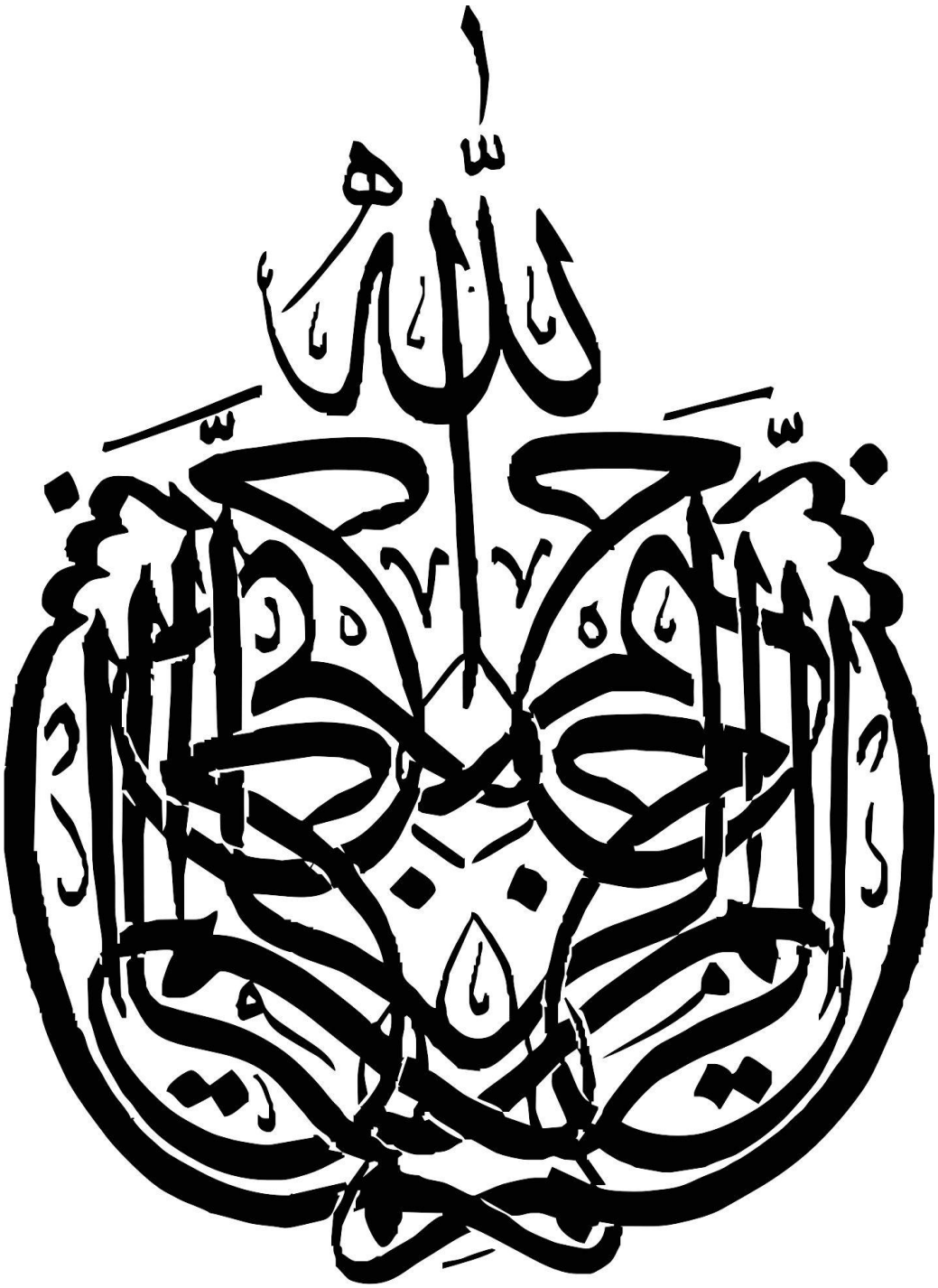

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن – گاز آلیاژ آلومینیوم ۵۲۵۱ به روش تاگوچی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد- جوشکاری

علیرضا احمدی

اساتید راهنما

دکتر مرتضی شمعانیان

دکتر مسعود عطاپور

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد جوشکاری آقای علیرضا احمدی خسروآبادی

تحت عنوان

بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن – گاز آلیاژ آلومینیوم ۵۲۵۱ به روش تاگوچی

در تاریخ ۱۳۹۲/۰۸/۲۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای اول پایان نامه	دکتر مرتضی شمعانیان
۲-استاد راهنمای دوم پایان نامه	دکتر مسعود عطاپور
۳-استاد داور	دکتر احمد منشی
۴-استاد داور	دکتر علی اشرفی
۵-سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر کیوان رئیسی

سپاس از تمامی کسانی که مرا در انجام این پروژه یاری رساندند.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه رساله متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است

تقدیم به پدر و مادرم

فهرست مطاب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ....هشت
چکیده.....۱

۱. فصل اول: مقدمه ۱

۲. فصل دوم: مروری بر منابع ۵

۲-۱. معرفی آلیاژهای آلومینیوم..... ۵
۲-۱-۱.آلیاژهای آلومینیوم کار شده..... ۶
۲-۱-۲.تقسیم‌بندی نوع عملیات جهت افزایش خواص مکانیکی..... ۷
۲-۱-۳.آلیاژ آلومینیوم – منیزیم (سری ۵XXX)..... ۸
۲-۲. جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم ۹
۲-۲-۱.جوشکاری قوس تنگستن-گاز ۱۱
۲-۳. خوردگی آلیاژهای آلومینیوم ۵XXX جوشکاری شده ۱۶
۲-۳-۱.خوردگی تنشی ۱۷
۲-۳-۲.خوردگی بین‌دانه‌ای ۱۸
۲-۳-۳.خوردگی حفره‌ای ۱۸
۲-۳-۴.آزمون‌های قابل انجام بر روی آلیاژهای آلومینیوم جوشکاری شده ۱۹
۲-۴. مروری بر تحقیقات انجام شده ۲۱
۲-۴-۱. تاثیر پارامترهای مختلف بر روی شکل ظاهری جوش ۲۱
۲-۴-۲. تاثیر پارامترهای مختلف بر روی مقاومت به خوردگی جوش ۲۷
۲-۴-۳.تاثیر پارامترهای مختلف بر روی خواص مکانیکی جوش ۳۱
۲-۵. جمع بندی مرور مطالعاتی و هدف تحقیق حاضر ۳۴

۳. فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۳۵

۳-۱. مواد مصرفی ۳۵
۳-۲. فرایند جوشکاری قوس تنگستن-گاز آلیاژ آلومینیوم AA۵۲۵۱ ..... ۳۶
۳-۳. متغیرهای استفاده شده و طراحی آزمایش در این تحقیق ۳۶
۳-۴. آزمون‌های انجام گرفته..... ۳۸
۳-۴-۱.بررسی خواص ظاهری قطعات جوشکاری شده ۳۸

۳-۴-۲.آزمون‌های خواص مکانیکی ۴۰
۳-۴-۳.آزمون‌های خوردگی..... ۴۰
۴. فصل چهارم: نتایج وبحث ۴۱
۴-۱. بررسی‌های ریزساختاری ۴۱
۴-۱-۱.بررسی ریزساختاری فلز پایه ۴۱
۴-۱-۲.بررسی ریز ساختاری منطقه‌ی متاثر از حرارت ۴۲
۴-۱-۳.بررسی ریزساختاری فلز جوش ۴۳
۴-۲. بررسی خواص ظاهری فلز جوش..... ۵۰
۴-۲-۱.تحلیل نتایج برای عمق جوش ۵۱
۴-۲-۲.پهنای جوش..... ۵۲
۴-۲-۳. بحث در مورد نتایج مربوط به خواص ظاهری جوش ۵۴
۴-۳. بررسی خواص مکانیکی فلز جوش..... ۵۷
۴-۳-۱.آزمون ریز سختی سنجی ۵۷
۴-۳-۲. آزمون پانچ برشی..... ۶۴
۴-۳-۳. آزمون کشش ۷۰
۴-۳-۴.تعیین حالت بهینه برای خواص مکانیکی ۸۳
۴-۴. بررسی مقاومت به خوردگی فلز جوش ۸۴
۴-۴-۱.پیش‌بینی حالت بهینه با استفاده از نسبت میانگین ۸۸
۴-۴-۲.پیش‌بینی حالت بهینه با استفاده از نسبت سیگنال به نویز ۸۸
۴-۴-۳.تحلیل نتایج با استفاده از آنالیز واریانس ۸۹
۴-۴-۴.بحث در مورد نتایج آزمایش خوردگی ۹۰
۵. فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۵
۶. پیوست ۹۸
۷.مراجع..... ۱۲۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱.دیاگرام فازی آلومینیوم- منیزیم ۸
شکل۲-۲. رابطه‌ی بین درصد منیزم و خواص مکانیکی ۹
شکل۲-۳. چگونگی تغییر ولتاژ بین کاتد وآند ۱۲
شکل۲-۴. مناطق دوگانه‌ی مجاور کاتد. ۱۲
شکل۲-۵. چگونگی تبخیر شدن فلز غیر ترمویونی ۱۴
شکل۲-۶. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از لایه‌ی اکسیدی آلومینیوم..... ۱۵
شکل۲-۷. چگونگی شکست لایه‌ی اکسیدی (A) قبل از برخورد (B) بعد از برخورد..... ۱۷
شکل۲-۸.شماتیکی از چگونگی انجام آزمون پانچ برشی..... ۲۰
شکل۲-۹. نمونه‌ای منحنی تنش برشی- جابه‌جایی برای آلومینیوم..... ۲۱
شکل۲-۱۰.نمایی از الکترود (A) نیم‌سیکل منفی (B) نیم‌سیکل مثبت..... ۲۲
شکل۲-۱۱. تصویر قوس در سیکل‌های مختلف قوس ۲۲
شکل۲-۱۲.تصویر میکروسکوپ الکترونی از آلومینیومی که تحت تمیزکاری بوسیله‌ی قوس قرار گرفته..... ۲۴
شکل۲-۱۳.سرعت تشکیل منطقه‌ای تحت تمیزکاری ناشی از قوس در سه آمپر مختلف..... ۲۴
شکل۲-۱۴. سرعت تشکیل منطقه‌ای تحت تمیزکاری ناشی از قوس در سه درصد سیکل مثبت مختلف [۱۶]..... ۲۵
شکل۲-۱۵. سرعت تشکیل منطقه‌ای تحت تمیزکاری ناشی از قوس در سه فرکانس مختلف [۱۶]. ۲۵
شکل ۲-۱۶. رابطه‌ی بین درصد سیکل مثبت با پهنای جوش [۳۰]. ۲۶
شکل۲-۱۷. رابطه‌ی بین درصد سیکل مثبت و عمق نفوذ [۳۰]. ۲۷
شکل ۲-۱۸.تاثیر فرکانس بر عمق جوش و پهنای جوش [۳۰]. ۲۷
شکل۲-۱۹. پارامترهای قابل تغییر در جوشکاری پالسی[۳۳]. ۲۸
شکل۲-۲۰.تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آزمایش هفتم راستکردار و همکارانش (a) فلز جوش (b) منطقه‌ی متاثر از حرارت (c) فلز پایه [۳۳]. ۳۱
شکل۴-۱.تصویر ریز ساختار فلز پایه (الف) بزرگنمایی ۱۰۰ برابر، (ب) بزرگنمایی ۲۰۰برابر، (ج) بزرگنمایی ۵۰۰ برابر..... ۴۱
شکل۴-۲.آزمون پراش پرتو ایکس نمونه‌ی شاهد..... ۴۲
شکل۴-۳. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از منطقه‌ی متاثر از حرارت..... ۴۲
شکل۴-۴.تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از منطقه‌ی متاثر از حرارت..... ۴۳
شکل۴-۵.تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از منطقه‌ی جوش..... ۴۴
شکل۴-۶. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از منطقه‌ی جوش..... ۴۴

شکل ۴-۷.نتایج ریزساختار نمونه‌ی اول. (الف) و (ب) سطح مقطع جوش، (ج) الگوی پراش پرتو ایکس.....۴۵
شکل ۴-۸. نتایج ریزساختار نمونه‌ی دوم. (الف) و (ب) سطح مقطع جوش، (ج) سطح روی جوش، (د) الگوی پراش پرتو ایکس.....۴۵
شکل ۴-۹.نتایج ریزساختاری نمونه‌ی سوم. (الف) و (ب) سطح مقطع جوش، (ج) سطح روی جوش، (د) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۶
شکل۴-۱۰.نتایج ریزساختار نمونه‌ی چهارم. (الف) و (ب) سطح مقطع جوش، (ج) سطح روی جوش، (د) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۶
شکل ۴-.۱۱. نمونه‌ی پنجم. (الف) سطح مقطع جوش، (ب) سطح مقطع منطقه‌ی متاثر از حرارت ، (ج) سطح روی جوش، (د) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۷
شکل ۴-۱۲. نتایج ریزساختار نمونه‌ی ششم. (الف) سطح مقطع جوش، (ب) سطح روی جوش (ج) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۷
شکل۴-۱۳. نتایج ریزساختار نمونه‌ی هفتم. (الف) و (ب) سطح روی جوش، (ج) سطح مقطع جوش (د) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۸
شکل۴-۱۴.نتایج ریزساختار نمونه‌ی هشتم. (الف) سطح مقطع جوش، (ب) سطح روی جوش (ج) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۸
شکل۴-۱۵. نتایج ریزساختار نمونه‌ی نهم. (الف) سطح مقطع جوش، (ب) سطح روی جوش (ج) الگوی پراش پرتو ایکس. ۴۹
شکل ۴-۱۶. (الف) پهنای جوش (ب) عمق نفوذ. ۵۱
شکل ۴-۱۷. میانگین هر سطح برای پارامترهای مختلف به‌همراه میانگین کل نتایج برای عمق نفوذ.....۵۴
شکل ۴-۱۸. میانگین هر سطح برای پارامترهای مختلف بهمراه میانگین کل نتایج برای پهنای جوش.....۵۵
شکل۴-۱۹. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۱.....۵۷
شکل۴-۲۰. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۲.....۵۷
شکل۴-۲۱. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۳.....۵۸
شکل۴-۲۲. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۴.....۵۸
شکل۴-۲۳. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۵.....۵۸
شکل۴-۲۴. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۶.....۵۹
شکل۴-۲۵. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۷.....۵۹
شکل۴-۲۶. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۸.....۵۹
شکل۴-۲۷. نمودار ریزسختی فلز جوش نمونه‌ی ۹.....۶۰
شکل ۴-۲۸. نمودار رفتار ریزسختی تحت پارامترهای مختلف در سطوح مختلف به‌همراه میانگین کل نتایج.....۶۲

شکل۴-۲۹. نتایج آزمون برش نمونه‌ی خام.....۶۴
شکل۴-۳۰. نتایج آزمون برش نمونه‌ی اول.....۶۵
شکل۴-۳۱. نتایج آزمون برش نمونه‌ی دوم.....۶۵
شکل۴-۳۲. نتایج آزمون برش نمونه‌ی سوم.....۶۵
شکل۴-۳۳. نتایج آزمون برش نمونه‌ی چهارم.....۶۶
شکل۴-۳۴. نتایج آزمون برش نمونه‌ی پنجم.....۶۶
شکل۴-۳۵. نتایج آزمون برش نمونه‌ی ششم. ۶۶
شکل۴-۳۶. نتایج آزمون برش نمونه‌ی هفتم.....۶۷
شکل۴-۳۷. نتایج آزمون برش نمونه‌ی هشتم. ۶۷
شکل۴-۳۸. نتایج آزمون برش نمونه‌ی نهم.....۶۷
شکل ۴-۳۹ نمودار رفتاراستحکام برشی تحت پارامترهای مختلف در سطوح مختلف به‌همراه میانگین کل نتایج....۶۹
شکل۴-۴۰. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی خام.....۷۱
شکل۴-۴۱. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی اول.....۷۱
شکل۴-۴۲. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی دوم.....۷۱
شکل۴-۴۳. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی سوم.....۷۲
شکل۴-۴۴. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی چهارم.....۷۲
شکل۴-۴۵. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی پنجم.....۷۲
شکل۴-۴۶. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی ششم.....۷۳
شکل۴-۴۷. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی هفتم.....۷۳
شکل۴-۴۸. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی هشتم.....۷۳
شکل۴-۴۹. نتایج آزمون کشش نمونه‌ی نهم.....۷۴
شکل ۴-۵۰ (الف) سطح مقطع شکست سطح سفید رنگ (ب)سطح سیاه رنگ.....۷۵
شکل ۴-۵۱. آنالیز عنصری منطقه‌ی سیاه رنگ.....۷۶
شکل ۴-۵۲. آنالیز عنصری منطقه‌ی سفید رنگ.....۷۶
شکل ۴-۵۳ (الف) سطح مقطع شکست فلز پایه (ب) سطح مقطع فلز جوش.....۷۷
شکل۴-۵۴. میانگین نتایج استحکام کششی برای پارامترهای مختلف در سطوح مختلف به‌همراه میانگین کل. ۷۸
شکل۴-۵۵. نمودار رفتار خوردگی فلز پایه.....۸۷
شکل۴-۵۶. نمودار رفتار خوردگی آزمایشاول.....۸۴
شکل۴-۵۷. نمودار رفتار خوردگی آزمایش دوم.....۸۴
شکل۴-۵۸. نمودار رفتار خوردگی آزمایش سوم.....۸۵

شکل۴-۵۹. نمودار رفتار خوردگی آزمایش چهارم.....۸۵
شکل۴-۶۰. نمودار رفتار خوردگی آزمایش پنجم.....۸۵
شکل۴-۶۱. نمودار رفتار خوردگی آزمایش ششم.....۸۶
شکل۴-۶۲. نمودار رفتار خوردگی آزمایش هفتم.....۸۶
شکل۴-۶۳. نمودار رفتار خوردگی آزمایش هشت.....۸۶
شکل۴-۶۴. نمودار رفتار خوردگی آزمایش نهم.....۸۷
شکل ۴-۶۵. مقایسه رفتار خوردگی فلز پایه با فلز جوشکاری شده (آبی رنگ فلز پایه و قرمز رنگ فلز جوش)...۹۰
شکل ۴-۶۶.شماتیک توزیع رسوبات (الف) فلز جوش (ب) فلز پایه.....۹۲
شکل ۴-۶۷. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی فلز پایه غوطه‌ور شده در محلول NaCl٪ ۳/۵.....۹۲
شکل ۴-۶۸. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی فلز جوش غوطه‌ور شده در محلول NaCl٪ ۳/۵.....۹۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ پارامترهای استفاده شده در تحقیق صرافی و همکارانش. ۲۱
جدول ۲-۲.پارامترهای تغییر داده شده‌ی در تحقیق راستکردار و همکارانش..... ۲۸
جدول۲-۳ نتایج بدست آمده در تحقیق راستکردار و همکارانش ۳۰
جدول۲-۴ .پیش‌بینی روش تاگوچی در تحقیق راستکردار و همکارانش ۳۱
جدول ۲-۵.تاثیر هریک از پارامترهای تحقیق راستکردار و همکارانش..... ۳۲
جدول ۲-۶. پارامترهای وسطوح تحقیق کومار و همکارانش..... ۳۲
جدول ۳-۱ آنالیز ورق استفاده شده در این تحقیق ۳۵
جدول۳-۲.خواص مکانیکی آلیاژ AA۵۲۵۱-H۲۴. ..... ۳۵
جدول ۳-۴ .پارامترهای استفاده شده در این تحقیق. ۳۶
جدول ۳-۵.آرایه L۹ تاگوچی..... ۳۷
جدول ۳-۶. نه آزمایش استفاده شده در این تحقیق. ۳۸
جدول ۳-۷ محلول اچ بکاررفته در این تحقیق. ۳۹
جدول ۴-۱ .نتایج آنالیز عنصری رسوبات سیاه رنگ..... ۴۴
جدول۴-۲. نتایج خواص ظاهری فلز جوش. ۵۰
جدول ۴-۳. تحلیل داده‌ها با استفاده از نسبت میانگین. ۵۱
جدول ۴-۴ . تحلیل داده‌ها با استفاده از نسبت سیگنال به نویز. ۵۲
جدول۴-۵. تحلیل نتایج با استفاده از آنالیز واریانس..... ۵۲
جدول۴-۶. تحلیل داده‌ها با استفاده از نسبت میانگین..... ۵۳
جدول۴-۷. نتایج مربوط به بررسی نسبت سیگنال به نویز..... ۵۳
جدول ۴-۸.تحلیل نتایج پهنای جوش به روش آنالیز واریانس. ۵۳
جدول۴-۹. نتایج ریز سختی برای ۹ حالت آزمایش..... ۶۱
جدول ۴-۱۰. میانگین ریزسختی سطوح مختلف برای پارامترهای مختلف. ۶۲
جدول ۴-۱۱. نتایج بدست آمده برای نسبت سیگنال به نویز برای پروفیل ریزسختی..... ۶۳
جدول۴-۱۲. نتایج حاصل از تحلیل آنالیز واریانس. ۶۳
جدول ۴-۱۳. نتایج مربوط به استحکام برشی. ۶۸
جدول ۴-۱۴.میانگین استحکام برشی سطوح مختلف برای پارامترهای مختلف..... ۶۸
جدول ۴-۱۵. نتایج بدست آمده برای نسبت سیگنال به نویز برای استحکام برشی. ۶۹

جدول ۴-۱۶.آنالیز واریانس مربوط به استحکام برشی. ۷۰
جدول ۴-۱۷. نتایج آزمون کشش. ۷۴
جدول۴-۱۸. درصد عناصر مناطق سیاه و سفید رنگ..... ۷۵
جدول ۴-۱۹ میانگین پارامترها ی مختلف در سطوح مختلف. ۷۸
جدول۴-۲۰. نتایج مربوط به نسبت سیگنال به نویز. ۷۹
جدول ۴-۲۱.نتایج مربوط به آنالیز واریانس برای درصد استحکام کششی. ۸۱
جدول ۴-۲۲ نتایج مربوط به حالت بهینه در سه آزمایش خواص مکانیکی. ۸۳
جدول ۴-۲۳. نتایج مربوط به رفتار خوردگی ۹ حالت جوشکاری شده و فلز پایه..... ۸۷
جدول ۴-۲۴. نتایج میانگین رفتار خوردگی برای سطوح مختلف پارامترهای چهارگانه..... ۸۸
جدول ۴-۲۵. نتایج میانگین رفتار خوردگی برای سطوح مختلف پارامترهای چهارگانه..... ۸۹
جدول ۴-۲۶. میزان مشارکت هریک از چهار پارامتر بر روی توابع خوردگی. ۸۹
جدول ۴-۲۷. نتایج مربوط به حالت بهینه در رفتار خوردگی. ۹۳

چکیده

در این تحقیق ورق آلیاژ آلومینیوم AA۵۲۵۱ به ضخامت ۳/۵ میلی‌متر، توسط فرآیند جوشکاری قوس تنگستن-گاز، با استفاده از جریان متناوب و با فلز پرکننده‌ی ER۵۳۵۶ جوشکاری شد. پارامترهای قطر تنگستن، فرکانس، درصد سیکل مثبت و جریان تغییر داده شد. قطر تنگستن دارای دو سطح و سه پارامتر دیگر دارای سه سطح بود. نمونه‌های جوش از لحاظ خواص ظاهری، خواص مکانیکی و خواص خوردگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمون ظاهری شامل عمق جوش و پهنای جوش، آزمون خوردگی صرفا شامل آزمون خوردگی سیکلی، آزمون‌های مکانیکی شامل آزمون ریز سختی، آزمون پانچ برشی و آزمون کشش بود. به منظور تعیین حالت بهینه و تاثیر هریک از پارامترها بر روی آزمون‌های انجام گرفته، از طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده شد. جهت کاهش تعداد آزمایش‌ها از آرایه‌ی متعامد L۹ استفاده شد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، آنالیزعنصری (EDX)، آزمون پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ نوری ریزساختار فلز جوش، فلز پایه و منطقه‌ی متاثر از حرارت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به درصد بالای منیزیم و همچنین ساختار ریختگی منطقه‌ی جوش، رسوبات بسیار درشتی در فلز جوش تشکیل شد. وجود این رسوبات باعث افت خواص خوردگی فلز جوش نسبت به فلز پایه شد. در بررسی آزمون ظاهری مشخص شد که درصد سیکل مثبت بر روی پهنای جوش و جریان بر روی عمق جوش تاثیرگذار است. حالت بهینه برای خواص ظاهری وقتی حاصل شد که جریان و درصد سیکل مثبت در سطح زیاد خود باشد. در مورد ریزسختی، جریان، در مورد استحکام برشی و استحکام کششی درصد سیکل مثبت فاکتورهای بسیار موثری بودند. در مورد خواص مکانیکی قطر تنگستن عملا تاثیر مهمی نداشت. در مورد استحکام برشی حالت بهینه، در سطح متوسط جریان و سطح بالای درصد قطب مثبت حاصل شد. در مورد استحکام کششی، حالت بهینه در جریان و درصد سیکل مثبت بالا حاصل شد. در مورد ریزسختی حالت بهینه در جریان‌های کم و درصدهای سیکل مثبت بالا حاصل شد. فرکانس بر روی خواص مکانیکی تاثیر چندانی نداشت منتهی برای ریزسختی حالت بهینه در فرکانس‌های کم، برای استحکام برشی و استحکام کششی حالت بهینه در فرکانس‌های بالا حاصل شد. در مورد خواص خوردگی، فرکانس پارامتر بسیار مهمی بود و حالت بهینه در فرکانس‌های بالا، جریان کم و درصدهای سیکل مثبت بالا حاصل شد.

کلمات کلیدی: جوشکاری تنگستن-گاز، فرکانس، درصد سیکل مثبت، طراحی آزمایش، خواص مکانیکی، خواص خوردگی

فصل اول

مقدمه

آلومینیوم به عنوان دومین فلز از نظر فراوانی بر روی کره زمین، از اواخر قرن نوزدهم تاکنون به عنوان یک ماده رقابت پذیر در عرصه مواد مهندسی شناخته می‌شود. از جمله خواص ایده‌آل این عنصر می‌توان به وزن مخصوص کم، نسبت استحکام به وزن بالا، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، قابلیت انعکاس نور و حرارت، غیرمغناطیس بودن شکل‌پذیری با روش‌های مختلف، استحکام بالا در درجه حرارت‌های پایین و آلیاژ پذیربودن با اغلب عناصر اشاره نمود.

از جمله روش‌های جوشکاری آلومینیوم می‌توان به روش‌هایی نظیر قوس تنگستن-گاز، قوس فلز- گاز، قوس با الکترود دستی، جوشکاری زیر پودری جوشکاری حالت جامد و غیره اشاره نمود.

از جمله مشکلات جوشکاری آلومینیوم تخلخل ناشی از حل شدن گاز در جوش، تخلخل ناشی از حذف لایه‌ی اکسیدی نقطه ذوب پایین به‌همراه عدم تغییر رنگ قطعه در هنگام ذوب، نرم شدن آلیاژهای آلومینیوم که در اثر عملیات حرارتی سختی بالاتری پیداکرده اند،کاهش مقاومت به خوردگی آلومینیوم وآلیاژهای آن در منطقه مجاور خط جوش و ایجاد ترک در مناطق مجاور جوش اشاره نمود. با توجه به مشکلات گفته شده امروزه فرآیندهایی نظیر جوشکاری با الکترود دستی و یا زیرپودری به‌دلیل عدم تمیزی کافی کمتر استفاده می‌شود و در میان فرایندهای ذوبی تمایل بیشتر به‌سمت جوشکاری با قوس تنگستن-گاز و جوشکاری قوس فلز- گاز بیشتر می‌باشد. از جمله مزایای جوشکاری آلیاژ آلومینیوم توسط قوس تنگستن-گاز می‌توان بهایجاد جوش‌هایی با کیفیت بسیار خوب، ایجاد منطقه-ی متاثر از حرارت خیلی کوچک به دلیل تمرکز حرارتی بالا، عدم نیاز به هیچ‌گونه فلاکس و یا روانساز به دلیل تمیزکاری الکتریکی اشاره نمود.

از جمله پارامترهای دخیل در جوشکاری قوس تنگستن-گاز می‌توان به نوع جریان (جریان مستقیم و یا متناوب)، قطر تنگستن، میزان جریان نوع گاز و چگونگی اعمال جریان (پالسی و یا ساده) اشاره کرد.

تا کنون تحقیقات گسترده و جامعی در مورد اثر هریک از پارامترهای جوشکاری تنگستن-گاز بر روی شکل و اندازه ی حوضچه‌ی جوش و خواص مکانیکی جوش حاصله انجام شده است. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۷ یارماچ[۱] و همکارانش تاثیر پارامترهایی درصد الکترود مثبت و میزان فرکانس را بر روی عمق جوش و پهنای جوش بررسی و مشاهده کردند با افزایش درصد الکترود مثبت عمق جوش و پهنای جوش افزایش پیدا می‌کند و فرکانس بر روی میزان عمق جوش و پهنای جوش هیچ‌گونه تاثیری ندارد. در تحقیق دیگری که صرافی[۲] و همکارانش در سال ۲۰۱۰ بر روی چگونگی شکستن لایه‌ی اکسیدی جهت انجام جوشکاری انجام دادند به این نتیجه رسیدند که عواملی نظیر میزان جریان، فرکانس و درصد الکترود مثبت در هر سیکل از جمله عوامل بسیار مهم وحیاتی جهت جوشکاری آلومینیوم می‌باشد و درصد سیکل مثبت تاثیر به‌سزایی بر روی کیفیت جوش دارد..

در تحقیق دیگری که بالاسوبرامانیان[۳] و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بر روی تاثیر جریان پالسی به جای جریان ثابت بر روی آلیاژ آلومینیوم انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از جریان پالسی باعث کاهش حرارت ورودی به قطعه، یکنواخت‌تر شدن پروفیل دمایی در کل قطعه، افزایش استحکام کششی جوش و تغییر ریزساختار به‌سمت هم محور می‌شود.

از جمله ویژگی‌های بسیار مهم آلومینیوم سری ۵xxx می‌توان به مقاومت بسیار خوب از لحاظ خوردگی در محیط‌های دریایی اشاره نمود. بنابراین از دیگر ویژگی‌های بسیار مهم در جوشکاری این آلیاژ علاوه بر خواص مکانیکی مطلوب، مقاومت به خوردگی مطلوب در فلز جوش می‌باشد. خوردگی تنشی (SCC) و خوردگی بین دانه‌ای از جمله مهم‌ترین مباحث خوردگی می‌باشد که در آلومینیوم سری۵xxx احتمال وقوع‌اش وجود دارد. مهم‌ترین علت وقوع خوردگی بین‌دانه‌ای تشکیل فاز Al_2Mg_3 می‌باشد. این فاز معمولا در دماهای بالاتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌وجود می‌آید در فلز پایه به‌دلیل اینکه دما آن‌قدر بالا نرفته، احتمال تشکیل این فاز بسیار کم است و در مورد فلز جوش در صورتی که میزان منیزیم کم باشد به دلیل ذوب وانجماد و یکنواختی ساختار احتمال تشکیل این فاز بسیار کم می‌باشد و بنابراین این فاز در اکثر مواقع در منطقه‌ی HAZ بوجو می‌آید (در صورتی که میزان منیزیم در فلز جوش زیاد باشد احتمال وقوع خوردگی تنشی در فلز جوش نیز وجود دارد). علت وقوع خوردگی تنشی در حالت جوشکاری شده را به این مورد نسبت می‌دهند که با انجام جوشکاری در منطقه‌ی متاثر از حرارت فاز Al_2Mg_3 تشکیل شده و به دلیل اینکه تنش هم وجود دارد احتمال وقوع خوردگی تنشی بسیار بالا می‌باشد.

بهینه‌سازی فرایندها یکی از مهمترین فعالیت‌ها در صنعت رقابتی امروز است. هزینه‌ی بالای تحقیقات مستلزم توسعه‌ی روش‌های طراحی آزمایش است، که تعیین فاکتورهای موثر بر فرآیند را با حداقل تعداد آزمایش‌های ممکن را فراهم می‌سازد. شناخت مبانی آمار کاربردی و تحلیل‌های آماری متناسب با خروجی فرایند، اولین قدم استفاده از این

۱.Yarmuch
۲.Sarrafi
۳. Balasubramanian

روش‌ها می‌باشد. قدم بعدی به‌کارگیری طراحی صحیح آزمایش‌هایی می‌باشد که قادر به تحلیل پارامترهای موثر با حداقل آزمایش‌های ممکن باشد. روش‌های معمول انجام آزمایش‌ها، بررسی تغییرات پاسخ آزمایش با تغییر یک فاکتور و ثابت نگه داشتن بقیه‌ی پارامترها در مقدار مشخص و یافتن تاثیر آن پارامتر است. این روش دارای مشکلاتی نظیر افزایش هزینه‌ها، اتلاف وقت و سردرگمی می‌باشد. برای غلبه بر این مشکلات می‌توان از روش‌هایی همچون روش فاکتوریل جزئی، روش مرکب، مربعات لاتین و طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده نمود. در تفکر تاگوچی، ابتدا پارامترهای مورد مطالعه و سطوح و تغییرات آنها بر اساس نظر کارشناسانه‌ی محقق انتخاب می‌شود و بعد از انتخاب پارامترها، تعداد آزمایش‌ها که برابر درجه آزادی + ۱ می‌باشد انجام می شود (درجه آزادی یک آزمایش برابر مجموع درجه آزادی پارامترها می‌باشد و درجه آزادی هر پارامتر نیز برابر تعداد سطوح آن پارامتر منهای یک می باشد). بعد از انتخاب تعداد آزمایش‌ها، آزمایش‌ها با نظم وترتیب خاصی انجام می‌شود و پاسخ هر حالت آزمایشی ثبت می‌شود. بعد از انجام آزمایش با استفاده از روش‌های آماری نظیر نسبت سیگنال به نویز، تحلیل میانگین و آنالیز واریانسها می‌توان فاکتورهای موثر بر فرآیند و میزان تاثیر آنها را بدست آورد.تاکنون تحقیقات نسبتا کمی در مورد بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری تنگستن-گاز به روش تاگوچی انجام شده است که از آن‌جمله می‌توان به تاثیر استفاده از جریان پالسی در جوشکاری قوس تنگستن در آلومینیوم ۵۰۸۳ توسط راستکردار و همکارانش اشاره نمود. در تحقیق آنها مشاهده شد که جریان پیک، جریان زمینه، زمان اعمال پالس و فرکانس پالس به ترتیب ۷۳/۱۴۱، ۱۸/۶۱، ۰/۷۰۲ و ۲/۵۷۴ درصد بر روی نتایج آزمون پلاریزاسیون سیکلی تاثیر دارد.

آلیاژغیر قابل عملیات حرارتی آلومینیوم ۵۲۵۱ دارای ویژگی‌هایی نظیر استحکام متوسط، قابلیت جوشکاری خوب، مقاومت زیاد در برابر خوردگی درمحیط‌های دریایی می‌باشد.تاکنون تحقیقی در مورد جوشکاری این آلیاژ و بررسی خواص مکانیکی و خوردگی این آلیاژ انجام نشده است. هدف از این پژوهش بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری ورق‌های آلومینیوم۵۲۵۱ بوسیله‌ی فرایند تنگستن-گاز بود. قطر تنگستن، فرکانس، میزان جریان و درصد الکترود مثبت پارامترهای قابل تغییر در این پژوهش بودند. قطر تنگستن دارای دو سطح و سایر پارامترها در سه سطح بودند. در صورتی که از طراحی آزمایش انجام نمی‌گرفت باید۸۱ انجام می‌شد. با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی تعداد آزمایش‌ها به ۹ عدد تقلیل داده شد و پس از انجام آزمایش تاثیر هریک از پارامترهای فوق بر روی استحکام کششی، ریز ساختار، ریز سختی، استحکام برشی و مقاومت به خوردگی، نسبت به فلز پایه بررسی شد. در انتها حالت بهینه پیش‌بینی شده برای استحکام کششی با انجام آزمون تایید مورد ارزیابی قرار گرفت.

فصل دوم
مروری بر مطالب

۲-۱ معرفی آلیاژهای آلومینیوم

آلومینیوم عنصری است که با علامت Al مشخص می شود. این عنصر در دهه اول قرن نوزدهم توسط هامفری دیوی[۱] معرفی شد و در سال ۱۸۲۵ توسط هانس کریستین اورستد[۲] از بوکسیت جداسازی شد. فرایند جداسازی به دلیل مشکلاتی که داشت تا حدود ۳۰ سال در حد آزمایشگاهی انجام می‌شد تا اینکه در سال ۱۸۸۶ توسط پاول هرولت[۳] در فرانسه و چارلز.م.هال[۴] در ایلات متحده بصورت همزمان ولی جداگانه استخراج آلومینیوم از سنگ معدن آلومینیوم (بوکسیت) به‌صورت یک فرایند صنعتی عملی شد.

آلومینیوم با وزن مخصوص ۲/۷ گرم برسانتی‌مترمکعب در مقایسه با فلزاتی مانند فولاد با وزن مخصوص ۷/۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب و سرب ۱۱/۳ گرم بر سانتیمترمکعب عنصری سبک محسوب می شود که پس از فولاد پرمصرف ترین فلز است و حجم تولید آن بیشتر از حجم تولید کلیه فلزات غیرآهنی است. از جمله مهمترین ویژگی‌های آلومینیوم می‌توان به سبکی، افزایش استحکام با افزودن بعضی از عناصر آلیاژی، شکل‌پذیری مناسب، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، نسبت استحکام به وزن بالا و مقاومت به خوردگی بالا اشاره نمود [۱]. آلیاژ آلومینیوم قابلیت تشکیل محلول جامد با سایر عناصر نظیر مس، منیزیم، سیلیسیم، منگنز و روی را دارد و با تشکیل محلول جامد می‌توان استحکام این فلز را افزایش داد. ازجمله راه‌های دیگر، افزایش استحکام این فلز کار سرد و انجام عملیات حرارتی می‌باشد [۲].

۱.S.H Davy
۲.H.C Oersted
۳.P Heroult
٤.C.M Hall