

## تأثیر زبری سطح و شدت جریان بر استحکام اتصال پین به روش گل میخ

جواد مختاری<sup>۱</sup>، محمد خدائی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقاتی مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران

\*عهده دار مکاتبات: khodai1358@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷)

**چکیده:** اتصال پین به سطوح فولادی به منظور اتصال سرکابل به لوله‌ها، اتصال نگه دارنده به سازه‌های فولادی داخل بتن و بستن مهره و کاور داخل مخازن با سرعت زیاد تنها به روش جوشکاری گل میخ ممکن می‌باشد. در این روش یک قوس الکتریکی بین پین و فلز پایه برقرار شده و با ذوب جزئی سطوح پین و فلز پایه و اعمال فشار، اتصال برقرار می‌شود. در این تحقیق پین به فلز پایه در سه زبری سطح مختلف و سه سطح شدت جریان مختلف به روش جوشکاری گل میخ اتصال داده شده است. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که هنگامی که سطح فلز پایه زبر می‌باشد، با افزایش شدت جریان از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، سطح اتصال بیشتری بین پین و فلز پایه (از ۵۰ تا ۹۵ درصد) ایجاد می‌شود. اما هنگامی که سطح فلز پایه صیقل و نرم می‌باشد، با افزایش شدت جریان از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، سطح اتصال کمتری بین پین و فلز پایه (از ۹۵ تا ۵۰ درصد) ایجاد خواهد شد. همچنین فصل مشترک پین و فلز پایه به صورت فاز مارتنزیت منجمد شده و نتایج ریزسختی سنجی (Micro hardness) تایید کننده سختی بالاتر فصل مشترک نسبت به فلز پایه و پین بود. طبق نتایج اندازه‌گیری استحکام کششی (Tension Test)، بیشترین استحکام اتصال (۴۰۰ مگاپاسکال) مربوط به نمونه صیقل شده با سمباده P60 و شدت جریان ۲۰۰ آمپر (P60-200A) می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی:

فولاد ساده کربنی، جوشکاری گل میخ، ریزساختار.

### ۱- مقدمه

با استفاده از یک بانک ذخیره سازی خازن برای تامین قدرت قوس لحظه ای می‌باشد. فرآیندهای جوشکاری گل میخ قوس با استفاده از این دو نوع منبع قدرت، معمولاً به ترتیب به عنوان جوشکاری گل میخ قوسی و جوشکاری گل میخ تخلیه خازنی، شناخته شده است. با استفاده از این فرآیند، طراحان احتیاجی به مواد ضخیم و یا فلنجهای سنگین تر برای اتصالات، ندارند. با استفاده از جوش گل میخ، نه تنها طراحی‌ها سبک تر می‌شوند، بلکه در مصرف مواد صرفه جویی می‌شود و میزان حجم جوشکاری و ماشین کاری برای اتصالات کاهش می‌یابد [۱].

در جوش گل میخ، پایه گل میخ با حرارت دادن، به قطعه کار جوش می‌خورد که این کار با ایجاد یک قوس بین دو قطعه انجام می‌شود. وقتی سطوح اتصال به درستی گرم می‌شوند، با تحت فشار دادن دو قطعه، حتی به میزان کم، جوش انجام می‌شود. تفنگ جوشکاری گل میخ برای نگه داشتن گل میخ‌ها و حرکت مناسب آنها در طول جوشکاری استفاده می‌شود. برای ایجاد قوس الکتریکی معمولاً دو نوع منبع تغذیه الکتریکی وجود دارد. یک نوع آن استفاده از منابع قدرت یکسو (DC) می‌باشد که شبیه به آن نیز برای جوشکاری قوس با پوشش استفاده می‌شود. و نوع دیگر

تخلخل‌های داخلی شکل می‌گیرد و نیز باعث ترک خوردگی و کاهش خواص مکانیکی جوش می‌شود [۴].

فورزا<sup>۳</sup> و همکاران از چهار سنسور الکترواپتیک برای مانیتورینگ فرآیند جوشکاری گل میخ استفاده کرده‌اند. در این بررسی، انرژی آزاد شده از پلاسمای ایجاد شده در منطقه جوش اندازه‌گیری شد، با توجه به میزان انرژی آزاد شده از پلاسمای ایجاد شده، می‌توان کیفیت جوش حاصل را پیش‌بینی کرد [۵]. عمق نفوذ یکی از پارامترهای هندسی مهم در جوشکاری است که به نحوی معرف کیفیت جوش می‌باشد. می<sup>۴</sup> و همکاران توسط یک سیستم فراصوتی عمق نفوذ اتصال نفوذی را اندازه‌گیری کرده‌اند و پارامترهای بهینه اتصال را معرفی کردند [۶].

آنتونی<sup>۵</sup> و همکاران نیز به یک روش سیستماتیک به بهینه کردن کیفیت جوش قوسی گل میخ پرداخته‌اند. پارامترهای مختلف موثر بر کیفیت جوش را در به صورت بهینه محاسبه کرده‌اند. برای بررسی کیفیت جوش نیز به میزان استحکام کششی پرداخته است [۷].

آل<sup>۶</sup> و همکاران نیز از یک روش غیرمخرب و محاسباتی برای مانیتورینگ و ارزیابی جوش گل میخ استفاده کردند. در این روش با استفاده از محاسبه تمام توان وارد شده به منطقه جوش، دمای ناحیه جوش را محاسبه کردند. میزان دمای حاصل از جوشکاری با حداقل دما و حرارت لازم برای جوشکاری مقایسه می‌شود و جوش قابل قبول و یا غیر قابل قبول اعلام می‌شود [۸]. همزه<sup>۷</sup> و همکارش در تحقیقی، با انجام آزمایش بر روی ۲۵۵ نمونه به این نتیجه رسیدند که افزایش مقاومت کششی بیشتر به زمان جوشکاری، پوشش ورق، جنس گل میخ، وابسته است. از دیگر عوامل موثر ضخامت ورق می‌باشد، ورق ضخیم تر، جوش با استحکام بیشتری ایجاد خواهد کرد [۱]. از دیگر عوامل موثر بر روی استحکام جوش، می‌توان به طراحی گل میخ پرداخت. هرچه میزان سطح مقطع گل میخ افزایش یابد، خواص مکانیکی جوش کاهش خواهد یافت [۱].

لی<sup>۸</sup> و همکاران تاثیر شدت جریان و زمان برقراری قوس الکتریکی را بر خواص اتصال گل میخ به روش قوسی را بررسی کردند. در

باتوجه به اینکه از اتصالات گل میخ برای اتصال سرکابل به خطوط لوله (و اتصال آند فدا شونده جهت محافظت)، اتصال انکر (anchor) به سازه های فولادی داخل بتن و ایجاد پوشش داخل مخازن استفاده می‌شود [۱]، وجود عیوب در این اتصال می‌تواند فاجعه‌بار باشد. بنابراین تحقیقات بسیاری بر عوامل موثر بر کیفیت اتصال گل میخ انجام شده است.

لین<sup>۱</sup> و همکاران به بررسی رفتار اتصالات گل میخ تحت بارگذاری ترکیبی برشی و کششی پرداخته‌اند [۲]. بر اساس نتایج ۷۶ آزمون انجام گرفته در این تحقیق، یک معادله بهینه شده که بیانگر تعامل برش و کشش می‌باشد، پیشنهاد شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، برای گل میخ‌های درون بتن دو مدل شکست وجود دارد. در مدل اول نسبت طول به قطر گل میخ حدود ۴/۵ می‌باشد. در این حالت ابتدا بتن به شکست میرسد. در مدل دوم نسبت طول به قطر بیشتر می‌باشد و در محدوده بین ۹/۰۹ تا ۱۸/۱۸ می‌باشد، که در این حالت شکست ابتدا در گل میخ رخ می‌دهد.

ناردین<sup>۲</sup> و همکاران به بررسی تاثیر موقعیت گل میخ‌ها روی تیر کامپوزیتی تحت بار خمشی پرداخته‌اند [۳]. مقاومت برشی بین تیر و بتن توسط گل میخ‌های جوش داده شده تامین می‌شود. گل میخ‌ها در دو موقعیت عمودی روی سطح تیر و در موقعیت افقی روی سطح جان تیر جوش داده شده‌اند. نتایج تجربی نشان می‌دهد، گل میخ‌های در موقعیت عمودی بیشترین اثر را در خواص کامپوزیتی دارند.

در یک مطالعه در سال ۲۰۰۹ به بررسی پارامترهای جریان، زمان و نوع قطعه کار بر روی خواص جوش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی گل میخ پرداخته شد. تغییرات خواص جوش، با اندازه‌گیری سختی و یکرز در طول ناحیه جوش و اندازه‌گیری عمق نفوذ بررسی شد. نتایج نشان داد که شدت جریان، بیشترین تاثیر را در افزایش عمق نفوذ و طول ناحیه با سختی بیشتر دارد [۴].

استحکام جوش با افزایش جریان به سرعت زیاد می‌شود. جریان بیش از حد باعث پاشش مذاب خواهد شد. که در نتیجه آن

زبری سطح فلز پایه صیقل شده در حالات مختلف توسط دستگاه زبری سنج (Surface Roughness Tester TR100) مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور بررسی اولیه و تایید اتصال انجام شده، طبق استاندارد ISO 14555 [۱۰] آزمون خمش ۳۰ درجه روی تمام نمونه‌ها انجام گرفت. در این آزمون نمونه‌ها توسط لوله‌ای به قطر داخلی ۱۰ میلیمتر و طول ۵۰ سانتی‌متر تا زاویه ۳۰ درجه توسط دست خم شدند، اتصالی که حین خمش دچار شکست نشود، اتصال سالم تلقی می‌شود.

نام‌گذاری نمونه‌ها طبق جدول ۱ انجام شد و از هر حالت ۷ نمونه تهیه شد (۳ نمونه برای بررسی استحکام کششی و ۱ نمونه برای بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی و ریزسختی سنجی). برای بررسی ریزساختار منطقه جوش، از تکنیک متالوگرافی استفاده شد. به این منظور، ابتدا نمونه جوشکاری شده در مقطع عمودی برش داده شده و سپس تا سنباده شماره ۱۵۰۰ صیقل شد. نمونه صیقل شده توسط محلول نایتال (Ethanol+ 3% Nitric acid) به مدت ۱۵ ثانیه اچ شدند. برای مطالعه ریزساختار، سطح نمونه‌های اچ شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM: TSCAN, VEGA) استفاده شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی توسط آشکارساز الکترون‌های ثانویه و بدون پوشش طلا تهیه شد. با قرارگیری فلز پایه و همچنین نمونه‌های جوش داده شده با شرایط مختلف در فک دستگاه کشش (UTM: Wolpert, FM2750)، آزمون کشش با سرعت ۰/۱ mm/sec در دمای محیط انجام شد. به منظور بررسی تکرارپذیری و همچنین محاسبه مقادیر میانگین و انحراف استاندارد، ارزیابی استحکام کششی اتصال بر روی هر سری از نمونه‌ها سه مرتبه تکرار شد و حداکثر نیروی وارد شده به فک دستگاه تا شکست اتصال اندازه‌گیری شده و میانگین استحکام برای هر حالت گزارش شد. با مقایسه نتایج بدست آمده، نسبت استحکام اتصال به استحکام فلز پایه محاسبه گردید. استفاده از آزمون کشش برای بررسی کیفیت جوش طبق تحقیقات آنتونی و همکاران انجام شد [۷].

این بررسی جنس گل میخ فولاد زنگ نزن SUS 304 و جنس فلز پایه فولاد ساده کربنی انتخاب شده بود [۹]. مشاهده می‌شود با افزایش شدت جریان، میزان ذوب شدن فلز در ناحیه اتصال افزایش یافته است و با افزایش زمان جوشکاری از ۰/۲۵ به ۰/۴ ثانیه، اتصال کاملتری حاصل شده است. طبق این تحقیق بهترین زمان و شدت جریان اتصال بین فولاد زنگ نزن SUS 304 به فولاد ساده کربنی به روش گل میخ قوسی، ۰/۴ ثانیه و ۵۲۰-۵۴۰ آمپر گزارش شده است. زمان‌های کوتاه‌تر منجر به اتصال ناقص و شدت جریان‌های بالاتر منجر به پاشش فلز مذاب به اطراف شده است [۹].

باتوجه به اینکه پارامترهای موثر زبری سطح و شدت جریان جوشکاری گل میخ به روش خازنی در مروری بر منابع یافت نشد، در مطالعه حاضر، تأثیر زبری سطح فلز پایه و شدت جریان جوشکاری گل میخ به روش خازنی بر استحکام اتصال و ویژگی‌های ریزساختاری حاصل بررسی شده است. در این تحقیق بین‌های فولادی به زیرلایه فولاد ساده کربنی st42 به روش گل میخ اتصال داده شده است. در حال حاضر، با توجه به عدم وجود تحقیقات کافی در این زمینه نیاز به بررسی بیشتر احساس می‌شود.

## ۲- مواد و روش انجام تحقیق

آزمایش‌ها بر روی نه حالت مختلف انجام شده است. نمونه‌ها با شدت جریان‌های مختلف و میزان زبری متفاوتی سطح فلز پایه، به روش گل میخ اتصال داده شده‌اند. پارامترهای متغیر اتصال به شرح زیر تعریف شدند:

- شدت جریان‌های ۱۶۰ و ۱۸۰ و ۲۰۰ آمپر و نیروی اعمال شده ۳۰ N

- سطوح فلز پایه (سطح لوله) با سه زبری مختلف (صیقل شده با سمباده‌های ۶۰ و ۳۲۰ و سندبلاست).

بین‌هایی از جنس فولاد ساده کربنی ۱۰۱۰ و با قطر ۸ میلی‌متر بر روی جداره لوله‌هایی از جنس فولاد st42 به روش جوشکاری گل میخ اتصال داده شده‌اند. ضخامت لوله مورد استفاده ۴/۲ میلی‌متر می‌باشد.

فرورونده الماسه هرمی شکل مربع القاعده با زاویه راس ۱۳۶ درجه استفاده شد و زمان اعمال بار ۱۰ ثانیه انتخاب شد.

برای بررسی سختی فلز پایه، گل میخ و مرز اتصال از ریزسختی سنجی ویکرز (Bongshin-OBU-3) با نیروی ۱۰۰ گرم و

جدول (۱): نامگذاری نمونه‌های جوشکاری شده در شدت جریان و زبری سطوح فلز پایه مختلف

شدت جریان	زبری سطح		
	سمباده شماره ۳۲۰ (Ra= 0.25 μm)	سمباده شماره ۶۰ (Ra= 1.72 μm)	سندبلاست (Ra= 3.5 μm)
۱۶۰ آمپر	P320-160A	P60-160A	S-160A
۱۸۰ آمپر	P320-180A	P60-180A	S-180A
۲۰۰ آمپر	P320-200A	P60-200A	S-200A

میکرومتر اندازه‌گیری شده است. به این معنا که نمونه‌های صیقلی شده با سمباده شماره ۳۲۰ دارای صیقل و نرم‌ترین سطح بوده‌اند. در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سطح مقطع برش خورده اتصال پین به فلز پایه در حالات جوشکاری مختلف مشاهده می‌شود.

با توجه به اینکه پهنای منطقه اتصال بزرگتر از پنجره دید میکروسکوپ الکترونی بود، برای نمایش کل منطقه اتصال در هر حالت، دو و یا سه تصویر در عرض تهیه شده و در کنار هم قرار داده شدند.

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که در نمونه‌های با زبری سطح فلز پایه P60، با افزایش شدت جریان جوش از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، میزان سطح تماس پین و پایه افزایش یافته است و یا به عبارتی اتصال بین پین و پایه بهبود یافته است. البته در نمونه‌های با زبری سطح فلز پایه P320، با افزایش شدت جریان جوش از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، میزان سطح تماس پین و پایه کاهش یافته است و یا به عبارتی با افزایش شدت جریان جوشکاری، اتصال بین پین و پایه کاهش یافته و فاصله هوایی بیشتری بین پین و پایه ایجاد شده است. حین برقراری جرقه بین پین و فلز پایه، یک حداقل زبری سطح برای اتصال نیاز است و با صیقل شدن سطوح، نقاط مرجح برای آغاز جرقه کاهش یافته و اتصال نامناسب ایجاد خواهد شد. در حالی که در نمونه‌های زبرتر، در سراسر سطح نقاط مرجح آغاز جرقه (برجستگی‌ها) به صورت یکنواخت توزیع شده و جرقه یکنواختی بین پین و فلز پایه ایجاد خواهد شد.

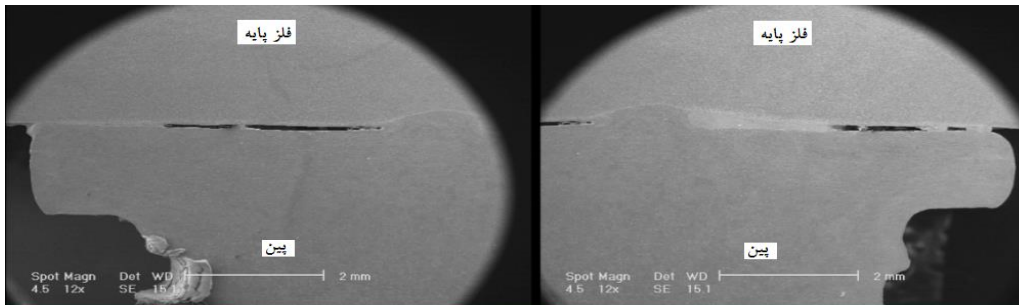
### ۳- نتایج و بحث

بر روی نمونه‌ها طبق استاندارد ISO 14555 [۱۰] آزمون خمش ۳۰ درجه انجام گرفت و همانطور که به صورت نمونه در شکل ۱ دیده می‌شود، تمام نمونه‌ها غیر از نمونه سندبلاست شده این آزمون را نیز با نتیجه مثبت گذراندند.

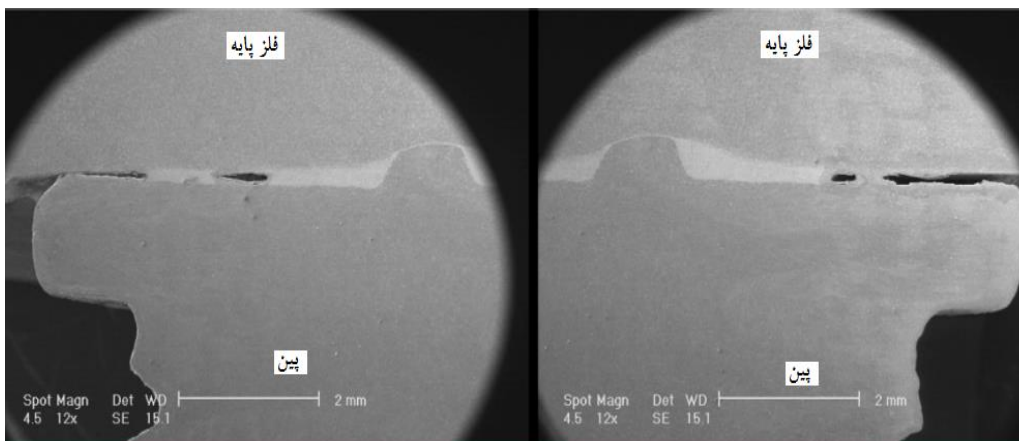


شکل (۱): آزمون خمش برای تایید اولیه کیفیت اتصال

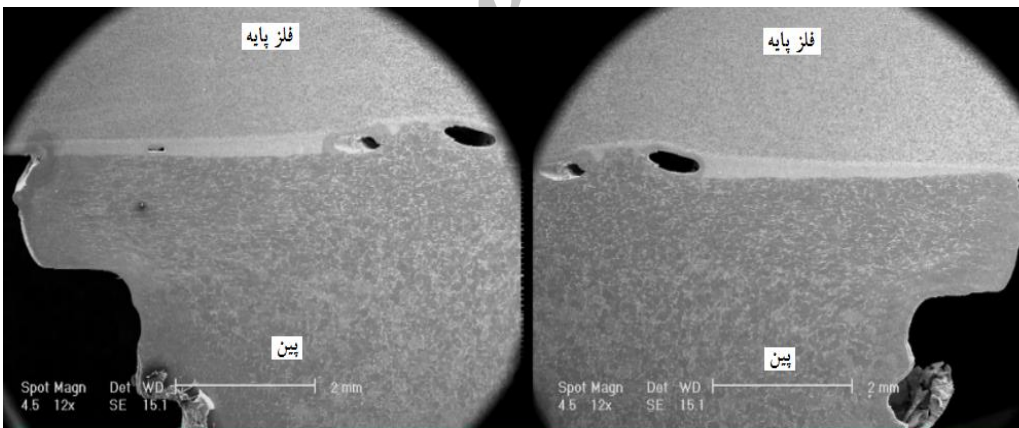
در این آزمون نمونه‌ها توسط ابزار تا زاویه ۳۰ درجه خم شدند، اتصالی که حین خمش دچار شکست نشود، اتصال سالم تلقی می‌شود. بنابراین در ادامه نمونه‌های سندبلاست شده بررسی نشده‌اند. طبق نتایج زبری سنجی فلز پایه، مشاهده می‌شود پارامتر Ra (بیانگر میزان پستی و بلندی‌های سطح) در نمونه‌های سندبلاست، سمباده ۶۰ و ۳۲۰ شده به ترتیب ۳/۵، ۱/۷۲ و ۰/۲۵



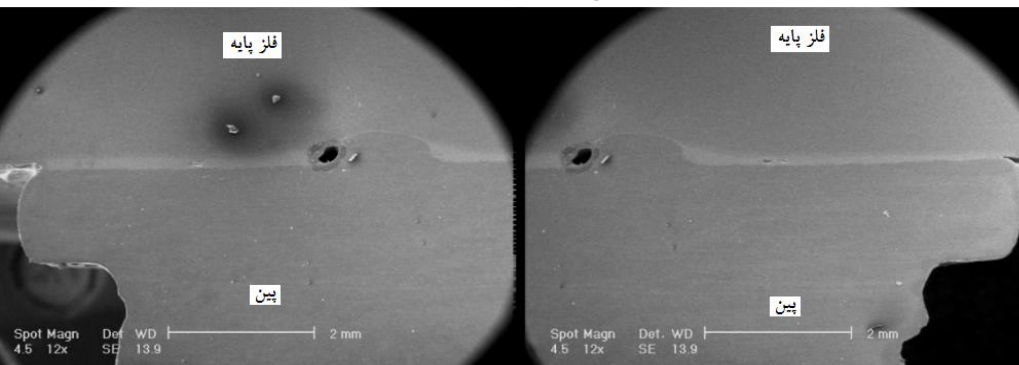
(الف): نمونه P60-160



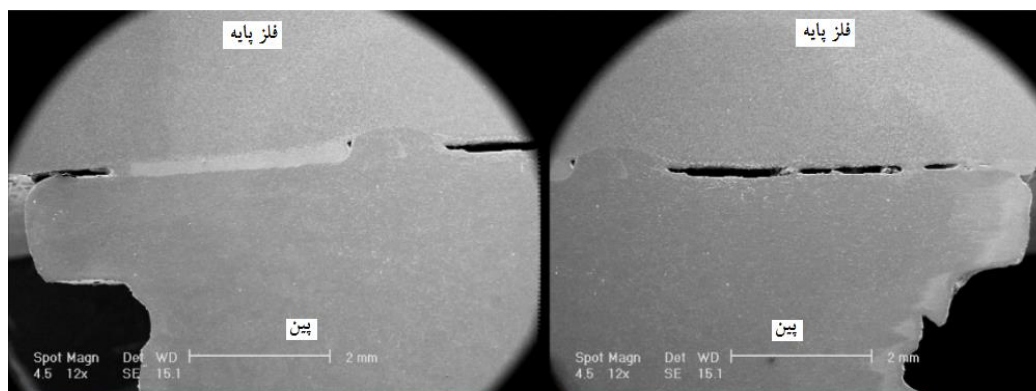
(ب): نمونه P60-180



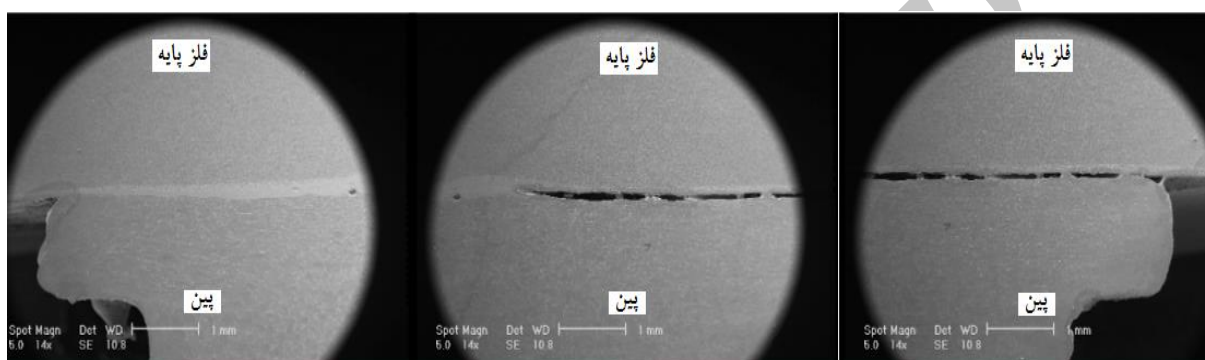
(ج): نمونه P60-200



(د): نمونه P320-160



(ه): نمونه P320-180



(و): نمونه P320-200

شکل (۲): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مقطع برشی اتصال پین به فلز پایه در حالات جوشکاری مختلف

استحکام اتصال خواهد شد. در حالی که در زبری سطح P320 با افزایش شدت جریان جوشکاری از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، طول منطقه تماس بین پین و فلز پایه از ۹/۵ به ۵ میلیمتر کاهش یافته که سبب کاهش استحکام اتصال خواهد شد.

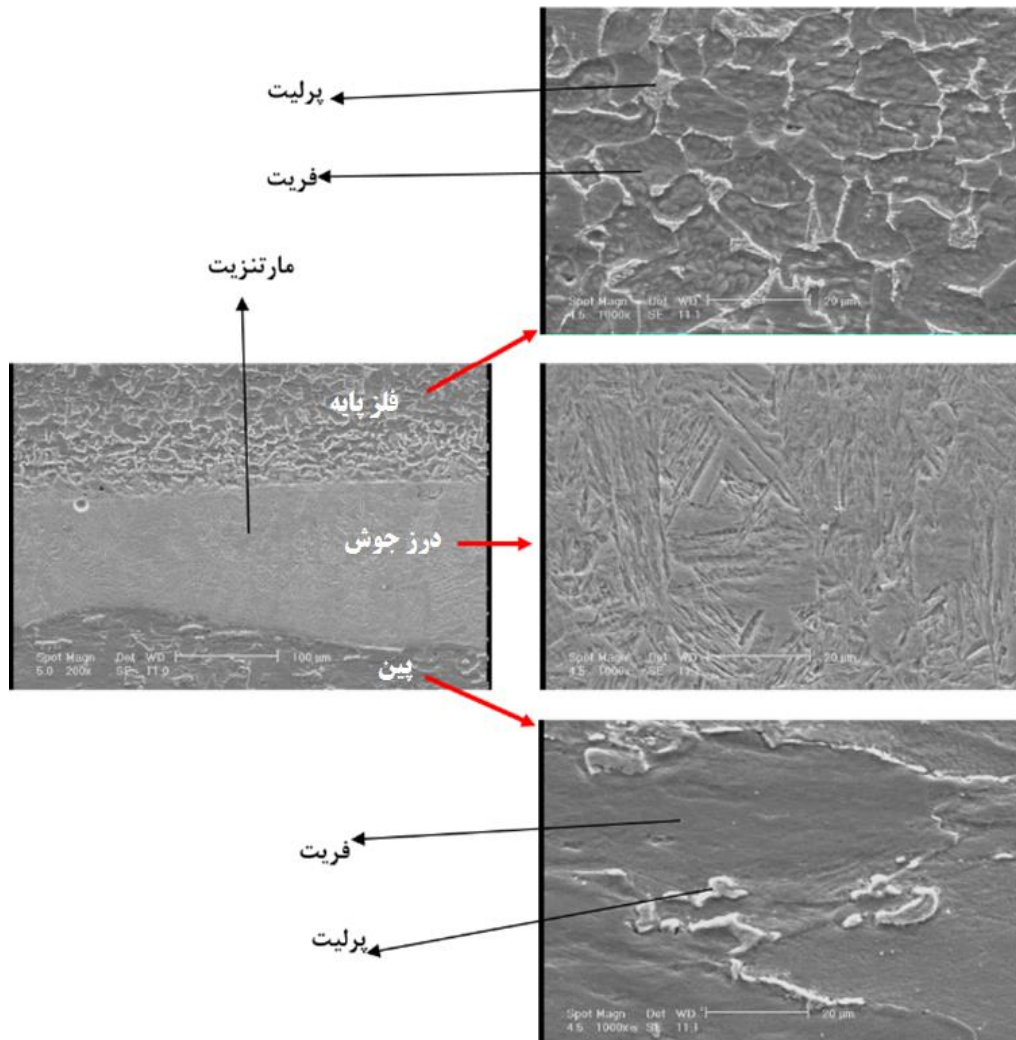
جدول (۲): طول منطقه اتصال نسبت به قطر پین (به صورت درصد تماس)

درصد اتصال	طول منطقه تماس بین پین و فلز پایه (mm)	شرایط اتصال
۵۰	۵	P60-160A
۶۰	۶	P60-180A
۹۵	۹/۵	P60-200A
۹۵	۹/۵	P320-160A
۵۵	۵/۵	P320-180A
۵۰	۵	P320-200A

نتایج حاصل از پردازش تصاویر شکل ۲ توسط نرم افزار پردازش تصویر ImageJ نشان می دهد در زبری سطح P60 و P320 با افزایش شدت جریان، ضخامت منطقه ذوب جزئی از ۱۵۰ به ۲۰۰ میکرومتر افزایش یافته است. اما افزایش بیشتر شدت جریان تاثیر قابل توجهی در ضخامت منطقه ذوب جزئی نداشته است. طبق نتایج ساماردزیک<sup>۹</sup> و همکاران نیز با افزایش بیش از حد جریان، حفرات در درز جوش افزایش می یابد [۴]، البته در تحقیق ایشان ارتباط زبری و جریان بررسی نشده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می دهد پدیده فوق در سطوح صیقل تر، سریع تر ایجاد خواهد شد. همچنین در تمام نمونه ها با اندازه گیری و محاسبه نسبت طول منطقه تماس به قطر پین، درصد اتصال در شرایط مختلف محاسبه شده و نتیجه آن در جدول ۲ آمده است. طبق نتایج جدول ۲، در فلز پایه با زبری سطح P60 با افزایش شدت جریان جوشکاری از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، طول منطقه تماس بین پین و فلز پایه از ۵ به ۹/۵ میلیمتر افزایش یافته که سبب افزایش

میزان پرلیت فلز زمینه بیش از پین می‌باشد که با درصد کربن این دو، در توافق خوبی است (طبق محاسبات انجام شده توسط نرم افزار پردازش تصویر ImageJ، میزان پرلیت پین و فلز پایه به ترتیب حدود ۱۲ و ۳۵ درصد اندازه گیری شد).

مشاهده می‌شود ارتباط معناداری بین زبری سطح و شدت جریان بهینه جوشکاری به روش گل میخ وجود دارد. در شکل ۳، منطقه اتصال فصل مشترک جوش در نمونه P320-200A، در بزرگنمایی بالاتر مشاهده می‌شود. طبق این شکل، ریزساختار فلز زمینه و پین هر دو فریتی - پرلیتی می‌باشد. البته به نظر می‌رسد که



شکل (۳): منطقه اتصال فصل مشترک جوش در نمونه P320-200A، در بزرگنمایی بالا

حرارت ذخیره بیشتر، حوضچه مذاب حرارت خود را آهسته‌تر از دست خواهد داد و احتمال مارتنزیتی نشدن ساختار وجود داشت. طبق نمودار تنش - جابجایی حاصل از آزمون کشش فلز پایه حداکثر استحکام کششی (UTS) فلز پایه st42 حدود  $460 \text{ MPa}$  و استحکام تسلیم آن  $360 \text{ MPa}$  می‌باشد.

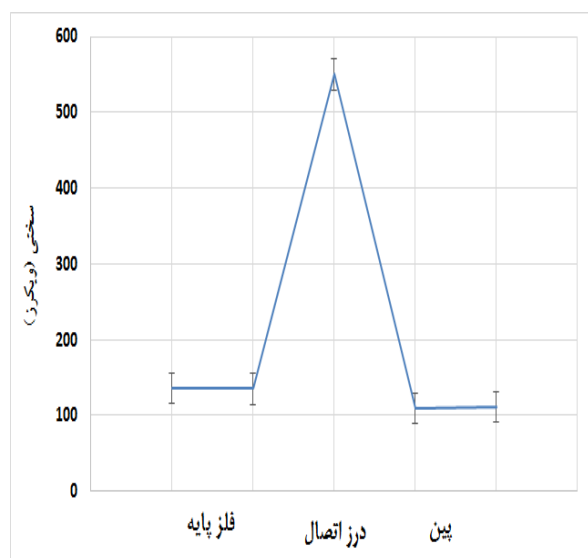
همچنین ریزساختار درز اتصال، کاملاً مارتنزیت می‌باشد. از آنجایی که پهنای منطقه ذوب بسیار کم (نازکتر از  $200 \text{ میکرومتر}$ ) است، بنابراین فلز مذاب ایجاد شده بین پین و فلز پایه خیلی سریع سرد شده و ساختار مارتنزیتی ایجاد شده است. البته در صورتی که حجم فلز مذاب بین پین و فلز پایه بیشتر می‌بود، به واسطه

کششی اتصال مربوط به نمونه P60-160A می‌باشد. از آنجایی که حداکثر استحکام کششی (UTS) فلز پایه st42 حدود ۴۶۰ MPa می‌باشد، مشاهده می‌گردد که استحکام کششی مستحکم‌ترین اتصال گل میخ حدود ۸۷ درصد اتصال فلز پایه بوده است. این کاهش استحکام را می‌توان به تشکیل منطقه ذوب جزئی بسیار کوچک بین فلز پایه و پین و سرد شدن سریع آن دانست که منجر به تشکیل فاز سخت و ترد مارتزیت شده است.

جدول (۳): استحکام کششی نمونه‌های جوشکاری شده در شرایط مختلف

نمونه	P60-160A	P60-180A	P60-200A	P320-160A	P320-180A	P320-200A
استحکام کششی (MPa)	۱۰±۱۷۸	۱۳±۳۸۶	۱۰±۴۰۰	۹±۳۸۵	۱۲±۲۴۲	۸±۲۱۸

پروفایل ریزسختی تهیه شده از نمونه‌ها در شکل ۵ آورده شده است.

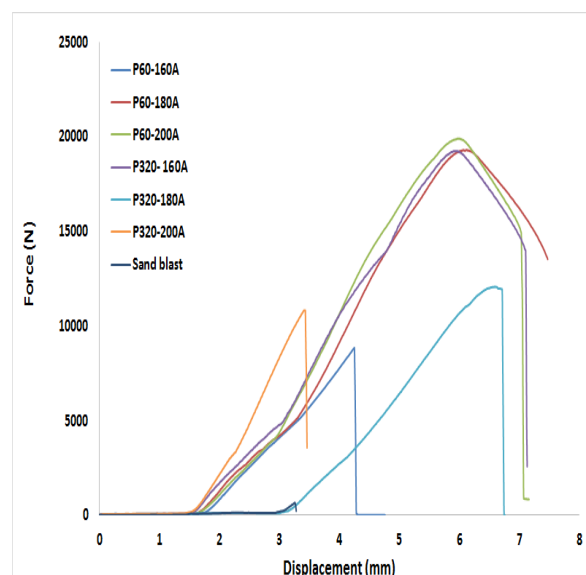


شکل (۵): پروفایل سختی (ریزسختی ویکرز) ناحیه اتصال

همان گونه که مشاهده می‌شود، سختی در فصل مشترک فلز پایه-پین نسبت به بقیه قسمت‌های نمونه دارای مقدار بیشینه است، که علت آن تشکیل فاز سخت مارتزیت در فصل مشترک است. به گونه ای که سختی فلز پایه، پین و درز اتصال (فاز مارتزیت) به ترتیب  $۱۳۵ \pm ۵$ ،  $۱۱۰ \pm ۵$  و  $۵۵۰ \pm ۸$  ویکرز اندازه‌گیری شد. در

استحکام کششی نمونه‌های اتصال داده شده در شرایط مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش زبری سطح از P320 به P60، استحکام اتصال افزایش یافته و همچنین با افزایش شدت جریان جوشکاری در نمونه با سطح زبر، استحکام اتصال افزایش و با افزایش شدت جریان جوشکاری در نمونه با سطح نرم، استحکام اتصال کاهش یافته است. بر طبق نتایج حاصل از آزمون کشش، بالاترین استحکام کششی مربوط به نمونه P60-200A و کمترین استحکام

در شکل ۴، نمودارهای نیرو-جابجایی حاصل از آزمون کشش اتصال گل میخ در شرایط مختلف مشاهده می‌شود. افت ناگهانی نیرو پس از نقطه حداکثر، بیانگر ترد بودن ماهیت شکست اتصال در تمام شرایط می‌باشد. از آنجایی که استحکام اتصال نمونه‌های سندبلاست شده بسیار کمتر از سایر نمونه‌ها است، این نمونه مورد ارزیابی میکروسکوپی قرار نگرفته است.



شکل (۴): نمودارهای نیرو-جابجایی حاصل از آزمون کشش اتصال گل میخ در شرایط مختلف



۵- زبری سطح و شدت جریان جوشکاری گل میخ به روش خازنی، دو پارامتر موثر بر یکدیگر هستند که باید متناسب به هم انتخاب گردند.

#### ۵- مراجع

- [1] R. Mohammed & A. Hamza, "Optimized Stud Arc Welding Process Control Factors by Taguchi Experimental Design Technique", INTECH publisher, <http://dx.doi.org/10.5772/48166>
- [2] Z. Lin, Y. Liu & J. He, "Behavior of stud connectors under combined shear and tension loads," Eng. Struct., Vol. 81, pp. 362–376, 2014.
- [3] S. De Nardin & A. L. H. C. El Debs, "Study of partially encased composite beams with innovative position of stud bolts", J. Constr. Steel Res., Vol. 65, No. 2, pp. 342–350, 2009.
- [4] I. Samardžić, I. Kladarić & Š. Klarić, "The influence of welding parameters on weld characteristics in electric arc stud welding," Metalurgija, Vol. 48, No. 3, pp. 181–185, 2009.
- [5] P. Sforza & D. de Blasiis, "On-line optical monitoring system for arc welding", NDT E Int., Vol. 35, No. 1, pp. 37–43, 2002.
- [6] B. Mi & C. Ume, "Real-time weld penetration depth monitoring with laser ultrasonic sensing system", J. Manuf. Sci. Eng., Vol. 128, No. 1, pp. 280–286, 2006.
- [7] J. Antony, M. Hughes & M. Kaye, "Reducing manufacturing process variability using experimental design technique: a case study", Integr. Manuf. Syst., vol. 10, no. 3, pp. 162–170, 1999.
- [8] K. Van Allen, "Apparatus and method for monitoring and evaluating weld quality", Google Patents, 14-Oct-1997.
- [9] J. Soo LEE, Y. Soo RYU, N. In Kim, B. Joon KIM, Y. Kyung Kim, M. Hyun Kim, "Stud welding for fixation of cryogenic insulation of membrane tanks in LNG ship building", Transactions of nonferrous metals society of China, Vol. 19, pp. 271-275, 2009.
- [10] INTERNATIONAL STANDARD, Welding- Arc stud welding of metallic materials, ISO 14555, Second edition, 2006.

لحظه برقراری جرقه و ذوب شدن جزئی سطح فلز پایه و بین منطقه مذاب بسیار کوچکی در فصل مشترک شکل می گیرد، اما با توجه به حجم کم مذاب و قرار گرفتن آن بین دو فلز سرد جامد، حوضچه مذاب سریعاً سرد شده و به صورت فاز مارتنزیت جامد می شود، که سختی بالایی دارد. از آنجایی که اختلاف معناداری بین سختی نمونه های مختلف مشاهده نشد، فقط نتایج سختی سنجی نمونه P320-200A در نمودار شکل ۵ گزارش شده است. هر دوی فلز پایه و بین فولاد ساده کربنی هستند، اما از آنجایی که فلز پایه کربن بالاتری دارد، سختی آن اندکی بیشتر از بین بدست آمده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر تأثیر زبری سطح فلز پایه و شدت جریان جوش بر خواص ریزساختاری و مکانیکی اتصال گل میخ به فولاد ساده کربنی st42 بررسی شد که مهمترین دستاوردهای این تحقیق عبارتند از:

- ۱- به علت تشکیل منطقه مذاب کوچک بین فلز پایه و بین، و در نتیجه انجماد سریع آن، درز جوش با ساختار مارتنزیتی منجمد شده و سختی بالایی دارد.
- ۲- وجود فاصله هوایی بین فلز پایه و بین، سبب کاهش استحکام اتصال می شود و با بزرگتر شدن فاصله هوایی، کاهش استحکام بیشتری ایجاد خواهد شد.
- ۳- در نمونه هایی که سطح فلز پایه توسط سنباده P60 صیقل شده (سطح زبر) با افزایش شدت جریان جوشکاری از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، فاصله هوایی بین فلز پایه و بین کاهش یافته و اتصال کاملتری ایجاد شد، بگونه ای که در مستحکم ترین حالت (P60- 200A)، استحکام اتصال به ۸۷ درصد استحکام فلز پایه رسید.
- ۴- در نمونه هایی که سطح فلز پایه توسط سنباده P320 صیقل شده (سطح نرم) با افزایش شدت جریان جوشکاری از ۱۶۰ به ۲۰۰ آمپر، فاصله هوایی بین فلز پایه و بین افزایش یافته و اتصال ناقص تری ایجاد شد.

۶- پی نوشت

- [1] Lin
- [2] Nardin
- [3] Sforza
- [4] Mi
- [5] Antony
- [6] Allen
- [7] Hamza
- [8] Lee
- [9] Samardžić

Archive of SID

## The effect of surface roughness and the current on the strength of stud welded Pin

Javad Mokhtari<sup>1</sup>, Mohammad Khodaei<sup>2\*</sup>

1- M.Sc. Student, Department of Materials Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2- Assistance professor, Center for Advanced Engineering Research, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

\*Corresponding author: khodai1358@gmail.com

---

### Abstract

Fast pin connecting to the steel parts to fasten cables and wires to the pipelines, anchors inside the cements to the steels structures and bolts inside the tanks is possible just using stud welding method. In this method an electric arc is established between pin and base metal, and partially melt their surfaces, then by applying a pressure, pin and base metal will be jointed. Some parameters such as surface roughness, time of electric arc, the thickness of base metal and current, affect the quality of stud welding. In this research, steel pins are connected to a steel base metal at three different surface roughness and three different current using stud welding method. Results of scanning electron microscopy (SEM) indicates that when the surface of base metal is rough, the interface of joint increases from 50 to 95 percent by increasing the current from 160 to 200 ampere. But that when the surface of base metal is smooth, the interface of joint between pin and base metal decreases from 95 to 50 percent by increasing the current from 160 to 200 ampere. Also the interface of pin and base metal solidify in martensitic form, and the results of micro hardness measurement confirms the higher harness of the interface regarding base metal and pin. According to the results of tension test, the maximum strength (400 MPa) was related to the P60-200A sample.

### Keywords:

Plane Carbon Steel, Stud Welding, Microstructure.

---

Journal homepage: [ma.iaumajlesi.ac.ir](http://ma.iaumajlesi.ac.ir)

### Please cite this article using:

Javad Mokhtari, Mohammad Khodaei, the effect of surface roughness and the current on the strength of stud welded Pin, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(2), 77-87.