



انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران انجمن علمی ریخته‌گری ایران

کواهی ارائه مقاله

ضمن تشکر و قدردانی از ارائه مقاله با عنوان

بررسی تاثیر متغیرهای تفجوشی پالسمای جرقهای (SPS) بر پودر آلومینیم

در نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی ایران

و چهاردهمین همایش ملی مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

در تاریخ ۲۰ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۹ - ایران

این کواهی به نویسندگان مقاله:

سینا میالنی، حسام الدین عزیززاده، سید عبد الکریم سجادی

اعطای گردید. موفقیت روزافزون شما را بدین مشرف علم و فناوری، از خداوند متعال خواستاریم.

دکتر محمود نیلی احمدآبادی

رئیس انجمن متالورژی و مواد ایران



دکتر سحر پالیزوار
دیسر کنفرانس

عبد الحمید درستی

مهندس عبد الحمید قدیمی

رئیس هیئت مدیره انجمن علمی ریخته‌گری ایران



بررسی تاثیر متغیرهای تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) بر پودر آلومینیم

سینا میلانی^۱، حسام الدین عزیززاده^۲، سید عبد الکریم سجادی^۳

چکیده

برای برآوردن نیازهای اساسی و مهندسی و کاربردهای فراوان، آلومینیم و آلیاژهای آن مورد استقبال قرار گرفته‌اند. آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل خصوصیات مطلوب از جمله؛ نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی مطلوب و سختی مناسب در صنایعی مثل خودروسازی و هوافضا مورد استفاده قرار می‌گیرند. فرآیند تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) یک از روش‌های ساخت و تولید آلومینیم و آلیاژهای آنهاست که با توجه به برتری نسبت به سایر روش‌های متالورژی پودر کاربرد بیشتری دارد. این روش بر خلاف سایر روش‌های متالورژی پودر، از اعمال جریان الکتریکی استفاده می‌کند که با ایجاد ذوب موضعی بین دانه‌های پودر و فشار اعمالی همزمان منجر به رسیدن به یک ساختار بسیار متراکم می‌گردد. هدف این پژوهش بررسی تاثیر پارامترهای تف‌جوشی بر خواص مکانیکی پودر آلومینیم است. نمونه‌های تولید شده در قالب گرافیتی نتایج بهتری از نظر سختی و دانسیته نسبت به نمونه‌های تولید شده در قالب فلزی نشان داد، بطوری‌که این مقادیر به ترتیب ۳۷/۸ ویکرز و g/cm^3 بدست آمد. فشار سرد اولیه نیز تاثیر بسزایی روی نتایج بدست آمده در قالب گرافیتی و فلزی داشته است. بطوریکه با افزایش فشار اولیه و نهایی به مقدار ۲۰ MPa سختی به حدود ۳۶/۶ ویکرز رسید.

کلمات کلیدی: پودر آلومینیم، تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای، خواص مکانیکی، فشار، دما، قالب.

- ۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد. sinassmilan@gmail.com
- ۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد. hesam.azizzaadeh@gmail.com
- ۳- استاد گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد

۱- مقدمه

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل ویژگی‌های مطلوبی که دارند بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند. این ویژگی‌ها عبارتند از؛ نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی خوب، سختی نسبتاً بالا، مقاومت حرارتی خوب و مقاومت به سایش قابل قبول. آلومینیم در حالت خالص استحکام بالایی ندارند از این رو برای جبران این کمبود، عناصر مختلف در کنار آلومینیم قرار داده می‌شود تا موجب افزایش خواص مکانیکی این ماده گردد. از این دسته کامپوزیت‌ها می‌توان به $Al-Si$ ، $Al-CNT$ و $Al-A_2O_3$ اشاره کرد. آلومینیم به روش‌های مختلفی تولید می‌شود که یکی از آنها روش متالورژی پودر است [۱]. در این روش با استفاده از پودر مواد و انجام عملیات تف‌جوشی و سایر عملیات مربوطه، قطعه تولید می‌شود. متالورژی پودر در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از تولیدکنندگان قرار گرفته و پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌است به طوری که قطعات پودری با چگالی بالا، قابلیت تراکم بالا و با خواص مکانیکی قابل قبول تولید می‌شود. این روش در درجه اول شامل مخلوط کردن یا توزیع ذرات تقویت‌کننده در زمینه کامپوزیت است. بعد از اختلاط کامل پودر زمینه و تقویت‌کننده، وارد مرحله‌ی پخت (تف‌جوشی) می‌شود و قطعه تف‌جوشی شده بعد از انجام عملیات مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش علی‌رغم تمام مزیت‌ها، مشکلاتی نیز به همراه دارد. درصد تخلخل نسبتاً بالا، استحکام نسبتاً پایین و سختی نچندان بالا از معایب این روش است که به کمک روش‌های جدید متالورژی پودر، این نقایص تا حد زیادی جبران می‌شود. [۲ و ۳].

در سال‌های اخیر روش متالورژی پودر با تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) بشدت مورد توجه قرار گرفته است. این روش، نقایص سایر روش‌های متالورژی پودر را جبران می‌کند و با ویژگی‌های برتر این روش، خواص مکانیکی بهتری بدست می‌آید. منحصر بودن این روش، در میزان گرمایش سریع‌تر، پایین آمدن دمای تف‌جوشی، زمان سریع‌تر تف‌جوشی و کنترل بهتر ریزساختار با کنترل پارامترهای مختلف تف‌جوشی، در مقایسه با سایر روش‌های متالورژی پودر است. این روش با دمای کمتر و در یک سیکل مشخص کار می‌کند و با فشار اعمالی بالایی موجب تراکم بالای پودر می‌شود. روش SPS تا حد زیادی روی تخلیه جرقه الکتریکی کار می‌کند، به گونه‌ای که با اتصال جریان و برقراری آن در میان ذرات پودر باعث ایجاد ذوب موضعی در آن نواحی می‌گردد و این ذوب موضعی به ذرات پودر کمک می‌کند تا پیوندهای ثانویه بهتری بین ذرات پودر ایجاد شود که موجب افزایش دمای پودر می‌شود [۳]. افزایش دما و گرمای ایجادشده در نقطه‌هایی از ذرات پودر باعث اثر تصفیه سطحی بر روی سطوح پودر، از بین بردن آلاینده‌ها و شکستن لایه اکسید بر روی ذرات پودر می‌شود و همین امر موجب می‌شود سطح پودر تمیزتر باشد و این تمیزی عاملی است که باعث کنار هم قرار گرفتن بهتر ذرات پودر می‌شود و در نهایت موجب افزایش خواص مکانیکی می‌گردد که در مقایسه با سایر روش‌های متالورژی پودر برتری دارد. [۴].

محیط فرایند تف‌جوشی می‌تواند تاثیر چشم‌گیری روی فرایند تف‌جوشی داشته باشد. رطوبت در اتمسفر محیط در صورتی که از یک مقدار مشخص بیشتر باشد می‌تواند تاثیری بسیار مخربی در اکسیداسیون ذرات



پودر و در نتیجه افت خواص مورد نظر داشته باشد. همان طور که گفته شد ایجاد ذرات اکسید آلومینیم آثار مخربی بر پودر در حال تفجوشی دارد و همین عامل باعث جلوگیری از ایجاد ذوب موضعی خواهد شد و بنابراین چگالی بدست آمده به حداکثر خود نخواهد رسید. وجود دمای بالاتر، کرنش پلاستیک بالاتری نیز می دهد و همچنین کرنش سختی و مقاومت در برابر فشار و کشش افزایش می یابد که ناشی از به هم پیوستگی بهتر و یکنواخت تر در دمای بالاست. با افزایش دما، تراکم پذیری به مرور افزایش پیدا کرده و بعد از حدود دمای 500°C به مقدار ثابت می رسد. اما میکروسختی با افزایش بیشتر دما روند نزولی پیدا خواهد کرد و کاهش می یابد که این کاهش میکروسختی ناشی از افزایش دمای بیش از حد و درشت شدن دانه است. افزایش دمای تفجوشی تا نزدیکی 530°C برای پودر آلومینیم خالص مناسب است ولی با افزایش دما از این مقدار باعث درشت دانگی و به طبع آن کاهش سختی و خواص مکانیکی می شود [۸و۵و۴و۶].

با افزایش دما در طی یک فشار ثابت، محتوای اکسیژن به میزان قابل توجهی کاهش می یابد زیرا که با این افزایش دما، قابلیت چسبندگی بین ذرات افزایش پیدا خواهد کرد. گفته شده است با افزایش دما به 540°C میزان اکسیژن موجود به $0/191$ کاهش پیدا کرده است، این کاهش مقدار اکسیژن منجر به کاهش لایه های اکسیدی در ذرات پودر آلومینیم و در نتیجه ایجاد ساختاری با دانسیته بیشتر و استحکام بیشتر می شود [۷و۸و۱۰].

با افزایش فشار، بهم پیوستگی و تغییر فرم پلاستیک حین گلوئی ذرات پودر در اثر اعمال جریان و ذوب موضعی افزایش می یابد و منجر به ایجاد قطعه ای با تخلخل کمتر و دانسیته تئوری بیشتر می گردد. همزمانی دما و فشار، منجر به بهبود پیوستگی ذرات پودر می شود. استفاده از فشار در دمای بالا منجر به افزایش چقرمگی می شود. در این حالت اولاً گلوئی بین ذرات پودر افزایش می یابد و باعث شده ذرات پودر بهتر کنار یکدیگر قرار گرفته باشند، ثانیاً هنگامی که در دمای بالا فشار اعمال می شود، لایه های اکسید آلومینیم که روی سطح را پوشانده اند، بهتر دچار شکستگی می شوند و به ذرات ریز تبدیل می شوند و در این هنگام ذرات پودر در اتصال فلز به فلز پیوند قویتری بدون هیچ گونه لایه اکسیدی ایجاد می کنند. ، با افزایش فشار وارد بر ذرات پودر در حین تفجوشی، بهم پیوستگی ذرات پودر و جوش خوردگی آنها بعد از انجام ذوب موضعی توسط جریان الکتریسیته، دانسیته نسبی و استحکام کششی افزایش یافته است. در یک تحقیق ادعا شده است با افزایش فشار و دمای تفجوشی به 48MPa و 577°C دانسیته نسبی به مقدار $99,9\%$ رسیده است. همچنین با افزایش فشار و دمای تفجوشی، ازدیاد طول را به نزدیک 45% رسانده است. افزایش همزمان دما و فشار تاثیر بسزایی بر خواص نمونه تفجوشی شده داشته است [۴و۵و۶]. با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات گذشته، در این پژوهش سعی شده است با کنترل پارامترهای تفجوشی در روش SPS روی پودر آلومینیم به خواص مطلوب و مورد نظر رسید. لازم به ذکر است تاثیر برخی از این پارامترها مانند جنس قالب و یا فشار سرد اولیه برای اولین بار مورد توجه قرار می گیرد.



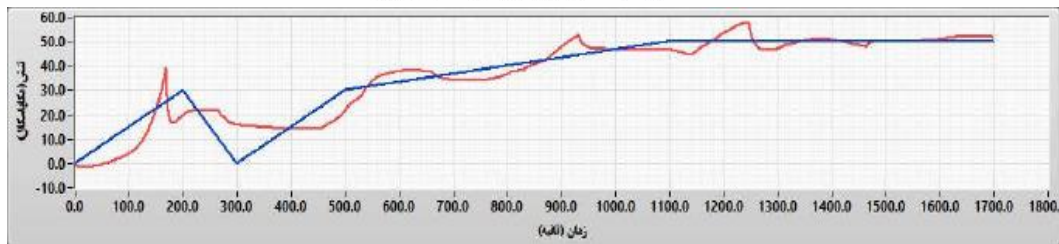
۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از پودر آلومینیم خالص با اندازه ذره ۱۲۰ میکرون استفاده شد. پس از تهیه نمونه در شرایط مختلف با روش SPS در دو قالب گرافیتی و فلزی با قطر ۱۵mm و ارتفاع ۶mm، نمونه‌ها مورد ارزیابی با میکروسکوپ نوری، دستگاه میکروسختی ویکرز و تست ارشمیدوس قرار گرفتند. جدول ۱ شرایط تهیه نمونه‌های مختلف را ارائه می‌دهد.

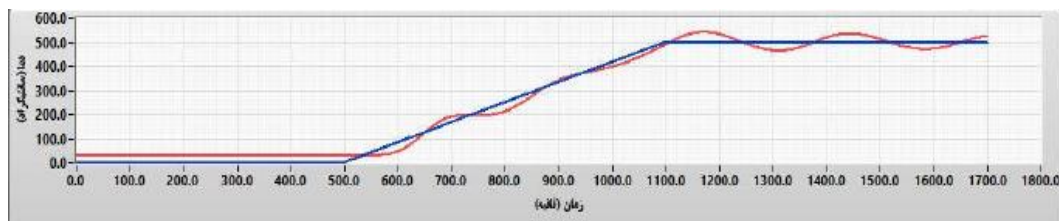
جدول ۱- شرایط مورد استفاده در تهیه نمونه‌ها.

تموته	فشار اولیه (MPa)	فشار تهایی (MPa)	دمای تهایی (c)	جنس قالب	زمان نگهداری در دمای زینترنگ (دقیقه)	جرم پودر اولیه (gr)	قطر قالب (mm)	ضخامت (mm)
۱	۳۰ (به صورت سرد)	۵۰	۵۰۰	گرافیتی	۱۰	۳	۱۵	۵/۲
۲	۴۵ (از ابتدا تا دمای زینتر)	۵۰	۵۰۰	گرافیتی	۱۰	۳	۱۵	۵/۱
۳	تدارد	۵۰	۵۰۰	گرافیتی	۱۰	۳	۱۵	۵
۴	۳۰ (به صورت سرد)	۵۰	۵۰۰	فلزی	۱۰	۳	۱۵	۵/۲
۵	۵۰ (به صورت سرد)	۷۰	۵۰۰	فلزی	۱۰	۲	۱۵	۴/۹

نمونه ۱: در این نمونه ابتدا فشار سرد ۳۰ MPa در شرایط خلا اعمال شد و پس از حذف فشار، عملیات تفجوشی روی پودر متراکم شده انجام گرفت، به این صورت که ابتدا دما در طی ۱۰ دقیقه به ۵۰۰ °C رسید و فشار نیز در مدت ۱۲/۵ دقیقه از صفر به ۵۰ MPa رسید. در این شرایط دمایی و فشاری SPS، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه نگهداشته شد. نمونه سپس در محفظه دستگاه سرد گردید. سیکل مربوط به این فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است.



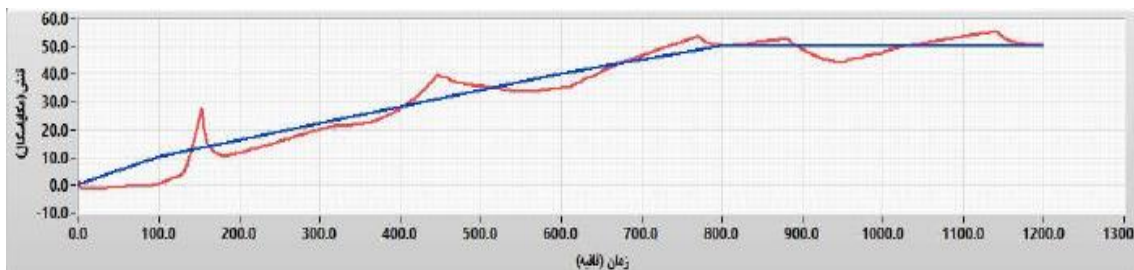
الف



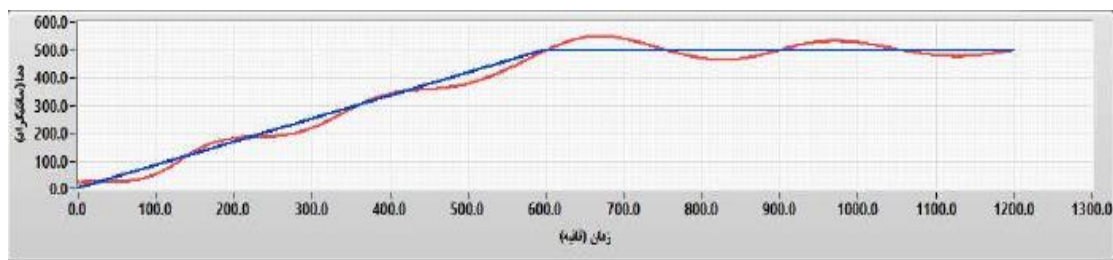
ب

شکل ۱- الف: نمودار تنش-زمان و ب: نمودار دما-زمان نمونه شماره یک.

نمونه ۲: در ابتدا فشار ۴۵ MPa در مدت ۱۲/۵ دقیقه به پودر اعمال شد و سپس از همین فشار، دما در مدت ۱۰ دقیقه به ۵۰۰ °C و فشار به ۵۰ MPa رسید. سپس در همین دما و فشار ذکر شده به مدت ۱۰ دقیقه نگهداشته و در محفظه SPS سرد گردید. سیکل مربوط به این فرآیند در شکل ۲ نشان داده شده است.



الف

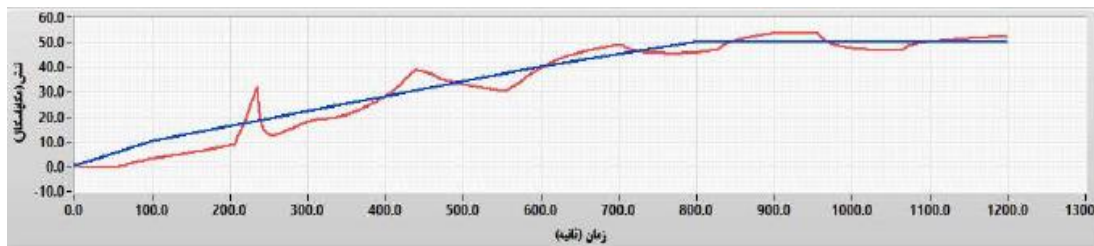


ب

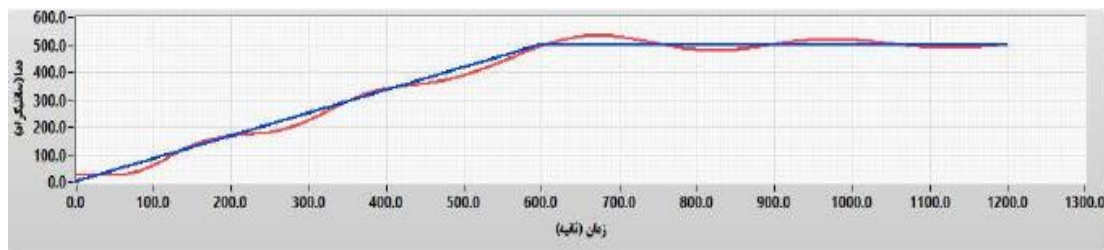
شکل ۲- الف: نمودار تنش-زمان و ب: نمودار دما-زمان نمونه شماره دو.



نمونه ۳: در شرایط خلا و با قالب گرافیتی، دما تا 500°C در طی زمان ۱۰ دقیقه و بدون فشار اولیه به دمای 500°C رسید. فشار نیز در طی $12/5$ دقیقه به 50 MPa رسید و به مدت $6/7$ دقیقه در این فشار و ۱۰ دقیقه در این دما نگهداشته شد. نمونه سپس در محفظه دستگاه SPS سرد شد. سیکل مربوط به این فرآیند در شکل ۳ نشان داده شده است.



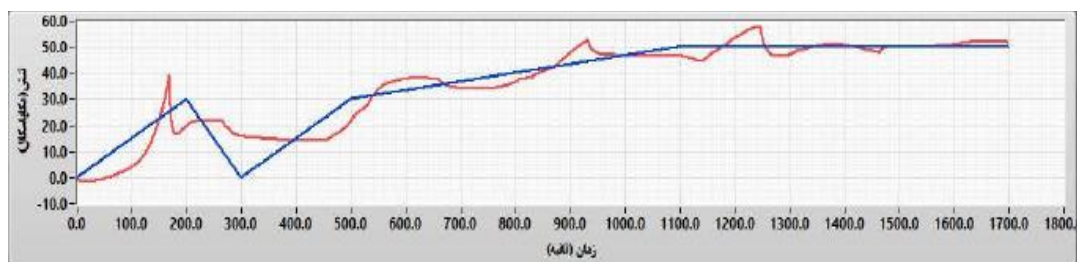
الف



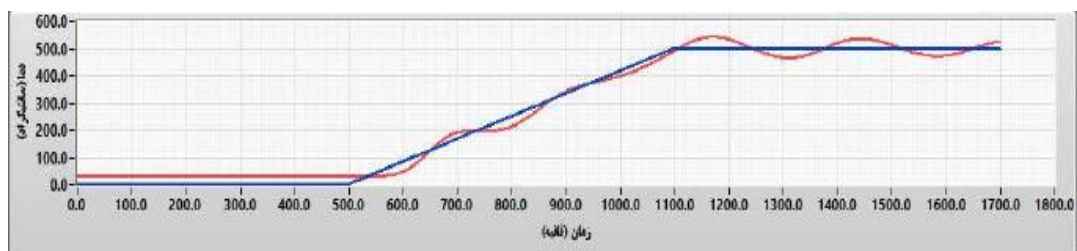
ب

شکل ۳- الف: نمودار تنش-زمان و ب: نمودار دما-زمان نمونه شماره سه.

نمونه ۴: سیکل اعمال شده به این نمونه مشابه نمونه ۱ می باشد، با این تفاوت که از قالب فلزی در این فرآیند استفاده شده است. در شکل ۴ سیکل مربوط به تفجوشی این نمونه رسم شده است.



الف

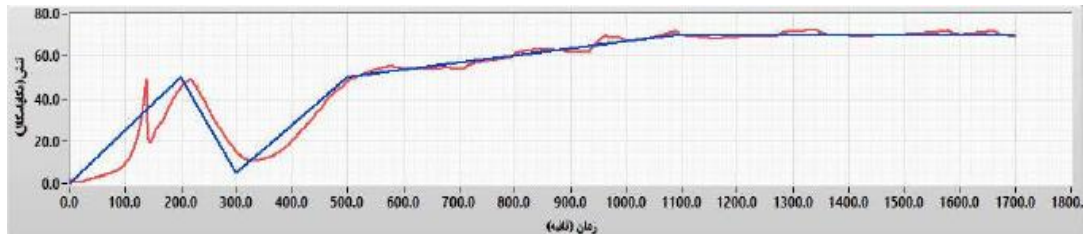


ب

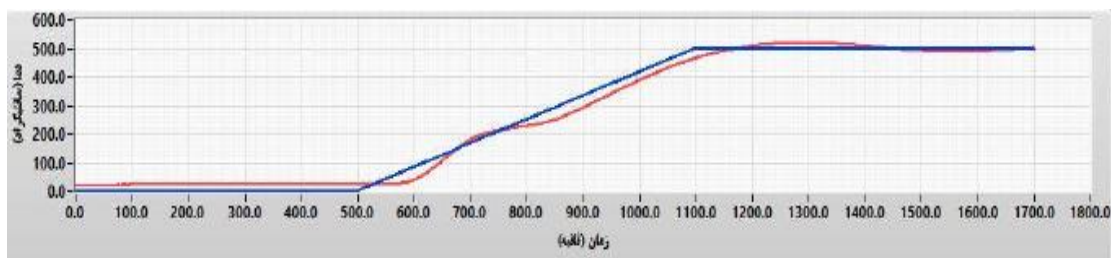
شکل ۴- الف: نمودار تنش-زمان و ب: نمودار دما-زمان نمونه شماره چهار.



نمونه ۵: این نمونه نیز مشابه نمونه ۴ می‌باشد با این تفاوت که فشار اولیه آن از ۳۰ به ۵۰ MPa و فشار نهایی آن از ۵۰ به ۷۰ MPa رسیده است. در شکل ۵ سیکل مربوط به این نمونه رسم شده است.



الف



ب

شکل ۵- الف: نمودار تنش-زمان و ب: نمودار دما-زمان نمونه شماره پنج

۳- نتایج و بحث

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود سختی، دانسیته و درصد تخلخل سطح و مرکز نمونه‌های تف جوشی شده برای هر پنج نمونه بیان شده است.

۳-۱- مقایسه سختی

همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار سختی بدست آمده برای نمونه ۱ به مقدار ۳۷/۸ ویکرز، بیشترین مقدار سختی در بین سایر نمونه‌ها می‌باشد. در نمونه ۱ از قالب گرافیتی استفاده شده و فشار سرد اولیه منجر به متراکم شدن زیاد نمونه شده است. این نمونه همانند نمونه ۴ می‌باشد، با این تفاوت که از قالب گرافیتی استفاده شده است و همین عامل نشان می‌دهد سختی بدست آمده از قالب گرافیتی بیشتر از سختی بدست آمده از نمونه ۴ که در قالب فلزی تهیه شده و سختی آن ۳۶/۲ ویکرز است می‌باشد.



جدول ۲- نتایج ارزیابی های چگالی و سختی سنجی نمونه ها.

تمپه	سختی (HV)	دانشیه (g/cm ³)	درصد تخلخل لبه قطعه	درصد تخلخل سطح قطعه
۱	۳۷/۸	۲/۶۸	۱/۷۶	۰/۷۹
۲	۳۶/۷	۲/۶۴	۰/۴۱	۰/۴
۳	۳۴/۶	۲/۶۲	۰/۲۶	۰/۳۲
۴	۳۶/۲	۲/۵۵	۱/۹۶	۱/۱۷
۵	۳۶/۶	۲/۴۲	۰/۶۶	۴/۶۲

مقدار سختی بدست آمده در نمونه ۳، ۳۴/۶ ویکرز است که کمترین مقدار بدست آمده در بین نمونه‌ها است. در این نمونه از قالب گرافیتی استفاده شده و فشار سرد اولیه ندارد، همین عامل منجر به ایجاد سختی کمتر گردیده است. این نمونه نسبت به نمونه‌های ۱ و ۲ که فشار سرد اولیه دارد، مقدار سختی کمتری دارد که همین نشان دهنده تاثیر وجود فشار سرد می‌باشد.

مقدار سختی نمونه‌های ۴ و ۵ که از قالب فلزی استفاده شده است بسیار نزدیک بهم می‌باشد و این مقادیر از قالب گرافیتی کمتر است. فشار اولیه و نهایی بیشتر در نمونه ۵ باعث افزایش سختی در این نمونه نسبت به نمونه ۴ گردیده است.

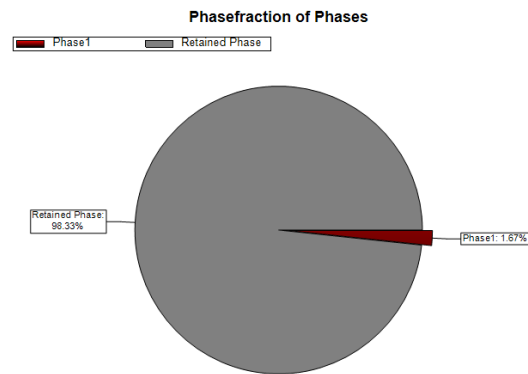
۳-۲- مقایسه تخلخل

نتایج بررسی تخلخل نمونه‌های یک تا پنج به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۱۰ ارائه شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود تخلخل موجود در نمونه‌ها نتایج قابل توجهی دارند. در نمونه ۳، تخلخل کمترین مقدار است و این مقدار در مرکز قطعه با توجه به شکل ۸ به ۰/۳۲ درصد و در لبه قطعه به ۰/۲۶ رسیده است. نمونه ۳ نسبت به سایر نمونه‌های با قالب گرافیتی مقدار تخلخل کمتری در سطح دارد. این نمونه بدون فشار اولیه با افزایش دما به ۵۰۰ °C و افزایش فشار به مقدار ۵۰ MPa کمترین مقدار تخلخل را داراست. در مقایسه نمونه‌های ۱ و

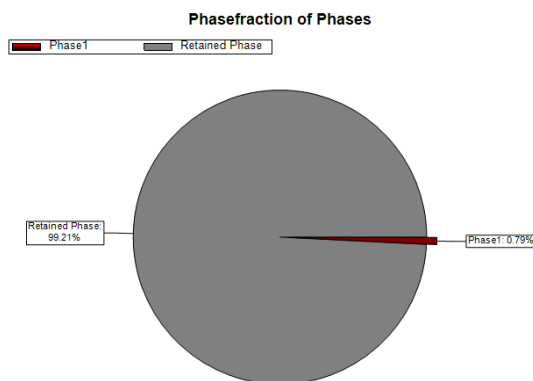


۴ که هر دو از فشار سرد اولیه بهره گرفته اند، مقدار تخلخل لبه نمونه به ترتیب با توجه به شکل های ۶ و ۹، ۱/۶۷ و ۱/۹۶ درصد بدست آمده است که نشان می دهد قالب گرافیتی تخلخل کمتری دارد. لازم به ذکر است که این مقایسه برای مرکز نمونه های گفته شده صادق می باشد.

مقایسه نمونه های ۴ و ۵ که در هر دو از قالب فلزی استفاده شده است، نشان می دهد که نمونه ۵ که فشار اولیه و نهایی بالاتری دارد مقدار تخلخل کمتری نسبت به نمونه ۴ داراست. مقدار تخلخل قطعه بدست آمده با توجه به شکل ۱۰ از نمونه ۵، ۰/۶۶ درصد می باشد که فشار اولیه آن ۵۰ MPa و فشار نهایی آن ۷۰ MPa است و همین فشار اولیه و نهایی بیشتر منجر به بهبود بهم پیوستگی و کاهش تخلخل شده است.

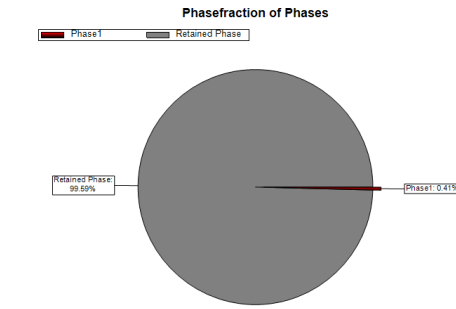
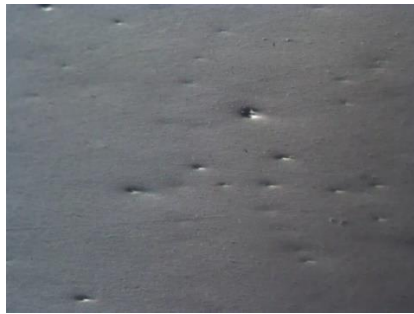


الف

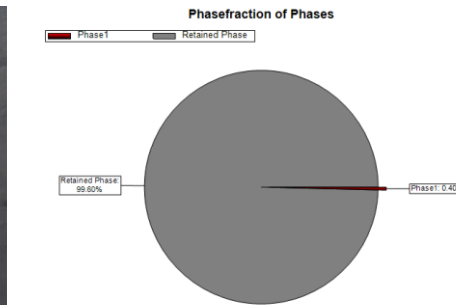


ب

شکل ۶- بررسی درصد تخلخل الف: در لبه و ب: در مرکز نمونه یک.

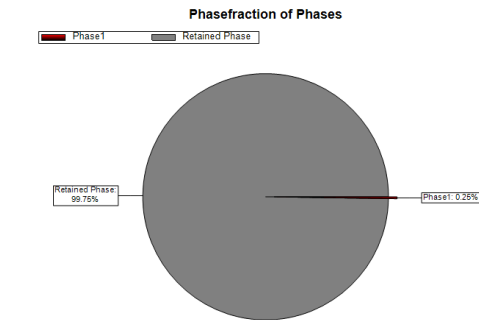


الف

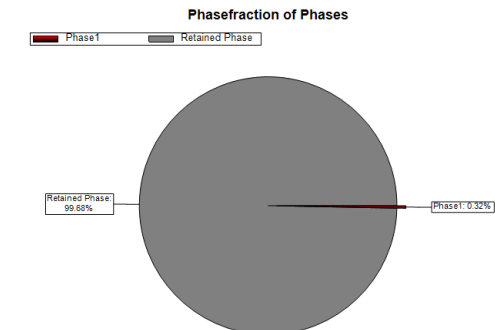


ب

شکل ۷- بررسی درصد تخلخل الف: در لبه و ب: در مرکز نمونه دو.

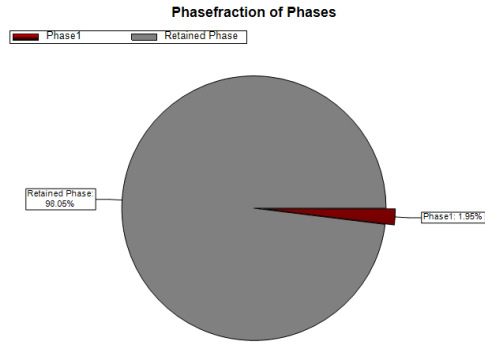


الف

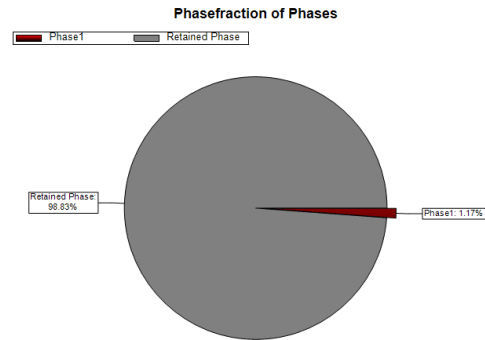


ب

شکل ۸- بررسی درصد تخلخل الف: در لبه و ب: در مرکز نمونه سه.

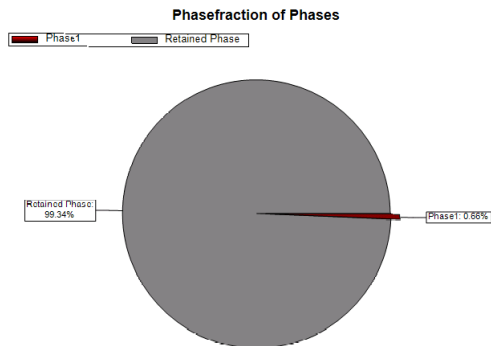


الف

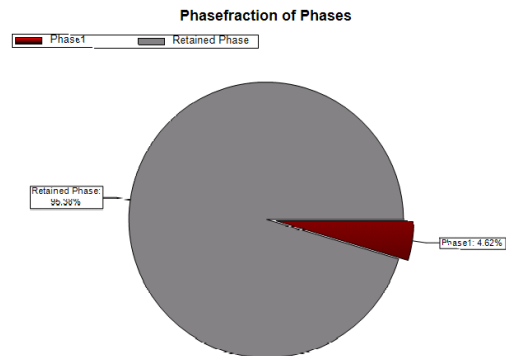


ب

شکل ۹- بررسی درصد تخلخل الف: در لبه و ب: در مرکز نمونه چهار.



الف



ب

شکل ۱۰- بررسی درصد تخلخل الف: در لبه و ب: در مرکز نمونه پنج.



۳-۳- مقایسه دانسیته

مقدار دانسیته بدست آمده از نمونه ۱ بیشترین مقدار است که به مقدار تئوری آن نزدیک می‌باشد. این مقدار $2/68 \text{ g/cm}^3$ بدست آمده است. این نمونه از قالب گرافیتی استفاده شده است و با فشار سرد اولیه می‌باشد. اما مقادیر بدست آمده از قالب‌های گرافیتی نمونه‌های ۱ و ۲ و ۳ بسیار نزدیک بهم است. این مقادیر با مقادیر بدست آمده از قالب‌های فلزی قابل مقایسه است. در نمونه‌های فلزی مقدار بیشترین دانسیته در نمونه ۴ بدست آمده است که این مقدار $2/55 \text{ g/cm}^3$ می‌باشد. مشاهده می‌شود که در قالب‌های گرافیتی مقدار دانسیته بدست آمده از قالب‌های فلزی بیشتر شده است. بر خلاف انتظار مقدار دانسیته بدست آمده در نمونه ۵ که فشار اولیه و نهایی بیشتری نسبت به نمونه ۴ داشته است، کمتر است و از مقدار تئوری آن دور تر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

- مشاهده شد که در نمونه ۱ با قالب گرافیتی که فشار سرد اولیه داشته است، مقدار سختی حاصل $38/7$ ویکرز می‌باشد، در حالی که در نمونه‌های ۲ و ۳ مقدار سختی به ترتیب $36/7$ و $34/6$ ویکرز بوده است.
- مقدار سختی بدست آمده از نمونه ۱ با قالب گرافیتی، $38/7$ ویکرز بود اما نمونه ۴ که با همین شرایط در قالب فلزی مورد تست قرار گرفته بود، $36/2$ ویکرز بود.
- مشاهده شد در نمونه ۵ که فشار اولیه و نهایی آن 20 MPa بیشتر از نمونه ۴ است، سختی بدست آمده به مقدار جزئی بیشتر شده و به مقدار $36/6$ ویکرز رسیده است.
- نشان داده شد که در نمونه ۳ تخلخل کمترین مقدار است و این مقدار در مرکز قطعه به $0/26$ درصد و در لبه قطعه به $0/32$ درصد رسیده است. نمونه ۳ نسبت به سایر نمونه‌های با قالب گرافیتی مقدار تخلخل کمتری در سطح داشت.
- همانطور که اشاره شد در مقایسه نمونه‌های ۱ و ۴ که هر دو از فشار سرد اولیه بهره گرفته بودند، مقدار تخلخل لبه نمونه با قالب گرافیتی $1/67$ و با قالب فلزی $1/96$ بدست آمد که نشان می‌دهد قالب گرافیتی موجب چگالی بیشتر و تخلخل کمتر می‌شود.



International Materials Research Society



انجمن مهندسی متالورژی ایران



سازمان توسعه و عمران صنایع و معادن و صنایع مهندسی ایران



انجمن مهندسی متالورژی ایران

- در نمونه ۴ و ۵ که هر دو در قالب فلزی تفجوشی شده بودند، درصد تخلخل‌ها به دلیل فشار اولیه و نهایی بیشتر نمونه ۵ نسبت به نمونه ۴، متفاوت می‌باشد، بدین صورت که در صد تخلخل در نمونه ۵ به مقدار ۱/۳ درصد کمتر بود.
- بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار دانسیته نمونه ۱ که فشار سرد اولیه داشته از نمونه‌های ۲ و ۳ به ترتیب به مقدار 0.04 g/cm^3 و 0.05 g/cm^3 بیشتر بود و قابل به ذکر است که به میزان 0.25 g/cm^3 از نمونه ۴ با قالب فلزی نیز بیشتر بود.
- بر خلاف انتظار، مقدار دانسیته بدست آمده در نمونه ۵ که فشار اولیه و نهایی بیشتری نسبت به نمونه ۴ داشته، مقدار کمتری بود به طوری که در نمونه ۵، 2.43 g/cm^3 و در نمونه ۴، 2.55 g/cm^3 بود.

مراجع

1. <https://aluminiuminsider.com/steel-versus-aluminium-whos-winning-lightweighting-battle-cars/>
2. <https://www.clintonaluminum.com/aluminum-uses-in-aircraft/>
۳. تفجوشی قطعات متالورژی پودر به کمک قوس پلاسما (SPS) /ناصر احسانی.
4. Zadra*, F. Casari, L. Girardini and A. Molinari/Spark plasma sintering of pure aluminium powder: mechanical properties and fracture Analysis M. /joints(2013)/Volume 50,Issue4/Pages 40-45
5. Gregory Alexander Wilson Sweet/ADVANCED SINTERING TECHNIQUES OF ALUMINIUM: SPARK PLASMA SINTERING
6. M. A. Awotunde, A. O. Adegbenjo, M. B. Shongwe, and P. A. Olubambi/Spark Plasma Sintering of Aluminium- Based Materials /joints(2019)/Spark Plasma Sintering of Materials/ page 191-218
7. Microstructure and mechanical properties of air atomized aluminium powder consolidate via spark plasma sintering/G.A.SweetM.BrochubR.L.HexemerJr.c/Volume 608, 1 July 2014, Pages 273-282
8. Spark plasma sintering behavior of pure aluminum depending on various sintering temperature Hansang Kwon¹, Dae Hoon Park¹, Yongha Park³, Jean François Silvain¹, Akira Kawasaki², and Yongho Park³,* Doi: 10.1007/s12540-010-0071-2 Published 26 February 2010
9. Sintering of aluminium and its alloys M. KIAN and G. B. SCHAFFER, The university of Queensland, Australia
10. Effect of interface behavior between particles on properties of pure Al powder compacts by spark plasma sintering/ materials transactions, vol. 42, No. 9(2001) pp. 1846 to 1849, the japan institute of metals