دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایاننامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک، ساخت و تولید

عنوان

بررسی تجربی اثر ارتعاشات بر روی خواص مکانیکی قطعات جوشکاری از جنس فولاد ضد زنگ ۳۰۴

استاد راهنما

دکتر امیر مصطفی پور اصل

استاد مشاور

دکتر همایون صادقی

پژوهشگر

ولی قلی زاده

زمستان ۱۳۸۹

نام خانوادگی: قلی زاده **نام:** ولی

عنوان پایان نامه: بررسی تجربی اثر ارتعاشات بر روی خواص مکانیکی قطعات جوشکاری از جنس فولاد ضد زنگ ۳۰۴

استاد راهنما: دکتر امیر مصطفی پور اصل

استاد مشاور: دکتر همایون صادقی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** ساخت و تولید

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۹/۱۱/۱۸ **تعداد صفحه:** ۱۳۰

کلید واژه ها: جوشکاری تنگستن – گاز، خواص مکانیکی، فولاد ضد زنگ ۳۰۴، ریز ساختار، ارتعاشات مکانیکی

چکیده:

یکی از روش های مهم جوشکاری فلزات، جوشکاری تنگستن – گاز (Gas Tungsten Arc Welding) (GTAW) می باشد. این فرآیند یک روش جوشکاری است که در آن در اثر حرارت ناشی از برقراری قوس الکتریکی بین الکترود مصرف نشدنی تنگستن و قطعه کار، فلزات ذوب شده و به یکدیگر متصل می شوند. روش جوشکاری GTAW کاربرد فراوانی در صنعت داشته و برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن، آلومنیوم، منیزیم، مس و فلزات فعال (مثل تیتانیم و تانتالیوم) و نیز فولادهای کربنی و آلیاژی استفاده می شود. یکی از موارد مورد تحقیق درباره جوشکاری، کنترل ریز ساختار و دانه بندی جوش می باشد. اندازه دانه ها تأثیر بسزایی بر روی خواص مکانیکی قطعات دارند. این امر حتی می تواند بر روی عیوب جوشکاری نیز تاثیر گذار باشد. تشکیل دانه بندی ریز در ناحیه مذاب دو مزیت عمده دارد. اول اینکه دانه بندی ریز به کاهش حساسیت فلز جوش به ترک های انجمادی کمک می کند. و ثانیاً اینکه دانه بندی ریز می تواند باعث بهبود خواص مکانیکی مثل داکتیلیته و تافنس شکست بخصوص در فولادهای ساده و فولادهای ضدزنگ شود. از این رو تلاش های زیادی در جهت ریز دانه کردن منطقه ذوب جوش صورت گرفته است. از جمله روش های کنترل ریز ساختار دانه بندی استفاده از یک محرک خارجی می باشد. در این پایان نامه اثر ارتعاشات مکانیکی بر روی خواص مکانیکی آلیاژ فولاد ضد زنگ ۳۰۴ حاصل از جوشکاری به روش جوشکاری تنگستن – گاز (GTAW) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور آزمایشات عملی در حالت بدون اعمال ارتعاشات و در حالت استفاده از ارتعاشات تحت دامنه و فرکانسهای مختلف انجام شده، اثر آن بر روی خواص مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مقدار بهینه دامنه و فرکانس تعیین شدند. برای انجام آزمایشات، طراحی آزمایشات به روش RSM صورت پذیرفته است. برای تحلیل خواص مکانیکی تست کشش و تست ضربه ملاک قرار داده شده است. در نهایت مدل رگرسیون برای نتایج حاصل نیز آورده شده اند. نتایج نشان دادند که با افزایش فرکانس تا زیر فرکانس طبیعی و در فرکانس های بالای فرکانس طبیعی، همچنین با کاهش دامنه ارتعاشی و در سرعت جوشکاری بهینه ، خواص مکانیکی افزایش می یابند.

فهرست مطالب

مقدمه ۷

بخش اول: بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه تحقیق)

فصل اول

پیشینه تحقیق

پیشینه تحقیق ۹
۱- مقدمه ۹
۱-۱ تلقیح ۹
۱-۲ تحریک خارجی ۹
۱-۳ جوانه زنی سطحی تحریک شده ۱۰
۱-۴ ایجاد دانه های ستونی با جهت گیری خاص ۱۰
۱-۵ جاذبه ۱۱
۱-۶ تحریک حوضچه مذاب با استفاده از اعمال ارتعاشات مکانیکی ۱۱

فصل دوم

جوشکاری تنگستن - گاز

۲-۱ تاریخچه جوشکاری ۱۴
۲-۲ دسته بندی انواع روش های جوشکاری ۱۵
۲-۳ جوشکاری قوسی تنگستن – گاز ۱۷
۲-۳-۱ فرآیند ۱۷
۲-۳-۲ الکترودها ۱۸
۲-۳-۳ گازهای محافظ ۱۸
۲-۳-۴ پارامترهای مؤثر در فرآیند جوشکاری تنگستن – گاز ۱۹
۲-۳-۵ مزایا و محدودیت ها ۲۱

فصل سوم

متالورژی جوشکاری

متالورژی جوشکاری ۲۳
۳-۱ مفاهیم اولیه انجماد ۲۳
۳-۲ تأثیر نرخ سرد شدن بر روی دندریت ها ۲۴
۳-۳ انجماد فلز جوش: ساختار دانه ۲۶
۳-۳-۱ رشد اپی تکسیال در مرز ذوب ۲۷
۳-۳-۱-۱ تئوری جوانه زنی در جوشکاری ۲۷
۳-۳-۱-۲ رشد اپی تکسیال در جوشکاری ۲۸
۳-۳-۲ رشد غیر اپی تکسیال در مرز ذوب ۳۰
۳-۳-۳ رشد رقابتی در منطقه ذوب ۳۱
۳-۳-۴ تأثیر سرعت جوشکاری بر ساختار دانه ۳۲
۳-۳-۵ مکانیزم های جوانه زنی فلز جوش ۳۴
۳-۳-۵-۱ مکانیزم شکستن دندریت ها ۳۴
۳-۳-۵-۲ مکانیزم جدا شدن دانه ها ۳۵
۳-۳-۵-۳ جوانه زنی ناهمگن ۳۵
۳-۳-۵-۴ جوانه زنی سطحی ۳۵

فصل چهارم

جریان حرارت در جوشکاری

۴-۱ جریان حرارت در جوشکاری ۳۷
۴-۱-۱ آنالیز تئوریکی و ریاضی ۳۷
۴-۱-۲ میزان گرمای ورودی در جوشکاری ۳۷
۴-۱-۳ رابطه مابین سطح مقطع جوش و انرژی ورودی ۳۷
۴-۱-۴ نرخ حرارت ورودی ۳۸
۴-۱-۵ معادلات جریان حرارت ۳۹
۴-۱-۶ عرض ناحیه متأثر از دما (HAZ) ۴۰
۴-۱-۷ نرخ سرد شدن ۴۰

فصل پنجم

فولادهای ضد زنگ

فولادهای ضد زنگ ۴۳

۵-۱ مقدمه ۴۳
۵-۲ تعریف یک فولاد ضد زنگ ۴۳
۵-۳ انواع فولادهای ضد زنگ ۴۳
۵-۴ فولادهای ضد زنگ آستنیتی ۴۴
۵-۴-۱ جوشکاری فولادهای ضد زنگ آستنیتی ۴۶
۵-۴-۲ جنبه های خاص تکنیکهای جوشکاری بکار رفته برای فولاد ضد زنگ آستنیتی و مقاوم به گرما ۵۰
۵-۴-۳ مسیر انجماد پس از جوشکاری فولاد مقاوم به خوردگی آستنیتی ۵۱
۵-۴-۳-۱ فلز جوش ۵۱
۵-۴-۳-۱-۱ انجماد از نوع AF ۵۱
۵-۴-۳-۱-۲ انجماد از نوع FA ۵۲
۵-۴-۳-۱-۳ تأثیر مفید انجماد فریت به عنوان فاز اولیه ۵۵
۵-۴-۳-۲ ناحیه متاثر از گرما ۵۶
۵-۴-۳-۲-۱ رشد دانه ها ۵۶
۵-۴-۳-۲-۲ رسوب ۵۷
۵-۴-۳-۳ استفاده از دیاگرامهای پیش بینی کننده ۵۷
۵-۴-۴ بررسی نوع ساختار موجود در مرزدانه های فولاد ضد زنگ آستنیتی 304L بعد از انجماد ۶۰

فصل ششم

ارتعاشات و آنالیز مودال

۶-۱ حرکت نوسانی ۶۳
۶-۱-۱ مقدمه ۶۳
۶-۱-۲ حرکت نوسانی ۶۳
۶-۱-۳ نمایش برداری حرکت هارمونیک ۶۵
۶-۱-۴ معادله حرکت- فرکانس طبیعی ۶۷
۶-۲ آنالیز مودال ۶۹
۶-۲-۱ تست مودال ۷۰
۶-۲-۲ چیدمان عمومی اندازه گیری ۷۱
۶-۲-۲-۱ مکانیزم تحریک ۷۱

فصل هفتم

متالوگرافی

متالوگرافی ۷۴
۷-۱ تعریف ۷۴

۷-۲ آماده سازی نمونه متالوگرافی ۷۴
۷-۲-۱ عملیات برش ۷۵
۷-۲-۲ مانت کردن ۷۵
۷-۲-۳ سنباده زنی ۷۵
۷-۲-۴ پولیش ۷۶
۷-۲-۶ اچ کردن ۷۷

فصل هشتم

آزمایشهای مکانیکی مواد

آزمایشهای مکانیکی مواد ۸۰
۸- مقدمه ۸۰
۸-۱ آزمون کشش ۸۰
۸-۱-۱ آزمون کشش اتصالات جوشی ۸۲
۸-۱-۲ آماده سازی نمونه های آزمون کشش ۸۳
۸-۲ آزمونهای ضربه نمونه شیاردار ۸۴
۸-۲-۲ آزمون ضربه شیار دار شارپی ۸۴

بخش دوم: مواد و روشها

فصل نهم

تجهیزات و آماده سازی

تجهیزات و آماده سازی ۸۷
۹- مقدمه ۸۷
۹-۱ دستگاه جوشکاری تنگستن – گاز ۸۷
۹-۲ مواد اولیه ۸۷
۹-۳ طراحی و ساخت قید و بند ۹۰
۹-۴ دستگاه ارتعاشی ۹۱
۹-۵ مراحل آماده سازی قطعات ۹۳
۹-۶ طراحی آزمایشات ۹۴
۹-۷ آماده سازی قطعات برای انجام تست ها ۹۶

۹-۸ تست کشش ۹۸
۹-۹ تست ضربه ۹۸
۹-۱۰ آماده سازی نمونه ها برای دیدن ریز ساختار ۹۹

بخش سوم: نتایج و بحث

فصل دهم

نتایج و بحث

نتایج و بحث ۱۰۲
۱۰-۱ مقدمه ۱۰۲
۱۰-۲ نتایج آزمایشات ۱۰۲
۱۰-۳ بررسی تأثیر مقادیر ورودی روی مقادیر خروجی ۱۰۳
۱۰-۳-۱ سرعت جوشکاری ۱۰۳
۱۰-۳-۲ فرکانس ۱۰۵
۱۰-۳-۳ دامنه ارتعاش ۱۰۸
۱۰-۴ ارائه مدلهای رگرسیونی مناسب برای تخمین مقادیر خروجی ۱۰۸
۱۰-۴-۱ تنش استحکام نهایی ۱۰۹
۱۰-۴-۱-۱ مدل رگرسیون و جدول آنالیز واریانس ۱۰۹
۱۰-۴-۱-۲ بررسی کفایت مدل و آزمایشها ۱۱۰
۱۰-۴-۲ درصد ازدیاد طولی ۱۱۱
۱۰-۴-۲-۱ مدل رگرسیون و جدول آنالیز واریانس ۱۱۱
۱۰-۴-۲-۲ بررسی کفایت مدل و آزمایشها ۱۱۲
۱۰-۴-۳ انرژی ضربه ۱۱۴
۱۰-۴-۳-۱ مدل رگرسیون و جدول آنالیز واریانس ۱۱۴
۱۰-۴-۳-۲ اصلاح مدل ۱۱۵
۱۰-۴-۳-۳ بررسی کفایت مدل و آزمایشات ۱۱۷
۱۰-۴-۳-۴ بررسی علل رد مدل ارائه شده برای مقادیر حقیقی ۱۱۸
۱۰-۵ بررسیهای بیشتر تأثیر مقادیر ورودی روی مقادیر خروجی ۱۱۹
۱۰-۵-۱ تنش استحکام نهایی ۱۱۹
۱۰-۵-۲ درصد ازدیاد طولی ۱۲۱
۱۰-۵-۳ انرژی ضربه ۱۲۲

۱۰-۶ بهینه سازی فرآیند جوشکاری..... ۱۲۳
۱۰-۷ بررسی ریز ساختار ۱۲۴

فصل یازدهم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۷
۱۱-۱ مقدمه ۱۲۷
۱۱-۲ نتایج ۱۲۷
۱۱-۳ پیشنهادات..... ۱۲۷
منابع و مراجع ۱۲۹

مقدمه

جوشکاری تنگستن – گاز (Gas Tungsten Arc Welding) (GTAW) یکی از روش های مهم جوشکاری فلزات می باشد که از آن برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن، آلومنیوم، منیزیم، مس و فلزات فعال (مثل تیتانیم و تانتالیوم) و نیز فولادهای کربنی و آلیاژی استفاده می شود. یکی از موارد مورد تحقیق درباره جوشکاری، کنترل ریز ساختار و دانه بندی جوش می باشد زیرا که اندازه دانه ها هم تأثیر بسزایی بر روی خواص مکانیکی قطعات داشته و هم اینکه می توانند بر روی عیوب جوشکاری نیز تأثیر گذار باشند. از این رو تلاش های زیادی در جهت ریز دانه کردن منطقه ذوب جوش صورت گرفته است. یکی از روش های ریز دانه کردن قطعه کار مورد جوشکاری استفاده از محرک خارجی برای تحریک حوضچه جوش می باشد. در این تحقیق این محرک خارجی، اعمال ارتعاشات مکانیکی بر مجموعه جوشکاری می باشد. با اعمال فرکانس ها و دامنه های مختلف بر مجموعه قطعه کار تحت جوشکاری و در سرعت های مختلف، قطعه کار که از جنس آلیاژ فولاد ضد زنگ 304L می باشد، تحت جوشکاری قرار گرفت. سپس اثر اعمال ارتعاشات بر روی خواص مکانیکی قطعه کار مورد جوشکاری مورد بررسی قرار گرفته و ریز ساختار حاصل از آن نیز بدست آمد. برای انجام آزمایشات، طراحی آزمایشات به روش RSM صورت پذیرفت. برای تحلیل خواص مکانیکی تست کشش و تست ضربه ملاک قرار داده شد و در نهایت مدل رگرسیون نیز برای نتایج حاصل گردید.

این تحقیق در سه بخش و یازده فصل آورده شده است. بخش اول مربوط به بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه تحقیق) بوده و در هشت فصل آورده شده است. بخش دوم در رابطه با مواد و روشها بوده و در یک فصل گنجانده شده است. در نهایت بخش سوم نتایج و بحث را شامل می شود که در دو فصل در این تحقیق آورده شده است.

در فصل اول پیشینه تحقیق و کارهایی که مرتبط با این تحقیق می باشند گنجانده شده است. در فصل دوم این پایان نامه مقدمه ای بر جوشکاری تنگستن – گاز آورده شده است. فصل سوم به بررسی متالورژیکی جوشکاری می پردازد. فصل چهارم جریان حرارت در جوشکاری و نیروی رانش جریان سیال را مورد بحث و بررسی قرار می دهد. در فصل پنجم از آن جهت که قطعه کار مورد جوشکاری در این پایان نامه از جنس آلیاژ فولاد ضد زنگ 304L می باشد، فولادهای ضد زنگ و بالاخص فولادهای ضد زنگ آستنیتی و نحوه انجماد آنها مورد بررسی قرار گرفته است. نوع ریزساختار حاصل از انجماد این نوع فولادها در مرزدانه ها نیز در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل ششم مقدمه ای بر ارتعاشات آورده شده و در فصل هفتم متالوگرافی گنجانده شده است که در آن به بررسی انواع روش های مانت کردن و همچنین عملیات اچ کردن پرداخته شده است. در نهایت در انتهای بخش اول، در فصل هشتم آزمایشهای مکانیکی کشش و ضربه گنجانده شده است. در این فصل استاندارد مربوط به ابعاد قطعات جهت آزمایش و نحوه آماده سازی آنها شرح داده شده است. در فصل نهم که مربوط به بخش دوم می باشد، تجهیزات مربوط به انجام آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق و نحوه آماده سازی قطعات، طراحی قید و بند، طراحی آزمایشات، مشخصات دستگاه جوش، دستگاه ارتعاشی و نحوه آماده سازی برای دیدن ریزساختار شرح داده شده است. فصل دهم به بررسی نتایج حاصل از این آزمایشات و تحلیل و ارائه مدل های رگرسیونی مناسب اختصاص دارد. در نهایت در فصل یازدهم نتایج حاصل و یاد شده در فصل دهم جمع بندی شده و پیشنهادات لازم ارائه گردیده است.

فصل اول

پیشینه تحقیق

پیشینه تحقیق

۱- مقدمه

ساختار دانه فلز جوش به میزان زیادی بر خواص مکانیکی آن تأثیر گذار است. تشکیل دانه های هم محور ریز در منطقه ذوب، دو مزیت عمده دارد. اول اینکه دانه های ریز به کاهش حساسیت فلز جوش در برابر ترک های انجمادی در حین جوشکاری کمک می کند. دوم اینکه دانه های ریز می تواند خواص مکانیکی جوش را بهبود بخشد. از این خواص می توان به انعطاف پذیری و چقرمگی شکست در مورد فولاد ها و فولاد های زنگ نزن اشاره کرد. بنابراین کوشش های زیادی در جهت ریز دانه کردن منطقه ذوب جوش صورت می گیرد. این تلاش ها استفاده از ریز دانه کردن مورد استفاده در ریخته گری را نیز در بر می گیرد. در قسمت های زیر به بررسی روش های مختلف کنترل ساختار دانه های فلز جوش پرداخته می شود.

۱-۱ تلقیح

از این روش به میزان زیادی در ریخته گری فلزات استفاده می شود. این روش شامل اضافه کردن مواد جوانه زا به فلز مذاب در حال انجماد می باشد. در نتیجه ی تلقیح جوانه زنی ناهمگن افزایش یافته و فلز مذاب به صورت دانه های بسیار ریز هم محور منجمد می شود. در تحقیقی توسط دیویس[1] و گارلند[2][۳]، پودر جوانه زای کاربید تیتانیم و همچنین مخلوطی از فرو تیتانیم – کاربید تیتانیم، در حین جوشکاری قوسی زیر پودری فولاد ساده کربنی به حوضچه مذاب جوش اضافه شده و دانه های بسیار ریزی حاصل شد. بطور مشابه هاینتز[3] و مکفرسون[4][۳]، جوش های قوسی زیر پودری فولاد های C-Mn و فولاد های زنگ نزن را توسط تیتانیم ریز دانه کردند.

۱-۲ تحریک خارجی

روش های مختلف ریز دانه کردن دینامیکی، مانند هم زدن حوضچه مذاب، نوسان قالب و لرزش اولتراسونیک فلز مذاب در ریخته گری فلزات استفاده شده است و اخیراً روش های مشابهی شامل هم زدن حوضچه مذاب جوش، نوسان قوس و ضربان قوس در جوشکاری ذوبی مورد استفاده قرار گرفته است[۳].

الف- هم زدن حوضچه جوش

با اعمال میدان مغناطیسی متغیر به موازات الکترود جوشکاری، می توان حوضچه جوش را به روش الکترومغناطیسی هم زد. ماتسودا[5] و همکاران وی [۲۱] و پیرس[6] و کر[7] [۲۰] با استفاده از هم زدن حوضچه مذاب به روش الکترومغناطیسی، میزان ریز دانه شدن آلیاژهای آلومینیوم حاوی مقدار کمی تیتانیم را افزایش دادند. پیرس و کر عنوان کردند که این افزایش میزان ریز شدن دانه ها به دلیل جوانه زنی نا همگن بوده و نه به دلیل شکسته شدن دندریت ها. زیرا که در GTAW بر خلاف ریخته گری شمش، حوضچه مذاب و منطقه خمیری بسیار کوچک بوده و بنابراین امکان نفوذ مذاب حوضچه در بین دندریت ها و

[1] Davies
[2] Garland
[3] Heintze
[4] Mcpherson
[5] Matsuda
[6] Pearce
[7] Kerr

شکستن آنها که بسیار کوچک بوده و شدیداً به یکدیگر فشرده اند، وجود ندارد. هم زدن حوضچه مذاب باعث کاهش دمای حوضچه گردیده و در نتیجه به باقی ماندن جوانه های نا همگن کمک می کند. پیرس و کر همچنین مشاهده کردند که با اعمال هم زدن حوضچه دانه های ذوب جزیی شده در امتداد قسمت اعظمی از مرز حوضچه، در صورتی که شدیدا به یکدیگر متصل نباشند، توسط فلز مذاب به درون حوضچه کشیده شده و نقش جوانه زا را ایفا نمایند. به این طریق مقدار زیادی از دانه های هم محور در جوش های قوسی تنگستن – گاز آلیاژ آلومینیوم ۷۰۰۴ حاوی مقادیر کمی Ti ایجاد می گردد.

ب – نوسان قوس

با استفاده از یک پروب مغناطیسی تک قطبی یا چند قطبی یا با استفاده از لرزش مکانیکی مشعل جوشکاری می توان ستون قوس را بصورت مغناطیسی نوسان داده و در نتیجه نوسان قوس ایجاد کرد. دیویس و گارلند جوش های قوسی تنگستن – گاز آلیاژ Al - %2.5 Mg را با لرزش مشعل ریز دانه کرده اند. در این جوش ها، مقاومت به ترک های انجمادی بهبود یافته است. در این حالت مکانیزم ریز دانه شدن، شکستن دندریت ها در نظر گرفته شده است. اما با توجه به این نکته که آلیاژ مورد استفاده Al - %2.5 Mg حاوی %1.5 Ti بوده است، گمان می رود که جوانه زنی نا همگن، مکانیزم غالب ریز دانه شدن این آلیاژ باشد[۳].

ج – ضربان قوس

با استفاده از ضربانی کردن جریان جوشکاری، می توان قوس ضربانی ایجاد کرد. شریر[1] و همکاران وی توسط ضربان قوس، جوشکاری قوس تنگستن – گاز ورق های تانتانیم را ریز دانه کرده اند. در طی سیکل با جریان کم در جوشکاری قوسی ضربانی، میزان حرارت ورودی ناگهان افت کرده و بنابراین فلز مذاب در شرایط تحت انجماد قرار می گیرد. این امر باعث جوانه زنی سطحی و در نتیجه ریز دانه شدن جوش می گردد.

۱-۳ جوانه زنی سطحی تحریک شده

اولین بار ساتین[2] به منظور ریز دانه کردن شمش های ریختگی از روش جوانه زنی سطحی تحریک شده استفاده کرد. در این روش، جریانی از گاز آرگون سرد مستقیما به سطح آزاد فلز مذاب برخورد کرده باعث ایجاد تحت انجماد حرارتی و در نتیجه جوانه زنی سطحی می گردد. جوانه های منجمد کوچک در سطح آزاد مذاب تشکیل شده و به درون مذاب جریان می یابند. سپس این جوانه ها رشد کرده و دانه های هم محور کوچکی را تشکیل می دهند[۳].

۱-۴ ایجاد دانه های ستونی با جهت گیری خاص

کو[3] و لی[4]، دانه های ستونی را با جهت گیری خاص در جوش های آلومینیوم با استفاده از نوسان قوس با فرکانس کم ایجاد کردند. در این روش لرزش قوس در جهت عمود بر جهت جوشکاری قرار دارد. دانه های ستونی در این حالت عمود بر قسمت انتهایی حوضچه جوش رشد کرده و حوضچه جوش متناوباً مسیر قوس نوسانی را دنبال می کند. تغییرات تناوبی در جهت

[1] Sharir
[2] Southin
[3] Kou
[4] Le

گیری دانه، مخصوصاً از نوع حاصل از نوسان عرضی قوس در فرکانس های کم، می تواند باعث کاهش ترک خوردن انجمادی و بهبود استحکام و انعطاف پذیری جوش گردد[۳].

۱-۵ جاذبه

آیدان[1] و دیان[2] آلیاژ آلومینیوم ۲۱۹۵ را تحت جاذبه زیاد حاصل از سیستم جوشکاری گریز از مرکز به روش قوسی تنگستن – گاز جوشکاری کرده و به این ترتیب نوار باریک دانه های هم محور غیر دندریتی را در امتداد مرز ذوب حذف کردند. به نظر می رسد که نیروی جاذبه زیاد، جابجایی شناوری را افزایش داده و این امر باعث حرکت جوانه های Al_3Zr و $Al_3(Li_xZr_{1-x})$ نزدیک مرز حوضچه به درون حوضچه مذاب و حل کامل آنها شده است. بنابراین تشکیل دانه های هم محور در اثر جوانه زنی ناهمگن حذف شده است[۳].

۱-۶ تحریک حوضچه مذاب با استفاده از اعمال ارتعاشات مکانیکی

در این تحقیق این روش تحریک حوضچه مذاب جهت ریز دانه کردن و بالا بردن خواص مکانیکی قطعه کار جوشکاری شده مورد بررسی قرار گرفته است. قبلاً نیز مواردی تقریباً مشابه این پایان نامه انجام شده که در زیر بدانها اشاره می شود.

وایت وو[3] [۲۲] در مقاله خود در سال ۲۰۰۰، آلیاژنیکل ۶۹۰ را که به روش جوشکاری GTAW تحت جوشکاری قرار داده بود، مورد بررسی قرار داد. او در این آزمایش از سه فرکانس ۰ و ۴۸ و ۵۸ برای عمل جوشکاری استفاده نمود. ۴۸ فرکانسی زیر فرکانس تشدید و ۵۸ فرکانس تشدید مجموعه در این حالت قرار داشت. فرکانس توسط یک دستگاه ارتعاشی به مجموعه ورق و قید و بند داده می شد. در این حالت از گاز محافظ آرگون و همچنین فیلر نیز استفاده شده بود. با بررسی ریز ساختار قطعات جوشکاری شده در حالات یاد شده مشاهده شد که ریزترین ساختار در حالت اعمال ارتعاشات با فرکانس ۵۸ هرتز بدست آمده است.

تواری[4] در تحقیق خود در سال ۲۰۰۹ به بررسی اثر ارتعاشات طولی بر روی خواص کششی فولادهای با کربن متوسط و ضخامت های مختلف پرداخته است. برای آزمایش، فرکانس های بین ۰ تا ۴۰۰ هرتز و دامنه های ۰ تا ۴۰ میکرومتر بکار گرفته شده اند. این ارتعاشات توسط یک محرک که به میز کوپل شده ایجاد گردیده است. ضخامت نمونه ها نیز برابر ۸، ۱۰ و ۱۲ میلی متر بود. در این بین نیز آزمایشات کشش، ضربه و سختی بر روی آنها صورت پذیرفت. با بررسی نتایج معلوم شد که استحکام تسلیم، حد استحکام نهایی، استحکام شکست با اعمال نوسانات طولی بهبود پیدا کرده اند ولی درصد ازدیاد طول در مقایسه با حالت بدون نوسان کاهش یافته است. ماکزیمم افزایش مقادیر یاد شده در فرکانس ۴۰۰ هرتز و دامنه ۵ میکرومتر و مینیمم افزایش نیز در فرکانس ۸۰ هرتز و دامنه ۵ میکرومتر مشاهده گردید. وی دلیل این امر را به پالایش دانه ها، شکست دندریت ها و مکانیزم جدایش دانه ها مربوط کرده است.

وایت وو[5] و کو[1] تحقیقی را در رابطه با اثر ارتعاشات سنکرون[2] بر روی فولاد ضد زنگ آستنیتی AISI 304 که به روش GTAW جوشکاری شده اند، انجام داده اند. ضخامت ورق در این تحقیق ۳ میلیمتر بوده و از فیلر نیز در آن استفاده نشده

[1] Aidun
[2] Dean
[3] Weite Wu
[4] Tewari
[5] Weite Wu

است. به منظور یکسان بودن نرخ سرد شدن صفحه جوشکاری شده به ابعاد بزرگ mm ۲۵×۷۰ انتخاب گردیده بود. فرکانس های مورد آزمایش برابر ۰ برای حالت بدون ارتعاشات، ۳۹.۴ Hz برای حالت ارتعاشات پایین تر از فرکانس تشدید و ۴۳.۳ Hz که فرکانس تشدید مجموعه می باشد انتخاب گشته بودند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان دادند که مقدار فریت باقی مانده در حالت استفاده از ارتعاشات نسبت به حالت عدم استفاده از ارتعاشات کاهش پیدا کرده است. برای اندازه گیری مقدار فریت باقی مانده از روش XRD استفاده شده است. وایت وو این حالت را بخاطر دو دلیل زیر توجیه کرد. اولی بخاطر افزایش نرخ سرد شدن بواسطه استفاده از ارتعاشات و دیگری بخاطر تاثیر ارتعاشات بر روی نفوذ Cr در داخل فاز آستنیت می باشد. در حالت بدون استفاده از ارتعاشات میزان نفوذ کروم در فاز آستنیت کمتر می باشد. در حالت فرکانس تشدید نیز بعلت اینکه در این حالت قطعه حالت پرشی دارد نتایج خوبی را نداشته و بهترین فرکانس ارتعاشی نمی باشد.

[1] Kou
[2] Synchronous

فصل دوم

جوشکاری تنگستن – گاز

۲-۱ تاریخچه جوشکاری

جوشکاری رامی توان اتصال دائم متالورژیکی دانست که می تواند در حالت مذاب یا جامد، با استفاده از واسطه (مواد پرکننده) یا بدون واسطه و با ایجاد فشار یا بدون استفاده از فشار صورت گیرد. در واقع جوشکاری به اتصالی گفته می شود که نتوان محل اتصال را از قسمت های دیگر قطعات مجزا نمود و به عبارتی دیگر خواص جوش ایجاد شده با قطعات مورد اتصال یکسان یا نزدیک به هم باشد. جوشکاری یکی از روش‌های تولید می‌باشد زیرا هدف از آن اتصال دائمی مواد مهندسی از جمله فلز، پلیمر، کامپوزیت و سرامیک به‌یکدیگر است؛ به‌گونه‌ای که خواص اتصال، برابر خواص ماده پایه باشد. شاید بتوان زمان استفاده از اولین فرآیند جوشکاری را زمانی دانست که بشر برای ساخت یک سلاح ابتدایی از یک نوع اولیه این فرآیند (جوشکاری آهنگری) استفاده می کرد. جوشکاری آهنگری قدیمی ترین فرآیند جوشکاری می باشد که انسان قطعات فلز را به صورت سرد یا گداخته بر روی یکدیگر قرار می داد و در اثر کوبیدن موجب اتصال آنها می شد.

با این حال، جوشکاری به صورت یک فن آوری حرفه ای، از سال ۱۸۰۰ میلادی شروع شد. در سال ۱۸۸۵ میلادی دو نفر انگلیسی به نام های بناردز و اولژسکی جوشکاری قوس الکتریکی را اختراع کردند. در سال ۱۸۹۰ میلادی برای اولین بار از میله ی فولادی، به عنوان پرکننده استفاده شد. در سال۱۹۰۰ میلادی جوشکاری گازی با اکسیژن و استیلن، به وسیله ی مشعل انجام گرفت. در همین سال بود که جوشکاری فشاری برای اولین بار به صورت اصطکاکی انجام شد. در سال ۱۹۰۴ یک سوئدی به نام اسکار شلبرگ الکترود روکش دار را اختراع کرد که چون پایه گذار شرکت ASAB سوئد بود، الکترودهای روکش دار را به این کمپانی نسبت داده اند. امروزه نیز آن را با علامت اختصاری OK که مخفف نام مخترع آن است، می شناسند. با این وجود جوشکاری اتصالات تا زمان آغاز جنگ جهانی اول به عنوان یک هنر که گاهی به صورت ابتکاری در خدمت صنایع نیز قرار می گرفت، شناخته می شد؛ اما با شروع جنگ و نیاز طرفین دعوی به تسلیحات و تجهیزات، جوشکاری نیز مثل ریخته گری رشد وسیعی یافته و پا به عرصه ی جدیدی گذارد. با شروع فعالیت ها برای آغاز جنگ جهانی دوم (۱۹۳۰-۱۹۲۰) و با آغاز تلاش ها برای ساخت، تعمیر و تکمیل تانک ها، کشتی ها، هواپیماها و آتشبارها، جوشکاری نیز اهمیت خود را باز یافت و در این راستا، کشورهای پیشرو که خود را در شعله های فروزان جنگ درگیر می دیدند، با افزایش تولیدات نظامی خود، توجه خویش را به طراحی و ابداع روش های ارزان، سریع و مطمئن جوشکاری معطوف داشتند. در طی همین سال ها بود که بسیاری از روش های جدید جوشکاری طراحی و آزمایش شد. در سال ۱۹۳۰ روش استفاده از گازهای محافظ در اروپا و آمریکا رایج و در اواسط همین سال، برای اولین بار تکنیک جوشکاری زیر پودری اختراع شد. در همان سال ها، استفاده از گازهای خنثی مانند هلیم و آرگون در آمریکا و گاز فعال CO_2 در اروپا مرسوم گردید و به این ترتیب در دهۀ ۳۰، روش های Mig[1] و Mag[2] در اروپا و آمریکا شیوع پیدا کرد. با فروکش کردن جنگ، فعالیت های کارخانجات و سرعت چرخش چرخ صنایع در شرق و غرب افزایش یافت و با آغاز دوران سازندگی، مطالعه و تحقیق و علمی کردن فرآیند جوشکاری در سراسر دنیا آغاز شد. در شرق، ژاپن، در صنایع خودروی سبک به سراغ پیشرفته ترین فرآیندهای جوشکاری و لحیم کاری رفت و در زمان کوتاهی، پلکان ترقی را در این راستا پیمود. در اروپا و آلمان، استانداردسازی جوشکاری رشد نموده و در صنایعی چون فولاد، خودرو و ماشین آلات، ارزش های خود را به نمایش گذارد. در صنایع نفت و کشتی سازی انگلستان، جوشکاری به شکل علمی و مدرن به کار گرفته شد و در اندک زمانی رشد به سزائی نمود. از سال ۱۹۶۰ میلادی به بعد امریکا و شوروی نیز در مجموعه ی صنایع و به خصوص در صنایع خاص فضایی، هواپیمایی و غیره، اطلاعات علمی، عملی و فنی

[1] Metal Inert Gas
[2] Metal Active Gas

جامعی درباره ی استفاده ی جوشکاری در کلیه ی صنایع به دست آوردند. در همین سال ها بود که استفاده از تشعشع الکترونی و لیزری مرسوم گردید[۱].

۲-۲ دسته بندی انواع روش های جوشکاری

فرآیند جوشکاری را می توان از لحاظ منبع انرژی به صورت زیر دسته بندی کرد[۲]:

۱- جوشکاری گازی

- جوشکاری اکسی استیلن (OAW)
- جوشکاری اکسی هیدروژن (OHW)

۲- جوشکاری قوسی

- جوشکاری فلز پوشش دار (SMAW)
- جوشکاری قوسی تنگستن - گاز (GTAW)
- جوشکاری قوسی پلاسما (PAW)
- جوشکاری قوسی فلز- گاز (GMAW)
- جوشکاری قوسی توپودری (FCAW)
- جوشکاری قوسی زیرپودری (SAW)
- جوشکاری سرباره الکتریکی (ESW)

۳- جوشکاری مقاومتی

- نقطه جوش
- جوشکاری پیوسته
- جوشکاری نقطه سیاه
- جوشکاری شکافی
- جوشکاری القایی

۴- جوشکاری حالت جامد

- جوشکاری اصطکاکی
- جوشکاری التراسونیک
- جوشکاری انفجاری
- جوشکاری شعله ای

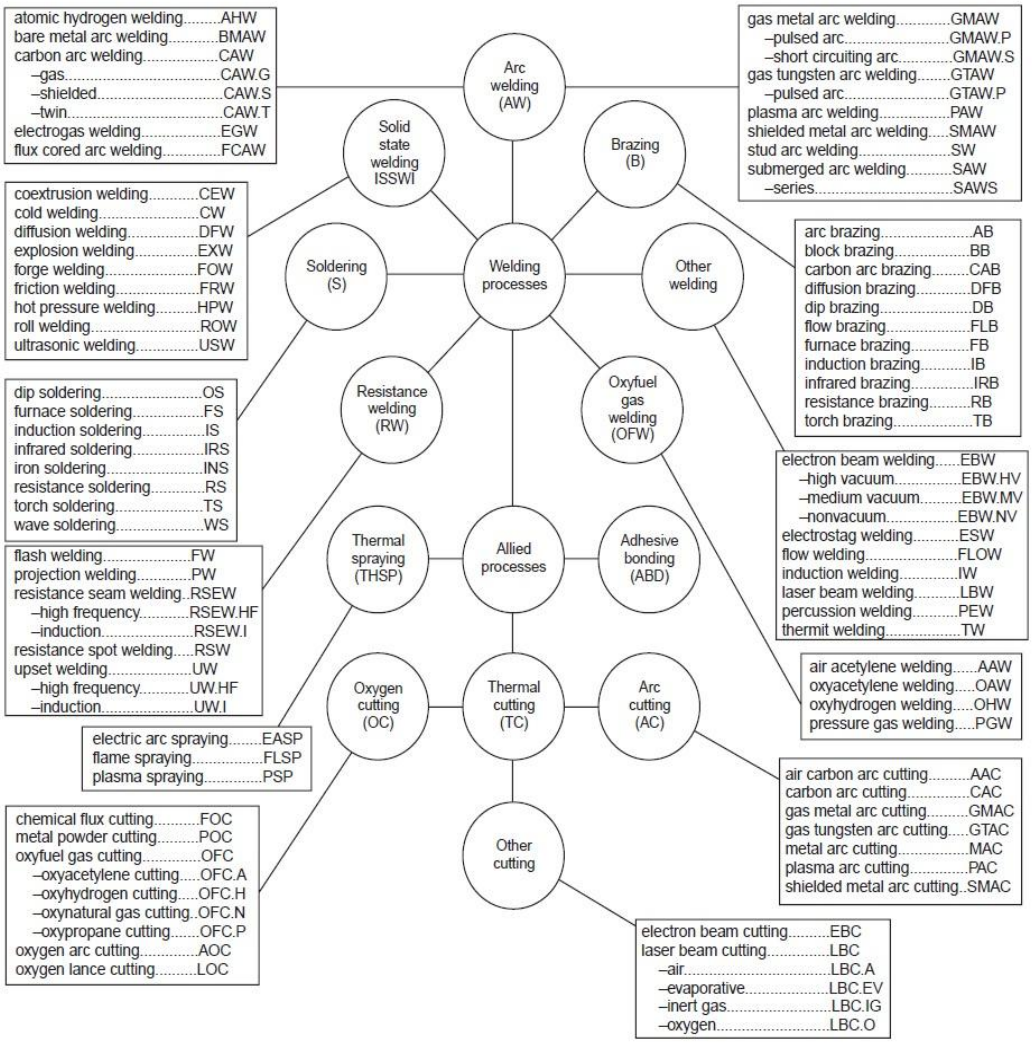
۵- جوشکاری ترمو شیمیایی

- جوشکاری ترمیتی
- جوشکاری اتمی H_2

۶- جوشکاری پرتو پرانرژی

- جوشکاری پرتو الکترونی (EBW)
- جوشکاری پرتو لیزر (LBW)

انجمن جوشکاری آمریکا (AWS) فرآیند جوشکاری را بطوریکه در شکل (۲-۱) مشخص شده دسته بندی کرده است.



شکل (۲-۱) تقسیم بندی روش جوشکاری مطابق با تقسیم بندی انجمن جوشکاری آمریکا [۲].

از بین فرآیند های جوشکاری که در بالا نام برده شد، جوشکاری قوسی تنگستن - گاز[1] (GTAW) که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته، به اختصار توضیح داده می شود:

۲-۳ جوشکاری قوسی تنگستن – گاز

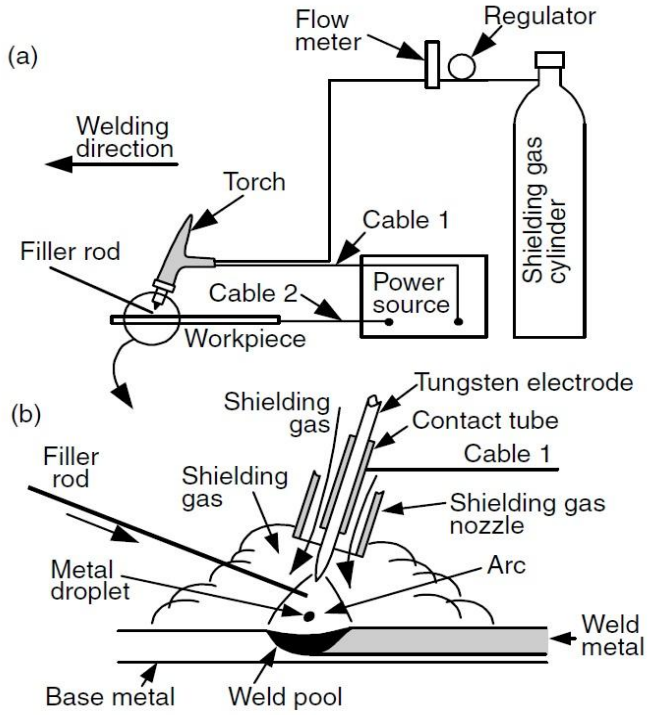
جوشکاری قوسی با الکترود تنگستنی و در پناه گاز محافظ که گاهی اوقات جوش TIG[2] (جوشکاری با تنگستن و گاز خنثی) نیز نامیده می شود، در سال ۱۹۳۰ برای جوشکاری فلز منیزیم اختراع شد. Russell Meredith از الکترود تنگستنی همراه با گاز خنثی هلیوم برای جوشکاری فلز منیزیم استفاده کرد. این روش جایگزین روش پرچ برای اتصال قطعات هواپیما از جنس آلومینوم و منیزیم شد. روش جوشکاری تنگستن – گاز در طی این مدت تا کنون اصلاح زیادی یافته است ولی مکانیسم اصلی آن همان است که مردیت آن را بکار برده بود.

درجه حرارت ذوب برای اتصال از نگهداری قوس بین الکترود تنگستن و قطعه کار فراهم می شود. دمای حوضچه مذاب تا 2500°C میرسد.گاز خنثی حوضچه مذاب را احاطه می کند و آنرا در مقابل آلودگی های اتمسفری محافظت می کند. معمولاً گاز خنثی آرگون، هلیوم و یا مخلوطی از آن دو است[۳].

۲-۳-۱ فرآیند

جوشکاری قوسی تنگستن - گاز(GTAW) فرآیندی است که در آن در اثر حرارت ناشی از برقراری قوس بین الکترود مصرف نشدنی تنگستن و قطعه کار، فلزات ذوب شده و به یکدیگر متصل می شوند. شکل (۲-۲). مشعل نگهدارنده الکترود تنگستنی به سیلندر گاز محافظ و یک خروجی منبع برق مطابق شکل (۲-۲) الف اتصال دارد. معمولاً الکترود تنگستنی در تماس با یک لوله مسی آبگرد مطابق شکل (۲-۲) ب قرار دارد که به آن لوله تماس می گویند، که در تماس با کابل جوشکاری (کابل ۱) می باشد. این لوله علاوه بر انتقال جریان جوشکاری از منبع قدرت به الکترود نقش خنک کردن الکترود تنگستنی را به منظور جلوگیری از گرم شدن بیش از حد الکترود را بر عهده دارد. قطعه کار نیز از طریق کابل ۲ به خروجی دیگر منبع قدرت متصل می شود. گاز محافظ به مشعل وارد شده و از طریق یک نازل به سمت حوضچه جوش هدایت می شود، تا حوضچه جوش را از هوای اطراف محافظت نماید. به دلیل آنکه گاز محافظ در این روش مستقیماً به سمت حوضچه جوش هدایت می شود، بنابراین میزان حفاظت فلز جوش از هوای اطراف در این روش نسبت به روش SMAW بیشتر است. به همین دلیل، روش GTAW را جوشکاری تنگستن – گاز (TIG) نیز می نامند. اما در موارد خاصی مقادیر کمی از یک گاز غیر خنثی نیز به گاز محافظ افزوده می شود. بنابراین به نظر می رسد که GTAW نام مناسب تری برای این روش باشد. در مواردی که برای مثال در جوشکاری مواد ضخیم، نیاز به فلز پر کننده بصورت دستی و یا بصورت اتوماتیک به قوس اضافه می شود[۳].

[1] Gas Tungsten Arc Welding
[2] Tungsten Inert Gas



شکل (۲-۲) شمایی کلی از جوشکاری GTAW[۳]

کاربرد جوشکاری GTAW در جوشکاری فولادهای ضد زنگ، فلزات سبک مانند آلیاژهای منیزیم و آلومنیوم و همچنین جوشکاری فلزات مسی می باشد. همچنین می توان از این نوع جوشکاری برای جوشکاری فلزات روی و سرب در همه نوع وضعیت استفاده کرد. با این وجود، این نوع جوشکاری برای فلزات با ضخامت نازک، از ۰.۵ میلی متر تا ۳ میلی متر استفاده می شود. از لحاظ بهره وری، جوشکاری GTAW نمی تواند با دیگر روشها همچون جوشکاری قوس کوتاه رقابت کند[۲].

۲-۳-۲ الکترودها

الکترودهای تنگستنی با ۲٪ سریم یا توریم در مقایسه با الکترودهای تنگستنی خالص، نشر الکترونی، ظرفیت حمل جریان بیشتر و مقاومت به آلودگی بیشتری دارند. در نتیجه با استفاده از این الکترودها، شروع به قوس به آسانی صورت گرفته و قوس حاصل پایدارتر خواهد بود. نشر الکترونی توانایی نوک الکترود برای نشر الکترون می باشد. هرچه میزان نشر الکترون بیشتر باشد احتمال ذوب شدن نوک الکترود افزایش می یابد.

۲-۳-۳ گازهای محافظ

در این روش هر دو نوع گاز آرگون و هلیم می تواند استفاده شود. جدول (۲-۱) خواص برخی از گازهای محافظ را نشان می دهد. پتانسیل یونیزه شدن[1] آرگون ۱۵.۷ eV و این پتانسیل برای هلیم ۲۴.۵ eV است. بنابراین یونیزه کردن آرگون به عنوان

[1] Ionization Potential