظور تعیین معنادار بودن تاثیر هریک از پارامترها بر روی خروجی استفاده می‌شود.با توجه به سطح اطمینان ۹۵٪ که تحلیل بر اساس آن انجام شده است، اگر مقدار P برای هریک از پارامترها کمتر از ۰.۰۵ باشد نشان‌دهنده معنادار بودن تاثیر پارامتر بر خروجی است.همانگونه که در جدول مشخص می‌باشد مقدار P برای همه پارامترها کمتر از ۰.۰۵ می‌باشد.(موتوکریشنانا و داویم، ۲۰۰۹)

آماره F یا آزمایش فراوانی[6] نیز مانند آماره P برای تعیین معنادار بودن تاثیرات پارامترها بر روی خروجی به کار می‌رود.از جدول ۵ مشخص است که مقدار آماره F برای هریک از ورودی‌ها از مقدار بحرانی $F(F_{0.05,6,1}=5.99)$ که از جدول‌های آماری استاندارد بدست می‌آید بیشتر است.در نتیجه تمام پارمترهای مورد بررسی در این تحقیق دارای معنای آماری و فیزیکی بر روی خروجی فرآیند (استحکام کششی) هستند. در شکل ۴ تاثیر پارامترها در فرآیند به صورت نمودار میله‌ای نشان داده شده‌است.

---

[1] Analysis of Variance (ANOVA)

[2] Degree of Freedom

[3] Sum of Square (SeqSS)

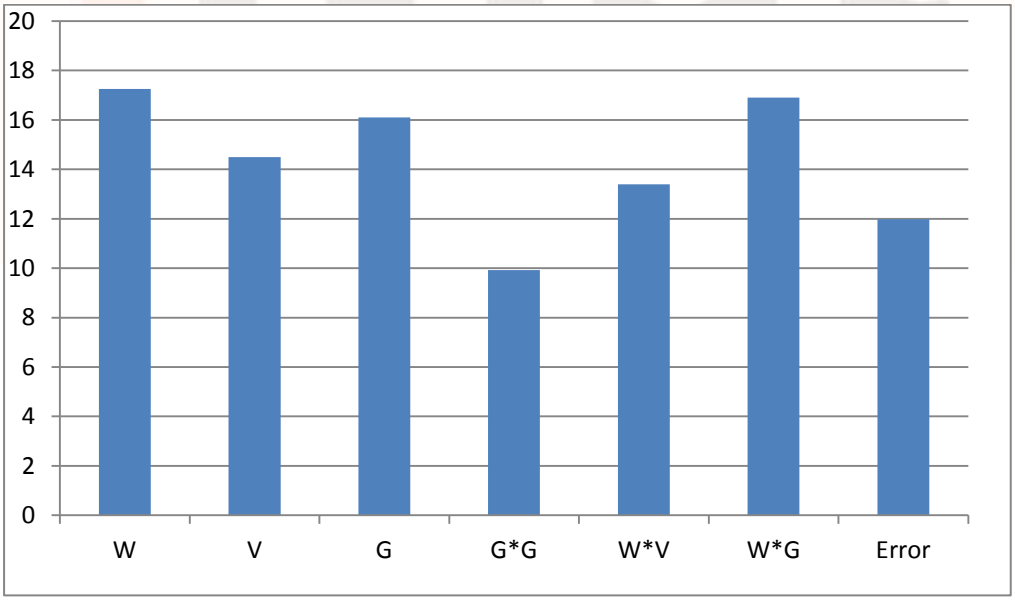
[4] Adjusted Sum of Square (AdjSS)

[5] Adjusted Mean of Square (AdjMS)

[6] Frequency Test

جدول ۵-تحلیل واریانس پارامترها در استحکام کششی

	DF	*Seq SS*	*Adj SS*	*Adj MS*	*F*	*P*	*%P*
Regression	*6*	*30496.1*	*30496.1*	*5082.7*	*63.460*	*0.0000000*	
W	*1*	*105.9*	*2989.9*	*2989.9*	*37.330*	*0.0000031*	***17.25***
V	*1*	*5361.8*	*4958.6*	*4958.6*	*61.912*	*0.0000001*	***14.5***
G	*1*	*2406.3*	*10450.3*	*10450.3*	*130.478*	*0.0000000*	***16.1***
*G*G*	*1*	*13990.0*	*18664.8*	*18664.8*	*233.041*	*0.0000000*	***9.93***
*W*V*	*1*	*7556.5*	*7810.5*	*7810.5*	*97.518*	*0.0000000*	***13.4***
*W*G*	*1*	*1075.6*	*1075.6*	*1075.6*	*13.429*	*0.0012887*	***16.9***
Error	*23*	*1842.1*	*1842.1*	*80.1*			***11.98***
Total	*29*	*32338.3*					



شکل ۴-نمودار میله‌ای درصد تاثیر پارامترها در فرآیند

تحلیل نسبت سیگنال به نویز (Signal to Noise ratio)

در روش تاگوچی فاکتورها یا متغیرهای فرآیند به دو گروه فاکتورهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند.عوامل کنترلی[1]آن دسته از عواملی هستند که کنترل آنها به راحتی امکان‌پذیر بوده و به منظور انتخاب بهترین شرایط در طراحی فرآیندهای ساخت به کار می‌روند.به عنوان مثال سرعت دورانی، سرعت پیشروی و هندسه ابزار در فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به عنوان عوامل کنترلی در نظر گرفته می‌شوند. متغیرهای غیرکنترلی[2] تمام عواملی هستند که باعث ایجاد تغییرات می‌شوند، اما به دلیل اینکه کنترل آنها مشکل است یا شناخت کافی از آنها وجود ندارد، بر حسب مورد، ثابت در نظر گرفته می‌شوند.به عنوان مثال در فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، ارتعاشات دستگاه، دما، رطوبت و سایر شرایط محیطی عوامل غیرکنترلی محسوب می‌شوند.نسبت سیگنال به نویز نشان دهنده‌ی حساسیت مشخصه مورد بررسی به فاکتورهای ورودی در یک فرآیند کنترل شده می‌باشد(روی، ۱۹۹۰).شرایط بهینه با تعیین تاثیر هریک از فاکتورهای ورودی بر روی مشخصه خروجی شناسایی می‌شود.از نقطه نظر مشخصه‌ی خروجی فرآیند، آن را می‌توان به سه دسته‌ی هرچه کمتر، بهتر[3]، هرچه به مقدار اسمی نزدیکتر، بهتر[4] و هرچه بزرگتر، بهتر[5] تقسیم بندی نمود.به عنوان مثال برای یک قطعه ماشینکاری شده میزان ناصافی سطوح در گروه اول، ابعاد و تلرانس‌ها در گروهدوم و عمر مفید آن در دسته‌ی سوم قرار می‌گیرند. تاگوچی برای محاسبه سیگنال به نویز بر حسب اینکه مشخصه‌ی مورد نظر جزء کدام یک از سه گروه فوق باشد، روابط مختلفی ارائه کرده‌است، اما به طور کلی در هر آزمایش همواره بالاترین مقدار (S/N) مطلوب است.مقادیر بالای (S/N) نشان‌دهنده این است که اثر پارامترهای قابل کنترل بیشتر از اثر پارامترهای غیرقابل کنترل است.خروجی اندازه‌گیری شده در این تحقیق استحکام کششی است که در گروه هرچه بزرگتر، بهتر قرار می‌گیرد. بنابراین از رابطه زیر برای محاسبه نسبت سیگنال به نویز استفاده می‌شود:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right) \qquad (۲)$$

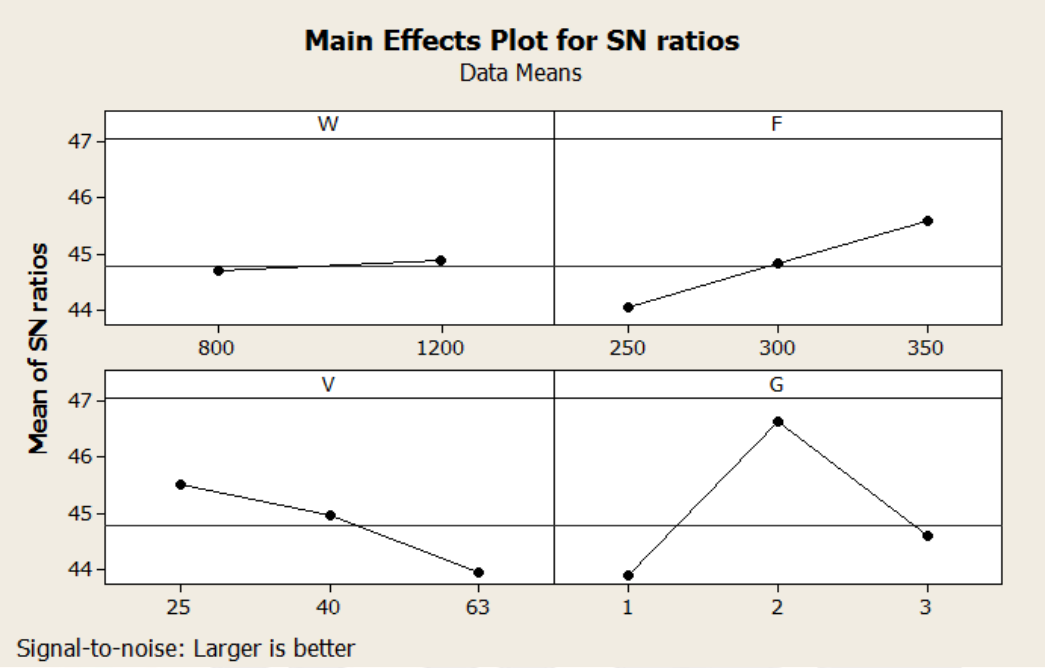
[1]Signal Factor

[2] Noise factor

[3]Smaller the Better

[4]Nominal the Best

[5]Larger the Better



شکل ۲- نمودار تاثیر اصلی سیگنال به نویز در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

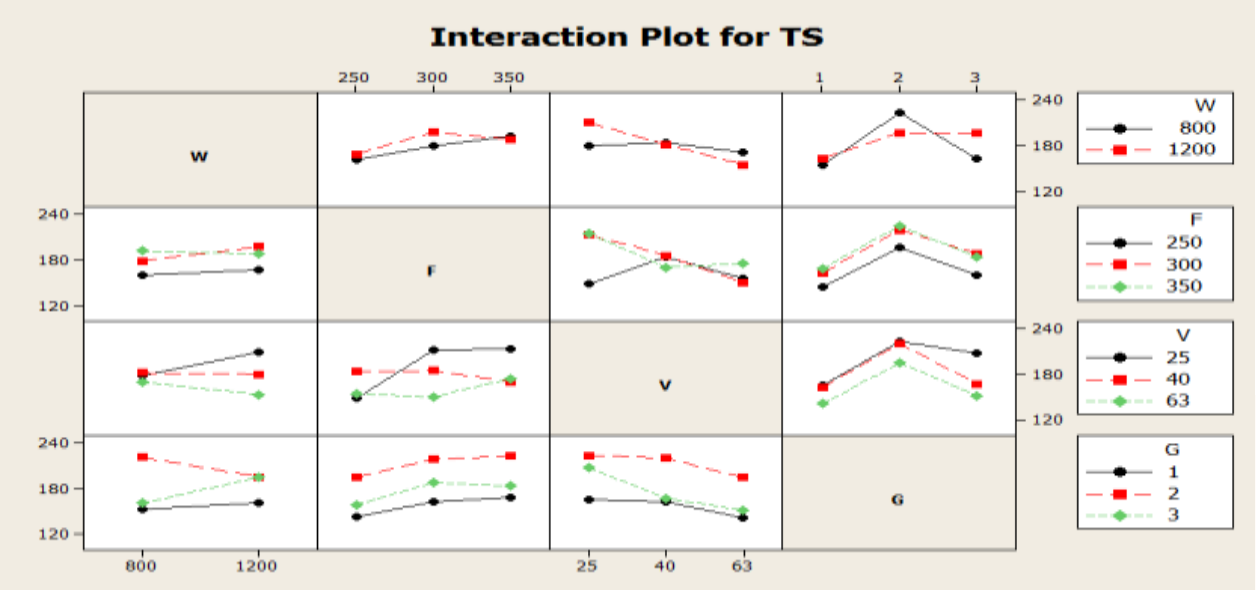
در رابطه‌ی فوق n تکرار هر آزمایش و γ_iمقدار iامین خروجی اندازه‌گیری شده است. این نسبت برای هر ۳۶ آزمایش با رابطه ۲ محاسبه شده و در جدول ۴ موجود است. در شکل ۳ نمودار سیگنال به نویز برای ۴ پارامتر اصلی فرآیند نشان داده شده‌است.

با توجه به نمودار بالا می‌توان ترکیب پارامتری برای حصول خروجی بیشینه را مشخص کرد.همانگونه که مشخص می‌باشد سرعت دورانی (W) در سطح دوم خود یعنی ۱۲۰۰ rpm، نیروی عمودی (F) در سطح سوم یعنی ۳۵۰ kg، سرعت پیشروی در سطح ابتدایی خود یعنی ۲۵ mm/minو نهایتا هندسه ابزار (G) در سطح میانی یعنی ۲ (ابزار مربعی) منجر به حصول خروجی بیشینه می‌گردد پس می‌توان ترکیب پارامتری بهینه را اینگونه مشخص کرد: $W_{1200}F_{350}V_{25}G_2$

بررسی اثر متقابل پارامترهای تنظیمی بر استحکام کششی

تاثیر متقابل پارامترهای ورودی در شکل ۲ نشان داده شده‌است. با استفاده از این نمودارها می‌توان تاثیر متقابل پارامترها بر یکدیگر را بررسی کرد.به عنوان مثال با ثابت ماندن یکی از پارامترها می‌توان تغییرات خروجی نسبت به هریک از پارامترهای دیگر را مورد بررسی قرار داد. این شکل شامل چهار ردیف است که در هر ردیف اثر متقابل هریک از پارامترها با سه پارامتر دیگر گنجانده شده‌است(کلاهان، منوچهری، حسینی، ۱۳۹۱).به عنوان مثال در ردیف اول اثر متقابل سرعت دورانی ابزار (W) با سرعت پیشروی (V)،نیروی عمودی (F) و هندسه ابزار (G) نشان داده شده‌است.محور عمودی بیانگر میزان استحکام کششی (TS) بر حسب MPa و محور افقی، سطوح هریک از پارامترها را نشان می‌دهد.با استفاده از این نمودار می‌توان ترکیب پارامتری دوگانه بین پارامترهای مختلف فرآیند را یافت.به عنوان مثال با توجه به شکل ۴ در اثر متقابل سرعت زاویه‌ای (W)

نسبت به هندسه ابزار (G)،در سطح دوم هندسه ابزار (ابزار مربعی) و سطح ابتدایی سرعت دورانی (۸۰۰rpm)مقدار بیشینه استحکام کششی حاصل می‌شود.



شکل ۳-نمودار برهمکنش پارامترهای فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

نتیجه گیری

در اتصالات جوشکاری با روش‌های مختلف، استحکام یکی از معیارهای مهم کیفی محسوب می‌شود. در جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی استحکام اتصالات جوشکاری شده وابسته به پارامترهای جوشکاری و هندسه ابزار می‌باشد بنابراین برای دستیابی به اتصال با استحکام بالا، پارامترهای فرآیند باید به طور همزمان بر روی مقادیر مناسب تنظیم شوند.در این مطالعه، اثرات همزمان پارامترهای جوشکاری بر روی استحکام اتصال قطعات جوشکاری شده از جنس آلومینیوم ۵۰۵۲ بررسی شده‌است.در این خصوص از روش تاگوچی برای طراحی آزمایش‌ها و تعیین سطوح بهینه پارامترها و از تحلیل واریانس برای اثبات معنادار بودن تاثیر پارامترها بر روی خروجی استفاده شده‌است.نتایج تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد تمامی پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق دارای تاثیرات معنادار بر استحکام کششی اتصال می‌باشند.همانگونه که در نمودار برهمکنش مشخص شده سرعت دورانی بالا و سرعت پیشروی کم و استفاده از ابزارهایی با هندسه مناسب (ابزارهای گوشه دار روی اختلاط و جریان مواد پیرامون ابزار تاثیر مثبت دارد) که در این تحقیق ابزار مربعی است می‌تواند منجر به اتصالی با استحکام بالا گردد. همچنین به کمک تحلیل سیگنال به نویز که بر روی نتایج آزمایش‌های عملی انجام پذیرفت، سطوح بهینه پارامترهای جوشکاری برای ماده مورد بررسی تعیین شد.در همین راستا با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA)،میزان تاثیر هریک از پارامترها در خروجی فرآیند جوشکاری مورد ارزیابی قرار گرفت.همانگونه که مشاهده می‌شود سرعت دورانی ابزار (W)و هندسه ابزار (G) بیشترین درصد تاثیر در این فرآیند را دارند.

منابع

A.K.Jha, S.V.S.N.Murty, V.Diwakara, K.Sree Kumar,(2003)," Metallurgical analysis of cracking in weldment of propellant tank", Engineering Failure Analysis, 10 (3) pp. 265-273.

G.Huang, S.Kouc,May 2000," Partially melted zone in aluminium welds- liquation mechanism and directional solidification", welding research, supplement, ,pp. 113-120.

W.M.Thomas,E.D.Nicholas, J.C.Needham, M.G.Murch, P.Templesmith, C.J.Dawes,1993, International patent application NPCT/GB92/02203,.

T.Dickerson, Q.Shi, H.R.Shercliff,14-16 May 2003," Heat flow into friction stir welding tools",4th international symposium on friction stir welding , Park City, Utah, USA.

J.Adamowski, M.Szkodo,January-February 2007," Friction stir welding of Aluminum alloy AW 6082-T6", Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 20 Issues 1-2,.

Yong.Jai KWON, Seong.Beom.SHIM, Dong.Hwan PARK,(2009)," Friction stir welding of 5052 Aluminium alloy plates", Tran. Nonferrous Met. Soc. China 19 Pp. 23-27.

R.Palanivel, P.Koshy Mathews,(2010)," The tensile behavior of friction stir welded dissimilar aluminum alloys", UDK,professional articles/Strokovniclanek.

N.T.Kumbhar, S.K.Sahoo, I.Samajdar, G.K.Dey, K.Bhanumurthy,(2011)," microstructure and microtextural studies of friction stir welded aluminium alloy 5052", Material and Design 32 pp.1657-1666.

A.K.Lakshminarayanan, V.Balasubramanian,(2008)," process parameters optimization for friction stir welding of RDE-40 Aluminium alloy using Taguchi technique", Trans. Nonferrous Met. Soc. China 18 pp.548-554.

Saad Ahmed Khodir, Toshiya Shibayangi, Masaaki Naka,(2006)," microstructure and mechanical properties of friction stir welded AA2024-T3 aluminium alloy", Materials Transaction, Vol. 47, No. 1 pp. 185 to 193.

Roy, R,K,(1990). " A primer on the Taguchi method", New York, Van Nostrand Reinhold.

Muthukrishnana, N.andDavim, P.D.(2009), " optimization machining parameters of Al/SiC-MMC with ANOVA and ANN Analysis " , Journal of materials processing technology , Vol. 209, pp. 225-232 .

فرهاد کلاهان، محسن منوچهری، عباس حسینی، بهینه‌سازی همزمان پارامترهای ماشینکاری و هندسه ابزار در عملیات تراشکاری فولاد AISI1045، نشریه علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک، سال بیست و سوم، شماره دو، ۱۳۹۱

iMat
Conference 2014