

اثر پارامترهای جوشکاری بر ریزساختارها و خواص مکانیکی پرتو لیزر صفحه

جوش داده شده اتصال آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6

چکیده

تکنیک جوشکاری^۱ پرتو لیزر صفحه، برای ساخت ورق های آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6 به ضخامت 2mm تحت پارامترهای جوشکاری مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. اثرات پارامترهای جوشکاری بر روی ریزساختارها و ویژگیهای مکانیکی جوش مورد بررسی قرار می گیرند. ابتدا، اندازه دانه و میزان تخلخل در جوش لیزر صفحه کاهش می یابد، و سپس با افزایش حرارت ورودی، افزایش پیدا می کند. ابتدا سخت شدن در خط همجوشی (فیوژن) و در منطقه همجوشی^۲، استحکام کششی و کشیدگی طول، افزایش پیدا می کند، و سپس با افزایش گرمای ورودی کاهش می یابد. هنگامی که قدرت لیزر 2500 W است، سرعت جوش 2m/min و حرارت ورودی 75 kJ/m است، ریزترین ریزساختارها، حداقل میزان تخلخل، بالاترین سختی و حداکثر استحکام کششی بدست می آید. نوع شکست در همه نمونه ها به عنوان شکست داکتیلی تعریف می شود، و حداکثر استحکام کششی به 261/7MPa می رسد، که حدود 61/2٪ شکست داکتیلی فلز پایه است.

کلمات اصلی: جوشکاری پرتو لیزری صفحه، پارامترهای جوشکاری، 2A14 – T6، ریزساختار، خواص مکانیکی^۳

1-مقدمه:

آلیاژ آلومینیوم، یک ماده ساختاری سبک امیدوار کننده است که به طور گسترده در صنایعی مورد استفاده قرار می گیرد [1-3] که معمولاً توسط جوشکاری پرتو لیزر (LBW) [4-7] با مزایای سرعت جوشکاری سریع، فرایند پایدار، چگالی انرژی بالا، بهره وری تولید بالا و تغییر شکل جوشکاری کوچک متصل می شود [8،9]. با این حال، نواقص جوشکاری، مانند جوش اتصال جوش نرم، شکاف جوش، نقص تخلخل و غیره، ممکن است به علت قابلیت جوشکاری

¹ welding parameters

² fusion zone

³ Mechanical Properties

ضعیف آلیاژ آلومینیوم در طول فرایند جوشکاری لیزر، ظاهر شود [10]. فرایند جوشکاری پیشرفته آلیاژ آلومینیوم به طور مداوم افزایش می یابد تا یک اتصال جوش بهتر بدست بیاید. درک اثرات پارامترهای جوشکاری بر روی ریزساختارها و خواص مکانیکی جوش می تواند هدایت مفیدی را برای بهینه سازی پارامترهای جوشکاری پرتو لیزر آلیاژ آلومینیوم ارائه نماید.

آزمایش های متعددی برای بررسی اثرات پارامترهای جوشکاری لیزر بر روی ریزساختارها و ویژگیهای مکانیکی اتصالات آلیاژ آلومینیوم جوشکاری شده توسط پرتو لیزر انجام شده است. آنکونا (Ancona) و همکارانش [11] اثرات سرعت جوشکاری و قدرت لیزر⁴ را بر روی جوش های لب به لب پرتو لیزر CO_2 مربوط به آلیاژ آلومینیوم Al 5083 مورد بررسی قرار دادند. با مقایسه جوش های بدست آمده بوسیله انجام عملیات جوشکاری در حرارت ورودی ثابت، بهترین نتیجه تحت قدرت های لیزر و سرعت های جوشکاری بالاتر بدست آمد. توزیع سختی و ریزساختارهای اتصال جوش داده شده پرتو لیزر ND:YAG مربوط به آلیاژ Al-Li، توسط کوی (Cui) و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت [12]. نتایج تحقیق نشان داد که LBW موجب تغییرات ریزسختی، شکل دانه و جهت گیری ها، و ناپدید شدن ریزبافت و رسوبات می شود. با توسعه فناوری لیزر، دیسک و لیزر فیبر، بتدریج در جوشکاری لیزر آلیاژ آلومینیوم، مورد استفاده قرار می گیرند. چوی (Choi) و همکارانش [13] دریافتند که فرایند ایجاد لیزر صفحه می تواند طول خط فیوژن (همجوشی) را افزایش دهد و قدرت جوش را بهبود بخشد. در مطالعه انجام شده توسط ژانگ (Zhang) و همکارانش [14]، ریزساختارها⁵ و خواص مکانیکی اتصال آلیاژ

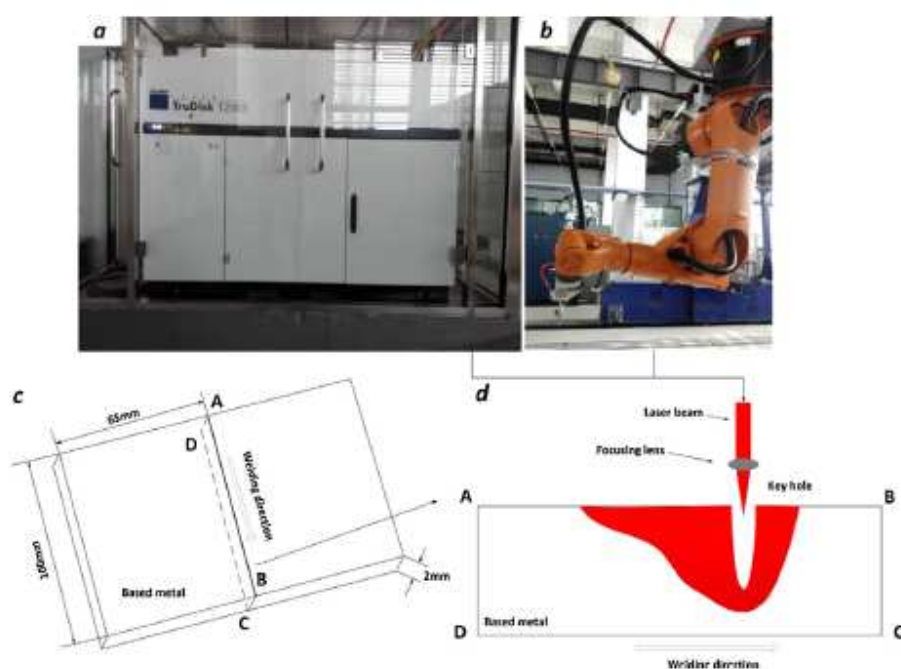
Al-Li جوشکاری شده با پرتو لیزر فیبر با سیم پر کننده AlSi12 مورد بررسی قرار گرفت. بیش از 80٪ قدرت کششی فلز پایه در جوشکاری پرتو لیزر به علت تشکیل فازهای LiAlSi در جوش یافت شد. آهن (Ahn) و همکارانش [15] اثر سیم پرکننده آلیاژ آلومینیوم 4043 را بر روی کیفیت جوش و خواص مکانیکی اتصال آلیاژ آلومینیوم T3 – 2024 جوش داده توسط لیزر فیبر مورد بررسی قرار دادند. اضافه نمودن سیم پرکننده، تعداد حفره های ریزتر را در جوش افزایش داد، باعث شکستگی داکتیلی (ورقه ای) شد و همچنین ترک های داغ ریز و تخلخل ها را کاهش

⁴ laser power

⁵ microstructures

داد. وانگ (Wang) و همکارانش [16] مشاهده نمودند که نوسان سازی پرتو می تواند مورفولوژی های جوش را بهبود بخشد و تشکیل دانه های متساوی المحور در درون منطقه فیوژن به علت اثر همزدن و نوسان پرتو را افزایش دهد که تقریباً هیچ تأثیری بر قدرت کششی جوش نداشت، اما بطور واضح داکتیلی شدن را افزایش داد. علاوه بر این، برخی از تحقیقات در مورد جوشکاری پرتو لیزر آلیاژ آلومینیوم نیز توسط کازالینو (Casalino) و همکارانش [17،18]، Witzendorff و همکارانش [19] و Sorgente و همکارانش [20] انجام شده است.

آلیاژ آلومینیوم 2A14، با توجه به قدرت مکانیکی بالا، مقاومت بالا در برابر خستگی و مقاومت خوب در برابر خوردگی، به طور گسترده ای در سازه های هوا فضا مورد استفاده قرار می گیرد. برخی از تحقیقات در مورد جوش آلیاژ آلومینیوم 2A14 نیز انجام شده است [21-23].



شکل 1 - سیستم جوشکاری شامل (a) ابزار لیزر، (b) ربات جوشکاری، (c) صفحات جوشکاری (d) توصیف طرح برای قطعه کاری.

جدول 1: ترکیب آلیاژ آلومینیوم 2A14 - T6 (wt%).

	Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	Ni	Fe	Al
2A14-T6	0.6~1.2	3.9~4.8	0.4~0.8	≤ 0.3	0.4~1.0	0.15	0.1	0.7	Balanced

به هر حال، تکنیک جوشکاری پرتو لیزر آلیاژ آلومینیوم 2A14 به طور دقیق مورد بررسی قرار نگرفته است. با توسعه تکنیک لیزر صفحه، کیفیت پرتو لیزر صفحه، بهره وری و پایداری تبدیل، به میزان بسیار زیادی بهبود یافته است. بررسی جوشکاری پرتو لیزر صفحه آلیاژ آلومینیوم 2A14 اهمیت قابل توجهی دارد و برای بهینه سازی پارامترها و کاربردهای جوشکاری مطلوب می باشد. در این مقاله، روش جوشکاری پرتو لیزر⁶ برای ساختن صفحات آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6، تحت پارامترهای جوش مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. اثر پارامترهای جوشکاری بر شکل گیری جوش، اندازه دانه، نسبت تخلخل⁷، توزیع سختی و ویژگیهای کششی اتصال جوش داده شده مورد بررسی قرار گرفته است.

2 - روش تجربی

2.1 - تنظیم تجهیزات

شکل 1 این سیستم جوشکاری را نشان می دهد. این سیستم جوشکاری شامل دستگاه لیزر مدل TruDisk، ربات جوشکاری مدل کوکا (Kuka) و فلزات پایه می باشد. دستگاه لیزر مدل TruDisk، منبع حرارت برای LBW را فراهم می کند، و ربات جوشکاری کوکا که توسط دستگاه لیزر متصل می شود، انجام حرکت همزمان را امکان پذیر می سازد. فاصله کانونی دستگاه لیزر TruDisk برابر با 250mm می باشد. در طول جوشکاری، فلزات پایه در نقطه کانونی دستگاه لیزر TruDisk قرار داده می شوند. فلزات پایه توسط جوشکاری لب به لب ساخته شدند و اندازه آن در شکل 1c نشان داده شده است. در جوشکاری، فاصله بین فلزات پایه برابر با 0mm می باشد.

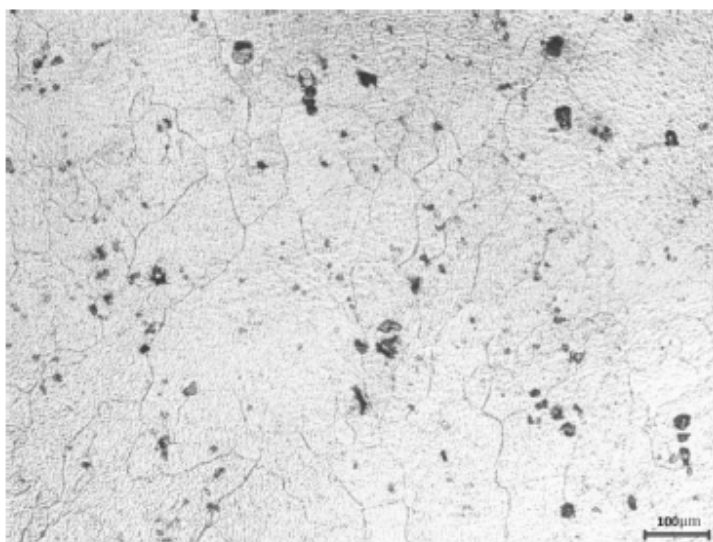
2.2 - مواد و پارامترهای جوشکاری

ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6 در جدول 1 نشان داده شده است. ریزساختارهای آلیاژ آلومینیوم T6 – 2A14 در شکل 2 نشان داده شده است. آزمایش های مورد نیاز بر روی جوشکاری لیزر صفحه در مورد صفحات آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6 به اندازه 2mm انجام شد. قبل از جوشکاری، فلز پایه بوسیله کاغذ سنباده صیقل داده

⁶ laser beam welding technique

⁷ porosity ratio

می شود و با استفاده از اتانول تمیز می شود تا لایه اکسید سطحی را از بین ببرد. گاز آرگون با سرعت جریان گاز 15L/min برای حفاظت از استخر جوشکاری در سطوح بالا و پایین فلز پایه مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل 2 - ریزساختارهای آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6

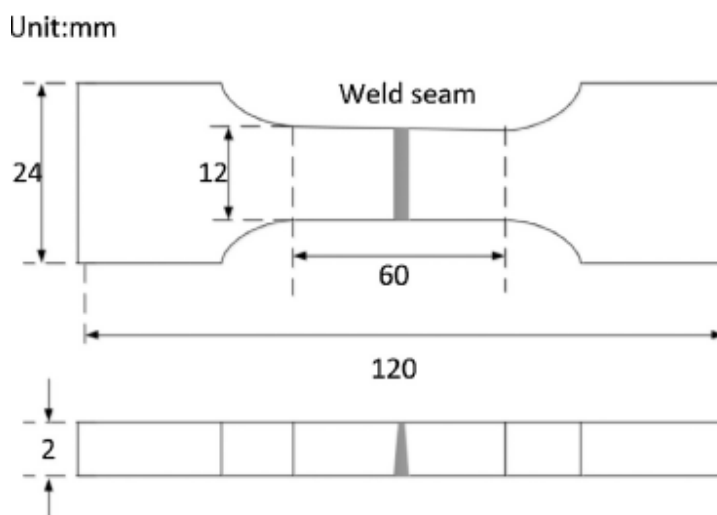
جدول 2: پارامترهای جوشکاری استفاده شده در آزمایشات جوشکاری.

Case	Laser power P (W)	Welding velocity V (m/min)	Heat input H (kJ/m)
1	2500	3.0	50
2	3000	3.0	60
3	2500	2.5	60
4	3000	2.5	72
5	2500	2.0	75
6	3000	2.0	90

بر اساس فعالیت های تجربی، پارامترهای جوشکاری⁸ مورد استفاده در آزمایشهای جوشکاری در جدول 2 نشان داده شده است. برای بدست آوردن نتایج تجربی دقیق، هر آزمایش سه مرتبه با ارزش میانگین ثبت شد. پس از جوشکاری،

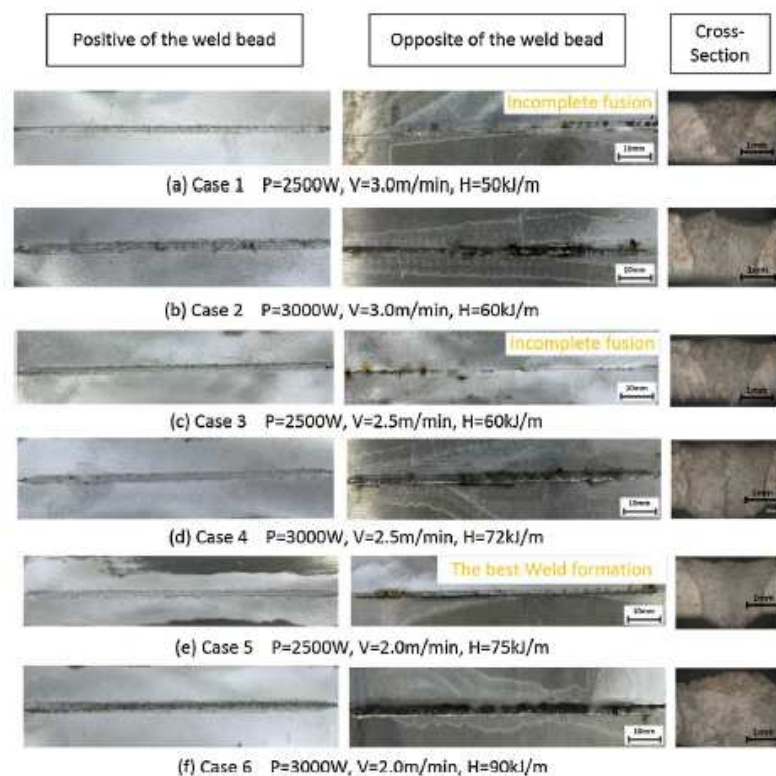
⁸ welding parameters

نمونه ها توسط دستگاه تخلیه الکتریکی برش سیم با آندسته از مقاطع عرضی تهیه می شوند که برای مشاهده مورفولوژی با محلول کلر (Keller) (1HF، 1/5HCl، 2/5HNO₃، 95H₂O)؛ اچ کاری می شوند.



شکل 3 - هندسه نمونه های آزمایش کششی.

مورفولوژی ها و ریزساختارهای جوش با استفاده از میکروسکوپ فلزنگاری مدل MR500 مشاهده شدند. سختی نمونه ها با استفاده از دستگاه آزمایش ریز سختی مدل HV 1000A اندازه گیری شد، و اندازه گیری ها در سطح مقطع جوش با بکارگیری یک بار به میزان 100 g به مدت 15 ثانیه اندازه گیری شد. در این تحقیق، آزمایشات کششی برای بررسی کیفیت جوش انجام شد. نمونه های کششی بر اساس استاندارد ملی چین [24] برش داده شدند. یک دستگاه آزمایشگاهی جهانی مدل WDW - 100 برای انجام آزمایش کششی در دمای اتاق بکار برده شد و سرعت جابجایی 1mm/s بود. شکل 3 هندسه نمونه های آزمایش کششی را نشان می دهد. پس از آزمایش کششی، سطح شکسته شده جوش توسط میکروسکوپ الکترون اسکن مدل JSM - 6360LV مشاهده شد.



شکل 4 - مورفولوژی های سطح و مقاطع عرضی جوش های پرتو لیزر صفحه تحت پارامترهای جوشکاری مختلف.

3- نتایج و بحث ها

3.1 - شکل گیری جوش

شکل 4 مورفولوژی سطح و مقاطع عرضی جوش های پرتو لیزر صفحه تحت پارامترهای جوشکاری مختلف را نشان می دهد. همانگونه که در شکل 4e نشان داده شده است، این سطح مقطع جوش دارای یک شکل قطعه معمولی می باشد و سطوح بالا و پایین جوش، بهترین تشکیل جوش در زیر قدرت لیزر به میزان 2500W و سرعت جوشکاری به میزان 2m/min را دارد. همانگونه که در شکل های 4a و 4c نشان داده شده است، هنگامی که قدرت لیزر 2500 وات و حرارت ورودی کمتر از 60 kJ/m باشد، سطح مقطع جوش یک شکل معمولی "V" دارد؛ سطوح بالای جوش شکل خوبی دارند، اما یک همجوشی (فیوژن) ناقص در سطوح پایین جوش، مشاهده

می شود. همانطور که در شکل 4f نشان داده شده است، تأثیر همجوشی و عرض، بیشترین مقدار است و تجاوز فلز جوش در سطح مقابل جوش، نیز بیشترین مقدار می باشد، که به علت وجود بیشترین حرارت ورودی می باشد. در

مقایسه شکل 4b، (قدرت لیزر 3000W می باشد، سرعت جوشکاری 3m/min می باشد، و حرارت ورودی⁹ 60kJ/m می باشد)، با شکل 4c (قدرت لیزر 2500W می باشد، سرعت جوشکاری 2/5m/min می باشد، و ورودی گرما 60kJ/m می باشد)، این موضوع مشاهده شده است که قدرت لیزر بالاتر باعث افزایش نفوذ فیوژن¹⁰ تحت حرارت ورودی مشابه گردید. این مقطع عرضی می تواند به وضوح نفوذ فیوژن و عرض جوش را نشان دهد. نفوذ فیوژن و افزایش عرض، با افزایش حرارت ورودی، افزایش می یابد.

3.2 - ویژگیهای ریزساختاری

ریزساختارهای اتصالات جوش داده شده توسط پرتو لیزر دیسک آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6، تحت پارامترهای جوشکاری مختلف در شکل 5 نشان داده شده است. استحکام استخر جوشکاری، از خط فیوژن تا مرکز استخر جوشکاری آغاز می شود. دانه های فلز پایه موجود، در مرز فیوژن به عنوان بستری برای جوانه زایی عمل می کنند [25]. هسته کریستال در مرز همجوشی شروع به رشد می کند و به دندریت های (دندانه های) اولیه تبدیل می شود. پس از آن، دندریت های اولیه درشت تر می شوند و تعداد آنها به علت رشد رقابتی کاهش می یابد. دندریت های اولیه از خط همجوشی به مرکز جوش و در امتداد شیب درجه حرارت افزایش پیدا می کنند. خنک کنندگی فوق العاده ساختاری در منطقه همجوشی (FZ) با جامد سازی استخر جوشکاری افزایش پیدا می کند، و بسیاری از هسته های کریستال در منطقه همجوشی ایجاد می شوند. سپس، این هسته های کریستال شروع به رشد می کنند و به دانه های ریزی تبدیل می شوند. همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است، میانگین مقادیر فاصله بازوی دندریت اولیه در خط همجوشی و اندازه دانه در منطقه همجوشی به شکل زیر اندازه گیری می شود

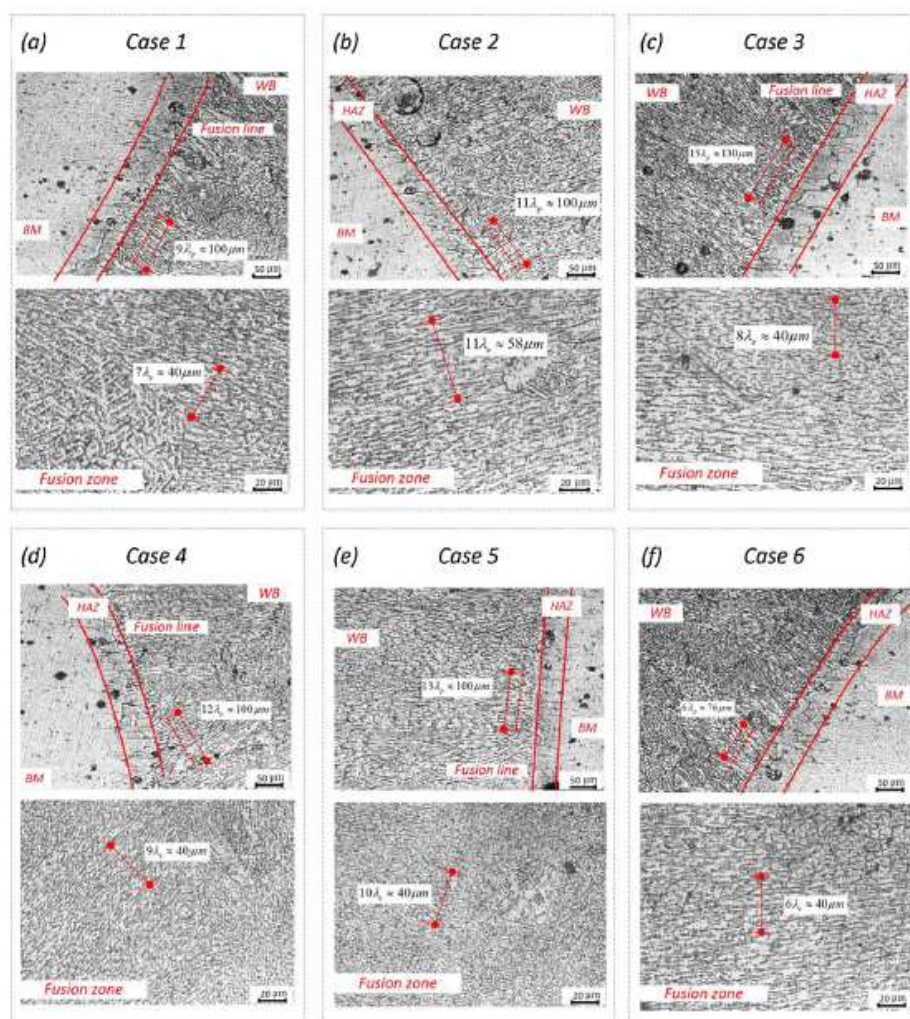
$$L = n\lambda_p, L = n\lambda_e \quad (1)$$

که در آن L طول خط آزمایش، n تعداد دندریت ها یا دانه های اولیه شمارش شده، λ_p فاصله بازوی دندریت اولیه در خط همجوشی، و λ_e اندازه دانه در منطقه همجوشی است. شکل 6 تکامل اندازه دانه را با افزایش حرارت ورودی در

⁹ heat input

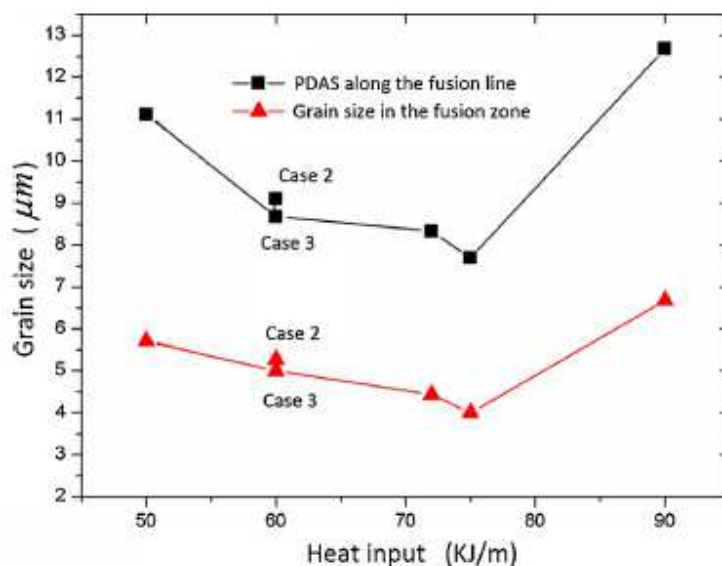
¹⁰ fusion penetration

جوش لیزر دیسک نشان می دهد. ابتدا مقدار متوسط اندازه دانه کاهش می یابد و سپس با افزایش میزان گرما، افزایش پیدا می کند. هنگامی که حرارت ورودی 90kJ/m است، حداکثر فاصله بازوی دندریت اولیه (PDAS) در خط همجوشی و حداکثر اندازه دانه در منطقه همجوشی، به ترتیب برابر با $12/67\mu\text{m}$ و $6/67\mu\text{m}$ می باشد. هنگامی که حرارت ورودی 75kJ/m است، حداقل فاصله بازوی دندریت اولیه در خط همجوشی و حداقل اندازه دانه در منطقه همجوشی به ترتیب، برابر با $7/69\mu\text{m}$ و $4\mu\text{m}$ می باشد.



شکل 5 - ریزساختارهای اتصالات جوش داده شده پرتو لیزر تحت پارامترهای جوشکاری مختلف.

این نواقص تخلخل^{۱۱} را می توان در اتصالات جوش داده شده مشاهده نمود. این نواقص تخلخل می تواند ویژگیهای مکانیکی جوش را به شدت کاهش دهد. میزان تخلخل در این مطالعه، داده های آماری نسبت تخلخل در محیط سطح مقطع کل جوش لیزر صفحه می باشد.



شکل 6 – تکامل اندازه دانه با افزایش حرارت ورودی در جوش لیزر صفحه، تحت پارامترهای جوشکاری مختلف.

جدول 3: داده های تخلخل جوش لیزر

Case	Average area of porosity (mm ²)	Weld cross-sectional area (mm ²)	Average porosity ratio (%)	Standard deviation (%)
1	0.0128	1.12	1.14	0.062
2	0.0205	2.23	0.92	0.033
3	0.0132	1.48	0.89	0.058
4	0.0112	3.12	0.36	0.026
5	0.0055	2.76	0.20	0.018
6	0.0230	3.84	0.60	0.042

جدول 4: مشخصه کمیتی نتایج آزمایش سختی

¹¹ Porosity defects

Case	Average value in base metal (HV)	Average value in HAZ (HV)	Average value along the fusion line (HV)	Average value in the fusion zone (HV)
1	114.3	83.1	62.4	72.6
2	112.7	81.5	68.4	76.7
3	110.6	84.6	70.6	80.3
4	116.0	85.5	74.7	84.6
5	107.9	86.1	79.8	87.9
6	112.0	82.5	54.6	68.2

داده های تخلخل جوش پرتو لیزر صفحه، تحت پارامترهای جوشکاری مختلف در جدول 3 نشان داده شده است. در ابتدا، میانگین نسبت تخلخل کاهش می یابد و سپس با افزایش حرارت ورودی افزایش پیدا می کند. نسبت تخلخل جوش پرتو لیزر صفحه با حرارت ورودی 72 kJ / m و 75 kJ / m بسیار کمتر از نسبت های دیگر است. این داده ها نشان می دهد که هنگامی که حرارت ورودی در حدود 75 kJ / m کنترل می شود، نسبت تخلخل را می توان به طور مؤثری کاهش داد. هنگامی که حرارت ورودی 75 kJ / m است، نسبت تخلخل دارای کمترین مقدار می باشد. هنگامی که قدرت لیزر 2500 W و حرارت ورودی 50 kJ / m و 60 kJ / m است، نسبت تخلخل بیشتر است. دلیل این امر این است که به علت حرارت ورودی پایین، همجوشی ناقصی را می توان در سطوح پایین مشاهده نمود که منجر به تشکیل نواقص تخلخل بسیار بزرگ در انتهای جوش می شود.

3.3 - توزیع سختی^{۱۲}

نتایج آزمایشات ریزسختی در پارامترهای جوشکاری مختلف در جدول 4 ذکر شده است. برای اتصال جوش داده شده لیزر صفحه مشابه، ریزسختی در مرز همجوشی که کاهش یافته است، به تدریج از منطقه تحت تأثیر حرارت (HAZ) به فلز پایه (BM) افزایش پیدا می کند. سختی در مرکز همجوشی بزرگتر از میزان سختی در مرز همجوشی است که به این علت است که دانه ها در منطقه همجوشی ریزتر می باشند. ریزسختی BM دارای بیشترین مقدار می باشد، در حالی که میزان ریزسختی در مرز همجوشی در پایین ترین مقدار است. همانگونه که ریزساختارها در شکل 2 نشان داده شده اند، دلیل بالاترین مقدار بودن ریزسختی BM این است که BM بوسیله عملیات حرارتی محلول و پیرشدگی عملیات استحکام، قوی می شود. علت پایین ترین مقدار بودن ریزسختی در مرز همجوشی^{۱۳} این است که این اثر

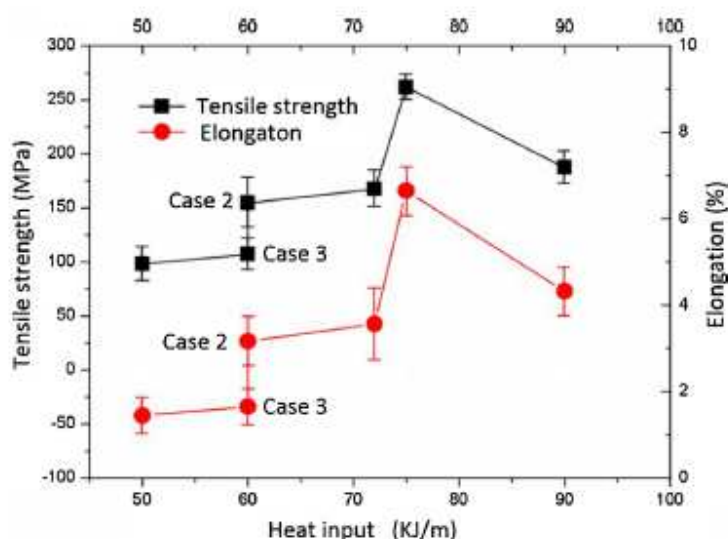
¹² Porosity defects

¹³ fusion boundary

تقویت کاهش می یابد، زیرا عناصر آلیاژی در اثر سوختن از بین می روند. در طول جوشکاری، چرخه ای شدن حرارتی جوشکاری سبب می شود که دانه ها درشت شوند و در منطقه HAZ بیش از حد فرسوده شوند. بنابراین، ریزسختی HAZ پایین تر از BM است. همانطور که در جدول 4 نشان داده شده است، ریزسختی در BM و HAZ تحت پارامترهای مختلف جوشکاری، مشابه است، در حالی که ریزسختی در خط همجوشی و در منطقه همجوشی، در پارامترهای جوشکاری مختلف، متفاوت می باشد. ابتدا، ریزسختی در خط همجوشی و در منطقه همجوشی افزایش می یابد و سپس با افزایش میزان حرارت ورودی کاهش می یابد. هنگامی که حرارت ورودی 75 kJ/m می باشد، بالاترین مقدار سختی در خط همجوشی و در منطقه همجوشی بدست می آید.

3.4 - خواص کششی

نتایج آزمایش کشش در شکل 7 نشان داده شده است. شکل 8 سطوح شکست اتصالات جوش داده شده پرتو لیزر صفحه را تحت پارامترهای مختلف جوشکاری نشان می دهد. تمام شکستگی های کششی در منطقه همجوشی رخ داد. استحکام کششی و کشیدگی BM، به ترتیب در حدود $427/7 \text{ MPa}$ و $10/6 \%$ بود. استحکام کششی و کشیدگی جوش بسیار کمتر از میزان آن در BM بود که به علت توزیع ناهموار اجزاء و نواقص جوشکاری در جوش بود.



شکل 7 - استحکام کششی و کشیدگی جوش پرتو لیزر آلیاژ آلومینیوم 2A14 - T6 تحت حرارت ورودی مختلف.

همانطور که در شکل 7 نشان داده شده است، استحکام کششی و کشیدگی اتصال جوش داده شده لیزر صفحه ابتدا افزایش می یابد، و سپس با افزایش میزان حرارت ورودی کاهش می یابد. هنگامی که حرارت ورودی به 75kJ/m رسید، حداکثر استحکام کششی جوش، $261/7\text{MPa}$ بود، که حدود $61/2\%$ میزان آن در BM بود. همانطور که در شکل 8a نشان داده شده است، فرورفتگی های در سطح شکستگی جوش پرتو لیزر صفحه، با حرارت ورودی 75kJ/m مشاهده شد و نوع شکستگی نیز به عنوان شکستگی داکتیلی تعریف می شود. هنگامی که قدرت لیزر 2500W است و حرارت ورودی 50kJ/m و 60kJ/m است، استحکام کششی جوش در پایین ترین مقدار است، زیرا یک همجوشی ناقص مشاهده می شود. استحکام کششی جوش تحت گرمای ورودی 90kJ/m برابر با $187/3\text{MPa}$ می باشد. شکل 8b سطح شکست جوش را نشان می دهد. شکل سطح شکست جوش شبیه به آن است که تحت حرارت ورودی 75kJ/m مشاهده شد. نوع شکست نیز شکستگی داکتیلی

می باشد و فرورفتگی هایی نیز در سطح شکستگی مشاهده می شود. همانگونه که در جدول 3 نشان داده شده است، استحکام کششی جوش تحت حرارت ورودی 90kJ/m پایین تر از میزان آن در حرارت ورودی 75kJ/m می باشد، زیرا میزان تخلخل قبلی بالاتر از میزان تخلخل بعدی می باشد. هنگامی که حرارت ورودی 60kJ/m و 72kJ/m می باشد، استحکام کششی جوش (قدرت لیزر 3000W) به ترتیب برابر با $154/6\text{MPa}$ و $167/3\text{MPa}$ است. همانطور که در شکل های 8c و 8d نشان داده شده است، فرورفتگی های بسیار زیادی به وضوح در سطح شکستگی جوش ها مشاهده می شود.

این نوع شکستگی، یک شکستگی داکتیلی^{۱۴} معمولی است. همانگونه که در شکل های 8a-d نشان داده شده است، اگرچه میانگین اندازه فرورفتگی ها در موارد 2، 4 و 6، بزرگتر از میانگین میزان آن در مورد 5 می باشد، میزان تخلخل بالاتر در موارد 2، 4 و 6، داکتیلی بودن جوش ها را کاهش می دهد. بنابراین، همانگونه که در شکل 7 نشان داده شده است، کشیدگی در موارد 2، 4 و 6، کمتر از آنچه است که در مورد 5 وجود دارد.

4 - نتایج

¹⁴ ductile fracture

تکنیک جوشکاری پرتو لیزر دیسک، برای ساخت صفحات آلیاژ آلومینیوم 2A14 – T6 به ضخامت 2mm تحت پارامترهای مختلف جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد. اثرات پارامترهای جوشکاری بر روی ریزساختارها و ویژگیهای مکانیکی جوش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی به شرح زیر می باشد:

(1) هنگامی که حرارت ورودی ثابت است، قدرت لیزر بالاتر می تواند نفوذ همجوشی را افزایش دهد. بهترین شکل و عملکردهای جوش، با انجام عملیات در 2500W و 2m/min بدست آمد.

(2) ابتدا میانگین اندازه دانه در جوش کاهش می یابد و سپس با افزایش حرارت ورودی، افزایش پیدا می کند. هنگامی که حرارت به 75kJ/m رسید، کوچکترین ریزساختارها بدست آمد.

(3) ابتدا، میزان تخلخل در جوش کاهش می یابد و سپس با افزایش حرارت ورودی، افزایش پیدا می کند. هنگامی که حرارت ورودی 75kJ/m بود، حداقل مقدار تخلخل بدست آمد.

(4) سختی در BM و HAZ تحت پارامترهای مختلف جوشکاری، یکسان است، در حالی این میزان ابتدا در خط همجوشی و در FZ افزایش می یابد و سپس با افزایش حرارت ورودی، کاهش پیدا می کند. هنگامی که حرارت ورودی 75kJ/m است، بهترین سختی در خط فیوژن و در FZ بدست می آید.

(5) ابتدا، استحکام کششی و کشیدگی اتصال جوش داده شده دیسک لیزر افزایش می یابد و سپس با افزایش حرارت ورودی کاهش پیدا می کند. نوع شکستگی در همه نمونه ها به عنوان یک شکستگی داکتیلی تعریف می شود. هنگامی که حرارت ورودی به 75kJ/m رسید، حداکثر استحکام کششی جوش به 261/7MPa رسید که در حدود 61/2٪ میزان آن در BM بود.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان از برنامه پشتیبانی مالی انجام شده توسط برنامه توسعه برنامه دانشگاهی مقدماتی مربوط به مؤسسات آموزش عالی جیانگ سو (PAPD)، و پشتیبانی مالی پروژه صندوق های مالی تحقیقات بنیادی برای دانشگاه های مرکزی تحت مجوز اعطای مالی شماره NP2016204 تشکر و سپاسگزاری می نمایند .