علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال اول، شماره ۱، پاییز و زمستان ۹۴، صفحه ۷۵-۶۴

تاثیر ویژگی‌های سلولز مورد استفاده در ساخت الکترود سلولزیE8010-P1 بر خصوصیات ساختاری و مکانیکی فلز جوش حاصل از آن الکترود

مسعود مصلایی‌پور ، فرزانه دهقان طالبی ، سید صادق قاسمی ، علیرضا مشرقی

گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، ایران

پست الکترونیکی: farzane.7843@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۷ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳)

چکیده

سلولز بیوپلیمری طبیعی با فرمول شیمیایی عمومی (C6H10O5)n می‌باشد که بر اساس استاندارد AWS A5.5، بیش از 40wt% پوشش الکترودهای سلولزی را تشکیل می‌دهد. در این پژوهش برای بررسی اثر نوع سلولز برکارایی الکترود سلولزی E8010-P1،با استفاده از مقادیر یکسان از دو سلولز مشابه(تولیدی توسط شرکت‌های مختلف)،دو دسته الکترود E8010-P1ساخته شد. بررسی‌ها مبین تفاوت چشمگیر خصوصیات ساختاری ومکانیکی فلزجوش راسب شده از این دو دسته الکترود بود. مطالعات FTIR، DTA و XRD سلولزهای دریافتی نشان داد که علی‌رغم یکسان بودن برند تجاری این سلولزها، خصوصیات آن‌ها از قبیل نوع پیوندها، رفتار حرارتی و کریستالیته، با هم متفاوت می‌باشد که موجب تغییرات عمق‌نفوذ و استحکام کششی فلزجوش به ترتیب در حدود ۲±۲۵٪ و ۲±۵٪ می‌شود.

کلمات کلیدی: E8010-P1، سلولز، عمق نفوذ، ریزساختار،FTIR، XRD، DTA.

Effect of Cellulose Characterization Used in Manufacturing of E8010-P1 Cellulosic Electrode on Structural and Mechanical Properties of its Weld Metal

M. Mosallaee , F. Dehghantalebi , S. Ghasemi , A. Mashreghee

Material Engineering group, Mining and Metallurgical Faculty, Yazd University, Iran

(Received 28 November 2015 ; Accepted 13 January 2016)

Abstract

Cellulose is a natural biopolymer with the general (C6H10O5)n formula, which according to AWS A5.5 standard, more than 40wt% of coating of cellulosic electrodes is consisted of cellulose. In this study to evaluate the effect of cellulose type on the performance of E8010-P1 cellulosic electrode, equal amounts of

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

two celluloses with the same commercial properties but produced by two different companies, were used for production of two E8010-P1 electrodes.Experimental studies illustrate significant difference between structural and mechanical properties of deposited weld metals from these electrodes. FTIR, DTA and XRD testes of as-received celluloses show despite the same brandforthese celluloses, their properties such as bonds types,thermal behavior and crystallinity are different that cause variation ofweld metal penetrate and tensile strength around 25±2% and 5±2%respectively.

Keywords: E8010-P1, cellulose, weld penetration, microstructure, FTIR, XRD,DTA.

۱- مقدمه

سلولز از مهم‌ترین مواد پلیمری طبیعی و مهم‌ترین مواد کربوهیدراتی مورد نیاز حیات زیست شناختی و اجتماعی بشر به شمار می‌رود که برای اولین بار در سال ۱۸۸۳توسط شیمیدان فرانسوی،آنسلم پاین کشف شد [۱]. سلولز،هوموپلی‌ساکاریدی با فرمول شیمیایی عمومی (C6H10O5)nمی‌باشد که به صورت الیاف جامد و بی‌رنگ یا سفید به طور طبیعی از گیاهان استخراج می‌شود]۱[. ساختار سلولز تابع نحوه قرارگیری زنجیرهای سلولزی در کنار یکدیگر می‌باشد که باعث به وجود آمدن نواحی کریستالی و آمورف در کنار یکدیگر می‌گردد. رایج‌ترین انواع سلولز مورد استفاده، سلولز نوع I (سلولز خام) و سلولز نوع II (سلولز بازسازی شده) می‌باشد. در سلولز نوع I زنجیره‌ها به صورت موازی و در یک جهت قرار گرفته‌اند اما در سلولز نوع II این زنجیره‌ها ناموازینـد. در مواقعی که شبکه سلولز نوع Iبه واسطه یک ترکیب شیمیایی (مواد مورد استفاده برای استخراج سلولز از منشأ سلولزی) از بین می‌رود، سلولز نوع II تشکیل می‌گردد. پیوندهای هیدروژنی بیشتر سلولز نوع II موجب پایدارتر شدن این سلولز در مقایسه با سلولز نوع I می‌شود. به عبارت دیگر فرآیند تبدیل سلولز نوع I به نوع II برگشت‌ناپذیر است [۲].

فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با استفاده از الکترود پوشش‌دار (SMAW)به دلیل سهولت اجرا در شرایط مختلف، تنوع الکترودهای موجود و غیره از رایج‌ترین روش‌های جوشکاری در صنایع مختلف می‌باشد. از جمله الکترودهای استراتژیک مورد استفاده در فرایند SMAWالکترودهای سلولزی می‌باشند. پوشش الکترودهای سلولزی حاوی بیش از 40wt.% سلولز خالص می‌باشد که باعث افزایش عمق نفوذ و قابلیت اجرای فرایند جوشکاری در حالت سرازیر می‌گردد[۳].

سلولز حین جوشکاری می‌سوزد و موجب ایجاد مقدار زیادی هیدروژن و مونواکسیدکربن می‌شود که از قوس و حوضچه جوش مذاب محافظت می‌نماید. یونیزه شدن این گازها در قوس الکتریکی باعث افزایش حرارت قوس شده و در نتیجه افزایش عمق نفوذ فلز جوش را به همراه دارد. دما و دانسیته پلاسمای قوس تابع فشار گاز ورودی به ستون قوس می‌باشند. توضیح آنکه با افزایش فشار گاز ایجاد شده در ستون قوس، توزیع حرارت بین تعداد مولکول‌های گازی بیشتری انجام می‌گیرد که این امر باعث کاهش دما و دانسیته قوس می‌گردد [۴]. بنابراین نحوه سوختن سلولز بر خواص قوس تأثیر می‌گذارد.

تاکنون تحقیقات متعددی در مورد اثر عناصر آلیاژی مختلف مانند کروم، مولیبدن، منگنز و غیره بر خواص جوش حاصل از الکترودهای سلولزی انجام گرفته است[۵و۶]. این پژوهش‌ها در راستای بهبود خواص جوش در اثر افزایش مستقیم عناصر آلیاژی به پوشش الکترود می‌باشند، اما اثر نوع سلولز به عنوان یکی از اجزای اصلی پوشش الکترودهای سلولزی بر قابلیت جوشکاری و کارآیی این دسته از الکترودهاچندان بررسی نشده است.

لذا در این پژوهش اثر نوع سلولز بر خصوصیات تکنولوژیکی و متالورژیکی جوش الکترود E8010-P1و به منظور تعیین دلیل تغییر در کارایی این گروه از الکترودها با تغییر نوع سلولز،ترکیب شیمیایی و ساختار سلولز مورد مطالعه واقع می‌شود.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱- جزئیات جوشکاری مورد استفاده در این پژوهش

فرایند	جریان الکتریکی		ولتاژ (V)	سرعت جوشکاری (mm/s)	حرارت ورودی (Kj/mm)
	جریان (A)	پلاریته			
SMAW	۱۶۰-۲۲۰	DCEP	۱۵-۲۰	۲/۵±۰/۲	۰/۹-۱/۹

۲- روش انجام آزمایش

در این پژوهش دو نوع سلولز مشابه ولی تولیدی توسط شرکت‌های متفاوت تهیه شد. به منظور مطالعه تفاوت‌های این دو نوع سلولز ابتدا ساختار شیمیایی آن‌ها توسط آزمون FTIR در محدوده طول موج cm-1600-4000 با سیستم BRUKERمورد بررسی قرار گرفت.

برای ارزیابی رفتار حرارتی سلولزها، آزمون آنالیز افتراق حرارتی (DTA) در محدوده دمایی محیط تا ^{o}C 400 با نمونه شاهد Al2O3و مقدار سلولز mg 30 در محیط گاز آرگون انجام و منحنی‌هایDTA ، کاهش وزن بر حسب دما (TG)، و تغییرات سرعت کاهش وزن بر حسب دما رسم گردید.

در ادامه برای تعیین اندیس کریستالیته سلولزها الگوی تفرق اشعهX (XRD) آن‌ها تعیین و اندیس کریستالیته بر حسب درصد (Cr.I٪)، برای هر دو سلولز با استفاده از رابطه ۲-۱ محاسبه شد [۷]:

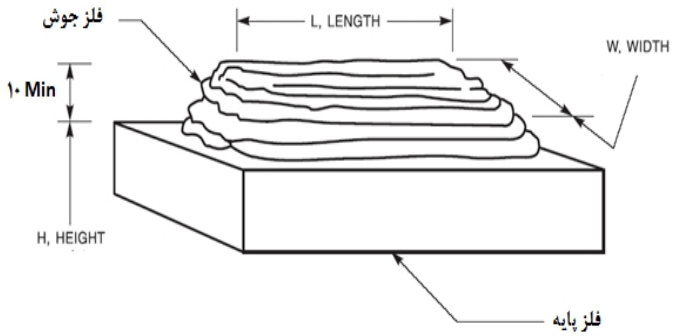
$$Cr.I\% = \left(\frac{(I(200) - Ia)}{I(200)}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق I_{200}شدت پیک در صفحه(۲۰۰) و Iaشدت پیک در منطقه آمورف می‌باشد.

به منظور ارزیابی تأثیر نوع سلولز بر خصوصیات تکنولوژیکی و متالورژیکی فلز جوش، دو دسته الکترود سلولزی سری E8010-P1با قطر 5mm مطابق استاندارد AWS A5.5 با استفاده از سلولزهای مذکورطراحی و با ترکیب حدودی پوشش 45%cellulose-10%TiO2-2%FeSi-4%FeMn-8%Na2O3Si ساخته شد. در ساخت این الکترودها تمام اجزاء مشابه و تنها شرکت سازنده سلولزها متفاوت بود. کدگذاری الکترودها بر اساس نوع سلولز به صورت E8010-Aو E8010-B انجام شد. مشخصات اجرای فرایند جوشکاری در جدول(۱) ارائه شده است. دمای پیش‌گرم و بین پاسی به دقت کنترل شده و در محدوده ^{o}C 160-190 لحاظ گردید.

به منظور ارزیابی تأثیر نوع سلولز بر ترکیب شیمیایی فلز جوش از آزمون اسپکتروسکوپی نشر نوری مطابق با استاندارد AWS A5.5استفاده شد. توضیح آنکه برای جلوگیری از مشارکت فلز پایه در ترکیب شیمیایی فلز جوش، عملیات آسترکشی طبق استاندارد AWS A5.5 بر یک صفحه فولادی به ابعادmm 340×60×20 انجام و فلز جوش در شش لایه و در هر لایه با اعمال سه پاس جوشکاری ایجاد شد. در ادامه سطح فلز جوش ایجاد شده سنگ زده شده و مورد آزمون اسپکتروسکوپی نشر نوری به وسیله دستگاه کوانتومتری قرار گرفت. در شکل(۱) نمونه استاندارد مورد استفاده در این آزمون به صورت شماتیک نشان داده شده است.پس از تعیین ترکیب شیمیایی فلز جوش، کربن معادل فلز جوش (CE) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد[۸]:

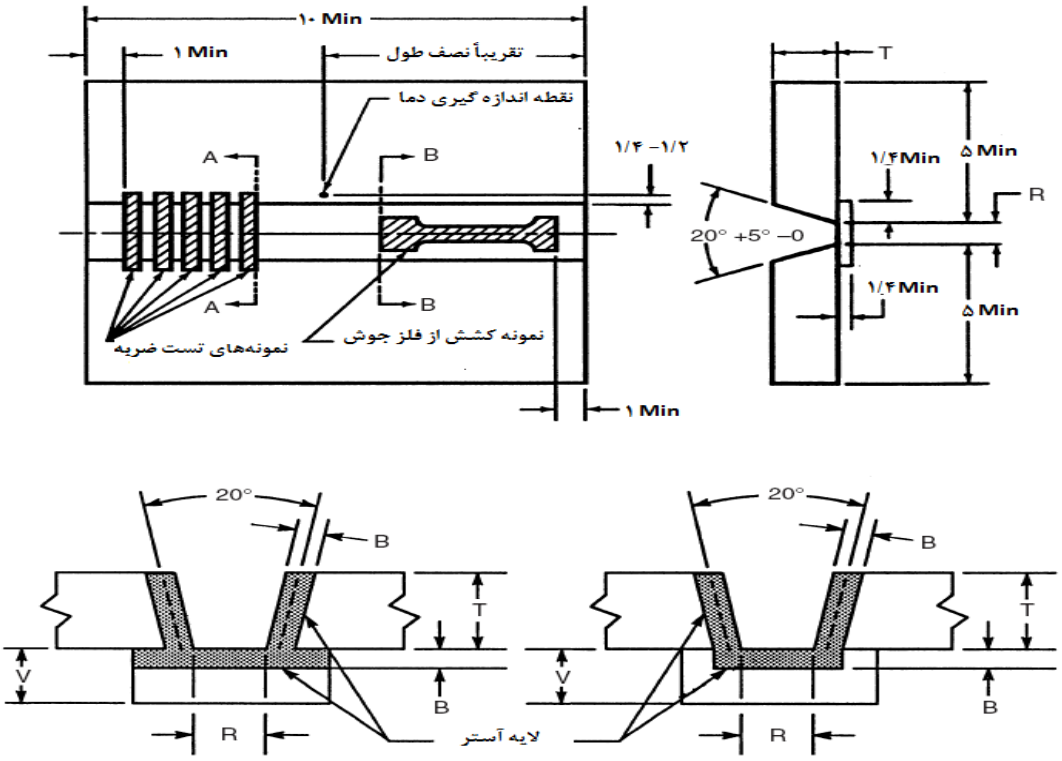
$$CE = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \qquad (۲)$$



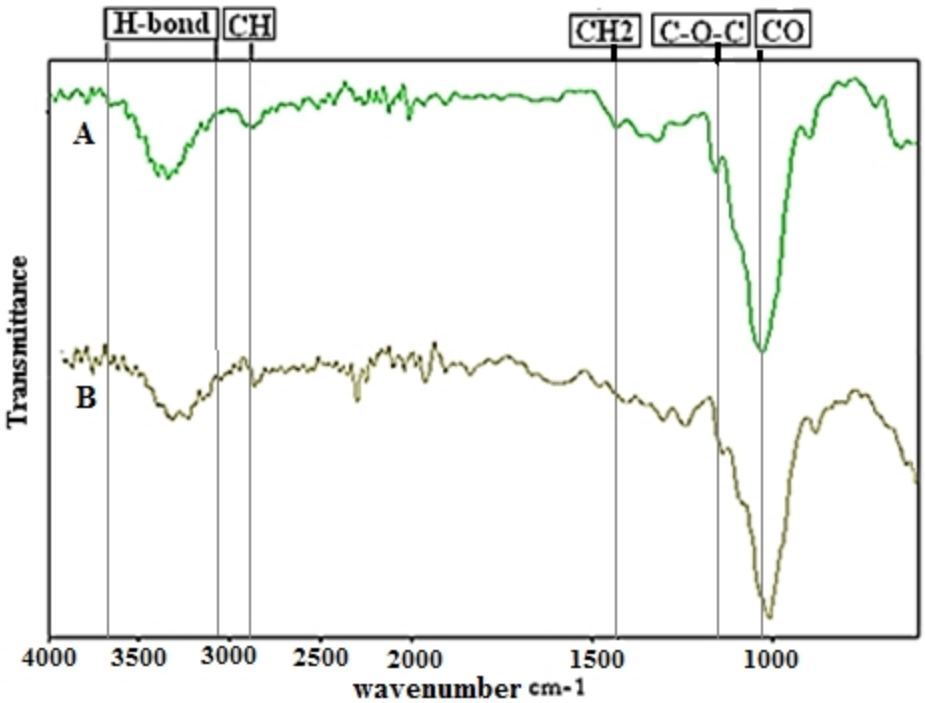
شکل ۱- شماتیک نمونه استاندارد برای آزمون اسپکتروسکوپی نشر نوری[۳].

برای مطالعه ریزساختاری فلز جوش، نمونه‌های متالوگرافی از مقطع عرضی جوش برش و پس از عملیات آماده‌سازی سطحی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



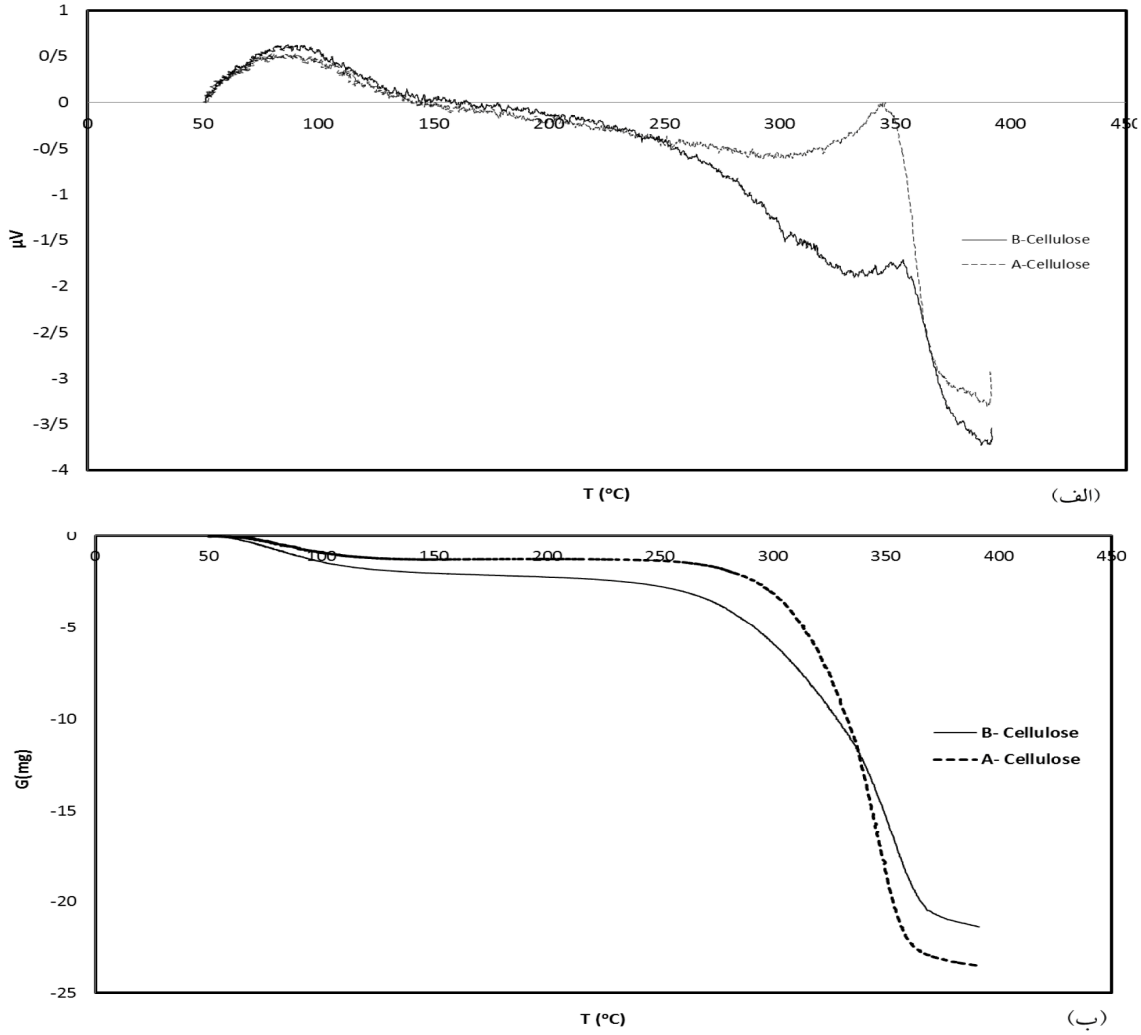
شکل۲-شماتیک صفحه فولادی، موقعیت برش نمونه‌های کشش و ضربه نحوه انجام عملیات آسترکشی[۳]



شکل۳- نمودار آزمون FTIR برای سلولز نوع A وB

و پولیش‌کاری مطابق با شرایط استاندارد متالوگرافی توسط اچانت نایتال ۲٪ (۹۸٪ اتانول و ۲٪ اسیدنیتریک) به مدت ۵ ثانیه اچ شدند. بررسی‌های ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل Olympus انجام شد. در ادامه کسر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل ۴- آنالیز حرارتی سلولزهای دریافتی. الف)نتایج DTAو ب) نتایج TG از دو سلولز A و B

فازی فریت سوزنی در تصاویر متالوگرافی، به وسیله نرم‌افزار MIPاندازه‌گیری شد.

برای بررسی تأثیر نوع سلولز بر خواص مکانیکی فلز جوش از آزمون‌های کشش و ضربه استفاده شد. جوشکاری توسط فرایند قوس الکتریکی دستی (SMAW) و بر روی صفحه فولادی استاندارد از جنس فولاد DIN-St-37با ابعاد $140\times280\ mm^2$و ضخامت20mm انجام شد. شرایط جوشکاری برای هر دو دسته الکترود یکسان و به صورت عمودی سرازیر مطابق با استاندارد AWS A5.5، صورت پذیرفت[۳].سه نمونه آزمون کشش با طول سنجه50mm و پنج نمونه آزمون ضربه مطابق با استاندارد AWS A5.5تهیه گردید[۳]. نحوه قرارگیری صفحات و آسترکشی و موقعیت برش نمونه‌های استاندارد کشش و ضربه از فلز جوش به صورت شماتیک در شکل(۲) نشان داده شده است. آزمایش کشش توسط دستگاه SANTAM-STM-400 با سرعت کشش 10mm/minدر دمای محیط انجام شد. نمونه‌های ضربه پس از تهیه، تحت عملیات شیارزنی قرار گرفته و سپس آزمون ضربه توسط دستگاه SANTAM-STM-300J در دمای -30^oC طبق استاندارد AWS A5.5 انجام[۳] و متوسط انرژی ضربه پنج نمونه به عنوان انرژی ضربه جوش بیان شد.

نظر به اهمیت میزان نفوذ فلز جوش در این دسته از الکترودها، آزمون تعیین نفوذ فلز جوش انجام شد. برای تعیین عمق نفوذ فلز جوش، آزمون نفوذ برای هر دو الکترود بر اساس استاندارد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول۲- ترکیب شیمیایی فلز جوش حاصل از الکترودهای حاوی سلولزهای مختلف

	%C	%Si	%Mn	%Mo	%Ni	%Cr	%P	%S
E8010-A	۰/۱۲۰	۰/۱۰۰	۰/۵۹۰	۰/۰۱۰	۰/۷۵۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۸۰
E8010-B	۰/۱۴۰	۰/۲۸۰	۰/۷۴۰	۰/۰۱۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۹۰

جدول۳- نتایج آزمون کشش و ضربه نمونه های جوشکاری شده و همچنین حداقل خواص مکانیکی مورد نیاز برای فلز جوش حاصل از الکترود E8010-P1طبق استاندارد AWS A5.5

نوع الکترود	استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول	انرژی ضربه(J)
E8010-A	٥٤٠±٥	٤٦٠±٥	١٠±٢	٦٠±٥
E8010-B	٥٧٠±٥	٤٨٠±٥	٣٥±٢	٥٥±٤
حداقل خواص مورد نیاز براساس استاندارد AWS A5.5	٥٥٠	٤٦٠	١٩	٢٧

جدول ۴- پارامترهای حرارتی سلولزهای A و B

نوع سلولز	دمای شروع تجزیه (°C)	حداکثر سرعت تجزیه (mg/min)	دما در حداکثر سرعت تجزیه (°C)
A	٢٥٠	٥/٨	٣٤٥
B	٢٠٠	٣/٦	٣٥٥

NR 216 DT R07 Eانجام شد[۷].

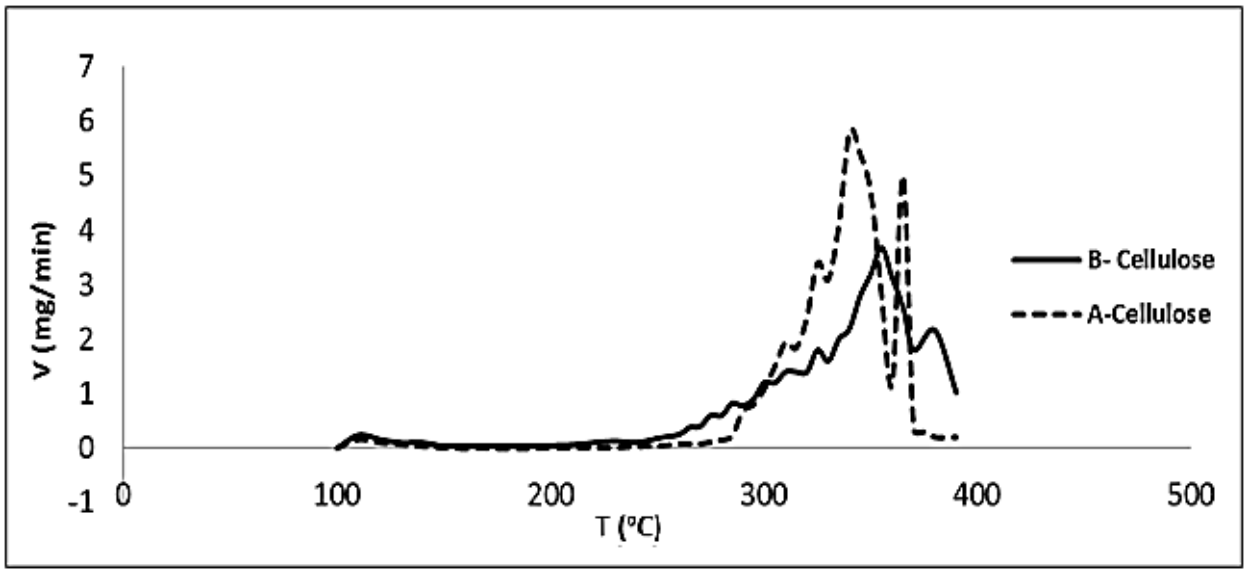
نتایج و بحث

در این قسمت نخست نتایج مربوط به ساختار شیمیایی، فازی و رفتار حرارتی سلولز ارائه شده است. در ادامه تأثیر نوع سلولز بر رفتار قوس، ترکیب شیمیایی، ساختار و خواص مکانیکی فلز جوش موردمطالعه قرار می‌گیردو علت تأثیر آن بر خواص فلز جوش مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

۳-۱- بررسی مشخصات سلولز

به منظور بررسی ساختار شیمیایی سلولزها، آزمون FTIR بر روی هر دو سلولز دریافتی انجام گرفت که نتایج آن در شکل(۳) ارائه شده است. همان‌گونه که از این شکل برداشت می‌شود، هر دو نوع سلولز دارای طیف‌های مشابه می‌باشند که حاکی از وجود گروه‌های عاملی مشابه از قبیل پیوندهای هیدروژنی، CH، CH2، C-O-C و COمی‌باشد. تفاوت طیف‌های بدست آمده از این دو سلولز مربوط به عدد طول موج‌های cm^{-1} 995-4000، cm^{-1} 2900، cm^{-1} 1430، cm^{-1} 1375 ، cm^{-1} 900 می‌باشد. این مناطق نسبت به تغییرات نواحی آمورف و کریستالی حساس می‌باشند و موقعیت و شدت آن‌ها تغییر می‌کند [۱۰]. محدوده عدد طول موج cm^{-1} 2995-3600 نشان‌دهنده پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی و بین مولکولی می‌باشد که پهن شدن پیک مربوط به آن، نشان‌دهنده افزایش تعداد پیوندهای هیدروژنی در این محدوده می‌باشد. با افزایش تبدیل سلولز نوع I به سلولز نوع II در واکنش‌های شیمیایی خالص‌سازی سلولز موقعیت پیوندهای CH درعدد طول موج cm^{-1} 2900 به مقدار cm^{-1} 2890 نزدیک می‌شود که این امر از تغییر زاویه اتصال واحدهای β- گلیکوزیدی سرچشمه می‌گیرد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل ۵- تغییرات سرعت کاهش وزن سلولزهای A و B بر حسب دما

عدد طول موج $1430\ cm^{-1}$ به پیوندهای CH_2مربوط می‌باشد و با افزایش تبدیل سلولز نوع I به سلولز نوع IIاز شدت آن کاسته می‌شود. تغییرات طول موج پیوند C-O-C از محدوده $1160\ cm^{-1}$ به سمت $1155\ cm^{-1}$ و تغییر عدد طول موج اتصال β- گلیکوزیدی از محدوده1900-cm به سمت $890\ cm^{-1}$ یا از محدوده $1000\ cm^{-1}$ به سمت $990\ cm^{-1}$، نشانگر تبدیل سلولز نوع I به سلولز نوع IIمی‌باشد [۱۰] . لذا با توجه به نتایج به دست آمده، سلولز Bاز میزان سلولز IIبیشتری نسبت به سلولز A برخوردار می‌باشد.

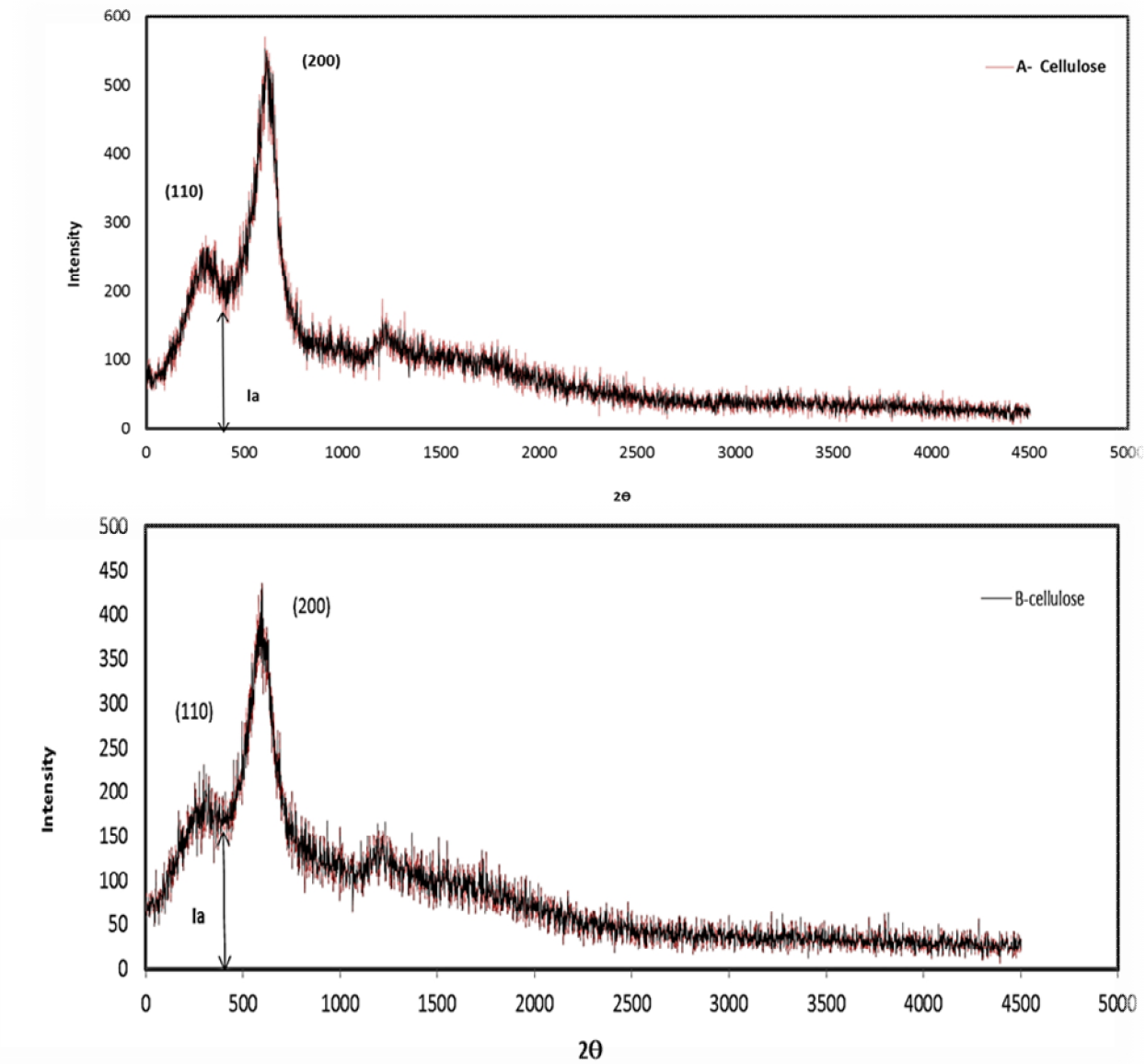
نتایج آزمون آنالیز افتراق حرارتی (DTA) و تغییرات سرعت کاهش وزن سلولزها بر حسب دما به ترتیب در شکل‌های(۴ و۵) نشان داده شده است و در جدول(۴) دمای شروع تجزیه، حداکثر سرعت تجزیه سلولزها و دمای آن ارائه شده است. همان‌گونه که نتایج آنالیز حرارتی نشان می‌دهند، سلولز نوع B از پایداری بیشتری نسبت به سلولز نوع A برخوردار بوده و به صورت تدریجی تجزیه می‌گردد. این پایداری بیشتر سلولز نوع B با نتایج حاصل از آزمون FTIR مبنی بر سهم بیشتر سلولز II در ترکیب سلولز نوع B همخوانی دارد. از سوی دیگر حداکثر سرعت کاهش وزن با افزایش نرخ حرارت‌دهی به سمت دماهای بالاتر حرکت می‌نماید[۱۱]. بنابراین این الگوی سوختن برای دمای بالای جوشکاری نیز قابل تعمیم می‌باشد.

در شکل(۶) الگوی تفرق اشعهX (XRD) از هر دو نوع سلولز دریافتی نشان داده شده است. با استفاده از این نتایج و رابطه ۱ درصد کریستالیته (Cr.I٪) سلولزهای Aو Bبه ترتیب ۷۰٪ و ۶۷٪ محاسبه شد. لازم به ذکر است که بخش کریستالی سلولز به دلیل پیوندهای قوی‌تر از استحکام بیشتری برخوردار است. لذا افزایش درصد کریستالیته سلولز به معنای افزایش استحکام شبکه سلولز می‌باشد و پایداری آن را در برابر حرارت افزایش می‌دهد[۱۲و۱۳].باتوجه به نتایج حاصل از آزمون DTAو XRDمی‌توان اینگونه برداشت نمود که کریستالیته بیشتر سلولز نوع Aباعث پایداری بیشتر آن در مقایسه با سلولز نوع Bدر دمای $200\ ^oC$ درجه شده و لذا تجزیه آن در دماهای بالاتر ($250\ ^oC$) آغاز می‌گردد. اما درادامه، پایداری حاصل از سهم بیشتر سلولز IIدر سلولز نوع B، بر فرایند سوختن غلبه می‌نماید و لذا سوختن سلولز نوع Bآرام‌تر انجام می‌گیرد.

۳-۲- تأثیر سلولز بر رفتار قوس

در شکل (۷) جوش حاصل از هر دو الکترود با شرایط جوشکاری مشابه، نشان داده شده است. میزان نور، پاشش و صدا هنگام فرایند جوشکاری با حداقل جریان A180، برای هر دو نمونه مشابه و در حد نرمال تعیین شد. نمونه E8010-B سیلان مذاب کمتری را در مقایسه با مقدار مربوط به الکترود

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل ۶- الگوی XRD برای سلولز نوع Aو B

E8010-Aدر حالت عمودی سرازیرایجاد نمود و با توجه با خصلت جوشکاری سرازیر، اجرای جوشکاری به وسیله الکترود E8010-Bآسان‌تر بود.

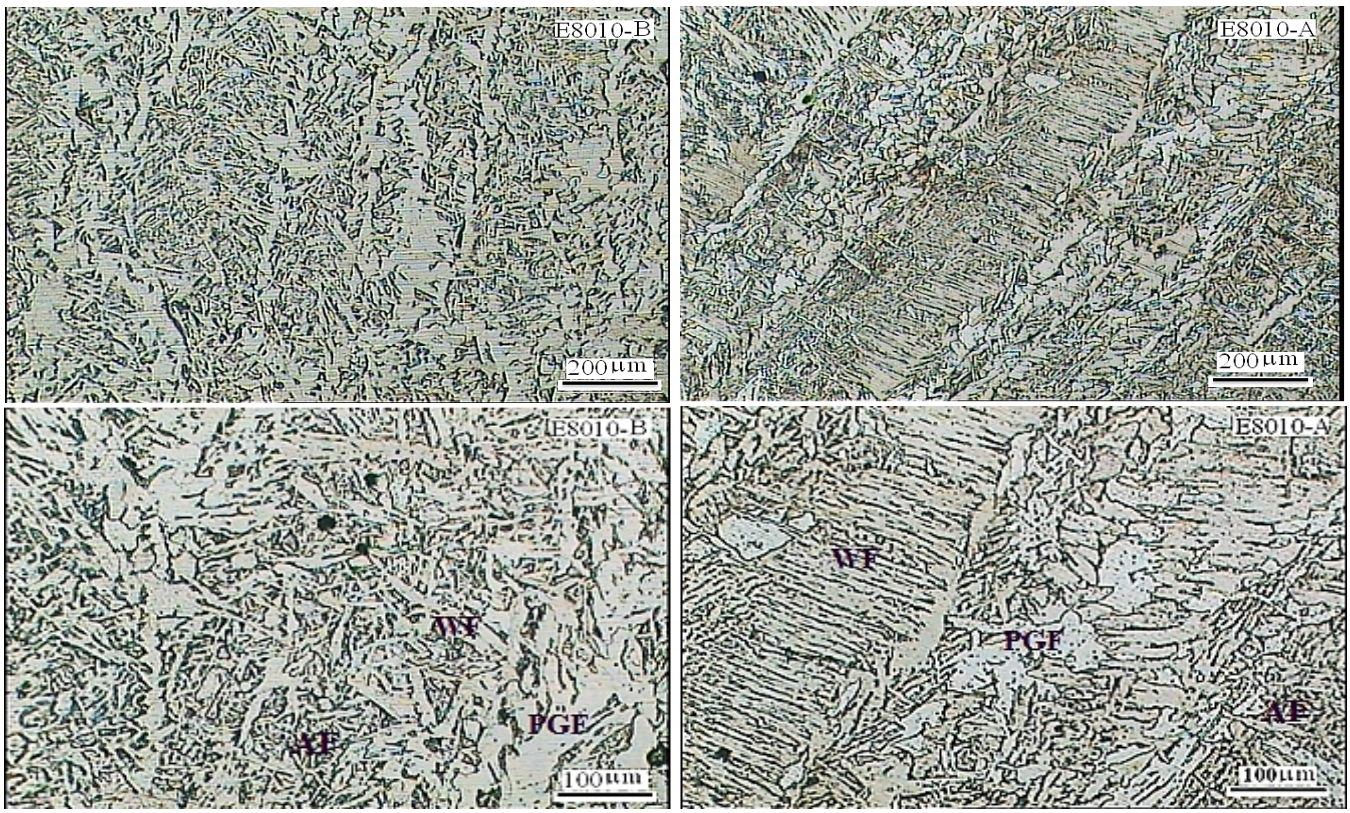
۳-۳- تأثیر سلولز بر ترکیب شیمیایی فلز جوش

آنالیز شیمیایی فلز جوش حاصل از هر دو الکترود در جدول(۲)ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان کربن، منگنز و سیلیسیم برای فلز جوش نمونه E8010-Bنسبت به مقادیر مربوط به فلز جوش حاصل از الکترود E8010-Aافزایش یافته است. تمامی عناصر مذکور نسبت به اکسیژن حساس می‌باشند[۱۴].توضیح آنکه عناصر مذکور موجب اکسیژن‌زدایی از مذاب حوضچه جوش می‌شوند. از طرفی ایجاد گازهای محافظ CO و H2و یون‌های حاصل از آن‌ها در قوس الکتریکی از حوضچه جوش محافظت می‌نماید و تغییر در میزان این گازها در ستون قوس، موجب تفاوت در قابلیت حفاظت‌کنندگی مربوطه و در نتیجه تغییر در میزان عناصر آلیاژی موجود در فلز جوش می‌شود. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان برداشت نمود که قابلیت سلولز نوعB در حفظ عناصر آلیاژی در حوضچه جوش بیشتر از سلولز نوع A می‌باشد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

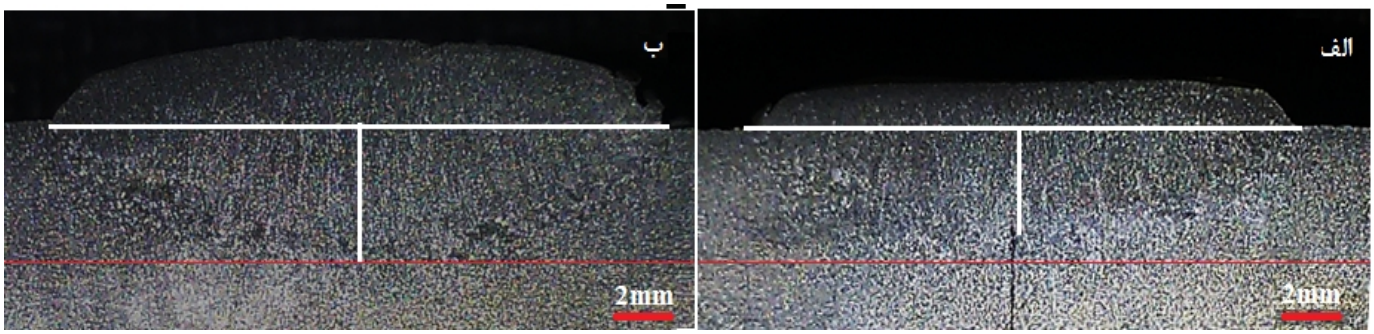


شکل۷- خط جوش حاصل از جوشکاری الکترودهای E8010-A و E8010-Bدر حالت عمودی سرازیر



شکل۸- تأثیر سلولز بر ساختار فلز جوشراسب شده ازالکترودE8010-A و الکترود E8010-B، شامل فریت سوزنی (AF)، فریت ویدمن‌اشتاتن (WF)و فریت چندوجهی(PGF)

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل ۹- تصویر ماکروسکوپی از جوش حاصل از الکترودهای الف) E8010-A و ب) E8010-B.

۳-۴-تأثیر نوع سلولز بر ریزساختار فلز جوش

در شکل ۸ تأثیر نوع سلولز بر ریزساختار فلز جوش نشان داده شده است. کسر فریت سوزنی در فلز جوش راسب شده از الکترودهای E8010-Aو E8010-Bبه ترتیب در حدود ۲۵٪ و ۵۰٪ اندازه‌گیری شد و کسر باقیمانده به طور عمده شامل فریت چند وجهی و فریت ویدمن‌اشتاتن می‌باشد.مقدار کربن معادل با استفاده از رابطه ۲ برای فلز جوش حاصل از الکترودهایE8010-A و E8010-B به ترتیب ۰/۱۶۶ و۰/۲ محاسبه شد که این مقدار اختلاف تغییر چندانی در سرعت سرد شدن و سختی‌پذیری جوش ایجاد نمی‌کند، اما افزایش مقدار کربن معادل رشد نفوذی فریت چندوجهی را محدود نموده و ضخامت آن را کم می‌کند[۹]. تشکیل فریت سوزنی و فریت ویدمن‌اشتاتن یک فرایند رقابتی می‌باشد که با افزایش مکان‌های مرجح برای جوانه‌زنی، تشکیل فریت سوزنی افزایش می‌یابد.از طرفی منگنز و سیلیسیم با ایجاد ذرات اکسیدی به فرمMnO، SiO_2 و $MnO.SiO_2$ به عنوان مکانهای مرجح، تشکیل فریت سوزنی را تشدید می‌نماید [۱۴-۱۶].بنابراین می‌توان هم‌خوانی خوبی بین ریزساختار فلز جوش و ترکیب شیمیایی فلز جوش برقرار نمود.

۳-۵- تأثیر سلولز بر میزان نفوذ جوش در فلز پایه

تأثیر نوع سلولز برتصاویر ماکروسکوپی ناحیه جوش در شکل(۹) نشان داده شده است. نفوذ فلز جوش در الکترودهای E8010-Aو E8010-Bبه ترتیب ۳/۱±۰/۳ و ۳/۸±۰/۴ اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج به دست آمده عمق نفوذ فلز جوش حاصل از نمونهE8010-B تقریباً ۲۵٪ بیشتر از مقدار مربوط به الکترودE8010-B می‌باشد. این تفاوت عمق نفوذفلز جوش با مشاهدات چشمی، هنگام انجام فرایند جوشکاری مبنی بر سیلان کمتر مذاب حاصل از الکترود E8010-Bدر حالت عمودی سرازیر مطابقت دارد.

با توجه به نتایج ارائه شده توسط Gentle و همکارانش در مجله Nature، با افزایش فشار گاز ورودی به قوس الکتریکی دمای پلاسما و غلظت اتم‌های یونیزه شده کاهش می‌یابد و در نتیجه دانسیته قوس کم می‌شود[۴]. لذا با توجه به سوختن یکباره و دفعی سلولز نوع A، گاز ایجاد شده دارای فشار بیشتری نسبت به مقدار مربوط به سلولز نوع B می‌باشد. لذا گرمای قوس بین اتم‌های بیشتری توزیع شده و دمای قوس و یونیزاسیون کاهش می‌یابد. این امر موجب کاهش دانسیته قوس در نتیجه کاهش عمق نفوذ فلز جوش می‌شود.

۳-۶-تأثیر نوع سلولز برخواص مکانیکی فلز جوش

در جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون کشش و ضربه و همچنین حداقل خواص مکانیکی مورد نیاز برای فلز جوش حاصل از الکترود E8010-P1 طبق استاندارد AWS A5.5ارائه شده است. با مقایسه نتایج ارائه شده می‌توان گفت که تنها جوش حاصل از الکترود E8010-B از نظر خواص کششی الزامات استاندارد را برآورده می‌نماید. به عبارتی استحکام و ازدیاد طول فلز جوش در نمونه E8010-B به ترتیب در حدود ۲±۵٪ و ۲±۲۵۰٪ نسبت به نمونه E8010-A افزایش یافته است. بهبود خصوصیات کششی مذکور را می‌توان به تشکیل فریت سوزنی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

و ظریف‌تر شدن ساختار فلز جوش نسبت داد. بعبارت دیگر پیچیدگی ساختار فریت سوزنی موجب مشکل شدن اشاعه ترک در ساختار و در نتیجه افزایش چقرمگی فلز جوش می‌شود [۱۹-۱۷]. لذا افزایش میزان فریت سوزنی در جوش حاصل از الکترود E8010-Bدر اثر افزایش عناصر آلیاژی کربن، سیلیسم و منگنز موجب عملکرد بهتر سلولز نوع B در جهت بهبود خواص کششی فلز جوش می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر نوع سلولز بر خواص تکنولوژیکی و مکانیکی جوشکاری با الکترود E8010-P1 و علت اثرگذاری آن مورد مطالعه قرار گرفت و مهم‌ترین نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:

- تغییر در میزان سلولز I و سلولز II در ترکیب سلولز مورد استفاده در ساخت الکترود،بر خواص حرارتی سلولز و در نتیجه بر ساختار و خواص مکانیکی فلز جوش اثرگذار است.
- با افزایش مقدار سلولز II، عدد طول موج‌های مربوط به پیوندهای هیدروژنی، CH، CH2، C-O-C و موقعیت قرارگیری واحدهای β- گلیکوزیدی در منحنی FTIR تغییر کرده و به سمت راست جابه جا می‌گردد.
- با افزایش سهم سلولز II و افزایش کریستالیته آن، پایداری سلولز در مقابل حرارت افزایش می‌یابد.
- توانایی اتمسفر حاصل از سوختن سلولز در حفاظت از حوضچه جوش به ترکیبات موجود در سلولز وابسته می‌باشد. به عبارت دیگر تغییر در میزان یونیزاسیون گازهای حاصل از سوختن سلولز در ستون قوس، موجب تفاوت در قابلیت حفاظت کنندگی مربوطه و در نتیجه تغییر درمیزان عناصر آلیاژی موجود در فلز جوش می‌شود.
- با افزایش سرعت سوختن سلولز، فشار گاز حاصل از آن افزایش و در نتیجه عمق نفوذ فلز جوش کاهش می‌یابد.
- سلولز با تغییر در میزان عناصرآلیاژی، میزان فریت سوزنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که با افزایش میزان فریت سوزنی، استحکام و ازدیاد طول فلز جوش بیشتر می‌گردد.

تشکر و قدردانی

در پایان از همکاری ریاست محترم ، مدیران ارشد واحدهای تحقیق وتوسعه و تولید شرکت الکترود یزد و همچنین اساتید محترم و کارشناسان گرامی دانشگاه یزد که اینجانب را در انجام این پروژه یاری نمودند، نهایت قدردانی و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

۱. ظهوریان مهر، م. ج.، "سلولز و مشتقات آن"، انجمن علوم و مهندسی پلیمر ایران، ۱۳۸۸.

۲. شوستروم، ا.، "مبانی و کاربرد شیمی چوب، ترجمه سید احمد میرشکرایی"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۱.

3.AWS A5.5/A5.5M, Specification for low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding, American welding society, 2006.

4.Gntle, K. W., Ingard, U., andBekefi, G., "Effect of gas flow on the properties of a plasma column", International weekly journal Nature, Vol. 203, pp. 1369-1370, 1964.

5.Mosallaee, M., Heydari, J.,Ghasemi, S., Mashreghee, A.,"Effect of E8010-P1 electrode composition on the weld metal properties", International journal of pressure vessels and piping, 2013.

6.Kang, B.Y., and Kim, H.J., "Effect of Mn and Ni on the variation of the microstructure and mechanical properties of low-carbon weld metal", ISIJ Int, Vol. 40(12), pp. 1237–1245, 2000.

7.Segal, L., Creely, JJ., Martin, AE. Jr., and Conrad, CM., Text Res J, 2010.

8.Bhadeshia, H. K. D.H., "Case study: weld microstructures" material science and metallurgy.

9.NR 216 DT R07 E, Rules on materials and welding for the classification of marine units, Bureau veritas, 2014.

10.Yue, Y., "A comparative study of cellulose I and II fibersand nanocrystals", Heilongjiang institute of science and technology, 2011.

11.Shen, D. K., and Gu, S., "The mechanism for thermal decomposition of cellulose and its main products", Bio resource technology, Vol. 100, pp. 6496-6504, 2009.

12.Kim, U. J., Eom, S. H., and Wada, M., "Thermal decomposition of native cellulose: Influence on crystallite size", polymer degradation and stability, Vol. 95, pp. 778-781, 2010 .

13.Kaushik, V. K., Kumar, A., and Kalia, S., "Effect of

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

mercerization and benzoyl peroxide treatment on - morphology, thermal stability and crystallinity of sisal fibers", International journal of textile science, Vol. 1(6), pp. 101-105, 2012 .

14.Evans, G. M., "Effect of manganese on the microstructure and properties of all weld metal deposits", welding journal, pp. 67-75, 1980.

15.Svensson, L. E., "Control of microstructures and properties in steel arc welds", Material science and technology, CRC press Inc., 1994.

16.Mahony, M. F., "Investigation into the Mechanism of acicular nucleation in steel weld metal", Naval postgraduate school Monterey, California, 1999.

17.Prasad, K., and Dwivedi, D. K., "Some investigations on microstructure and mechanical properties of submerged arc welded HSLA steel joints", International Journal Advanced Manufacturing Technology, Vol. 36, pp.475–483, 2008.

18.Farrar, R. A., and Harrison, P. L., " Acicular ferrite in carbon-manganese weld metals: an overview", Material Science, Vol. 22, pp. 3812-3820, 1987.

19.Lee, C. H., Bhadeshia, H. K., and Lee, H. C., "Effect of plastic deformation on the formation of acicular ferrite", Materials Science and Engineering A, Vol. 360, pp. 249-257, 2003.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]