نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال ششم، شماره1، بهار و تابستان 1399، صفحه 80-67

بررسی ریزساختار و سختی در تعمیر به روش OAW قالب های مسی DHP

حمیدرضا علینقیان[1*]، سید علی صدوق ونینی[1]، سید محمود منیر واقفی[2]

1- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)

2- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: 1398/09/17 ؛ پذیرش مقاله: 1399/03/19)

چکیده

قالب‌های ریخته‌گری مداوم فولاد در تعداد ذوب های بالا ممکن است در سطح قالب تحت سایش و تخریب قرار گیرند، لذا ضرورت راهکاری جهت بهبود عمر چنین قالب‌هایی مطرح می‌باشد. در مقاله حاضر هدف ترمیم نمونه مسی DHP (جنس قالب فرایند ریخته‌گری مداوم) می‌باشد. در این مقاله تخریب نمونه‌های مسی توسط ایجاد شیاری به کمک دستگاه CNC و عمل ترمیم آن با استفاده از جوشکاری اکسی‌استیلن و پرکننده جهت پرکردن ناحیه شیار انجام شد. در این مطالعه تاثیر دمای پیشگرم، نوع پرکننده، عملیات حرارتی ناحیه جوش بر سختی، ریزساختار، آنالیز شیمیایی ناحیه جوش و هدایت حرارتی منطقه جوش بررسی و ارزیابی شد. محدوده دمای پیشگرم بین 300 تا 450 درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. از پرکننده‌های Cu-P و Cu-Ag-P برای پرکردن شکاف ناحیه جوش استفاده شد. در تحقیق حاضر جهت سنجش نتایج از میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنجی انرژی پرتوایکس، میکروسختی، میکروسکوپ نوری و هدایت‌سنج حرارتی استفاده شد. نتایج نشان داد افزایش دمای پیشگرم منجر به تشکیل لایه‌های اکسیدی و کاهش دمای پیشگرم با پرشوندگی ناقص ناحیه جوش همراه است که نهایتاً دمای پیشگرم 400 درجه سانتی‌گراد با توجه به دو ویژگی ذکرشده در بالا انتخاب مناسبی است. عملیات تنش زدایی با هدف کاهش تنش‌ها و حفظ خواص مکانیکی در محدوده دمایی 250 تا 400 درجه سانتی‌گراد و در زمان 2 ساعت اجرا شد. نتایج نشان داد محدوده دمایی انتخاب‌شده دمایی هیچ‌گونه کاهش نامطلوبی در سختی وجود نداشته است. هم‌چنین، مشخص شد با افزایش مدت زمان آنیل، سختی جوش برای پرکننده مس - فسفر کاهش و برای پرکننده مس - نقره - فسفر ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. ارزیابی به کارگیری پرکننده Cu-P در مقایسه با Cu-Ag-P نشان‌دهنده ایجاد سختی نسبتا پایین‌تر (نزدیک به کمتر از ده درصد) در پرکننده حاوی نقره نسبت به پرکننده حاوی فسفر بود. در مقابل هدایت حرارتی پرکننده حاوی نقره نزدیک به حدود ده درصد بیش از پرکننده حاوی فسفر بوده است. بدیهی‌ست که انتخاب نوع پرکننده بستگی به نوع پایه و هندسه آن دارد. بررسی‌ها نشان داد که درحضور 7/2 درصد فسفر در پرکننده مس - فسفر به دلیل نزدیک‌بودن ساختار جوش به نقطه یوتکتیک جدایش به صورت بسیار جزئی صورت گرفت. این در حالیست که انتخاب پرکننده مس - نقره - فسفر با داشتن 6 درصد نقره در آن باعث ایجاد جدایش شدید نقره تا مرز 90 درصد نقره در مرکز جوش در ناحیه غیردندریتی شد.

کلمات کلیدی: مس DHP، تعمیر و ترمیم، پرکننده جوش، ریزسختی، ریزساختار، آنیل.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: alinaghian133@aut.ac.ir

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

Evaluation of microstructure and hardness in repair with OAW method in copper DHP moulds

H. R. Alinaghian[1*], S. A. Sadough Vanini[1], S. M. Monir Vaghefi[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2- Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received 8 December 2019 ; Accepted 9 June 2020)

Abstract

The surface of continuous casting moulds with high number of castings may be worn or destructed. As result, an approach for increasing these moulds life is necessary. In this project, the goal is the restoration of the DHP copper sample. In this project, the destruction of the copper sample is done by creation of groove using a CNC machine. The restoration of the sample is done using OAW and filler to fill groove area. In this project, the effect of preheating temperature, filler type and heat treatment of welding area on hardness, microstructure, chemical analyses of welding area and thermal conductivity of the weld are investigated. The preheating temperature range of 300 to 450°C was selected. The Cu-P and Cu-Ag-P fillers were chosen to fill the groove of the weld area. The scanning electron microscope (SEM), energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS), micro hardness tester, optical microscope and thermal conductivity meter were employed for evaluation of the results in this project. The results showed that the increase of preheating temperature creates oxide layers and the decrease of preheating temperature causes the incomplete filling of the welding area. Finally, the preheating temperature of 400 ^{o}C was a proper choice considering the above mentioned factors. The stress relieving operation to decrease stress and preserve the mechanical properties in the temperature of 250 to 400 ^{o}C and duration two hours was carried out. The result demonstrated that the selected temperature causes no unwanted decrease on the hardness. It was also found that increasing the annealing duration, decreases the hardness of weld for Cu-P filler for Cu-Ag-P filler increasing the annealing duration, first decreases the weld hardness and then increases the weld hardness. The Cu-P filler was compared with Cu-Ag-P filler. The results showed that the Cu-Ag-P filler has less hardness (around 10 percent) than the filler without silver. On the other hand, the thermal conductivity of the Cu-Ag-P filler was around 10 percent more than the thermal conductivity of the Cu-P. It is obvious that the selection of the filler type depends on the type of base metal and its geometry. The results showed that the segregation in the Cu-P filler with 7.2 percent phosphorous, because of the proximity of the weld structure to the eutectic point, has slightly happened; while, the selection of the Cu-Ag-P filler with 6 percent silver caused severe segregation of silver to 90 percent silver at the center of weld at the non-dendrite area.

Keywords: DHP copper, Repair of failing, Welding filler, Micro-hardness, Microstructure, Annealing

1- مقدمه

قالب‌های ایستگاه‌های ریخته‌گری مداوم فولادریزی در کارخانه‌های فولادسازی از جنس مس با مارک DHP و $CuAg_{0.8}P$ می‌باشد [1]. هنگام استفاده از این قالب‌ها، قالب ممکن است تحت سایش و آسیب قرار گیرد از جمله آسیب‌های متداول ایجاد ترک و شیار روی سطح قالب پس از تعداد ذوب‌های بالا است [2]. به منظور افزایش عمر قالب تمهیداتی بایستی به عمل آید تا پس از بازکردن قالب بعد از به کارگیری در تعداد ذوب نسبتا بالا مجددا سطح قالب ترمیم شود. یکی از روش های ترمیم بلاخص در مورد حذف شیار، جوشکاری با الکترود مسی می‌باشد که جنس الکترودهای متداول در حال حاضر Cu-P و Cu-Ag-P است که به نظر می‌رسد با ساختار و جنس قالب‌های مسی همچون DHP و $CuAg_{0.8}P$ به لحاظ طبیعت هدایت حرارتی و نزدیک ترکیب شیمیایی رقابت‌پذیر می‌باشد. در حال حاضر گرچه جوشکاری بدنه‌های مسی به روش‌های مختلف امکان‌پذیر است ولی با توجه به بالابودن ضخامت و ابعاد قالب‌های مسی ریخته‌گری مداوم و انتقال حرارت شدید آن در طول عملیات جوشکاری و محدودیت تنوع روش‌های موجود و معرفی‌شده در جوشکاری، روش جوشکاری با گاز اکسی-استیلن و به کارگیری الکترود از جمله Cu-P و Cu-Ag-P با دمای ذوب پایین و با طبیعت خوب جاری‌شدن آن‌ها در حین جوشکاری گزینه‌های نسبتا محتملی

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

برای ترمیم شیار و پرکردن آن در قالب‌های مسی ریخته‌گری مداوم فولاد است [3]. استفاده از فسفر در پرکننده سبب ایجاد خاصیت دی اکسیدی و سیالیت جوش در حالت مذاب می‌شود، ولی مقدار زیاد آن سبب تردی جوش می‌شود [4 و5]. هم‌چنین، عنصر نقره سبب افزایش خاصیت داکتیلیتیه جوش می‌شود و بهتر است به پرکننده‌های فسفردار نقره اضافه شود [6]. از اهداف پژوهش حاضر می‌توان به مطالعه و بررسی راهکارهای تعمیر قالب‌های مسی اشاره کرد که در راستای بررسی متالورژیکی و مکانیکی جوش است. روند کار بدین صورت است که با استفاده از دستگاه فرز اقدام به ایجاد شیار بر روی سطح قطعه مسی می‌شود و سپس راهکاری برای ترمیم و احیای ناحیه آسیب دیده معرفی می‌شود. درواقع به تخریب و سپس ترمیم نمونه مورد آزمایش، به عنوان نماینده‌ای از قالب مورد استفاده در فرایند ریخته‌گری مداوم، اقدام می‌شود. به نظر می‌رسد که به دلیل مشکلات جوشکاری مس با روش قوسی و امکان‌پذیری انتقال شعله به داخل قالب با توجه به هندسه قالب و تعمیرات بودن، روش اکسی‌استلین برتری شود [7]. در تحقیقات برای ترمیم پنل‌های مسی ماشین‌های ریخته‌گری مداوم از روش لحیم‌کاری تحت خلاء استفاده شده است [8]. در این روش دستیابی به یک فصل مشترک بدون عیب و تخلل در عملیات تعمیر امکان‌پذیر بوده است [8]. جنس فصل مشترک آلیاژ مس حاوی بریلیوم بوده است [8]. هم‌چنین، با استفاده از این روش می‌توان یک لایه نازک از یک آلیاژ حاوی نیکل را روی صفحات مسی قالب های ریخته‌گری مداوم در مرحله تعمیر لحیم‌کاری کرد [9]. در تحقیق دیگر از روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برای تعمیر قالب های مسی و با قراردادن یک لایه مسی روی ناحیه آسیب‌دیده عملیات ترمیم صورت می‌گیرد [10].

از اهداف مقاله حاضر می‌توان به بررسی اثر پارامترهای فرایند جوشکاری مس DHP ذکر کرد. امروزه مس را می‌توان بدون پیشگرم در روش‌های غیرقوسی جوش داد [11-13]. این در حالیست که در جوشکاری مس با گاز نیاز به پیشگرم هست. هم‌چنین، در انتخاب دمای پیشگرم محدودیت‌هایی مانند ترک گرم و فوق داغی وجود دارد [14 و15]. به دلیل وجود تنش‌های پسماند و اثرات مخرب آن بر جوش و ساختار بی‌نظم جوش نیاز به عملیات پسگرم بعد از جوشکاری می‌باشد [16]. در جوشکاری به روش گاز انتخاب نسبت گاز به اکسیژن به دلیل کنترل دمای فرایند حائز اهمیت هست و متناسب با فلز پایه و نوع عملیات مختلف است.

2- مواد و روش انجام آزمایش

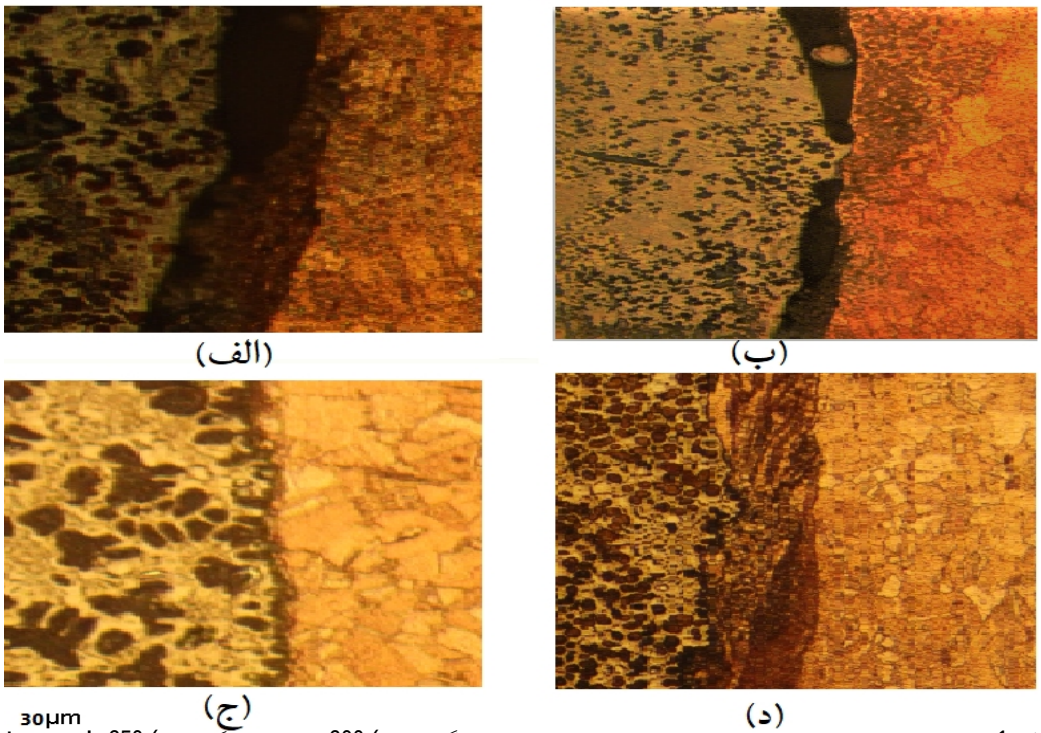
در پژوهش حاضر ابتدا روی نمونه‌های مسی (به عنوان نماینده قالب‌های مسی ریخته‌گری) شیار طبق ابعاد مورد نظر به وسیله دستگاه فرز CNC اجرا (به عنوان عیب شیار روی قالب) شد. ابعاد شیار 20×2×2mm انتخاب شد. سپس محل شیار با عملیات جوش با پرکننده $Cu_{88}Ag_6P_6$ و $Cu_{92.8}P_{7.2}$ تحت شرایط مختلف پر شد. در تحقیق حاضر چهار حالت مختلف نسبت گاز به اکسیژن شامل نسبت سه گاز به دو اکسیژن، نسبت دو گاز به یک اکسیژن، نسبت یک گاز به یک اکسیژن و نسبت دو گاز به سه اکسیژن در جوشکاری استفاده شد که مورد اول باتوجه به شکل جوش و نوع شعله حاصل‌شده، به عنوان حالت مبنا انتخاب شد. هم‌چنین، به دلیل این‌که قالب‌ها مسی هستند و ترکیب پرکننده باید نزدیک به مس باشد، از دو پرکننده پایه مسی استفاده شد. جدول (1) خصوصیات پرکننده‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول 1- مشخصات پرکننده‌های مورد استفاده

نام	پایان نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	شروع نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	ترکیبات
Silvaloy6	807/2	643	$Cu_{88}Ag_6P_6$
BCuP-2	793	710	$Cu_{92.8}P_{7.2}$

عملیات پس‌گرم کردن شامل تنش‌زدایی و آنیل نمونه‌های مسی است که هر کدام لازم است باتوجه به محدوده دمایی درنظر گرفته شده، در دمایی خاص برای مدت زمانی محدود نگهداری

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



شکل1- ساختار ناحیه جوش مس DHP با پرکننده در دماهای مختلف پیشگرم: الف) 300 درجه سانتی‌گراد، ب) 350 درجه سانتی‌گراد،

شوند. تنش‌زدایی نمونه مسی تحت دماهای 250، 300، 350 و 400 درجه سانتی‌گراد در مدت زمان نگهداری دو ساعت انجام شد. همچنین آنیل نمونه‌ها تحت مدت زمان‌های نگهداری 20، 30، 40 و 50 دقیقه در دمای 600 درجه سانتی‌گراد انجام شد. سختی بعد از اجرای هر فرایند به وسیله دستگاه تست ریزسختی‌سنج انجام گرفت. هم‌چنین، هدایت حرارتی نمونه‌ها به روش استاندارد ASTMC177 صورت گرفت. از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تهیه تصاویر و از بررسی ترکیب شیمیایی نمونه‌ها استفاده شد. از میکروسکوپ نوری LEITZ برای برخی مطالعات بهره گرفته شد.

3- نتایج و بحث

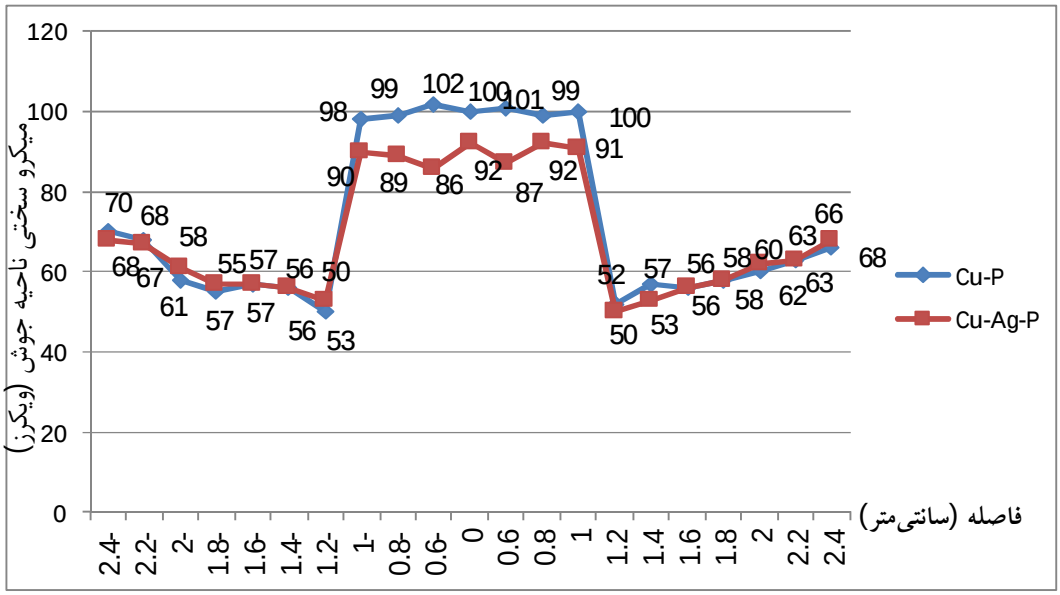
3-1- تاثیر دمای پیشگرم بر روی منطقه جوش

همانطور که قبلا ذکر شد یکی از فاکتورهای مهم جوشکاری قطعات مسی فاکتور پیشگرم است. از این رو چهار دمای پیشگرم 300، 350، 400 و 450 درجه سانتی‌گراد جهت مطالعه انتخاب شد. شکل (1) تاثیر دمای پیشگرم را بر فصل مشترک پرکننده با پایه نشـان می‌دهـد. مشاهـده می‌شـود که با افزایش دمای پیشگرم از 300 به 400 درجه سانتی‌گراد بهبود چسبندگی پرکننده با فلز پایه ایجاد می‌شود (مقایسه شکل (1-ج) با شکل‌های (1-الف) و (1-ج)). ضمن این‌که افزایش دمای پیشگرم بیش از 400 درجه سانتی‌گراد خطر تشکیل لایه اکسیدی که منجر به عدم چسبندگی پرکننده با فلز پایه می‌شود، را به همراه دارد (مقایسه شکل (1-د) با (1-ج)).

3-2- تاثیر جنس پرکننده بر میکروسختی ناحیه جوش

در پژوهش حاضر از دو جنس پرکننده مس- نقره - فسفر و مس - فسفر در جوشکاری اکسی‌استیلن جهت پرکردن ناحیه شیار استفاده شد. شکل (2) تغییرات سختی در مقطع جوش بر حسب نوع پرکننده مورد استفاده را نشان می‌دهد. در مورد پرکننده‌های Cu-P که دارای حدود 7 درصد P است، پس از اعمال جوش بخشی از فسفر پرکننده با اکسیژن شعله و محیط ترکیب و به صورت P_2O_5 خارج می‌شود، به طوری‌که P در ناحیه جوش کاهش می‌یابد. با این حال ترکیب ناحیه جوش شامل حداقل محـلول جامد بین‌نشین P در ساختار مکعبی وجوه مرکزدار(FCC) مـس است.

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



شکل 2- پروفیل سختی برای ناحیه جوش برای دو پرکننده مس - فسفر و مس – نقره - فسفر

ناحیه جوش در این حالت ترکیب نزدیک یوتکتیک دارد که طبیعتاً سختی بالایی دارد. این در حالیست که ناحیه جوش با پرکننده Cu-Ag-P دارای مقدار نقره بالایی است که انحلال نقره در Cu به صورت جانشینی هست و سختی پایین‌تری نسبت به جوش با پرکننده مس - فسفر دارد. نقره طبیعت نرمی دارد و قابلیت شکل‌پذیری را نیز افزایش می‌دهد.

3-3- اثر نسبت‌های گاز به اکسیژن بر میکروسختی ناحیه جوش

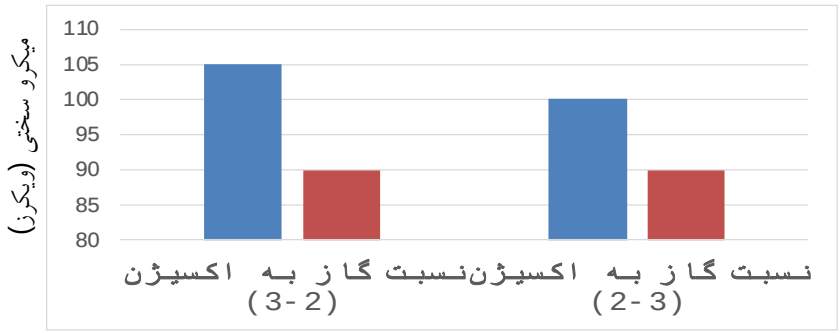
با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده دمای انتخابی پیشگرم 400 درجه سانتی‌گراد برای جوش و هم‌چنین دو پرکننده Cu-P و Cu-Ag-P برای جوش انتخاب شد. آزمایش‌ها نشان داد در نسبت گاز به اکسیژن یک به یک و نسبت گاز به اکسیژن دو به یک عملیات جوشکاری اکسی‌استیلن موفقیت‌آمیز نبوده است، و جوش به صورت نقطه‌ای و یا نامنظم شیار مربوطه را پر می‌کند. پس می‌توان اشاره کرد در پژوهش حاضر جهت تحلیل و بررسی ناحیه جوش، از نسبت‌های گاز به اکسیژن یک به یک و نسبت گاز به اکسیژن دو به یک استفاده نخواهد شد. هنگامی که نسبت گاز به اکسیژن بین 0/6 تا 1 باشد، حجم گاز برای ایجاد سوخت کامل کافی نیست و در نتیجه دما بالا نمی‌رود.

ضمن اینکه اکسیژن اضافی نقش سرد کننده نیز دارد و نتایج جوش مطلوب نخواهد بود. در اینجا هم اکسیژن اضافی و هم بالابودن ضخامت مسDHP قدرت سردکنندگی بالا دارد و در نتیجه جوش با عدم چسبندگی و انجماد زودرس قبل از پیوستگی کامل با پایه DHP همراه است. هنگامی‌که نسبت گاز به اکسیژن به 1/5 برسد فرایند سوخت به طور کامل انجام می‌شود و دمای مذاب بالا می‌رود و در نتیجه پیوستگی موفقیت‌آمیز مذاب پرکننده جوش با فلز پایه DHP تأمین می‌شود. هنگامی که نسبت گاز به اکسیژن به 2 برسد حجم گاز از مقدار لازم برای سوخت کامل بیش از حد لازم است و گاز اضافی نقش سردکنندگی خواهد داشت و توأم با طبیعت سردکنندگی پایه DHP به علت بالابودن ضخامت (2 سانتی‌متر) اجرای جوش را با عدم‌موفقیت مواجه می‌کند. شکل (3) مقدار ریزسختی بر حسب نسبت های مختلف گاز به اکسیژن را برای جوش نشان می‌دهد. با توجه به شکل به دلیل دمای بالاتر مشعل در نسبت گاز به اکسیژن (2-3) و تبخیرشدن بیشتر فسفر و کاهش فاز ترد Cu_3P در جوش سختی کاهش می‌یابد.

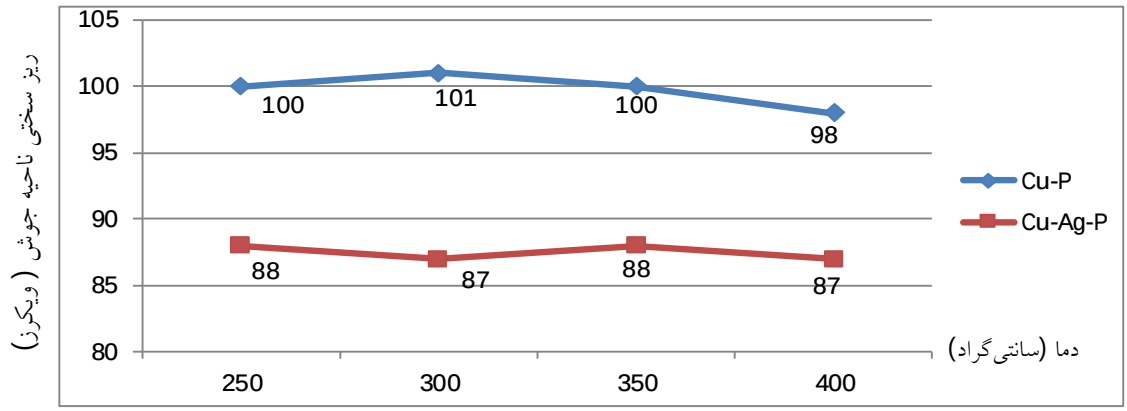
3-4- اثر تنش زدایی بر میکروسختی ناحیه جوش

عملیات تنش زدایی با هدف کاهش تنش‌ها و حفظ خواص مکانیکی در محدوده دمایی 250 تا 400 درجه سانتیگراد و در زمان 2 ساعت اجرا شد. شکل (4) تاثیر ناچیز تنش‌زدایی بر

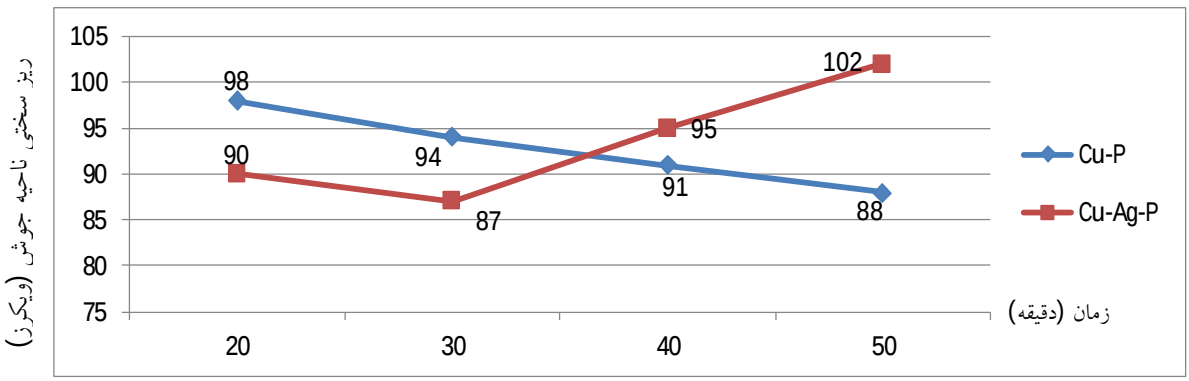
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]



شکل 3- تاثیر نسبت گاز به اکسیژن بر میکرو سختی مرکز جوش با پرکننده‌های Cu-P و Cu-Ag-P



شکل 4- تاثیر دمای تنش‌زدایی در زمان دو ساعت بر روی ریزسختی مرکز جوش با دو پرکننده مس- فسفر و مس- نقره - فسفر با دمای 400 درجه سانتی‌گراد پیشگرم



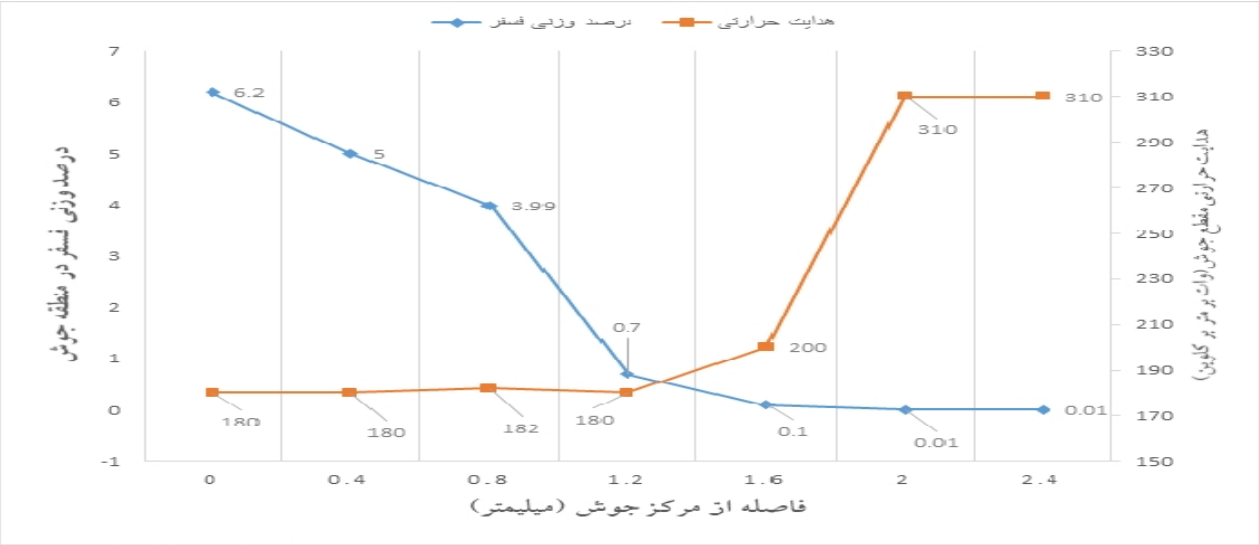
شکل 5- تاثیر زمان آنیل در دمای 600 درجه سانتیگراد بر میکرو سختی مرکز جوش با دو پرکننده مس-فسفر و مس-نقره-فسفر با دمای 400 درجه سانتیگراد پیشگرم

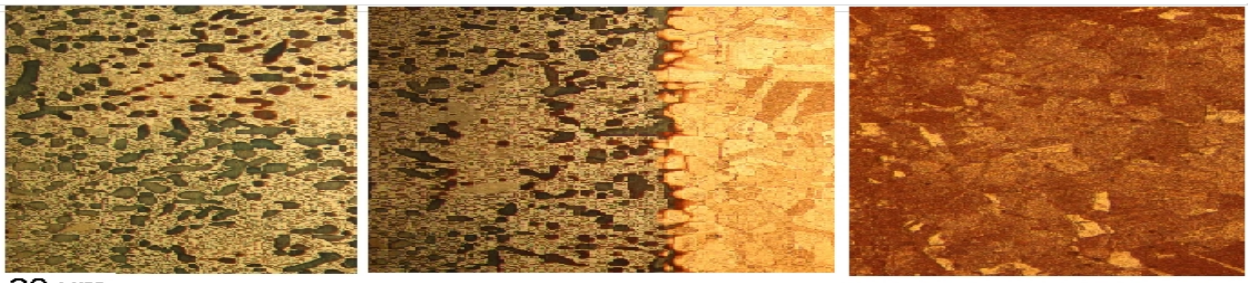
سختی ناحیه جوش را نشان می‌دهد. از آن‌جایی‌که عملیات تنش‌زدایی منجر به کاهش سختی نشده است، این محدوده دمایی می‌تواند دامنه مطلوبی تلقی شود.

3-5- اثر عملیات حرارتی آنیل بر میکروسختی ناحیه جوش

شکل (5) میزان سختی بدست‌آمده در حالات مختلف برای عملیات آنیل را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده این‌طور به نظر می‌رسد در پرکننده مس - فسفر در اثر آنیل ساختار نامنظم جوش، منظم شده است و در نتیجه سختی کاهش می‌یابد، ولی در پرکننده مس- نقره - فسفر در اثر آنیل عنصر نقره (فاز نرم) از مرکز جوش به اطراف آن پس‌زده می‌شود و در نتیجه سختی در مرکز جوش افزایش می یابد.

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



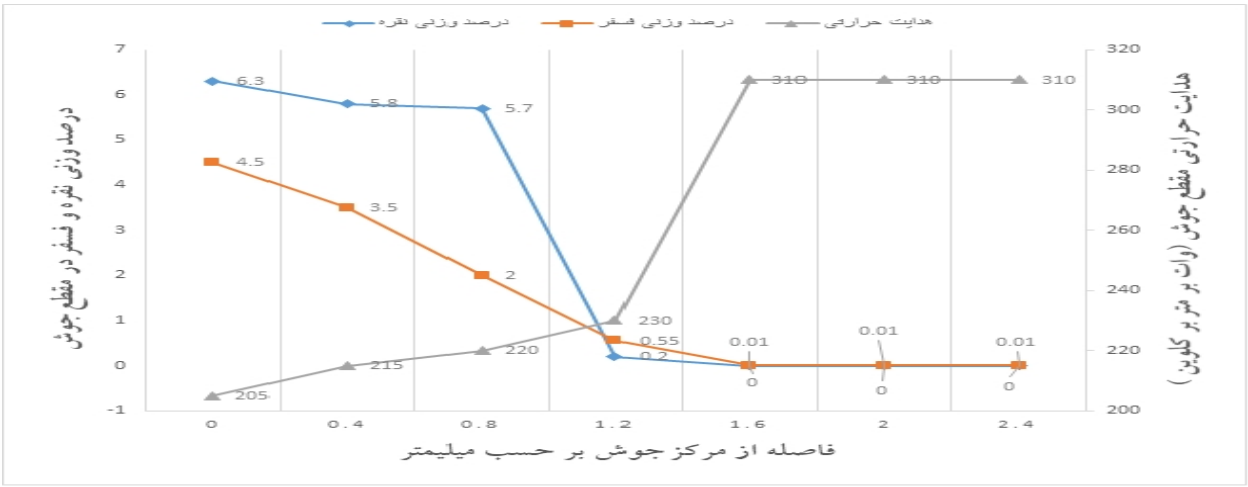


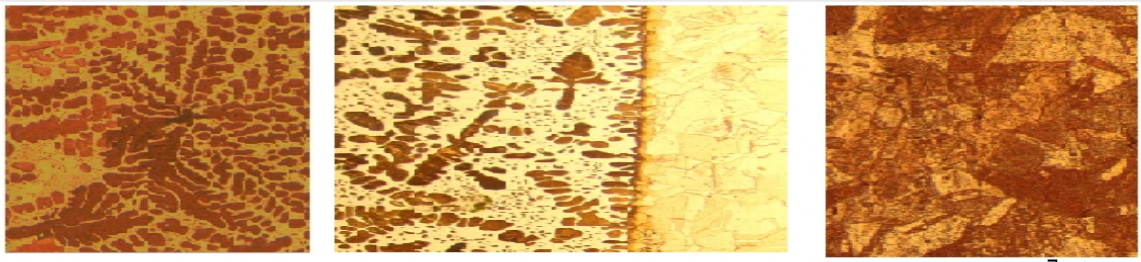
شکل6- تاثیر فاصله از مرکز جوش بر میزان فسفر و هدایت حرارتی در مقطع جوش با پرکننده مس-فسفر وتصاویر مقطع جوش مرتبط با فاصله از مرکز جوش .

3-6- تاثیر نوع پرکننده بر ریزساختار ناحیه جوش

به دلیل این‌که قالب‌های مسی DHP در صنعت فولادسازی استفاده می‌شوند و از آن‌ها برای عمل کریستالیزه‌کردن مذاب فولاد استفاده می‌شود، باید هدایت حرارتی منطقه جوش آن‌ها بالا باشند. از این‌رو در مقاله حاضر هدایت حرارتی جوش با دو پرکننده مختلف اندازه‌گیری شده است و نتایج در شکل (6) و (7) ملاحظه می‌شود. شکل (6) تاثیر درصد فسفر در ناحیه جوش با پرکننده Cu-P بر ریزساختار و هدایت حرارتی ناحیه جوش را نشان می‌دهد. کاهش درصد فسفر از مرکز جوش از 6/2 تا 0/7 در نزدیکی فصل مشترک پرکننده با مس DHP (در نقطه‌ای با فاصله 1/2 میلیمتر از مرکز) با هیچ‌گونه افزایشی در هدایت حرارتی همراه نبوده است. معالوصف کاهش فسفر از 0/7 به 0/01 با افزایش حدود 42 درصدی همراه بوده است که به خودی خود به نظر می‌رسد تاثیر فزاینده‌ای در انتقال حرارتی فلز پایه داشته است که مورد توجه در حفظ ویژگی‌های هدایت حرارتی قالب های مسی DHP هست. همچنین شکل (7) تاثیر درصد توأم نقره و فسفر در ناحیه جوش با پرکننده Cu-Ag-P بر ریزساختار و هدایت حرارتی ناحیه جوش را نشان می‌دهد. کاهش درصد نقره از6/3 تا 0/2 و کاهش درصد فسفر از 4/5 تا 0/55 به صورت توأمان با افزایش قابل ملاحظه‌ای همراه بوده است به طوری‌که این افزایش حدود 12 درصدی هست. به نظر می‌رسد این افزایش را بتوان به حضور 6 درصدی نقره با طبیعت هدایت حرارتی بالا آن نسبت داد. لازم به یادآوریست در قالب‌های مسی نسل جدید که نقره در آن‌ها استفاده شده است. در جاهایی کاربرد دارند که تنش حرارتی زیاد است [17]. مطالعه ریز ساختار در شکل(6) و مقایسه آن با شکل(7) نشان می‌دهد که پایین بودن هدایت حرارتی در پرکننده Cu -P باعث کاهش نفوذ حرارتی از منطقه پرکننده به منطقه پایه DHP شده است و افزایش زمان انجماد و دانه‌های مس درفصل مشترک در آرایش جدیدی قرار گرفته‌اند، در حالی‌که بالا بودن

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





شکل7- تاثیر فاصله از مرکز جوش بر میزان نقره و فسفر و هدایت حرارتی در مقطع جوش با پرکننده مس – نقره - فسفر وتصاویر مقطع جوش مرتبط با فاصله از مرکز جوش .

هدایت حرارتی در پرکننده Cu-Ag-P باعث افزایش نفوذ حرارتی از منطقه پرکننده به منطقه پایه DHP و در نتیجه کاهش زمان انجماد و دانه های مس در فصل مشترک بدون آرایش جدید دست نخورده باقی مانده است (شکل 6).

3-7- بررسی ریزساختار و فصل مشترک مقطع جوش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)

شکل‌های (8) و (9) ساختار ناحیه جوش با پرکننده مس-فسفر با میکروسکوپ الکترونی را نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر ملاحظه می‌گردد در فصل مشترک ناحیه جوش عمدتاً فاز α مس FCC تشکیل می‌شود. که ضخامت فصل مشترک کمتر از 10 میکرون است.

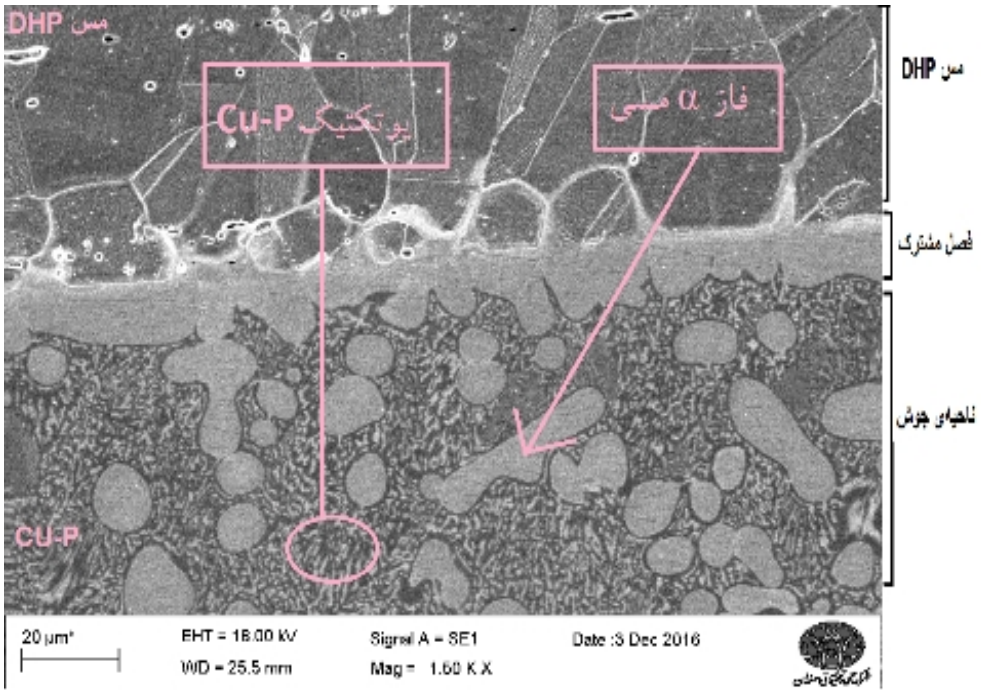
سازوکار تشکیل این لایه بر اساس انجماد سریع مذاب پرکننده به علت قدرت سردکنندگی پایه مسی است که دارای ضخامت نزدیک 2 سانتیمتر می‌باشد و امکان نفوذ نسبتا بالا پایه و مذاب را در یکدیگر با گذشت زمان نمی‌دهد.

فاز α اکثراً در ناحیه جوش در داخل یوتکتیک Cu-P محصور شده است که طبعاً بالابودن مقدار یوتکتیک سخت تأثیرقابل ملاحظه‌ای بر سختی ناحیه جوش می‌گذارد. با توجه به شکل (10) این‌طور به نظر می‌رسد که در جوش مس با پرکننده Cu-Ag-P به دلیل انتقال حرارت بالای مس و ایجاد گرادیان دمایی شدید ابتدا دانه‌های تبریدی تشکیل شده است و در ادامه دانه‌ها به طرف گرادیان دمایی رشد پیدا می‌کنند که به دلیل انتقال حرارت بالای نقره و پایه مسی این رشد دانه ها بیشتر به صورت دندریتی در پرکننده مس – نقره - فسفر بیشتر مشهود است. شکل های (9) و (10) منطقه فصل مشترک جوش با مس و منطقه تحت تاثیر جوش را به ترتیب برای پرکننده مس - فسفر و مس – نقره - فسفر به خوبی نشان می‌دهد.

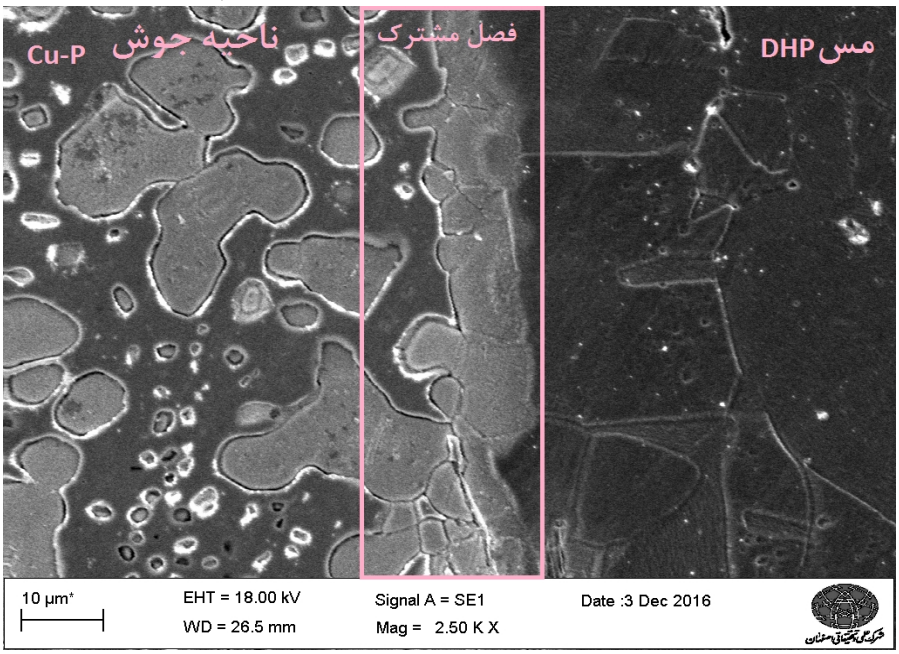
3-8- آنالیز ترکیبی ناحیه جوش با استفاده از آزمایش EDS

با توجه به شکل‌های (11) تا (13) وجدول (2) این طور به نظر می‌رسد که فصل مشترک در جوش با پرکننده مس-نقره –

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



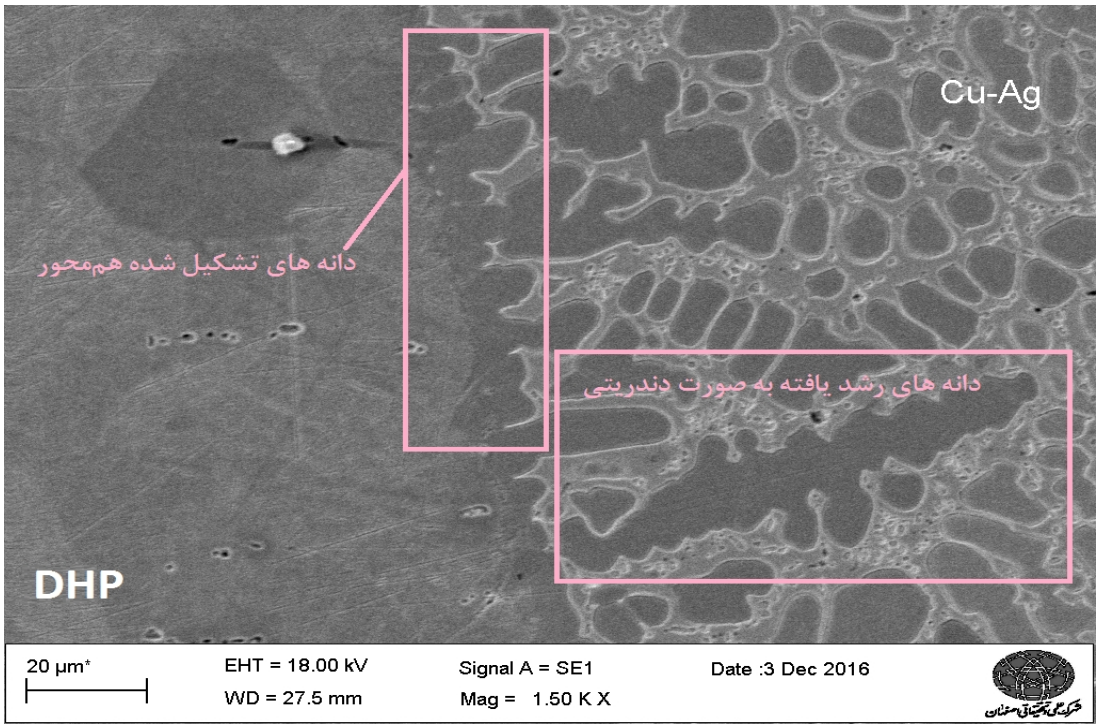
شکل 8- فازبندی نواحی مختلف جوش با پرکننده مس-فسفر با دمای پیشگرم 400 درجه سانتیگراد



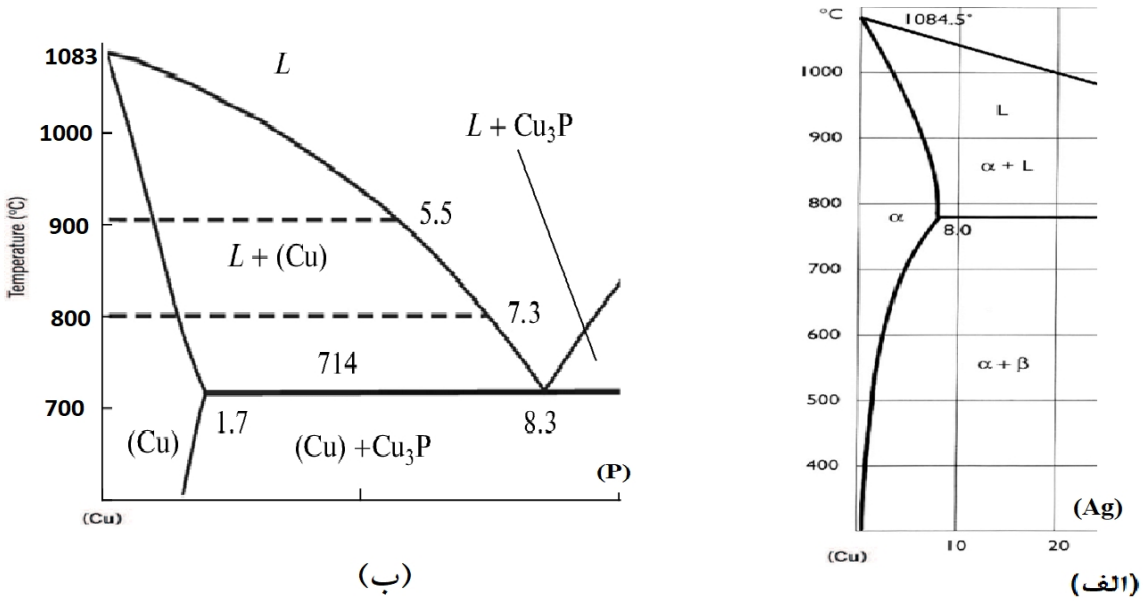
شکل 9- فصل مشترک و منطقه ی تحت تاثیر جوش برای پرکننده مس-فسفر با دمای 400 درجه سانتیگراد پیشگرم

فسفر مشتمل بر دانه های مس می‌باشد که خلوص آن‌ها تقریباً بالا است بدین معنی که مذاب پرکننده با ترکیب مس-نقره به علت سرعت سرد شدن سریع ناشی از پایه مس DHP با ضخامت 2سانتی‌متر با طبیعت سردکنندگی بسیار بالا از یک طرف‌و طبیعت خود سرد شوندگی(Self-coolant) پرکننده مس-نقره که آن‌هم دارای هدایت حرارتی بالاست باعث انجماد سریع مذاب مس-نقره شده و نقره موجود در طول انجماد در لایه فصل مشترک بداخل مذاب پس زده می‌شود و جبهه جلو انجماد به تدریج درصد نقره آن از 6 درصد بالا می‌رود. در حالی‌که رشد ستونی ودندریتی داریم که در فاصله بین دندریت‌ها

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



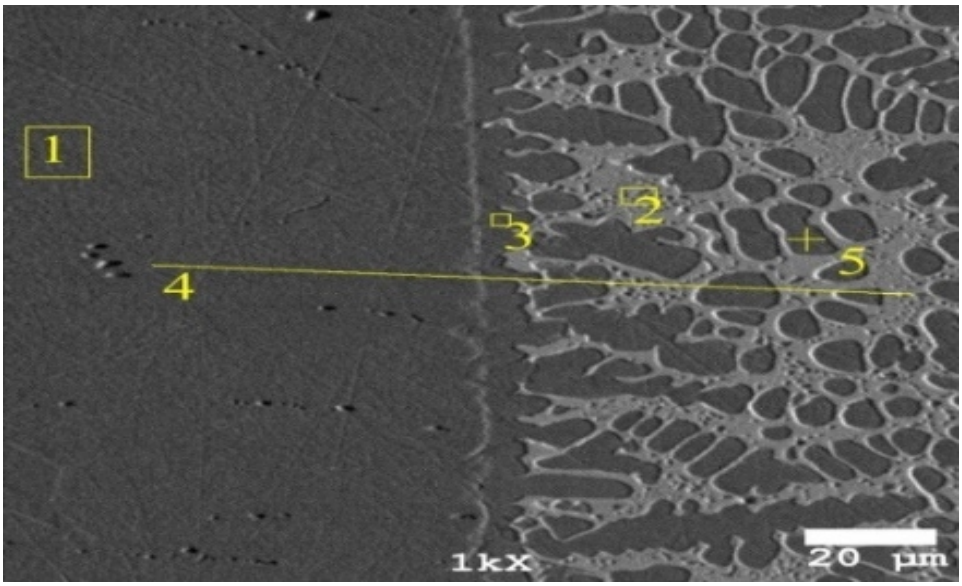
شکل10- فازبندی نواحی جوش با پرکننده مس - نقره - فسفر با دمای 400 درجه پیشگرم



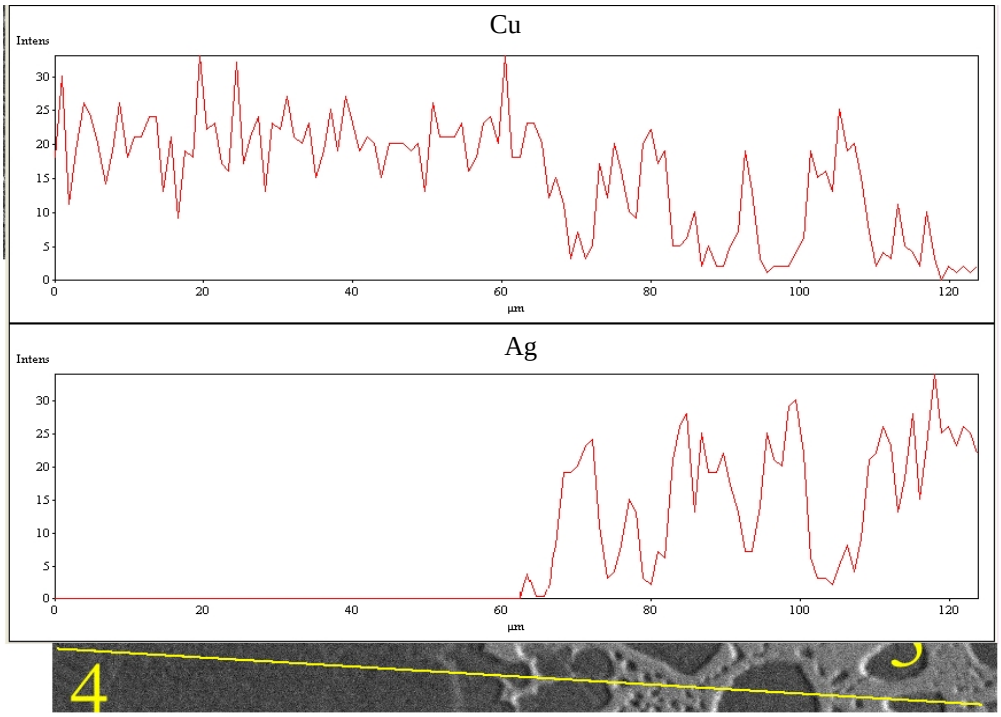
شکل 11- دیاگرام های فازی مس - نقره و مس - فسفر: الف) دیاگرام فازی مس - نقره و ب) دیاگرام فازی مس - فسفر

به تدریج درصد نقره آن بالا می‌رود ضمن آنکه با ادامه رشد انجماد سرعت سرد شدن کاهش می‌یابد (فاصله از پایه سرد DHP) و در نتیجه خطر پس زدن نقره در انجماد دندریت‌ها کاهش یافته‌است، به طوری‌که در نقطه5 مربوط به ناحیه دندریت وبا فاصله زیاد از فصل مشترک مقدار نقره در آن بالا و به 25 حدود درصد می‌رسد. در ذیل با استفاده از شکل (14) و جدول (3) عناصر تشکیل‌دهنده در نواحی مختلف جوش با پرکننده مس- فسفر تحت دمای پیشگرم 400 درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. پرکننده مس - فسفر قبل از جوشکاری دارای حدود 7 درصد فسفر است و در طول عملیات جوش

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



شکل 12- قسمت‌های انتخابی مختلف از ناحیه جوش با پرکننده Cu-Ag-P



شکل13- نسبت حضور مس و نقره در مقطع جوش با پرکننده Cu-Ag-P

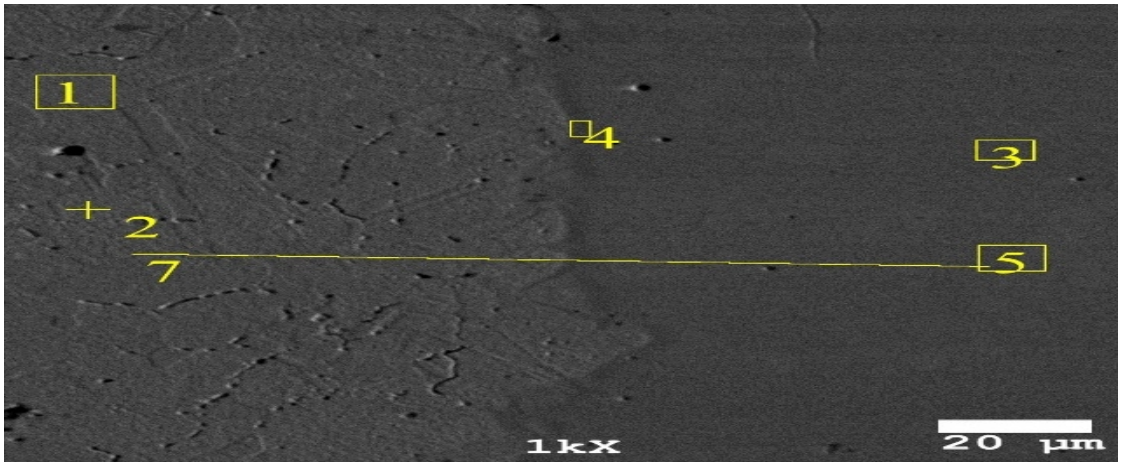
مقداری از فسفر از پرکننده خارج و با اکسیداسون ناحیه جوش مقابله می‌کند و بخش دیگر پس از تشکیل کریستال‌های مس در فصل مشترک با ترکیب 4 درصد فسفر، اتم‌های فسفر به داخل مذاب در جلو جبهه انجماد پس‌زده می‌شود.

به طوری‌که در فاصله دورتر از فصل مشترک میزان فسفر به حدود 6/5 تا 8/5 درصد می‌رسد که نزدیک ترکیب یوتکتیک است (شکل (11) دیاگرام فازی مس - فسفر) و در نتیجه ساختار کلی به ترکیب یوتکتیک نزدیک و عمدتاً کمتر دارای ساختار دندریتی است. با توجه به شکل (15) می‌توان دید که در پرکننده مس - فسفر جدایش به صورت ناچیز اتفاق افتاده است که دلیل آن می‌تواند نزدیک‌بودن ساختار جوش به نقطه یوتکتیک (ترکیب مس – فسفر با حدود 6 درصد فسفر) و

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

جدول2- درصد عناصر در نواحی مختلف مقطع جوش با پرکننده Cu-Ag-P (مطابق با شکل (12))

	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	100.00	100.00	1,176.31	Ka	Cu	1
Total	wt.%	100.00	100.00				1
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	9.96	15.81	275.06	Ka	Cu	2
	wt.%	90.04	84.19	2,682.18	La	Ag	2
Total	wt.%	100.00	100.00				2
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	100.00	100.00	1,478.84	Ka	Cu	3
Total	wt.%	100.00	100.00				3
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	75.01	83.59	1,052.56	Ka	Cu	5
	wt.%	24.99	16.41	373.70	La	Ag	5
Total	wt.%	100.00	100.00				5



شکل 14- قسمت‌های انتخابی مختلف از ناحیه جوش با پرکننده Cu-P

کاهش زمان توأم‌بودن فاز مایع همراه با جامد در کنار هم در مقطع جوش بیان کرد.

4- نتیجه گیری

1- روش انتخابی جوشکاری با اکسی‌استیلن با به کارگیری پرکننده‌های Cu-P و Cu-Ag-P همراه با عملیات پیشگرم و تنش‌زدایی و تنظیم نسبت گاز به اکسیژن امکان موفقیت‌آمیز ترمیم شیارهای قالب های مسی DHP آسیب دیده مربوط به ریخته‌گری مداوم فولاد را فراهم آورد .

2- با توجه به آزمایش‌های انجام شده دمای پیشگرم 400 درجه سانتی‌گراد برای جوش مس DHP با ضخامت بالا با جوش اکسی استیلن با پرکننده‌های Cu-Ag-P و Cu-P با هدف عدم‌تشکیل لایه اکسیدی و چسبندگی بهتر پرکننده به فلز پایه توصیه می‌شود.

3- تغییر در نسبت گاز به اکسیژن در جوشکاری اکسی‌استیلن با پرکننده Cu-P روی مس DHP بر سختی جوش اثر داشت. در حالت نسبت گاز به اکسیژن سه به دو (شعله احیائی) سختی نسبت به حالت نسبت گاز به اکسیژن دو به سه (شعله اکسیدی) کم‌تر است. این درحالی است که نسبت گاز به اکسیژن تاثیری بر ریزسختی جوش با پرکننده مس - نقره –فسفر نداشت.

4- عملیات تنش‌زدایی با هدف کاهش تنش‌ها و حفظ خواص مکانیکی در محدوده دمایی 250 تا 400 درجه سانتی‌گراد و در زمان 2 ساعت اجرا شد. نتایج نشان داد محدوده دمایی مذکور هیچگونه تاثیر محسوسی بر سختی نداشت و انتخاب مناسبی

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

جدول 2- درصد عناصر در نواحی مختلف مقطع جوش با پرکننده Cu-Ag-P (مطابق با شکل (12))

	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	100.00	100.00	1,176.31	Ka	Cu	1
Total	wt.%	100.00	100.00				1
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	9.96	15.81	275.06	Ka	Cu	2
	wt.%	90.04	84.19	2,682.18	La	Ag	2
Total	wt.%	100.00	100.00				2
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	100.00	100.00	1,478.84	Ka	Cu	3
Total	wt.%	100.00	100.00				3
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه‌ی مورد نظر
	wt.%	75.01	83.59	1,052.56	Ka	Cu	5
	wt.%	24.99	16.41	373.70	La	Ag	5
Total	wt.%	100.00	100.00				5

جدول 3- درصد عناصر در نواحی مختلف مقطع جوش با پرکننده (مطابق با شکل (14))

	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه مورد نظر
	wt.%	100.00	100.00	1,226.95	Ka	Cu	1
Total	wt.%	100.00	100.00				1
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه مورد نظر
	wt.%	8.52	16.04	453.72	Ka	P	3
	wt.%	91.48	83.96	1,739.54	Ka	Cu	3
Total	wt.%	100.00	100.00				3
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه مورد نظر
	wt.%	3.98	7.12	99.14	Ka	P	4
	wt.%	96.02	92.88	1,392.54	Ka	Cu	4
Total	wt.%	100.00	100.00				4
	Units	Conc	Atomic %	Intensity (c/s)	Line	Elt.	نقطه مورد نظر
	wt.%	6.60	12.66	272.67	Ka	P	5
	wt.%	93.40	87.34	1,393.72	Ka	Cu	5
Total	wt.%	100.00	100.00				5

بود.

5- آنیل ناحیه جوش بر سختی آن اثر می‌گذارد. این تاثیر در حالتی‌که از پرکننده مس - فسفر استفاده شد، برای زمان 50 دقیقه در دمای 600 درجه سانتی‌گراد حدود 10 درصد کاهش در سختی و برای حالتی که از پرکننده مس- نقره - فسفر استفاده می‌شود، به ترتیب برای زمان 30 دقیقه و 50 دقیقه، کاهش 3/3 درصدی و افزایش 13 درصدی در سختی به همراه داشت.

6- هدایت حرارتی در ناحیه جوش هنگامی که از پرکننده مس - فسفر استفاده شد نسبت، به حالتی‌که از پرکننده مس – نقره - فسفر استفاده شد، حدودا 30 تا 40 درصد کاهش نشان داد که طبعاً برای رفتار انتقال حرارت قالب‌های مسی مناسب نیست. ضمن این‌که به کارگیری پرکننده مس – فسفر - نقره نسبت به زمینه مس DHP تنها با کاهش 15 درصدی همراه بود.

7- جدایش در ناحیه جوش هنگامی‌که از پرکننده Cu-P در جوشکاری مس DHP در روش اکسی‌استیلن استفاده شد، نسبت به حالتی که پرکننده Cu-Ag-P به شد، بسیار اندک بود و می‌توان کاهش میزان جدایش را به قرارگیری ترکیب Cu-P نزدیک ترکیب یوتکتیک نسبت داد.

منابع

[1]Advanced Mould Technology, KME brochure, 2017
[2] Wang, L., Zhao L., Huang, G., Yuan, X., Zhang, B. and Zhang, J., "Composition, Structure and Corrosion Characteristics of Ni-Fe-P and Ni-Fe-P-B Alloy Deposits Prepared by Electroless Plating", Surface and Coatings Technology, Vol. 126, No. 2-3, pp. 272-278, 2000.

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

[3] Tadashi TAKEMOTO, Ikuo OKAMOTO and Juaj Imatsumura "Spreading of Copper Phosphorus Brazing Filler Metals with Low Melting Temperature containing silver and/or Tin " Osaka university
[4] Divinski.S , Lohmannn,M, chr, Herzing "Ag grain boundary diffusion and segregation in Cu: Measurements in the types B and C diffusion regimes"acta materialia , volume 49 , issue2,22january 2001,pages 249-261
[5] Isaac Tuah-Poku , Dollar.M , Massalski.T.B "A study of the transient liquid phase bonding process applied to a Ag/Cu/Ag sandwich joint" Metallurgical Transactions A , March 1988, Volume 19, Issue 3, pp 675–686
[6] Gomez de Salazar . J.M, Mendez.F.G, Urena A. , guilemany.J.M, Mellor.B.J "Transient liquid phase (TLP) diffusion bonding of a copper based shape memory alloy using silver as interlayer"scripta materialia,volume 37 , issue 6, 15 september 1997, pages 861-867
[7]welding copper and copper alloys published by American welding society 550 N.W Lejeune road , Miami,FL 33126 CDA
[8] Grigorenko.G M, Puzrin.A.L ,.Atroshenko.M.G, Poleshchuk.M.A, Shevtsov.A.V and Mossokovskaya. I.A, Autovacuum brazing in repair of copper panels of MCCB moulds, The Paton Welding Journal., 45–49,9.2015
[9] Poleshchuk.M.A, Atroshenko.M.G, VShevtosva.A and Puzrin.A.L , "Deposition of protective coatings on copper plates of CCM molds by the method of autovacuum brazing", The Paton Welding Journal, No 10,37-40, 2016.
[10] Nikityuk, Yu. N., Grigorenko, G.M., Zelenin, V.I.et al. (2013) Technology of reconditioning repair of slab molds of MCCB with friction stir welding method.Sovr. Elektrometallurgiya, **3**, 51—55.
[11] Laflamme, G. R.; Powers, D. E., 1994, "Electron beam welding of copper containers to encapsulate nuclear waste". Welding Journal v. 73 (December 1994) p. 37-40
[12] Biro.E, Weckman.D.C and Zhou.Y "pulsed Nd:YAG laser welding of copper using oxygenated asisit gases" metallurgical and materials transactions A , v 33A ,2002, pp.2019-2030
[13] Lee .W.B and Jung.S.B "the joint properties of copper by friction stir welding"Materials Letters, 2004, 58, 1041-1046
[14] Li.Y.N, Peng.Z.L, and Yan.J.C "The Dissolution Mechanism of Copper Weld Brazing with Cu-Based Brazing Alloys" Materials Science Forum Vols 697-698 (2012) pp 394-398
[15]Li Yinan , Peng Zilong , "The effect of element Ag and P in dissolving action and mechanical performance of the welds during weld brazing of copper" ,Advanced Materials Research , Vols 472-475, p.p 1151-1154, 2012
[16] analysis of welded structures ,residual stress , distortion, and their consequences ,koichi masubuchi , international series on materials science and technology , volume 33, pergamon press
[17] Advanced mould technology, KME brochure,2019.

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