بسم الله الرحمن الرحیم

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد.

در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکدهٔ فنی و مهندسی
گروه آموزشی مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

تحلیل اجزا محدود ویژگی‌های مکانیکی فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای

استاد راهنما:
دکتر عباس فدایی

استاد مشاور:
دکتر امیرحسین محمودی

نگارش:
عطا خبازاقدم

۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر، مادر و خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

طول تحصیل و زندگی سه ساله بنده در شهر زیبای همدان برایم ارمغان آشنایی با بهترین دوستان زندگی ام از جمله اژدر رحمانی، آزاد برزویی، محسن شهواری، خلیل محرم زاده و بقیه دوستان عزیزم را فراهم ساخت؛ از تمامی آنها که شرایط خشک و خشن و ناعادلانه دانشگاهی را برایم قابل تحمل ساختند صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم و برای تک تک شان آرزوی توفیق و سعادت روزافزون دارم.

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر فدایی که همواره با رویی گشاده پذیرای بنده بودند و همچنین دوستان عزیزم آقایان دکتر حمید عیسی زاده و مهندس محمدرضا کریمی بابت راهنمایی و کمک های بی دریغ و موثرشان بسیار سپاسگذارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲ اهداف پایان‌نامه ۳

۱-۳ تعریف مسئله ۳

۱-۴ شمای کلی پایان‌نامه ۴

فصل ۲: کلیاتی در مورد جوش مقاومتی نقطه‌ای

۲-۱ پیشگفتار ۶

۲-۲ تعاریف و توضیحات عمومی ۷

۲-۳ اصول کلی فرآیند ۱۱

۲-۴ تولید حرارت ۱۱

۲-۵ عوامل موثر بر جوش مقاومتی نقطه‌ای ۱۴

۲-۶ تنش‌های پسماند ۱۸

۲-۷ مکانیزم ایجاد تنش پسماند ۱۸

۲-۸ انواع تنش پسماند ۱۹

۲-۹ اثر تنش پسماند بر خواص مکانیکی ماده ۲۰

فصل ۳: مروری بر منابع و مطالعات انجام شده

۳-۱ پیشگفتار ۲۳

۳-۲ بررسی مقالات ۲۳

فصل ٤: مدل‌سازی فرآیند جوش مقاومتی نقطه‌ای

۴-۱ مدلسازی فرآیند جوشکاری ۳۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴-۲ روش مدل‌سازی ۳۰

۴-۳ مدلسازی المان محدود فرایند جوشکاری مقاومتی به روش کوپلینگ غیرمستقیم ۳۱

۴-۴ فلوچارت مسئله ۳۲

۴-۵ معادلات حاکم ۳۶

۴-۶ رسانایی الکتریکی تماس ۴۳

۴-۷ رسانایی حرارتی تماسی ۴۴

۴-۸ خواص الکترود و قطعه کار ۴۵

۴-۹ مدل اجزاء محدود ۴۸

۴-۱۰ المان بندی ۴۹

۴-۱۱ بارگذاری ۵۳

فصل۵: تحلیل کوپله الکتریکی- حرارتی

۵-۱ پیشگفتار ۵۵

۵-۲ فرآیند جوش مقاومتی از دیدگاه انتقال حرارت ۵۵

۵-۳ شرایط جوشکاری ۵۵

۵-۴ پارامترهای موثر و قابل بررسی ۵۶

۵-۵ خروجی‌های مطلوب در مسئله انتقال حرارت ۵۷

۵-۶ بررسی پارامترهای موثر ۵۷

۵-۷ صحت سنجی نتایج ۷۱

۵-۸ تست دماسنجی لیزری ۷۳

فصل ٦: تحلیل مکانیکی

۶-۱ پیشگفتار ۷۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۶-۲ روش سوراخکاری ۷۷

۶-۳ توزیع تنش در مراحل مختلف جوشکاری ۷۸

۶-۴ صحت سنجی ۸۵

فصل۷: خلاصه و جمع‌بندی نتایج و پیشنهادات برای ادامه کار

۷-۱ پیشگفتار ۸۸

۷-۲ خلاصه‌ای از نحوه شبیه‌سازی فرایند جوش مقاومتی نقطه‌ای ۸۸

۷-۳ نتایج ۸۸

۷-۴ بررسی صحت مدل ۸۹

۷-۵ پیشنهادها ۹۰

منابع ۹۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول(۴-۲) نوع ، تعداد و درجات آزادی المان‌های بکار رفته ۵۱
جدول(۵-۱) شرایط محیطی جوشکاری ۵۵
جدول(۵-۲) ترکیب شیمیایی فولاد AISI1008 و ترکیب استاندارد آن ۷۱
جدول(۵-۳) خواص مکانیکی ورق‌ها بر اساس آزمایش و مقادیر متناظر آنها در استاندارد ۷۱
جدول(۵-۴) مقایسه شعاع دکمه جوش حاصل از آزمایش با نتایج اجزاء محدود ۷۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱) نمایش ترسیمی از فرآیند جوش مقاومتی ۶
شکل (۲-۲) جریان الکتریکی و فشار اعمالی از سوی الکترودها بر روی ورق‌ها ۷
شکل(۲-۳) مراحل زمانی جوشکاری مقاومتی ۸
شکل (۲-۴) مقاومت‌های الکتریکی موجود در مسیر مدار ثانویه ۱۲
شکل (۲-۵) گرادیان دمایی نقاط مختلف، در ۲۰٪ زمان جوش و پایان سیکل جوشکاری ۱۳
شکل (۲-۶) محدوده مجاز جریان و فشار الکترود برای بدست آوردن دکمه جوش مناسب در فرآیند جوش نقطه‌ای ۱۵
شکل (۲-۷) تشکیل دکمه جوش در طی زمان‌های مختلف ۱۶
شکل (۲-۸) انواع تنش پسماند در مواد ۲۰
شکل(۴-۱) فلوچارت مراحل شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی نقطه‌ای ۳۵
شکل(۴-۲) مرزهای موجود در مدل جوش مقاومتی ۳۶
شکل(۴-۳) تاثیر فشار و درجه حرارت بر روی مقاومت الکتریکی تماس ۴۴
شکل(۴-۴) گرمای ویژه فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۵
شکل(۴-۵) ضریب هدایت حرارتی فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۶
شکل(۴-۶) انتالپی فولاد AISI1008 ۴۶
شکل(۴-۷) مقاومت الکتریکی فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۷
شکل(۴-۸) مدول الاستیک فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۷
شکل(۴-۹) تنش تسلیم فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۸
شکل(۴-۱۰) ضریب انبساط حرارتی فولاد AISI1008 و الکترود مسی ۴۸
شکل(۴-۱۱) ابعاد الکترود نوع B جوش مقاومتی نقطه‌ای طبق استاندارد ISO5821 ۴۹
شکل(۴-۱۲) مدل تقارن محوری الکترود و ورق ۴۹
شکل(۴-۱۳) المان های سه وچهار وجهی مسطح ۴۲ و ۶۷ ۵۰
شکل(۴-۱۴) نحوه قرارگیری المان تماس ۵۱
شکل(۴-۱۵) شبکه‌بندی مدل هندسی ۵۲
شکال(۴-۱۶) نمودار همگرایی مش ۵۲
شکل(۴-۱۷) مراحل زمانی مختلف در فرایند جوش مقاومت ۵۳
شکل(۵-۱) نمایش ترسیمی معادلات حاکم بر مسئله انتقال حرارت ۵۵
شکل(۵-۲) سطح مقطع بیضوی شکل دکمه جوش ۵۷
شکل(۵-۳) نحوه رشد دکمه جوش در سیکل‌های مختلف جوشکاری ۵۹
شکل(۵-۴) تغییرات دما در راستای شعاعی در طی سیکل‌های زمانی ۸ تا ۱۲ ۶۰
شکل(۵-۵) تابع جریان متناوب و معادل‌سازی آن با جریان پله‌ای با استفاده از مشخصه ریشه متوسط مجذورات ۶۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۵-۶) نحوه افزایش دما در دو نقطه از مدل به ازای جریان‌های مستقیم و متناوب ۶۲
شکل(۵-۷) نحوه افزایش دمای مرکز دکمه جوش در جریان‌های مختلف ۶۳
شکل(۵-۸) نحوه افزایش شعاع بزرگ دکمه جوش بیضوی در جریان‌های مختلف ۶۴
شکل(۵-۹) نحوه افزایش شعاع کوچک دکمه جوش در جریان‌های مختلف ۶۴
شکل(۵-۱۰) تغییرات پارامتر a/b نسبت به شعاع دکمه جوش ۶۵
شکل(۵-۱۱) نحوه افزایش دمای مرکز دکمه جوش نسبت به زمان در قطرهای مختلف برای الکترودها ۶۶
شکل(۵-۱۲) رشد شعاع بزرگ دکمه جوش با گذشت زمان در قطر الکترودهای متفاوت ۶۷
شکل(۵-۱۳) رشد شعاع کوچک دکمه جوش با گذشت زمان در قطرهای مختلف الکترود ۶۷
شکل(۵-۱۴) پارامتر a/b برای قطرهای مختلف الکترود ۶۸
شکل(۵-۱۵) دمای مرکز دکمه جوش نسبت به زمان برای ورق با ضخامت‌های مختلف ۶۹
شکل(۵-۱۶) رشد شعاع بزرگ دکمه جوش با گذشت زمان برای ورق با ضخامت‌های مختلف ۶۹
شکل(۵-۱۷) رشد شعاع کوچک دکمه جوش با گذشت زمان برای ورق با ضخامت‌های مختلف ۷۰
شکل(۵-۱۸) پارامتر a/b دکمه جوش برای ورق با ضخامت‌های مختلف ۷۰
شکل(۵-۱۹) ابعاد نمونه آزمایشی جوش مقاومتی نقطه‌ای ۷۲
شکل(۵-۲۰) دکمه جوش: مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی و آزمایش ۷۳
شکل(۵-۲۱) دکمه جوش: مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی انجام گرفته و شبیه‌سازی ژانگ ۷۳
شکل(۵-۲۲) دماسنجی لیزری ۷۴
شکل(۵-۲۳) نحوه افزایش دمای نقطه سطحی دکمه جوش ۷۵
شکل(۶-۱) تنش‌های ون مایزز در الکترود و ورق، تحت تاثیر فشار الکترود ۷۸
شکل(۶-۲) فشار تماسی بین الکترود- ورق و ورق- ورق، تحت تاثیر فشار الکترود ۷۹
شکل(۶-۳) ناحیه تماسی الکترود- ورق و ورق-ورق ۷۹
شکل(۶-۴) جابجایی الکترود و ورق در راستای عمودی ، تحت تاثیر فشار الکترود ۸۰
شکل(۶-۵) تنش اصلی اول در انتهای زمان جوشکاری ۸۱
شکل(۶-۶) تنش اصلی دوم در انتهای زمان جوشکاری ۸۱
شکل(۶-۷) تنش‌های شعاعی در انتهای زمان نگهداری ۸۲
شکل(۶-۸) تنش‌های محیطی در انتهای زمان نگهداری ۸۳
شکل(۶-۹) تنش پسماند اصلی اول بعد از خنک شدن کامل قطعه ۸۴
شکل(۶-۱۰) تنش پسماند اصلی دوم بعد از خنک شدن کامل قطعه ۸۴
شکل(۶-۱۱) تنش‌های اصلی اول و دوم در راستای شعاعی ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۶-۱۲) تنش پسماند اصلی اول در عمق ۱ میلیمتر ۸۶
شکل(۶-۱۳) تنش پسماند اصلی دوم در عمق ۱ میلیمتر ۸۶

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تحلیل اجزاء محدود ویژگی‌های مکانیکی فرآیند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای

نام نویسنده: عطا خبازاقدم

نام استاد/اساتید راهنما: عباس فدایی

نام استاد/اساتید مشاور: امیرحسین محمودی

دانشکده : فنی مهندسی	**گروه آموزشی: مکانیک**	
رشته تحصیلی: مکانیک	**گرایش تحصیلی: طراحی کاربردی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۸۹/۲/۲۰	**تاریخ دفاع: ۹۱/۲/۲۴**	**تعداد صفحات: ۹۵**

چکیده:

جوش مقاومتی نقطه‌ای (RSW) فرآیند اتصال دو یا چند قطعه فلزی است که در اثر عبور جریان از سطح نسبتاً کوچک و تحت فشار، طی زمان مشخص رخ می‌دهد. این نوع جوشکاری از جمله فرآیندهای معمول برای اتصال ورق‌های نازک در صنعت، بالاخص صنایع خودروسازی بوده و شبیه‌سازی آن در راستای کاهش وقت و هزینه می‌تواند بسیار مفید باشد. پارامترهایی مانند آمپراژ جوشکاری، قطر الکترودها، میزان فشار الکترودها و تعداد سیکل جوشکاری در فرآیند جوشکاری مقاومتی موثراند. در این پایان‌نامه، اثر تغییر این پارامترها بر نحوه شکل‌گیری دکمه جوش حاصله مورد بررسی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی، ورق‌هایی از جنس فولاد AISI1008 با خواص وابسته به دما، در نظر گرفته شد. برنامه‌ای در نرم افزار اجزاء محدود ANSYS جهت شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی نقطه‌ای نوشته شد که در آن از روش کوپلینگ غیرمستقیم برای ارتباط میدان‌های الکتریکی- حرارتی و حرارتی- مکانیکی استفاده می‌گردد. در مرحله اول تحلیل، نحوه رشد دکمه جوش تعیین و جهت تایید صحت یافته ها با نمونه‌های آزمایشگاهی مقایسه شد؛ به طوری که نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و نتایج آزمایشگاهی مطابقت قابل قبولی با هم داشتند. در مرحله بعد با استفاده از تاریخچه دمایی مدل الکترود و ورق، به تعیین الگوی تنش‌های پسماند در ناحیه دکمه جوش پرداخته شد. این تنش‌ها با نتایج تجربی مقالات مرتبط مقایسه و تطابق مناسبی بین آنها مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی:

جوش مقاومتی نقطه‌ای، پارامترهای موثر، روش اجزاء محدود، هندسه دکمه جوش، تنش پسماند

فصل ۱

مقدمه

۱- ۱ پیشگفتار

با توجه به پیشرفت روز افزون صنایع خودروسازی و لوازم خانگی، استفاده از جوش‌های مقاومتی بیش از بیش مورد توجه قرار گرفته است. جوشکاری مقاومتی[1] یکی از قدیمی‌ترین روش‌های جوشکاری الکتریکی است که امروزه کاربردهای بسیاری در صنعت -به خصوص صنعت خودروسازی- دارد. همانطور که از نام جوش مقاومتی برمی‌آید، جوش خوردن قطعات در اینجا حاصل از حرارت ایجاد شده در اثر عبور جریان الکتریسیته و مقاومت قطعات در مقابل عبور جریان است. جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای[2] ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع جوشکاری مقاومتی است که برای ورق‌های نازک استفاده می‌شود. این روش در صنایع نظامی و لوازم خانگی کاربرد فراوان داشته و در اتصال قطعات بدنه خودرو، مهمترین روش جوشکاری به شمار می‌رود. از سوی دیگر این روش به دلیل داشتن سرعت بالا و عدم نیاز به ماده پرکننده، مقرون به صرفه بوده و برای تولید انبوه نسبت به دیگر روش‌های اتصال، اقتصادی‌تر می‌باشد. با توجه به چنین کاربرد گسترده‌ای، کیفیت اتصال جوش مقاومتی تاثیر بسزایی در استحکام نهایی سازه دارد.

کیفیت و استحکام جوش مقاومتی مستقیما به کیفیت شکل‌گیری و استحکام دکمه جوش بستگی دارد؛ به همین دلیل، تنظیم پارامترهای موثر مانند جنس و هندسه قطعه، میزان نیروهای وارده از سوی الکترودها به قطعه، شدت جریان الکتریکی و مدت زمان اعمال جریان الکتریکی بسیار حائز اهمیت است.

با استفاده از طراحی به کمک کامپیوتر[3] و با توجه به پیشرفت سریع تکنولوژی کامپیوتری استفاده از روش‌های عددی به ویژه روش اجزاء محدود بسیار گسترش یافته است. روش اجزاء محدود یک روش حل عددی مرسوم در حل مسائل مهندسی است. این روش قادر است مسائل پیچیده را

[1] Resistance Welding (RW)
[2] Resistance Spot Welding (RSW)
[3] Computer aided design(CAD)

سریع و با دقت مناسبی تحلیل کند. بنابراین در این پایان‌نامه از روش اجزاء محدود برای تحلیل اتصال جوش مقاومتی نقطه‌ای استفاده شده است.

۱-۲ اهداف پایان‌نامه

هدف اصلی این تحقیق استخراج اثر تغییر پارامترهای جوشکاری مانند جریان الکتریکی، فشار اعمالی از سوی الکترودها، قطر الکترودها و... بر نحوه شکل‌گیری دکمه جوش حاصله می‌باشد. این کار به کمک روش اجزاء محدود انجام گرفته است. و توسط آزمایش صحت‌سنجی می‌شود. اهداف این تحقیق عبارتند از:

- تعیین تاریخچه دمایی الکترودها و ورق‌ها در زمان جوشکاری و بعد آن تا سرد شدن قطعه‌کار.
- استخراج هندسه دکمه جوش بر اساس دمای نقطه ذوب فولاد.
- تغییر پارامترهای موثر در جوشکاری برای تعیین اثر آنها بر عملیات جوشکاری.
- تعیین تنش‌ها و کرنش‌های پسماند که بعد از سرد شدن قطعه کار در آن باقی می‌مانند.
- مقایسه تنش‌های پسماند حاصل از روش اجزاء محدود با نتایج ارائه شده توسط خان و همکاران [۴۶].

۱-۳ تعریف مسئله

در راستای انجام این پژوهش، تحقیقات قبلی در زمینه شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی نقطه‌ای به روش اجزاء محدود مرور شدند. از نرم افزار ANSYS به دلیل دارا بودن محیط‌های تحلیلی قدرتمند و همچنین زبان برنامه نویسی قوی APDL، برای شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی استفاده شد. مدل استفاده شده یک مدل تقارن محوری[1] مشتمل بر دو ورق فولادی و دو الکترود مسی است. جنس ورق‌ها AISI1008 به ضخامت ۱میلیمتر است. قطر الکترودها نیز به منظور بررسی تاثیر آنها بر

[1] Axisymmetric

نحوه تشکیل دکمه جوش بین ۳ تا ۱۰ میلیمتر، با گام ۱ میلیمتر، متفاوت در نظر گرفته شد. اثر پارامترهای دیگر نظیر جریان الکتریکی، تعداد سیکل‌های جوشکاری و بار فشاری اعمالی از سوی الکترودها نیز در تحلیل اجزاء محدود مسئله مورد بررسی قرار گرفته اند.

برای انجام شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی نقطه‌ای از روش کوپل غیرمستقیم میدان‌های الکتریکی- حرارتی و حرارتی- مکانیکی که در نرم افزار اجزاء محدود وجود دارند به طور همزمان استفاده شده است. این تحلیل ضمن کمک به درک بهتر فرآیند، نقش پارامترهای موثر را بر کیفیت دکمه جوش ایجاد شده مشخص می‌کند.

۱-٤ شمای کلی پایان‌نامه

در فصل ۲ اصطلاحات مربوط به جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای و پارامترهای تاثیرگذار بر آن توضیح داده شده‌اند. در انتهای این بخش تنش‌های پسماند، اهمیت و تاثیر این نوع تنش‌ها بر خواص مکانیکی اتصالات جوش مقاومتی به صورت مختصر بحث شده است.

در فصل۳ مروری بر کارهای قبلی در زمینه جوش مقاومتی نقطه‌ای و شبیه‌سازی اجزاء محدود آن از سال ۱۹۶۰ تا کنون ارائه شده است.

در فصل ۴ نحوه شبیه‌سازی فرآیند جوش مقاومتی و مراحل آن در محیط نرم‌افزار ANSYS بیان شده است. در این راستا معادلات حاکم بر مسئله، شرایط مرزی و نوع المان بکار رفته توضیح داده شده‌اند.

برای حل و شبیه‌سازی این فرایند از روش غیرمستقیم استفاده گردید و نتایج دو میدان کوپله الکتریکی- حرارتی و حرارتی- مکانیکی در فصل ۵ و۶ به صورت جداگانه آورده شده است. فصل ۵ مربوط به نتایج مدل‌سازی الکتریکی- حرارتی می‌باشد. در این فصل با تغییر پارامترهای موثر، کانتورهای دمایی در هر لحظه از سیکل جوشکاری استخراج شده‌اند. تنش‌های پسماند در ورق‌ها مهمترین نتایج تحلیل مکانیکی هستند که در فصل ۶ آورده شده‌اند.

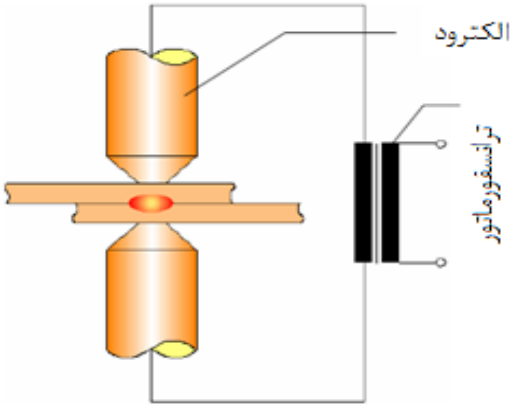
فصل ۷ نیز فصل پایانی این پایان‌نامه می‌باشد که در آن نتایج حاصل شده و چند پیشنهاد برای ادامه کار در راستای پیشبرد و تکمیل تحقیقات ارائه گردیده‌اند.

فصل ۲

کلیاتی در مورد جوش مقاومتی نقطه‌ای

۲-۱ پیشگفتار

جوش نقطه‌ای یکی از پرکاربردترین نوع جوش مقاومتی می‌باشد. این فرآیند برای اتصال دو یا چند ورق روی هم به کار برده می‌شود و در آن قطعه کار بین الکترودها تحت فشار قرار گرفته و جریان ایجاد شده توسط تراسفورماتور از الکترودها و سپس قطعه کار عبور می‌کند. شکل(۲-۱) نمایش ترسیمی از این فرآیند را نشان می‌دهد.

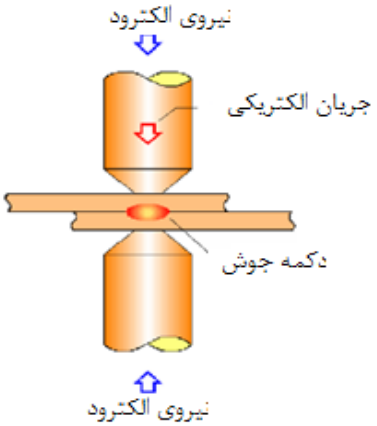


شکل (۲-۱) نمایش ترسیمی از فرآیند جوش مقاومتی[۳]

در این جوش اتصال دو سطح توسط حرارت و فشار تواماً انجام می‌گیرد. وقتی جریان الکتریکی از میان دو قطعه فلزی که با هم تماس دارند عبور می‌کند، مقاومت زیاد موضعی موجب تولید گرمای فوق‌العاده زیاد می‌شود. در صورتی که جریان کافی به کار رود، فلزات مورد استفاده ابتدا در حالت خمیری قرار گرفته و سپس ذوب می‌شوند (شکل(۲-۲)). اگر هنگامی که دو فلز در حالت خمیری یا مذاب قرار دارند به یکدیگر فشرده شوند و کمی بعد از قطع جریان و خنک شدن در همان وضعیت باقی بمانند، دو قطعه در هم آمیخته شده و به صورت یک قطعه واحد در می‌آیند، که در این حالت جوش بصورت دکمه‌ای بین دو لایه ورق ایجاد می‌شود که با توجه به سرعت انجام این عمل، بسیاری از خواص فیزیکی ورق‌ها بدون تغییر باقی خواهند ماند. در حالت کلی، جوش مقاومتی نقطه‌ای را با توجه به عوامل موثر در تشکیل آن می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: جوش مقاومتی نقطه‌ای به فرآیند اتصال دو یا چند قطعه فلزی به یکدیگر گفته می‌شود که در اثر عبور جریان از

مقاومت‌های الکتریکی موجود در مسیر جوش، تحت فشار اعمالی از سوی الکترودها و در طی زمان مشخص (زمان جوشکاری[1]) رخ می‌دهد.

در ادامه یک سری اصطلاحات و توضیحات عمومی بیان می‌شود که به درک هرچه بهتر فرآیند کمک می‌کند.



شکل (۲-۲) جریان الکتریکی و فشار اعمالی از سوی الکترودها بر روی ورق‌ها [۳]

۲-۲ تعاریف و توضیحات عمومی

۲-۲-۱ مراحل زمانی جوشکاری مقاومتی

جوش مقاومتی شامل چهار بازه زمانی است[۱]:

الف- زمان پیش‌فشار[2]: بازه زمانی بین وارد آمدن نیرو تا اعمال جریان الکتریکی می‌باشد. این زمان برای اطمینان از اتصال کامل الکترودها با قطعه کار و کامل شدن نیروی الکترود قبل از برقراری جریان الکتریکی است.

ب- زمان جوش[3]: زمانی که جریان الکتریکی برای ایجاد دکمه جوش داخل قطعه اعمال می‌شود.

[1] Weld time
[2] Squeeze time
[3] Weld time