ارتباط ریزساختار-پارامترهای جوشکاری در آلیاژ پایه API5L-X70 مورد استفاده در خطوط انتقال

مسعود مصلایی‌پور[1]، مریم السادات امینی[21]، سید صادق قاسمی[1]، مهدی کلانتر[1]

1- *استادیار*، 2- دانشجوی کارشناسی ارشد، *دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.*

چکیده

از قسمت‌های اصلی و بحرانی در خطوط انتقال، نواحی جوشکاری شده لوله‌ها می‌باشد و یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر بر کارائی این نواحی ریزساختار آن‌ها می‌باشد. در این مقاله تأثیر پارامترهای جوشکاری(سرعت و جریان جوشکاری) بر ساختار و خواص مکانیکی ناحیه جوش ایجاد شده بر فلزپایه API5L-X70 توسط الکترود E8010-P1 مورد بررسی و تحلیل واقع شد. مطالعات ساختاری نشان داد که افزایش شدت جریان جوشکاری از 140±10 A به 180±10 A موجب افزایش قابل ملاحظه فریت سوزنی در فلزجوش می‌شود. برخلاف نمونه‌های جوشکاری شده با جریان جوشکاری 180±10 A، افزایش جریان جوشکاری تا 220±10 A موجب تشکیل ساختاری متشکل از فریت چندوجهی و کمی فریت سوزنی می‌شود. کاهش مقدار فریت سوزنی در این نمونه را می‌توان به افزایش حرارت ورودی و در نتیجه کاهش سرعت سرد شدن و انجام استحاله‌های نفوذی نسبت داد. مطالعه تأثیر سرعت جوشکاری بر ساختار فلزجوش حاکی از این بود که افزایش سرعت جوشکاری از 1.35 mm/min به 5.35 mm/min به دلیل کاهش حرارت ورودی(3.38 KJ/mm در مقابل 0.85 KJ/mm) منجر به ریزتر شدن ساختار و کاهش عمق نفوذ جوش می‌شود.

کلمات کلیدی: API X-70، SMAW، ساختار فلز جوش، حرارت ورودی.

*Email: Msa.amini@yahoo.com

1-مقدمه

جوشکاری به عنوان تکنولوژی کلیدی در ساخت کشتی‌ها، پل‌ها، مخازن تحت فشار، ماشین آلات صنعتی و بسیاری از موارد دیگر کاربرد دارد. معمولاً ویژگی‌های فلزجوش نسبت به خصوصیات فلزپایه از اهمیت بیشتری برخوردارند و در بسیاری از موارد عملکرد قطعه توسط آن‌ها کنترل می‌شود. یکی از روش‌های اصلی تولید و تعمیر خطوط لوله نیز جوشکاری آن‌ها می‌باشد[1].

در طول چند دهه گذشته تقاضا برای تولید و توسعه خطوط لوله افزایش یافته است. زیرا به دلیل ایمنی بالاتر و اقتصادی بودن از خطوط لوله جهت انتقال نفت، گاز و غیره استفاده می‌شود[2]. ساختار فریت سوزنی بدلیل ایجاد همزمان مجموعه‌ای از خواص عالی نظیر استحکام کششی بالا، تافنس مطلوب و مقاومت به خوردگی بسیار خوب از مطلوبترین ساختار در فلزجوش خطوط لوله می‌باشد[1,3]. ساختار فریت سوزنی به دلیل ترکیبی عالی از استحکام و تافنس به عنوان یک ساختار مطلوب به شمار می‌آید که شرایط مناسبتری را برای فولاد خطوط لوله جهت کاربرد در محیط‌هایی با شرایط سخت‌تر نسبت به فولادهای خطوط لوله معمولی با ساختارهای فریت-پرلیت فراهم می‌آورد[3].

از جمله عوامل مؤثر بر ساختار فلزجوش می‌توان به پارامترهای جوشکاری مانند شدت جریان، سرعت، پلارینه، نوع جریان و غیره اشاره نمود.

در این مقاله تأثیر پارامترهای جوشکاری(سرعت و جریان جوشکاری) بر ساختار و خواص مکانیکی ناحیه جوش ایجاد شده بر فلزپایه API5L-X70 توسط الکترود مورد بررسی و تحلیل واقع شده است.

2-روش انجام آزمایش

در این پژوهش، جوشکاری قوس فلز پوشش‌دار (SMAW) بر ورقهایی از جنس فولاد API5L-X70 با ضخامت 20mm انجام شد. ترکیب شیمیایی فلزپایه در جدول1 ارائه شده است. فلزپایه به ابعاد 200×100mm تهیه و با استفاده از الکترود E8010-P1 در شرایط مختلف جریان و سرعت جوشکاری مورد فرایند جوشکاری واقع شدند. شرایط جوشکاری در جدول 2 آورده شده است.

ترکیب شیمیایی فلز جوش توسط کوانتومتری تعیین شدکه در جدول 1 ارائه شده است. به منظور تهیه نمونه کوانتومتری طبق استاندارد AWS A5.5 بر روی یک صفحه فولادی به ابعاد 60×40×20mm ، شش لایه ودر هر

لایه سه پاس جوشکاری شد. نمونه‌های متالوگرافی از مقطع عرضی جوش و به فاصله 2cm از ابتدای آن تهیه و پس از عملیات آماده سازی سطحی و پولیش کاری توسط نایتال 2% به مدت 8 ثانیه اچ گردیدند. بررسی‌های ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل Olympus انجام شد. آزمون سختی سنجی توسط دستگاه Instron wolpertgmbh به روش ویکرز (HV10) در مقطع عرضی و در امتداد طول آن انجام پذیرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی درشت ساختار ناحیه جوشکاری شده

شکل1 نواحی ایجاد شده در قطعه در اثر جوشکاری را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است حرارت ورودی حین جوشکاری موجب تشکیل سه منطقه مجزا در ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) شده است که عبارتند از منطقه‌ی درشت دانه (Grain Growth Zone: GGZ)، منطقه‌ی دانه ریز (Refined Zone: RZ) و منطقه‌ی تاثیر جزئی (Partial Affected Zone: PAZ) [4]. مطالعات ساختاری نشان داد که مناطقی از HAZ که به فلزجوش نزدیکتر است دستخوش رشد دانه شده است که به دلیل دمای بالا و فعال شدن نفوذ اتمی در این منطقه می‌باشد(شکل1-ج). با افزایش فاصله از فصل مشترک HAZ/WM به سمت فلزپایه به دلیل کاهش حرارت ورودی جوشکاری، در این منطقه از HAZ استحاله تبلور مجدد و در نتیجه ریزشدن دانه‌ها ایجاد می‌شود(شکل1-د). در مناطقی از HAZ که به فلز پایه نزدیکتر است دستخوش سیکل حرارتی جوشکاری کمتری واقع شده و در نتیجه استحاله‌های فازی چندانی در این ناحیه رخ نمی‌دهد(شکل1-ه).

3-2 بررسی ریزساختار آلیاژ پایه و فلزجوش فولاد X-70

شکل2-الف ریزساختار نوعی از آلیاژ پایه فولاد X-70 را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود ریزساختار آلیاژپایه عمدتا فریتی همراه با جزایر پرلیتی تشکیل شده در مناطق بین دانه‌های فریتی می‌باشد. ریزساختار نوعی از فلزجوش X-70 متشکل از فریت سوزنی، فریت ویدمن‌اشتاتن و فریت چندشکلی است (شکل2-ب).

3-3 تأثیر پارامترهای جوشکاری بر ریزساختار فلزجوش

الف) تاثیر جریان جوشکاری

شکل3 ریزساختار فلزجوش جوشکاری شده توسط سه جریان مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش جریان جوشکاری از 140±10 A به 180±10 A (افزایش حرارت ورودی از 1.46 KJ/mm به 1.88 KJ/mm) باعث تبدیل ریزساختار فلزجوش از فریت سوزنی درشت و فریت مرزدانه‌ای(شکل3-الف) به فریت سوزنی ریز و مقادیر کمی فریت ویدمن‌اشتاتن (شکل3-ب). افزایش جریان جوشکاری به 220±10 A (حرارت ورودی 2.30 KJ/mm) موجب تشکیل یک ساختار خشن و فریتهای درشت در ریزساختار می‌شود (شکل3-ج). تغییرات ساختاری مذکور را میتوان به کاهش نرخ سرد شدن با افزایش جریان جوشکاری نسبت داد[5]. حرارت ورودی توسط معادله 1 محاسبه می‌گردد:

$$H = \eta EI/V \quad (1)$$

که در آن η بازده انتقال حرارت، E ولتاژ قوس، I جریان جوشکاری و V سرعت جوشکاری می‌باشند.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش شدت جریان جوشکاری، میزان حرارت ورودی افزایش می‌یابد. بررسی ریزساختار نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش حرارت ورودی، از میزان فریت ویدمن اشتاتن و فریت سوزنی در ناحیه جوش کاسته می‌شود. علت این امر را می‌توان ناشی از اثر حرارت ورودی بر سرعت سرد شدن دانست، به این صورت که با افزایش حرارت ورودی سرعت خروج حرارت کاهش یافته و سرد شدن با سرعت کمتری انجام می‌گردد. بنابراین حین سرد شدن زمان کمتری در منطقه پایداری فریت ویدمن‌اشتاتن و فریت سوزنی واقع می‌شود[6]. علاوه بر این افزایش اندازه دانه‌ها ناشی از توقف بیشتر در دمای بالاتر در اثر افزایش حرارت ورودی با زیاد شدن جریان جوشکاری می‌باشد.

ب) سرعت جوشکاری

در شکل4 تاثیر سرعت جوشکاری بر ریزساختار فلزجوش ارائه شده است. با افزایش سرعت جوشکاری به دلیل کاهش حرارت ورودی جوشکاری (0.85 KJ/mm) باعث ایجاد ساختارهای متشکل از فریت مرزدانه‌ای، جزایز مارتنزیت-آستنیت، فریت ویدمن اشتاتن، فریت سوزنی و بینایت بالایی در فلزجوش می‌شود (شکل4-الف). با کاهش سرعت جوشکاری (افزایش حرارت ورودی به 2.01 KJ/mm) ساختار فلزجوش به فریت مرزدانه‌ای، فریت سوزنی و فریت چندشکلی تبدیل می‌شود (شکل4-ب). همینطور در نمونه جوشکاری شده با سرعت جوشکاری کمتر و در نتیجه حراررت ورودی به 3.38 KJ/mm موجب تشکیل ساختار فریتهای عمدتا نفوذی در فلزجوش می‌شود(شکل4-ج).

3-4 ارزیابی سختی نمونه‌ها

شکل5 تاثیر جریان و سرعت جوشکاری بر توزیع سختی ناحیه جوشکاری شده را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده نمود که با کاهش جریان جوشکاری و افزایش سرعت جوشکاری که موجب کاهش حرارت ورودی می‌شود، سختی فلز جوش افزایش می‌یابد. تغییرات سختی با ریزساختار مرتبط است به نحوی که با افزایش فریت چندشکلی و اندازه دانه‌ها و کاهش فریت سوزنی سختی فلز جوش کاهش یافته است به نحوی که کمترین میزان سختی جوش مربوط به نمونه جوشکاری شده با حداکثر حرارت ورودی و حداکثر میزان سختی مربوط به نمونه جوشکاری شده با حداقل حرارت ورودی جوشکاری می‌باشد[5]. از طرفی مشاهده می‌شود که با تغییر جریان جوشکاری نرخ تغییرات سختی کمتر می‌باشد و توزیع سختی یکنواخت تر است.

4- نتیجه‌گیری

1.میزان حرارت ورودی بهینه برای ایجاد ساختار فریت سوزنی 1.88±0.02 KJ/mm می‌شود.

2. با افزایش حرارت ورودی میزان فریت ویدمن اشتاتن و فریت سوزنی کاهش می‌یابد.

3. باافزایش جریان جوشکاری و کاهش سرعت جوشکاری سختی کاهش می‌یابد. در صورتی که میزان تغییرات سختی با تغییر جریان،کمتر و توزیع آن یکنواخت‌تر می‌باشد.

4. از طریق کنترل سیکل حرارتی اعمالی بر فلزجوش می‌توان ایجاد نواحی مختلف جوش را کنترل نمود.

5- تشکر و قدردانی

در پایان، از همکاری مدیریت محترم شرکت تولیدی و صنعتی الکترود یزدو کارشناسانی که در انجام این پروژه همکاری داشته‌اندتشکر وقدردانی می گردد.

6- مراجع

[1]Tadashi Kasuya, Nobutaka Yurioka and Makoto Okumura,"Method for Predicting Maximum Hardness of Heat-Affected Zone and Selecting Necessary Preheat Temperature for Steel Welding", Nippon Steel Technical Report No.65, April 1995.

[2] FuRen Xiao, Bo Liao, Yi-Yin Shan, Gui-Ying Qiao, Yong Zhong, Chunling Zhang and Ke Yang," Challenge of Mechanical Properties of an Acicular Ferrite Pipeline Steel", Materials Science and Engineering A, V.431, (2006), PP. 41–52.

[3]Furen Xiao, Bo Liao, Deliang Ren, Yiyin Shan and Ke Yang," Acicular Ferritic Microstructure of a Low-Carbon Mn–Mo–Nb Microalloyed Pipeline Steel", Materials Characterization, V.54 ,(2005), PP.305– 314.

[4] G.M. Evans and N. Bailey,"Metallurgy of basic weld metal", 1997, Norwich, Abington Publishing and William Andrew Inc.

[5] حامد ثابت، "تکنولوژی و متالورژی جوشکاری"، 1387- کرج- نشر فنی امیر.

[6]Welding Handbook"Metals and Their Weldability" 7th Edition, 1982, AWS, New York.

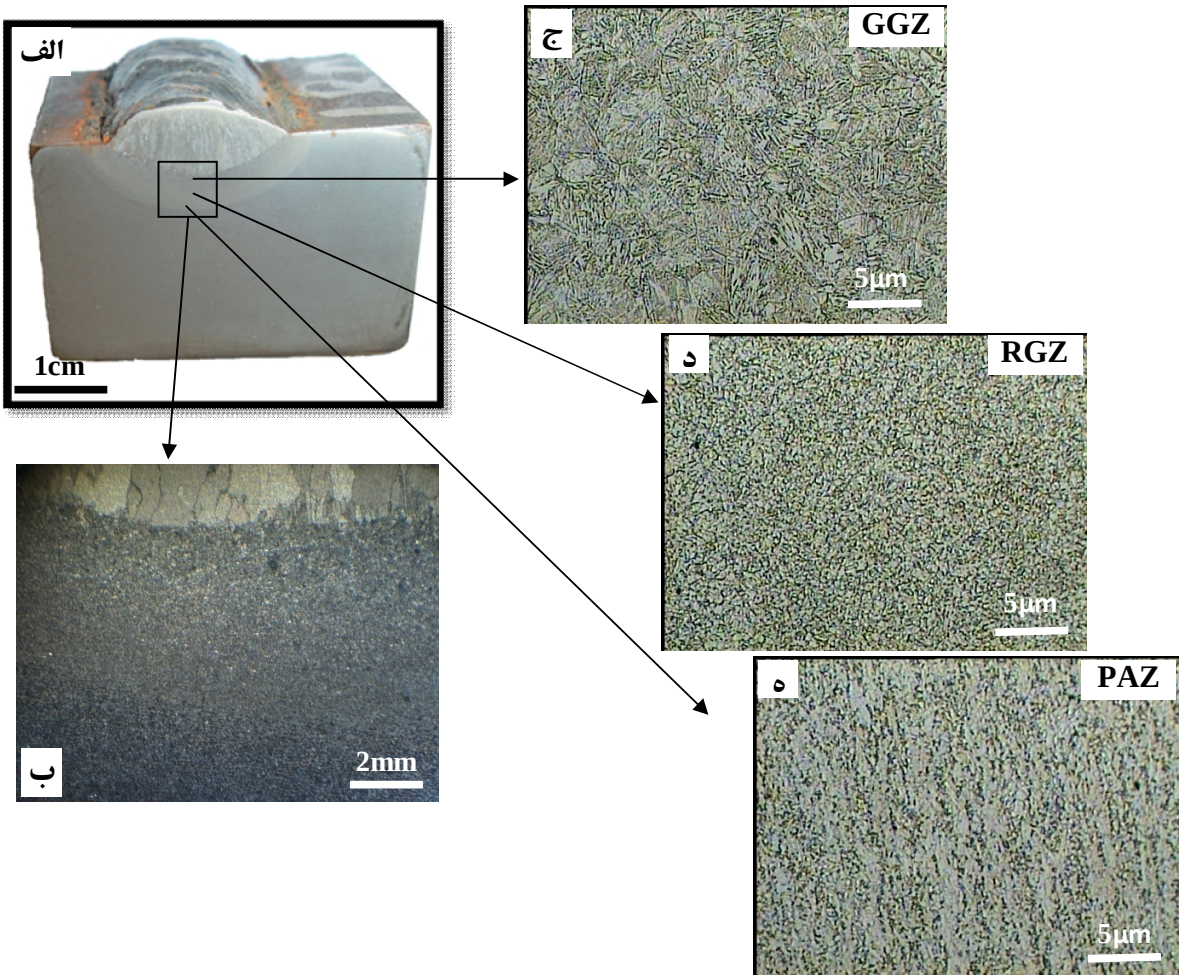
7- جداول و اشکال

جدول1) ترکیب شیمیایی فولاد API5L-X70 مورد استفاده وفلزجوش

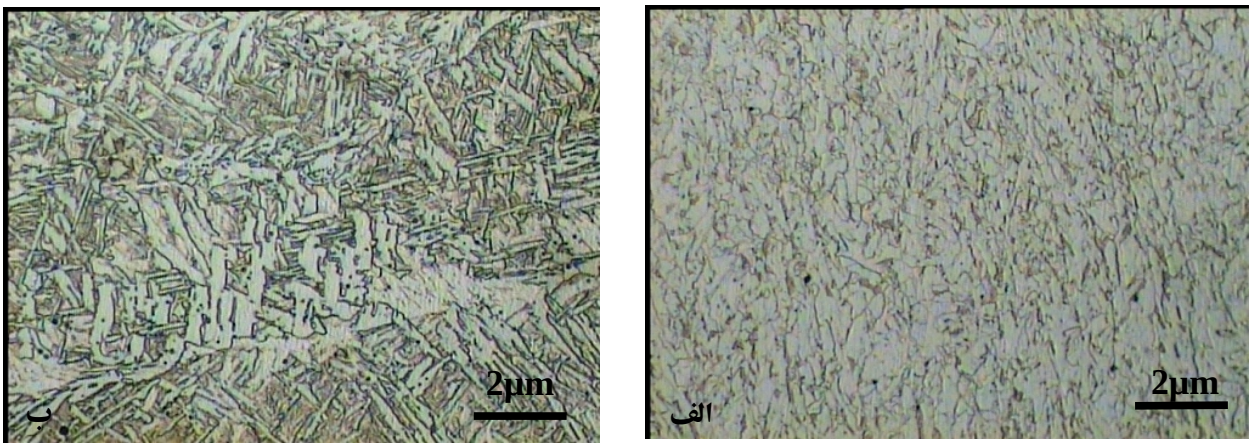
%Nb	%Al	%Ti	%Cu	%V	%Ni	%Mo	%Cr	%S	%P	%Mn	%Si	%C	
0.047	0.03	0.02	0.012	0.04	0.18	0.23	0.01	<0.001	0.010	1.58	0.20	0.056	X-70
-	-	-	-	<0.01	0.88	<0.01	0.01	0.012	0.014	0.89	0.26	0.14	Weld

جدول2) جزئیات جوشکاری مورد استفاده برای هر نمونه و نام‌گذاری نمونه‌ها

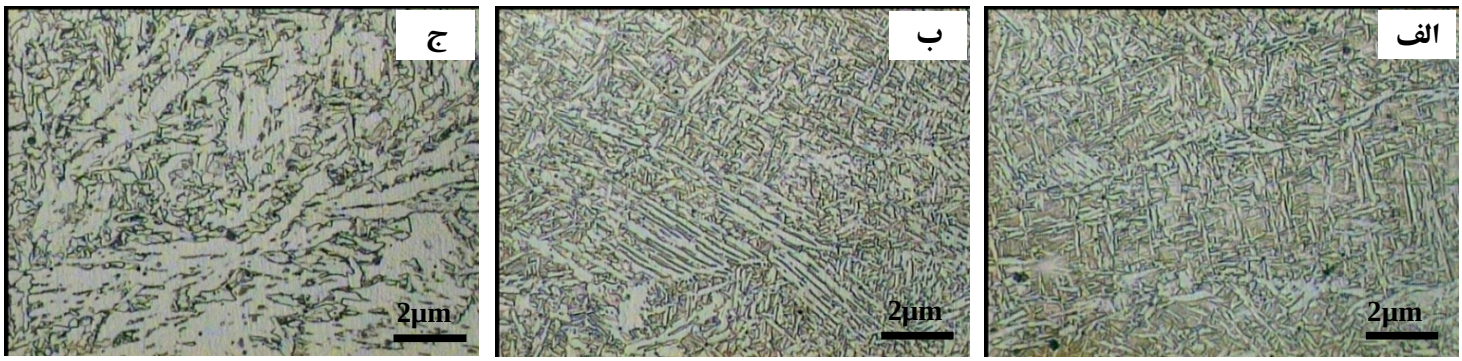
sample	Process	Filler Metal		Current		Voltage (V)	Welding speed (mm/s)	Heat input (kj/mm)
		Class	Diameter	Type & polarity	I (A)			
A	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	140±10	30±5	2.3±0.3	1.46
B	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	180±10	30±5	2.3±0.3	1.88
C	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	220±10	30±5	2.3±0.3	2.30
D	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	180±10	30±5	5.35	0.85
E	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	180±10	30±5	2.27	2.01
F	SMAW	E 8010-P1	5mm	DC+	180±10	30±5	1.35	3.38



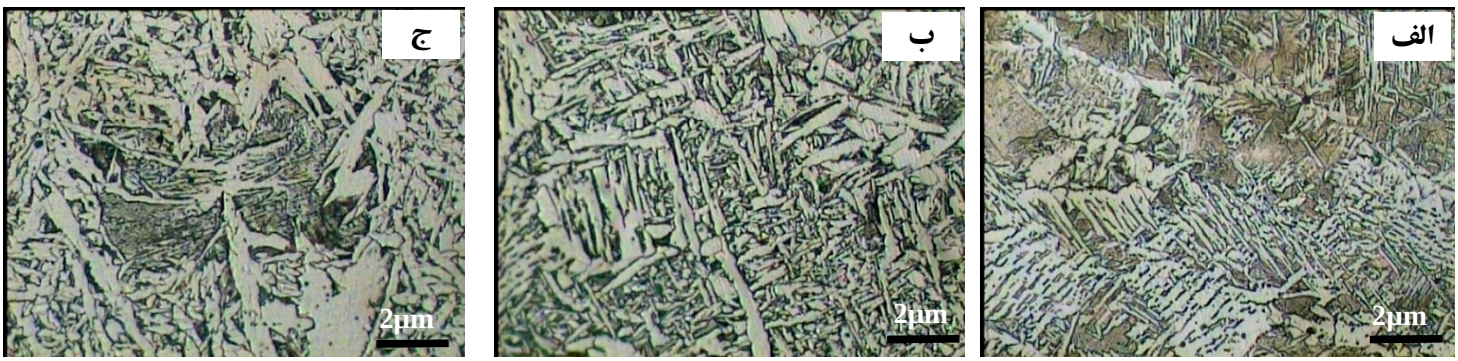
شکل1) ساختار نوعی از نواحی ایجاد شده حین جوشکاری در نمونه B. الف و ب تصاویر ماکروسکوپی. ج) ریزساختار منطقه درشت دانه از HAZ، د) ریزساختار منطقه ریز دانه از HAZ، ه) ریزساختار منطقه تاثیر جزئی از HAZ.



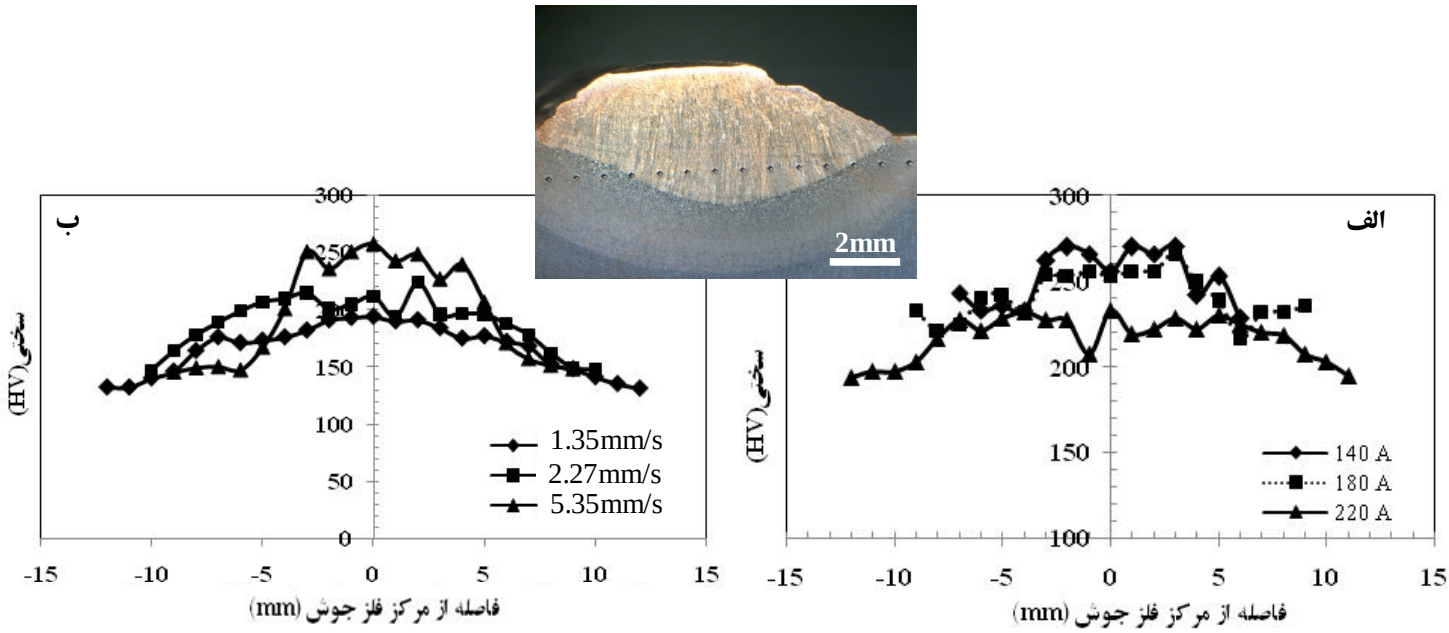
شکل2- الف) ریزساختار فلزپایه فولاد X-70، ب) ریز ساختار فلزجوش فولاد X-70.



شکل3) تاثیر جریان جوشکاری بر ریزساختار فلز جوش. الف) جریان جوشکاری 140A، ب) جریان جوشکاری 140A، ج) جریان جوشکاری 220A.



شکل4) تاثیر سرعت جوشکاری بر ریزساختار فلز جوش. الف) سرعت جوشکاری 5.35mm/s، ب) سرعت جوشکاری 2.27mm/s، ج) سرعت جوشکاری 1.35mm/s.



شکل5) توزیع سختی در ناحیه جوشکاری شده. الف) تاثیر جریان جوشکاری، ب) تاثیر سرعت جوشکاری.