



بررسی تأثیر برخی پارامترهای جوش در اتصال گلمیخ مورد استفاده در سقف کامپوزیت

مهسا غلام برگانی^۱، فرشید مالک قائینی^۲، علی مزروعی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱)

چکیده

در این تحقیق، اثر پارامترهای جریان، زمان، طول فرورونده و بالارونده ی گلمیخ، در استحکام جوش گلمیخ به کار رفته در سقف کامپوزیت، مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا با در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به پارامترها در منابع موجود، طراحی آزمایش انجام شد، سپس از دستگاه جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ برای جوش گلمیخ با سایز ۱۹ mm و طول ۱۱۵ mm بر روی تیر به همراه ورق گالوانیزه (دک گالوانیزه) استفاده شد. نمونه‌ها از لحاظ ظاهر جوش، پروفیل جوش، سختی سطح مقطع جوش و استحکام جوش با استفاده از آزمون خمش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برای جوش بانفوذ و اتصال مناسب، هر چهار پارامتر دارای اهمیت می‌باشند، اما تنها از روی ظاهر جوش نمی‌توان به کیفیت اتصال مطابق با استانداردهای پی برد. پارامترهای تعیین شده توسط استانداردها و سازندگان دستگاه به صورت کاملاً دقیق تعیین کننده‌ی انجام جوش مناسب، در شرایط مختلف طرح اتصال و کار نمی‌باشد. برای تشخیص و کنترل دقیق‌تر پارامترها علاوه بر بازرسی چشمی، نیازه انجام آزمون خمش در محل انجام جوشکاری نیز می‌باشد.

کلمات کلیدی

گلمیخ، سقف کامپوزیتی، پارامتر جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ، استحکام جوش گلمیخ در سقف کامپوزیت

The effect Arc Stud Welding process parameters on the mechanical properties of shear connectors in composite metal deck constructions

M. GHOLAM BARGANI, F. MALEK GHAINI*, AND A. MAZROI

ABSTRACT

Arc stud welds act as shear connectors in composite steel-concrete beam which are now widely used in the construction of roof of buildings. In this study shear studs 19 mm in diameter made of AISI 1010 steel are welded to steel beams and the effects of weld current, plung and lift heights, and arc time are investigated. Weld samples were characterized in terms of appearance, profile, weld penetration, strength and fracture location in bend test. The results showed the significance of the process parameters on the soundness and strength of the welded connection. It is also shown that weld appearance and just visual inspection cannot be regarded as a sufficient test for the day to day inspection of the stud welding work at site. It is also necessary and important to perform the site bend test at the beginning of each shift or round of site work as required by AWS D 1.1 standard.

KEYWORDS

effect of parameter, stud welding, welded joint, arc welding, composite beam, metal deck

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد متالوژی، دانشگاه تربیت مدرس، mahsabargani@yahoo.com (نویسنده مسئول)

۲- رییس دپارتمان مهندسی مواد و متالوژی، دانشگاه تربیت مدرس، farshidmalek@yahoo.com

۳- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، ali.mazroi@iauctb.ac.ir



سقف‌های کامپوزیت فولادی-بتنی در صنعت ساختمان، به دلیل وزن کم و استحکام کافی در برابر بارهای دینامیکی برای ساختمان‌های فولادی استفاده می‌شود [۱]. یک تیر کامپوزیت شامل یک مقطع فولادی و یک دال بتنی بوسیله گلمیخ‌ها بهم متصل می‌گردند. بدیهی است که بتن، دارای مقاومت فشاری خوبی است. اما تحت تنش کششی ضعیف است؛ درحالی‌که فولاد در کشش مقاومت مناسبی دارد [۱]. در واقع هرکدام از مصالح بکاررفته در سازه، با توجه به مزیت رفتاری آنها باعث می‌شود به صورت موثر و اقتصادی عمل کند [۲]. در اجرای تیرهای کامپوزیت باید ضوابط پیشنهادی در استانداردها از جمله AISC, ISO13398, 14555 و مقررات ملی ساختمانی ایران رعایت گردد.

یک از اجزاء ضروری سقف کامپوزیت، گلمیخ است که باعث اتصال مقطع فولادی به دال بتنی، می‌گردد. گلمیخ‌ها به صورت مکانیکی به بال بالایی تیر فولادی و معمولاً با جوشکاری قبل از ریختن بتن متصل می‌شوند [۳]. جوشکاری گلمیخ، یک روش رایج و جایگزین فرآیندهای دیگر جوشکاری، همچون، جوش قوس الکتریکی روکش دارو روش‌های دیگر اتصال، همانند پرچ کردن و پیچ کردن می‌باشد که از دهه‌ی ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفته است [۴].

با توجه به اینکه زمان سیکل جوشکاری گلمیخ با قوس الکتریکی خیلی کوتاه است، فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت جوش، خیلی باریک بوده، در نتیجه مقدار تنش‌های ناشی از جوش، کمتر می‌باشد. گلمیخ را می‌توان در وضعیت‌های مختلف، از یک‌طرف به سازه جوش نمود. جوشکاری گلمیخ به دلیل سادگی استفاده و سرعت عمل اجرا، سالیان طولانی است که استفاده‌ی گسترده دارد.

کارخانجات سازنده تجهیزات فوق، اقدامات زیادی برای بهبود فرآیند جوشکاری و مواد بکاررفته انجام داده‌اند که باعث اعتماد پذیری این فرآیند شده است. باین وجود، صحت مواد بکاررفته و انجام صحیح آن، یکی از مسائل مهم است [۵].

در مطالعات مختلف، طی سال‌های مختلف در مورد گلمیخ‌های بکاررفته در سقف‌های کامپوزیت، بیشتر به بررسی خواص مکانیکی همراه با آزمون‌های مکانیکی در مورد گلمیخ‌های بکاررفته در سازه‌ها پرداخته شده است. از جمله استحکام برشی گلمیخ‌ها [۶]، رفتار گلمیخ در دمای بالا و مقاومت در برابر بارهای خستگی [۷]، کنترل شکست نرم درسازه‌ی کامپوزیتی با استفاده از انجام آزمون‌های مکانیکی و شبیه سازی‌های مکانیکی [۸] محوریت اساسی این مطالعات بوده است، البته با فرض براینکه جوش‌های انجام شده صحیح و بانفوذ خوب باشند.

انتخاب پارامترهای جوشکاری نقش مهمی در کیفیت فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ایفا می‌کند، و این موضوع مساله‌ی اساسی در فرآیندهای مختلف جوش‌های قوسی است. از جمله پارامترهای مهم که در این نوع جوشکاری تاثیرگذار هستند شامل جریان (I)، زمان، طول بالارونده و طول فرورونده می‌باشند.

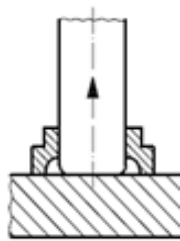
دریک مطالعه در سال ۲۰۰۹ به بررسی پارامترهای جریان، زمان و نوع قطعه کار بر روی خواص جوش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ پرداخته شد. تغییرات خواص جوش، با اندازه گیری سختی ویکرز در طول ناحیه‌ی جوش و اندازه گیری عمق نفوذ بررسی شد. نتایج نشان داد که جریان، بیشترین تاثیر را در افزایش عمق نفوذ و طول ناحیه باسختی بیشتر دارد [۹].

دراین مقاله، ارزیابی اثر تغییرات پارامترهای جوشکاری، مبنی بر آزمایشات تجربی انجام شده با استفاده از فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ همراه با فرول سرامیکی، که در سقف‌های کامپوزیت استفاده می‌شود، صورت گرفته است. تغییرات خواص جوش، با تغییر پارامترهای جوشکاری با بررسی پروفیل جوش، استحکام و سختی جوش تحلیل شده است.

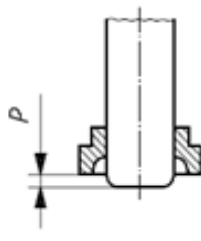
۲- روش تحقیق

برای انجام این تحقیق، از گلمیخ از نوع اتصال دهنده برشی، با قطر ۱۹ mm (۳/۴ in) و طول ۱۱۵ mm مطابق استاندارد ISO ۱۳۹۱۸ [۱۰] و ۱۱۹۶۹ استاندارد ملی ایران

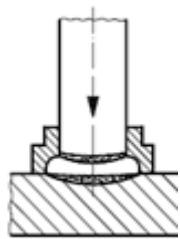




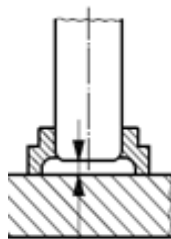
(ب) گلمیخ بر روی قطعه کار گذاشته می‌شود.



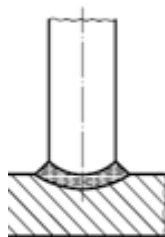
(الف) پارامتر p برای گلمیخ تنظیم می‌شود.



(د) قوس، سطح و گلمیخ را ذوب می‌کند و گلمیخ در مذاب به اندازه فاصله تقریباً p در مذاب فرو می‌رود.



(ج) گلمیخ به اندازه‌ی فاصله L بالا می‌رود درحالی‌که جریان برقرار می‌شود، قوس ایجاد می‌شود.



(ه) قطع اتصال حاصل می‌شود.

شکل (۲): فرآیند جوشکاری قوسی گلمیخ [۱۰]

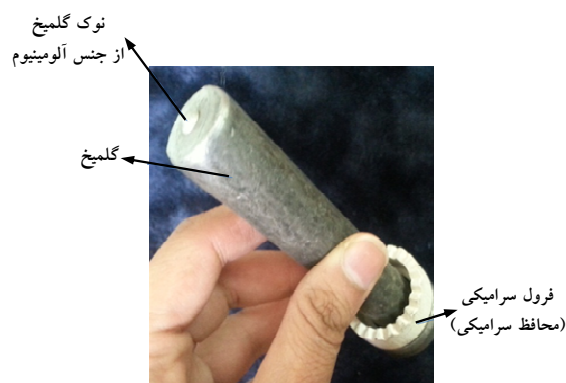
از استانداردهای:

AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2002، AWS ISO 14555، ISO 13918 و ANSI/AWSC5.4 برای انجام جوشکاری گلمیخ در این تحقیق استفاده شد.

فرآیند جوشکاری قوسی گلمیخ همراه با فرول سرامیکی با استفاده از دستگاه جوشکاری مدل BTH PRO-D 2200 مورد استفاده برای جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ، استفاده شد. این دستگاه دارای یک تفنگ جوشکاری و کابل اتصال است. پارامترهای زمان و جریان بر روی دستگاه برای گلمیخ‌هایی با سایز ۱۰ تا ۲۲ قابل تنظیم می‌باشند. مراحل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ

نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / ۱۷

در مورد "گلمیخ‌ها و حلقه‌های سرامیکی برای جوشکاری قوسی گلمیخ" استفاده شده است. در شکل (۱) عکسی از گلمیخ نشان داده شده است. جنس گلمیخ، از فولاد کم کربن مطابق جدول (۱) است و به روش فورج سرد از مفتول با این جنس تولید می‌شود. خواص مکانیکی این گلمیخ، در جدول (۲) آورده شده است. نوک گلمیخ، به صورت زائده‌ای از جنس آلومینیوم می‌باشد. گلمیخ مورد استفاده دارای یک فرول یا محافظ سرامیکی برای حالت جوشکاری قوس الکتریکی گلمیخ به سمت پایین است. قطعه کار مورد نیاز برای جوشکاری، تیر IPE180 از جنس فولاد ST37، همچنین از ورق گالوانیزه با ضخامت 0.8 mm مطابق آنچه در سقف کامپوزیتی استفاده می‌شود، بکارگرفته شد.



شکل (۱): گلمیخ مورد استفاده در سقف کامپوزیت (گلمیخ دارای یک نوک آلومینیومی و یک محافظ سرامیکی است).

جدول (۱): ترکیب شیمیایی پایه گلمیخ از جنس فولاد کم کربن از نوع فولاد ۱۰۱۰

عنصر	Cr	Mn	Al	S	Si	C	Fe
درصد وزنی	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۱۴	۹۹/۰

جدول (۲): خواص مکانیکی گلمیخ

قطر (mm)	طول (mm)	استحکام (MPa)	افزایش طول (%)
۱۹	۱۱۵	۳۴۶	۳۴



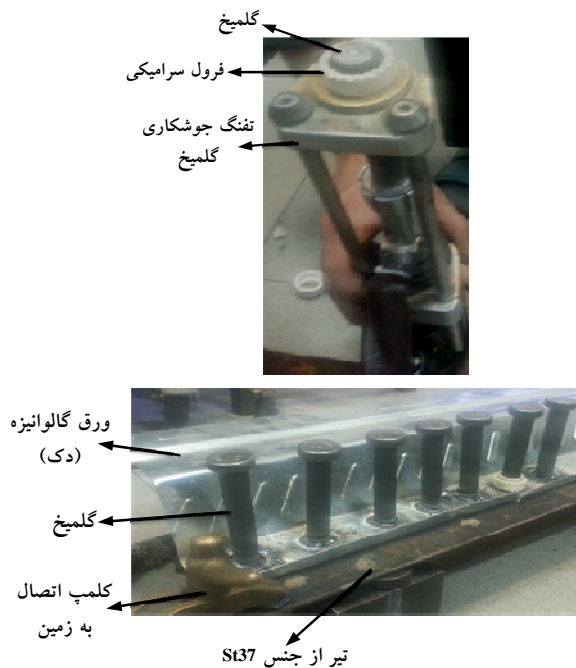
انداخته شد. جهت بررسی ساختار انجمادی جوش و همچنین ابعاد حوضچه‌ی جوش و منطقه HAZ از محلول نایتال ۲٪ به مدت ۵ الی ۶ ثانیه استفاده گردید. به منظور بررسی شکل منطقه‌ی جوش و HAZ و مشخص کردن تقریبی عیوب ایجاد شده از استریواسکوپ استفاده شد. شکل مقطع جوش، همراه با مشخص شدن قسمت‌های مختلف جوش، در شکل (۵) نشان داده شده است.

جدول (۳): طراحی آزمایش مربوط به جوشکاری گلمیخ با پارمترهای موجود

ردیف	I (A)	T (ms)	P (mm)	L (mm)	P/L	اسم نمونه
۱	۱۲۵۰	۵۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	D1M
۲	۱۲۵۰	۸۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	D2M
۳	۱۵۰۰	۵۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	M1M
۴	۱۵۰۰	۸۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	M2M
۵	۱۷۵۰	۵۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	U1M
۶	۱۷۵۰	۸۰۰	۳/۵	۵	۵:۳/۵	U2M
۷	۱۲۵۰	۵۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	D1U
۸	۱۲۵۰	۸۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	D2U
۹	۱۵۰۰	۵۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	M1U
۱۰	۱۵۰۰	۸۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	M2U
۱۱	۱۷۵۰	۵۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	U1U
۱۲	۱۷۵۰	۸۰۰	۴/۵	۷	۷:۴/۵	U2U
۱۳	۱۲۵۰	۵۰۰	۲/۵	۴	۴:۲/۵	D1D
۱۴	۱۲۵۰	۸۰۰	۲/۵	۴	۴:۲/۵	D2D
۱۵	۱۵۰۰	۵۰۰	۲/۵	۴	۴:۲/۵	M1D
۱۶	۱۵۰۰	۸۰۰	۲/۵	۴	۴:۲/۵	M2D
۱۷	۱۷۵۰	۵۰۰	۲/۵	۴	۴:۲/۵	U1D
۱۸	۱۷۵۰		۲/۵	۴	۴:۲/۵	U2D

مطابق شکل (۲) می‌باشد. تجهیزات انجام جوشکاری در شکل (۳) نشان داده شده است.

بعد از تهیه تجهیزات، طراحی آزمایش بصورت فاکتوریل کامل، انجام شد. پارامترهای در نظر گرفته شده شامل جریان (سه سطح)، زمان (دو سطح) و P/L (سه سطح با نسبت یکسان و مقادیر متفاوت L و P) مطابق جدول (۳) می‌باشد.



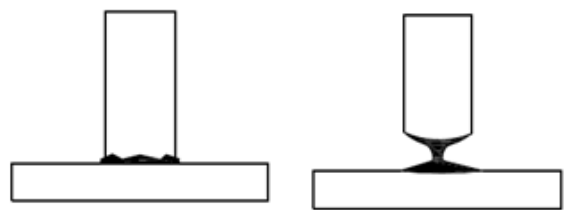
شکل (۳): مصالح مربوط به جوشکاری گلمیخ انجام شده

فرآیند جوشکاری همراه با مصالح بصورت شکل (۳)، مطابق با طراحی آزمایش انجام شد. بعد از جوش دادن نمونه‌ها، ابتدا آزمون چشمی، مطابق استاندارد ISO 14555 برای نمونه‌ها انجام شد. معیارهای ظاهر جوش سالم و نامناسب مطابق با استاندارد ISO 14555 است. در حالیکه جوش ناسالم بصورت چهار حالت مختلف، مطابق شکل (۴) می‌باشد.

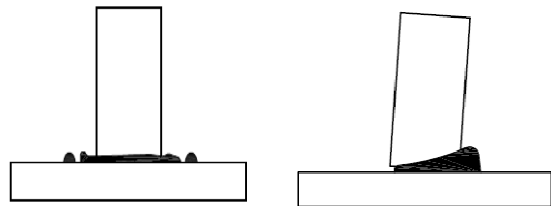
بعد از آنکه، هر گلمیخ که بر روی تیر به همراه ورق گالوانیزه جوش داده شده با اره قسمتی از بال تیر، بریده شد. سپس هر قسمت از بال تیر که بر روی آن جوش انجام شده بود، به صورت مقطع عرضی بریده شد، سپس سطح نمونه‌ها با سنباده ۸۰ تا ۲۵۰۰ آماده سازی و بعد، برق

برای بررسی سختی منطقه‌ی جوش و فازهای تشکیل شده و همچنین منطقه HAZ جوش گلمیخ مورد استفاده در سقف‌های کامپوزیت فولادی-بتنی، از آزمایش میکروسختی (ویکرز) با استفاده از دستگاه میکروسختی مدل BUHLER LTD استفاده شد. آزمایش‌های میکروسختی سنجی در نقاط مختلف از مناطق مختلف جوش (از قسمت قطعه کار به سمت پایه گلمیخ) صورت گرفت. برای افزایش میزان دقت اعداد بدست آمده از این آزمایش، چندین بار تکرار شد. عددهای بدست آمده که از ۵ نقطه در هر مکان می‌باشد، جمع و میانگین آنها محاسبه شد. آزمایش میکروسختی سنجی تحت بار ۱۰۰ g و به مدت ۱۵ ثانیه صورت گرفت. شکل پروفیل سختی در شکل (۶) نشان داده شده است.

به منظور بررسی استحکام جوش از آزمون خمش استفاده شد. آزمون خمش با ساخت و استفاده از دستگاه خمش هیدرولیک انجام شد. عکس دستگاه تست خمش در شکل (۷) مشاهده می‌شود. گلمیخ جوش داده شده بر روی صفحات فولادی تهیه شده، با ابعاد تقریباً $10 \times 10 \text{ cm}^2$ در دستگاه گذاشته شده و تحت زاویه ۱۵ الی ۳۰ درجه تحت خمش قرار می‌گیرد.

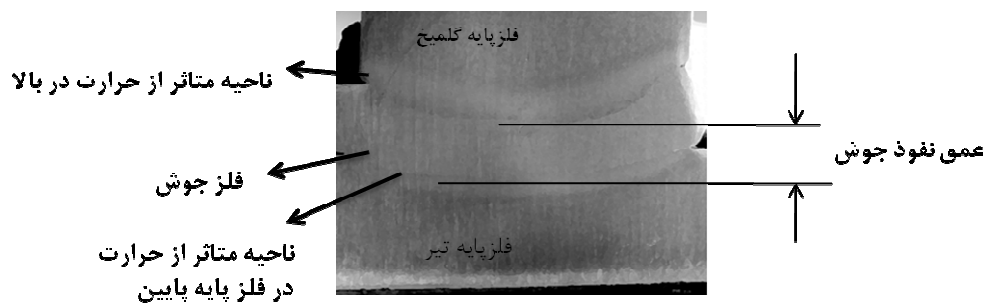


(الف) در این حالت قطر فلز جوش کم شده که دلیل آن نبود هم مرکزی فرول و گلمیخ در تفنگ جوشکاری و یا مناسب نبودن P یا L ایجاد شده است. (ب) در این حالت میزان گرده‌ی جوش کم و نامنظم بوده که علت آن انرژی جوش کم و رطوبت فرول سرامیکی و یا کم بودن پارامتر L می‌باشد.



(ج) این حالت انحراف گرده همراه با عیب برش از گوشه می‌باشد که علت آن وزش قوس و یا هم مرکز نبودن فرول سرامیکی می‌باشد. (د) در این حالت طول گرده‌ی جوش، شدیداً کم شده و همراه با پاشش مذاب به اطراف می‌باشد. علت آن افزایش جریان و یا زمان می‌باشد.

شکل (۴): معیار جوشهای ناسالم مطابق استاندارد ISO14555



شکل (۵): عکس ماکرو از سطح مقطع جوش-در شکل قسمت‌های مختلف از مقطع گلمیخ جوش داده شده مشخص شده است. این مناطق شامل فلز پایه، فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت می‌باشد.

جوش، مطابق عیب در شکل (۴-الف) می‌باشد. کاهش طول به اندازه کم و حدوداً ۱ تا ۲/۵ میلی‌متر گویای این مساله است. ظاهر این جوش‌ها نشان دادند که به دلیل کم بودن مقادیر این پارامترها طول قوس کافی نبوده و همچنین نیروی کافی جهت امتزاج دوسطح ذوب شده

۳- بحث و یافته‌ها

۳-۱- ظاهر جوش گلمیخ

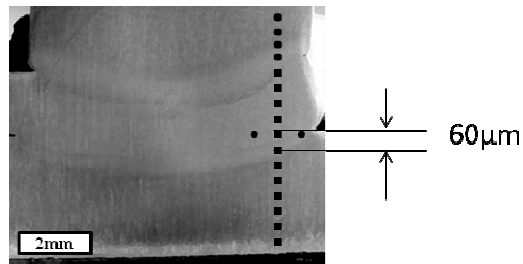
بعد از انجام جوشکاری، آزمون چشمی جوش گلمیخ، مطابق با استاندارد استاندارد ISO14555 انجام شد. نمونه‌ها با پارامترهای L و P کم، ظاهر جوش سالم نداشتند و گرده

شده است. این حالت مطابق شکل (۴-ج) است که کاهش طول زیاد گلمیخ به علت ذوب زیاد ایجاد شده است. کاهش طول در این حالت با افزایش بیشتر L و P واضح تر است. نمونه با کاهش جریان، گرمای ورودی کم بوده و ذوب کافی اتفاق نیفتاده است و جوش ناسالم است. عیب ایجاد شده در این حالت مطابق شکل (۴-ب) می باشد. درحالتی که جوش سالم است گرده جوش کافی و کاهش طول گلمیخ به اندازه ۴-۵ میلی متر مشاهده شد. جوشکاری با پارمترهای تعیین شده توسط سازنده دستگاه نیز انجام شد. پارمترهای تعیین شده توسط دستگاه، با توجه به شرایط بکارگرفته شده، با وجود داشتن جوش تقریباً خوب و عمق نفوذ نسبتاً کافی، دارای پاشش مذاب به اطراف است. با تغییر این پارمترها و در نتیجه تغییر میزان انرژی ورودی جوش، ظاهر جوش خوب و بدون پاشش مذاب به اطراف شد.

۳-۲- تصویر درشت ساختار جوش

نمونه‌ها با ظاهر جوش سالم، مقطع زده شدند و آماده سازی در مورد این نمونه‌ها انجام شد. عکس‌های میکروسکوپی و مشاهده پروفیل جوش نشان داد که ظاهر جوش سالم، نشان دهنده بی عیب بودن نمونه نمی باشد. در حالیکه ممکن است عیوبی مثل تخلخل درون نمونه جوش داده شده به دلایلی از جمله تمیز نبودن سطح مقطع قطعه کار و نامناسب بودن مواد بکار رفته در ساخت گلمیخ و وزش قوس مشاهده شود.

پروفیل جوش، عمق نفوذ جوش را نشان داد. اندازه گیری عمق نفوذ جوش در نمونه‌ها نشان می دهد که نمونه با جریان زیاد و زمان ۸۰۰ به دلیل داشتن گرمای ورودی کافی و نرخ گرمایش و سرمایش مناسب جوش گلمیخ، عمق نفوذ بیشتر از نمونه با جریان کم دارد. تغییرات جریان بیشتر از تغییرات زمان در مقدار عمق نفوذ نقش دارد. شکل (۸) عکس ماکرو ساختار مربوط به دو نمونه با عمق نفوذ متفاوت را نشان می دهد درحالیکه دو نمونه ظاهر جوش سالم داشتند.



شکل (۶): پروفیل سختی از سطح مقطع جوش و از نقاط مختلف، فاصله نقاط از یکدیگر $60 \mu\text{m}$ می باشد. سختی ویکرز با اعمال نیروی 50 gf به مدت حدوداً ۱۵ ثانیه از در نقطه انجام شد.

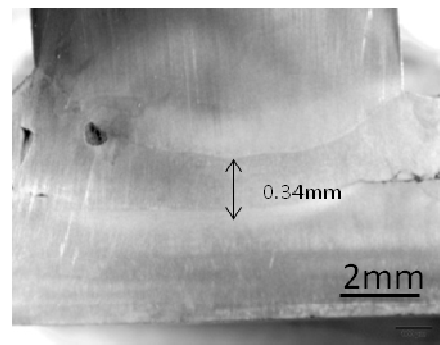


شکل (۷): خمش گلمیخ جوش داده شده با استفاده از دستگاه تست خمش هیدرولیک با اعمال نیرو تحت زاویه 30° درجه نسبت به محور قائم بر صفحه

وجود نداشته است. نمونه‌های ۱۳ تا ۱۸، دارای این عیب بودند. با افزایش این دو پارمتر ظاهر جوش‌ها تا حدودی مستقل از این دو پارمتر شد. نتایج نشان داد با افزایش این دو پارمتر طول قوس کافی و نیروی لازم برای متصل شدن دو سطح قطعه کار وجود دارد و برای داشتن جوش مناسب، پارمترهای جریان و زمان مهم می باشند. در نمونه‌های دیگر با مقدار بیشتر این پارمترها، با جریان زیاد، افزایش گرمای ورودی، باعث ذوب کافی سطح قطعه کار و اتصال مناسب شده است. در صورتی که در نمونه $1750-500$ به دلیل کاهش زمان و در نتیجه افزایش سرعت، باعث عیب پراکندگی ذوب به اطراف در حین فرآیند جوش شده و جوش ناسالم با گرده جوش کم ایجاد



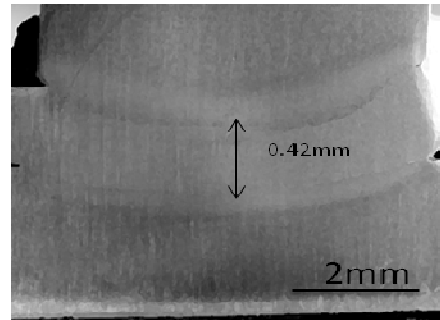
آن نمونه‌ها با ظاهر جوش مناسب، وزش قوس کمی ایجاد شده و باعث ایجاد تخلخل در جوش، و از بین رفتن استحکام کافی می‌باشد. در جدول (۴) نتایج شکست نمونه‌ها گزارش شده است. نمونه با داشتن عمق نفوذ کافی و گرده جوش مناسب، از فلز پایه شکسته شد که نشان دهنده‌ی استحکام کافی در صورت وجود گرده جوش کافی و کاهش طول گلمیخ در نتیجه فرآیند جوشکاری گلمیخ به اندازه ی ۴-۵ میلی متر می‌باشد.



الف) نمونه با جریان بیشتر و طول قوس بیشتر دارای عمق نفوذ جوش بیشتر است.



الف) نمونه‌ای که عمق جوش کم است، شکست از فلز جوش اتفاق افتاده است.



ب) نمونه با جریان کمتر و طول قوس کمتر دارای عمق نفوذ جوش کمتر است.

شکل (۸): پروفیل جوش مربوط به دو نمونه با پارامترهای مختلف با مقیاس ۲ میلی متر



ب) نمونه‌ای که عمق جوش بیشتر و در حد بهینه است، شکست از فلز پایه اتفاق افتاده است.

شکل (۹): سطح مقطع شکست جوش گلمیخ در مورد دو گلمیخ با پارامترهای مختلف

۳-۳- استحکام جوش گلمیخ

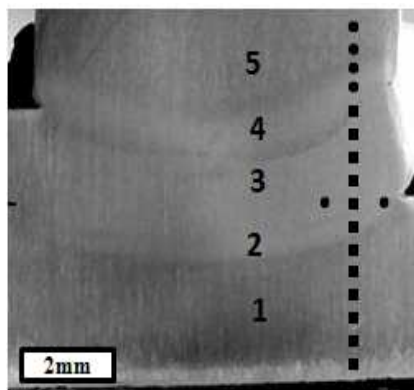
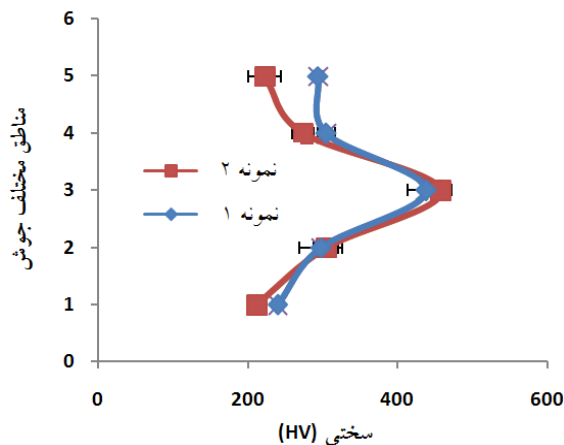
برای بررسی استحکام جوش گلمیخ طبق استانداردها و منابع موجود لازم است تست خمش انجام شود. آزمون خمش با استفاده از دستگاه آزمون خمش هیدرولیک با اعمال نیرو و خم شدن گلمیخ تحت زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور قائم برقطعه کار، تا مرحله شکست گلمیخ انجام شد. نمونه‌ها در این حالت به دو صورت شکسته شدند. نمونه‌ها یا از جوش شکسته شدند که طبق الزامات استاندارد ISO14555 نشان می‌دهد که جوش مردود است و یا از فلز پایه گلمیخ شکسته شد که نشان دهنده جوش با استحکام کافی می‌باشد. شکل (۹) دو مقطع شکست از جوش و فلز پایه را نشان می‌دهد. در مرحله اول نمونه‌هایی که از لحاظ ظاهر جوش سالم نبودند از جوش شکسته شدند. نمونه‌هایی با ظاهر جوش سالم یا از جوش و در بیشتر موارد از فلز پایه شکسته شدند. دلیل شکست



جدول (۴): نتایج آزمون خمش نمونه‌ها

ردیف	نتیجه شکست	اسم نمونه
۱	شکست از جوش	D1M
۲	شکست از جوش	D2M
۳	شکست از فلز پایه	M1M
۴	شکست از فلز پایه	M2M
۵	شکست از جوش	U1M
۶	شکست از فلز پایه	U2M
۷	شکست از جوش	D1U
۸	شکست از جوش	D2U
۹	شکست از جوش	M1U
۱۰	شکست از جوش	M2U
۱۱	شکست از پایه	U1U
۱۲	شکست از فلز پایه	U2U
۱۳	شکست از جوش	D1D
۱۴	شکست از جوش	D2D
۱۵	شکست از جوش	M1D
۱۶	شکست از جوش	M2D
۱۷	شکست از پایه	U1D
۱۸	شکست از جوش	U2D

افزایش سختی در فلز جوش به دلیل سرعت بالاتر انجماد و سرد شدن فلز جوش در این فرآیند می‌باشد. نتایج سختی مربوط با دو نمودار با عمق نفوذ جوش متفاوت و پارامترهای متفاوت نشان می‌دهد که سختی این مناطق برای نمونه‌های متفاوت با پارامترهای متفاوت تقریباً یکسان است و تنها تفاوت در طول منطقه‌ی سختی یعنی طول عمق نفوذ جوش و منطقه‌ی متأثر از حرارت است. شکل (۱۰)، پروفیل سختی جوش گلمیخ را نشان می‌دهد.



ب) نمونه‌ای که عمق جوش بیشتر و در حد بهینه است، شکست از فلز پایه اتفاق افتاده است.

شکل (۱۰): سختی ویکرز مناطق مختلف جوش گلمیخ از فلز پایه تا جوش

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد جوشکاری گلمیخ از لحاظ صرفه جویی در زمان و هزینه، همچنین استحکام مناسب، یک روش مناسب برای ساخت سقف‌های کامپوزیت می‌باشد. ظاهر جوش مناسب در نتیجه پارامترهای مناسب،

۳-۴- پروفیل سختی جوش گلمیخ

با استفاده دستگاه میکروسختی سنجی ویکرز از پروفیل جوش و مقاطع مختلف آن سختی گرفته شد. مناطق مختلف سختی گرفته شده شامل فلز پایه، فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت شامل منطقه درشت دانه و ریزدانه می‌باشد. منطقه متأثر از حرارت در این نوع جوش، دارای عرض کمی است. نتایج حاصل از اندازه گیری سختی نشان داد که سختی در منطقه جوش بیشتر از منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه می‌باشد. افزایش سختی در منطقه متأثر از حرارت نیز مشاهده شد که مقدار سختی در این منطقه کمتر از منطقه جوش می‌باشد. مقدار سختی در منطقه جوش تقریباً ۴۵۰ ویکرز و منطقه متأثر از حرارت بین ۲۷۰ تا ۳۰۰ ویکرز است.

the Proceedings of the 5th International Conference Composite Construction in Steel and Concrete.

[3] Adonyi, Y. (2006), "Studs Thru Deck Welding", Coated Steels: LeTourneau University.

[4] Ramasamy, S., Gould, J. and Workman, D. (2002), "Design-of-Experiments Study to Examine the Effect of Polarity on Stud Welding", Welding Journal-New York, Vol. 81, No. 2, pp. 19-26.

[5] Chambers, H. A. (2001), "Principles and Practices of Stud Welding", Pci Journal, Vol. 46, No. 5, pp. 46-59.

[6] Johnson, R. (2000), "Resistance of Stud Shear Connectors to Fatigue", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 56, No. 2, pp. 101-116.

[7] Dogan, O. and Roberts, T. (2012), "Fatigue Performance and Stiffness Variation of Stud Connectors in Steel-Concrete-Steel Sandwich Systems", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 70, 86-92.

[8] Xu, C. and Sugiura, K. (2013), "FEM Analysis on Failure Development of Group Studs Shear Connector under Effects of Concrete Strength and Stud Dimension", Engineering Failure Analysis, Vol. 35, pp.343-354.

[9] Samardžić, I., Kladarić, I. and Klarić, Š. (2009), "The Influence of Welding Parameters on Weld Characteristics in Electric arc Stud Welding", Metalurgija, Vol. 48, No. 3, pp. 181-185.

[10] ISO, E. (1998). 13918. Prigionieri e fuerrule.

تا حدودی بیانگر جوش با استحکام کافی می باشد اما بطور قطعی نمی توان این نتیجه را گرفت، لذا برای اطمینان از استحکام خوب جوش گلمیخ و جوش سالم، لازم است در مرحله اول آزمون خمش نمونه های جوش انجام شود.

بررسی پارامترها با استفاده از منابع مختلف از جمله پارامترهای تنظیم شده توسط سازنده دستگاه، نشان داد که با توجه به شرایط مختلف از جمله ضخامت قطعه کار، برای داشتن جوش بدون عیب، این پارامترها تغییر می کند. عمق نفوذ جوش مناسب در وهله اول با پارامتر "طول بالارونده" مناسب و در مرحله بعد جریان کافی ایجاد می شود. در صورت داشتن عمق نفوذ مناسب اتصال کافی و در نتیجه استحکام مناسب ایجاد می شود. پارامتر "طول فرورنده" که میزان نیروی لازم برای اتصال دوسطح را تعیین می کند، در درجه اهمیت کمتری نسبت به این دو پارامتر است. زمان، پارامتر مهمی برای تعیین سرعت ذوب و انجاماد در حین جوش است و در صورت زیاد بودن زمان، سرعت جوش کم می باشد و بالعکس. پارامترها در نمونه های یکسان در میزان سختی قسمت های مختلف جوش، تاثیر چندانی ندارد و تنها پارامترها با تغییر میزان طول هر منطقه باعث ایجاد میزان طول سختی متفاوت خواهد شد که در میزان استحکام نقش دارد. برای داشتن جوش سالم و گرده جوش مناسب، لازم است عمق نفوذ جوش زیاد باشد که افزایش سختی و استحکام مناسب را موجب می شود.

۵- تشکر و قدردانی

از شرکت ایران توحید بخاطر همکاری با دپارتمان مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تربیت مدرس در تعریف و اجرای این پروژه تحقیقاتی تشکر و قدردانی می شود.

۶- مراجع

[1] Hanswille, G., Porsch, M. and Ustundag, C. (2007), "Resistance of Headed Studs subjected to Fatigue Loading: Part I: Experimental Study", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, No. 4, pp. 475-484.

[2] Hegger, J. and Goralski, C. (2004), "Structural Behavior of Partially Concrete Encased Composite Sections with High Strength Concrete", Paper presented at