



چهارمین کنفرانس بین المللی  
مواد مهندسی و متالورژی



**4<sup>th</sup>** International  
Engineering Materials  
& Metallurgy conference

۱۹ و ۲۰ آبان ۱۳۹۴ - دانشگاه علم و صنعت ايران  
10 - 11 Nov., 2015 - Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran



انجمن مهندسين متالورژی ايران



انجمن علمی ريخته گری ايران

**کواي ارزنده مقاله**

ضمن تشکر و قدردانی از ارزنده مقاله با عنوان

**بررسی تاثیر میزان فشار پرس بر نقطه ذوب پودر آلومینیم فشرده شده**

در چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی و نهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ايران و انجمن علمی ريخته گری ايران

این کواي نامه بر فوئندنگان مقاله:

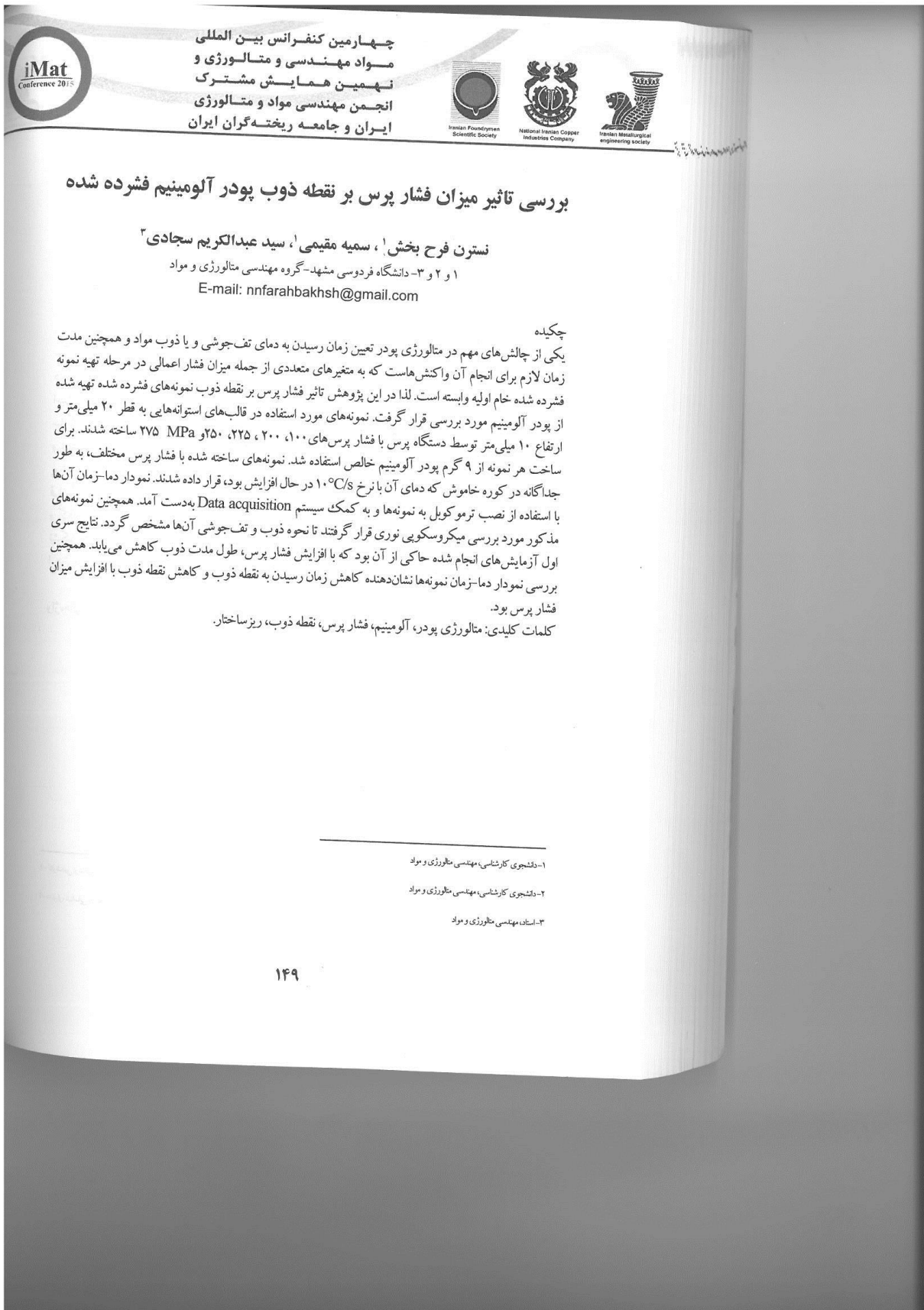
سمیه مقیمی، نستون فرح بخش، سید عبدالکریم سجادی

اطلاعي گردد. موفقیت روز افزون شما را در جهت علم و فناوری از خداوند متعال خواستاريم.

مهرتقی نذرجی  
رئیس هیئت مدیره  
انجمن علمی ريخته گری ايران

مهرتقی سامی  
نایب رئیس انجمن مهندسی متالورژی و مواد ايران و انجمن علمی ريخته گری ايران

منصور سلطانی  
رئیس هیئت مدیره  
انجمن مهندسين متالورژی ايران



چهارمین کنفرانس بین المللی  
مواد مهندسی و متالورژی و  
نهمین همایش مشترک  
انجمن مهندسی مواد و متالورژی  
ایران و جامعه ریخته گران ایران



## بررسی تاثیر میزان فشار پرس بر نقطه ذوب پودر آلومینیم فشرده شده

نسترن فرح بخش<sup>۱</sup>، سمیه مقیمی<sup>۱</sup>، سید عبدالکریم سجادی<sup>۳</sup>

۱ و ۲ - دانشگاه فردوسی مشهد - گروه مهندسی متالورژی و مواد

E-mail: nnfarahbakhsh@gmail.com

چکیده

یکی از چالش های مهم در متالورژی پودر تعیین زمان رسیدن به دمای تف جوشی و با ذوب مواد و همچنین مدت زمان لازم برای انجام آن واکنش هاست که به متغیرهای متعددی از جمله میزان فشار اعمالی در مرحله تهیه نمونه فشرده شده خام اولیه وابسته است. لذا در این پژوهش تاثیر فشار پرس بر نقطه ذوب نمونه های فشرده شده تهیه شده از پودر آلومینیم مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های مورد استفاده در قالب های استوانه های به قطر ۲۰ میلی متر و ارتفاع ۱۰ میلی متر توسط دستگاه پرس با فشار پرس های ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰ و ۲۷۵ MPa ساخته شدند. برای ساخت هر نمونه از ۹ گرم پودر آلومینیم خالص استفاده شد. نمونه های ساخته شده با فشار پرس مختلف، به طور جداگانه در کوره خاموش که دمای آن با نرخ ۱۰°C/s در حال افزایش بود، قرار داده شدند. نمودار دما-زمان آن ها با استفاده از نصب ترموکوپل به نمونه ها و به کمک سیستم Data acquisition به دست آمد. همچنین نمونه های مذکور مورد بررسی میکروسکوپی نوری قرار گرفتند تا نحوه ذوب و تف جوشی آن ها مشخص گردد. نتایج سری اول آزمایش های انجام شده حاکی از آن بود که با افزایش فشار پرس، طول مدت ذوب کاهش می یابد. همچنین بررسی نمودار دما-زمان نمونه ها نشان دهنده کاهش زمان رسیدن به نقطه ذوب و کاهش نقطه ذوب با افزایش میزان فشار پرس بود.

کلمات کلیدی: متالورژی پودر، آلومینیم، فشار پرس، نقطه ذوب، ریزساختار.

۱- دانشجوی کارشناسی، مهندسی متالورژی و مواد

۲- دانشجوی کارشناسی، مهندسی متالورژی و مواد

۳- استاد، مهندسی متالورژی و مواد

## بررسی تاثیر میزان فشار پرس بر نقطه ذوب پودر آلومینیم فشرده شده

سمیه مقیمی<sup>۱</sup>، نسترن فرح بخش<sup>۲</sup>، سید عبدالکریم سجادی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از چالش های مهم در متالورژی پودر تعیین زمان رسیدن به دمای تف جوشی و یا ذوب مواد و همچنین مدت زمان لازم برای انجام آن واکنش هاست که به متغیرهای متعددی از جمله میزان فشار اعمالی در مرحله تهیه نمونه فشرده شده خام اولیه وابسته است. لذا در این پژوهش تاثیر فشار پرس بر نقطه ذوب نمونه های فشرده شده تهیه شده از پودر آلومینیم مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های مورد استفاده در قالب های استوانه هایی به قطر ۲۰ میلی متر و ارتفاع ۱۰ میلی متر توسط دستگاه پرس با فشار پرس های ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰، ۲۷۵ MPa ساخته شدند. برای ساخت هر نمونه از ۹ گرم پودر آلومینیم خالص استفاده شد. نمونه های ساخته شده با فشار پرس مختلف، به طور جداگانه در کوره خاموش که دمای آن با نرخ ۱۰°C/s در حال افزایش بود، قرار داده شدند. نمودار دما-زمان آن ها با استفاده از نصب ترموکوپل به نمونه ها و به کمک سیستم Data acquisition به دست آمد. زمان رسیدن به دمای ذوب شدن آن ها توسط کرومتر اندازه گیری گردید. همچنین نمونه های مذکور مورد بررسی میکروسکوپی نوری قرار گرفتند تا نحوه ذوب و تف جوشی آنها مشخص گردد. نتایج سری اول آزمایش های انجام شده حاکی از آن بود که با افزایش فشار پرس، طول مدت ذوب کاهش می یابد. همچنین بررسی نمودار دما-زمان نمونه ها نشان دهنده کاهش زمان رسیدن به نقطه ذوب و کاهش نقطه ذوب با افزایش میزان فشار پرس بود.

**کلمات کلیدی:** متالورژی پودر، آلومینیم، فشار پرس، نقطه ذوب، ریزساختار.

۱- دانشجوی کارشناسی، مهندسی متالورژی و مواد

۲- دانشجوی کارشناسی، مهندسی متالورژی و مواد. [nfarahbakhsh@gmail.com](mailto:nfarahbakhsh@gmail.com)

۳- استاد، مهندسی متالورژی و مواد

## ۱. مقدمه:

توليد قطعات با پودر، به بیش از پنج هزار سال پیش می رسد. هم اکنون، ستون آهنی با وزنی حدود شش تن در شهر دهلی هندوستان وجود دارد که در هزار و ششصد سال پیش به همین طریقه (متالورژی پودر) تهیه شده است. متالورژی پودر روشی برای ساخت و تولید به روش شکل دهی قطعات فلزی و سرامیک است که اساس آن بر فشردن پودر مواد به شکل مورد نظر و تف جوشی آن است. تف جوشی در درجه حرارتی زیر نقطه ذوب صورت می پذیرد و اکثر محصولات این روش شکل دهی نیازی به ماشین کاری بعدی و یا حتی عملیات حرارتی تکمیلی ندارند و عموماً دانسیته بالا (گاهی دست نیافتی به روش های دیگر) هستند. در میان فناوری های مختلف قطعه سازی، متالورژی پودر از کارایی گسترده ای برخوردار است. قابلیت این فرآیند تولید قطعات پیچیده با کیفیت بالا و تلرانس های دقیق، با رعایت جنبه های اقتصادی است. با توجه به کاربرد گسترده قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر در صنایع مختلف (به ویژه در صنایع خودروساز) بررسی خواص مکانیکی و عوامل تاثیرگذار بر این خواص، لازم و ضروری به نظر می رسد [۱]. این روش به دلایلی نظیر افزایش دقت ابعادی، کاهش هزینه ماشین کاری، مقدار مواد اولیه مصرفی کمتر، توانایی تکرار تولید بهتر، سطح نهایی تمیزتر، کاهش وزن، احاطه کامل روی آنالیز و منحصر بودن تولید بعضی از قطعات با این روش، توسعه آن به ویژه در سالیان اخیر در ژاپن، آمریکا و اروپا روبه فزونی است [۲]. عوامل مؤثر بر تفجوشی در فاز جامد عبارتند از دما، زمان، دانسیته خام قطعات اولیه، فشار پرس، درصد تخلخل، همگنی ساختار اولیه و ناخالصی و... [۳]. درصد مناسب ناخالصی جهت جلوگیری از رشد دانه و همچنین جدایش حفرات از مرز دانه ها می تواند سودمند باشد [۴]. یکی از چالش های مهم در متالورژی پودر تعیین زمان رسیدن به دمای تفجوشی و یا ذوب مواد و همچنین مدت زمان لازم برای انجام آن واکنش هاست که به متغیرهای متعددی از جمله میزان فشار اعمالی در مرحله تهیه نمونه فشرده شده خام اولیه وابسته است. محققان بیشماری اثر عوامل مختلف مؤثر بر دمای تفجوشی و نقطه ذوب را مورد بررسی قرار دادند. اولین مشاهده از اثر فشار بر نقطه ذوب توسط پرکینز در سال ۱۸۲۶ میلادی انجام شده است [۵]. او اسید سیتریک را در فشار ۱۱۰۰ اتمسفر متراکم کرد و متوجه شد که این ماده متبلور شده ست. آقایان سپاهیان پوربختیاری، ربیعی، ایرانی و موسوی اثر فشار پرس را بر خواص ساختاری آلیاژ فرتیتی ساخته شده به روش متالورژی پودر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش فشار شکل دهی، دانسیته خام افزایش یافته که این افزایش دانسیته نشانگر کاهش حفره های داخلی و چگال تر شدن قطعه است [۶]. تلاش های بسیاری از محققان منجر شده



است تا عبارت نظری برای رابطه فشار و دمای ذوب جامدات مانند معادله K-K و معادله سیمون و... بدست آید. اخیراً هنستروم و لیزر داده های تجربی را برای ذوب در فشار بالای آلومینیوم گزارش کرده اند [۷]. از آن موقع محققان در تلاش اند تا رابطه ی بین فشار و دمای ذوب را از هر دو جنبه ی نظری و تجربی بررسی کنند. ما نیز در این تحقیق اثر فشار پرس بر نقطه ذوب پودر آلومینیوم فشرده شده و زمان رسیدن به دمای تفجوشی را مورد بررسی قرار می دهیم.

## ۲. مواد و روش تحقیق:

### ۲-۱- فرایند ساخت نمونه های اولیه:

در این تحقیق از پودر آلومینیوم خالص با چگالی ۲,۷ گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شد. در ابتدا ۵ قطعه استوانه ای به ابعاد ۲×۱ میلی متر با شرایط یکسان اتمسفر و دما، متغیر فشار پرس، در فشار پرس های ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰، ۲۷۵، ۳۰۰ تهیه شد. از قالب استوانه ای با قطر ۲ میلی متر استفاده شد، که پیش از استفاده از آن مراحل سمباده زنی و صاف کردن قالب صورت گرفت که از چسبیدن پودر آلومینیوم به دیواره قالب پیش گیری به عمل آید. ۱۰۰ گرم پودر آلومینیوم خالص فراهم شد و برای محاسبه وزن پودر مورد نیاز برای ساخت نمونه هایی با ابعاد ۲×۱ میلی متر از فرمول زیر استفاده شد، با توجه به چگالی آلومینیوم که ۲,۷ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد مقدار پودر آلومینیوم مورد نیاز برای هر نمونه ۹ گرم محاسبه شد.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

با استفاده از ترازوی دیجیتال مقدار ۹ گرم پودر آلومینیوم وزن شد و در تهیه نمونه به کار رفت. قالب با استفاده از پودر گرافیت کمی آغشته شد تا از چسبیدن پودر آلومینیوم به دیواره قالب جلوگیری شود؛ سپس پودر به داخل قالب ریخته شد و پرس شد.

**۲-۲- شکل دادن پودر و تهیه نمونه‌های خام:**

فشردن پودر به تنهایی مهم‌ترین قدم در تمام فرایندهای متالورژی پودر است. در این پروژه از دستگاه پرس هیدرولیک یک طرفه در آزمایشگاه فرآوری پیشرفته دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. به این صورت که قالب استوانه‌ای شکل در محل تعیین شده قرار گرفت و ۵ نمونه در فشارهای ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰، ۲۷۵، ۳۰۰ مگا پاسکال تهیه شد، که تبدیل واحد آن انجام گرفت.

**۲-۳- تف جوشی نمونه‌ها:**

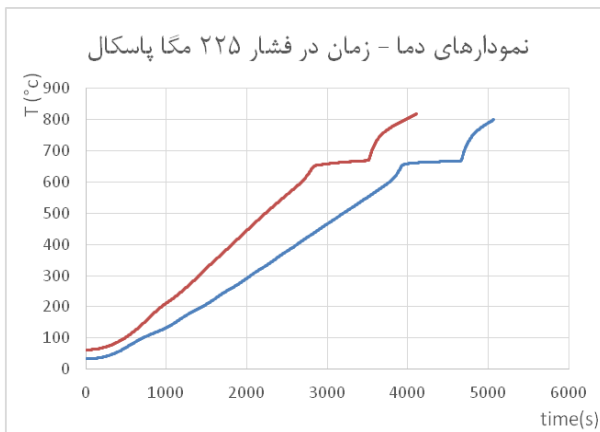
پس از اینکه قطعات فشرده شده تولید شد، نوبت به پروسه تف جوشی رسید، که کوره تف جوشی مورد استفاده در این پروژه کوره آزمایشگاهی Exciton واقع در آزمایشگاه عملیات حرارتی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد که سرعت گرم کردن را  $10^{\circ}\text{C/s}$  و تا دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. به منظور کنترل و ثبت دما در هنگام رسیدن نمونه‌ها به دمای نقطه ذوبشان، از ترموکوپل و یک دستگاه جمع‌آوری اطلاعات (Data Acquisition) متصل به رایانه استفاده شد. سیستم جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت Eagle بود که به وسیله پورت به رایانه متصل گردید، با استفاده از نرم‌افزار Wave scan 2 دمای اندازه‌گیری شده در زمان‌های مشخص ثبت گردید. در وسط نمونه‌ها سوراخی به عمق ۳۰ میلی‌متر و به قطر ۳ میلی‌متر تعبیه شد. با قرار دادن ترموکوپل در این سوراخ دمای مغز قطعه هنگام رسیدن به نقطه ذوب اندازه‌گیری گردید. شیب نمودار دما-زمان تا قبل از استحاله، در فاصله دمایی یکسان برای کلیه نمونه‌ها به عنوان سرعت گرم شدن در نظر گرفته می‌شود، که در این تحقیق سرعت گرم شدن  $10^{\circ}\text{C/s}$  در نظر گرفته شده است.

**۲-۴- متالوگرافی نمونه‌ها:**

نمونه‌های متالوگرافی از مغز نمونه‌ها و در جهت عمود بر جهت تغییر شکل تهیه شدند؛ و نمونه‌های تهیه شده مانع شدند. این نمونه‌ها ابتدا از سنباده ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده زنی شده و با نمد و خمیر الماس (۳) پولیش شدند. سپس لایه اکسیدی اطراف نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری در بزرگ‌نمایی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و از آن‌ها عکس گرفته شد. در انتها با استفاده از نرم‌افزار MIP 4 student (Microstructrul image profeser) ضخامت لایه اکسیدی اندازه‌گیری شد و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور افزایش دقت این آزمایش برای ۳ بار تکرار شد و نتایج هر آزمایش به دقت مورد بررسی قرار گرفت.

## ۳. نتایج و بحث:

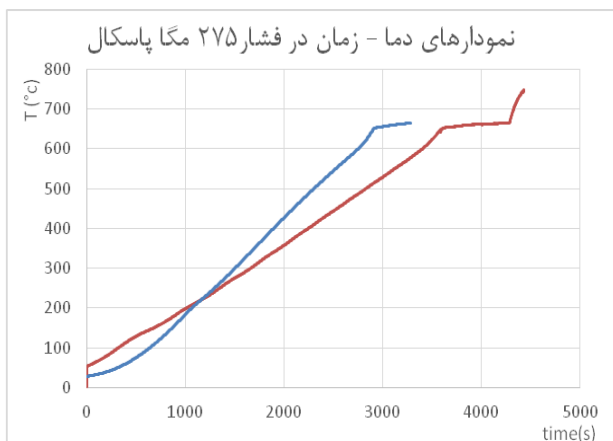
نمونه‌های آماده شده در فشار پرس ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰، ۲۷۵ MPa، با توجه به مراحل ذکر شده مورد آزمایش قرار گرفتند؛ و با استفاده از دستگاه جمع‌آوری اطلاعات (Data Acquisition) نمودار دما-زمان آن‌ها رسم شد. شکل‌های ۱ تا ۵ این نمودارها را نشان می‌دهند.



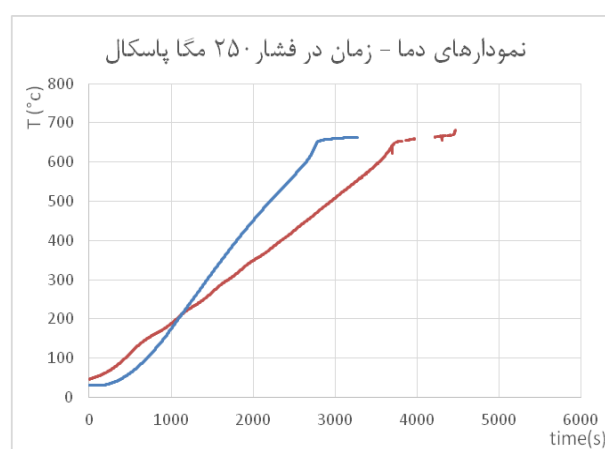
شکل ۲. نمودارهای دما - زمان در فشار ۲۲۵ مگا پاسکال



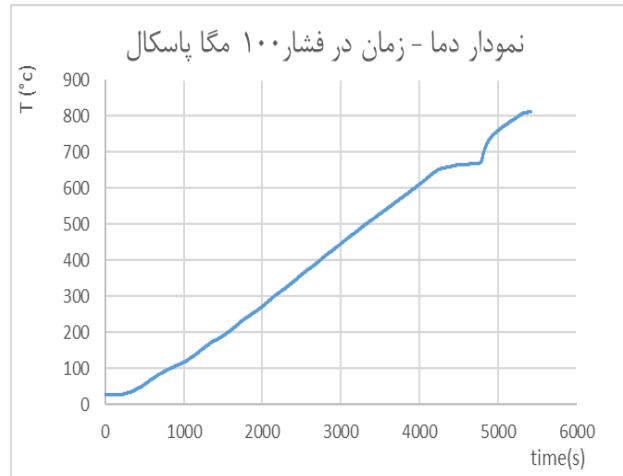
شکل ۱. نمودارهای دما - زمان در فشار ۲۰۰ مگا پاسکال



شکل ۴. نمودارهای دما - زمان در فشار ۲۷۵ مگا پاسکال



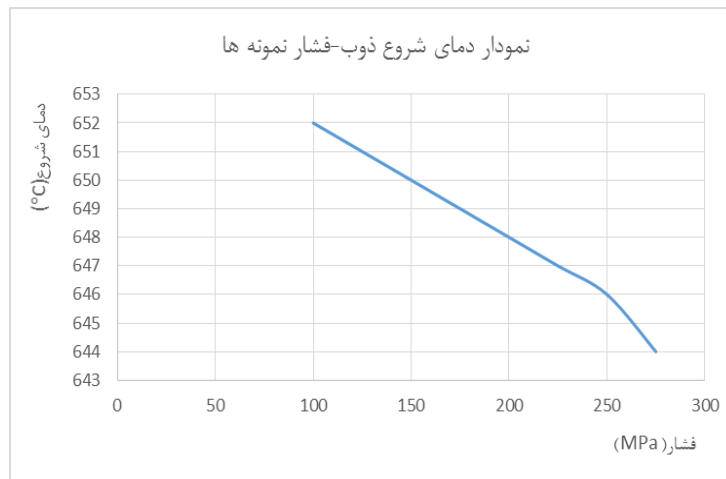
شکل ۳. نمودارهای دما - زمان در فشار ۲۵۰ مگا پاسکال



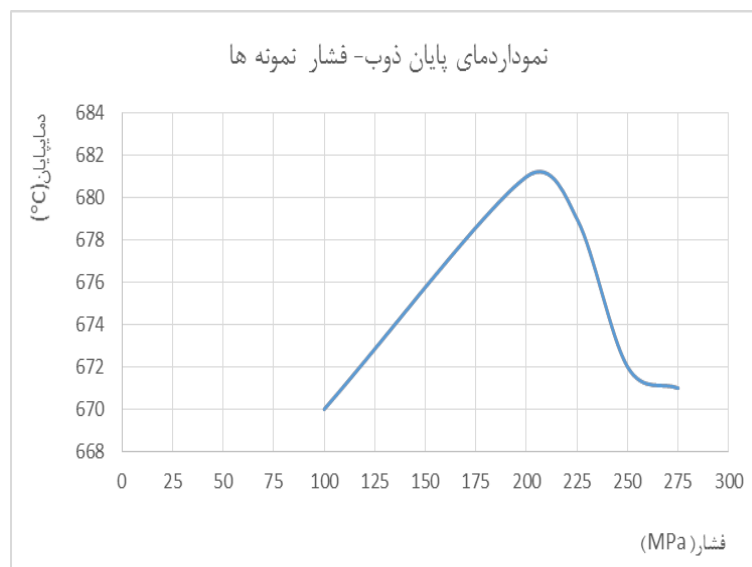
شکل ۵. نمودارهای دما - زمان در فشار ۱۰۰ مگا پاسکال

با استفاده از نمودارهای مشتق نمودار دما-زمان نمونه های مورد مطالعه، که با نرم افزار Origin رسم گردیدند، دمای شروع و پایان و زمان شروع و پایان ذوب نمونه ها مشخص گردید و نمودارهای دمای شروع ذوب- فشار و دمای پایان ذوب- فشار و زمان شروع ذوب-فشار و زمان پایان ذوب- فشار مطابق شکل های ۶ تا ۹ برای نمونه های مورد مطالعه رسم گردیدند.

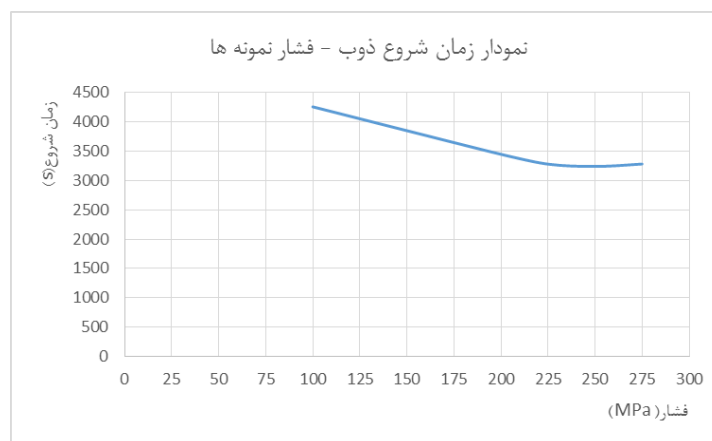




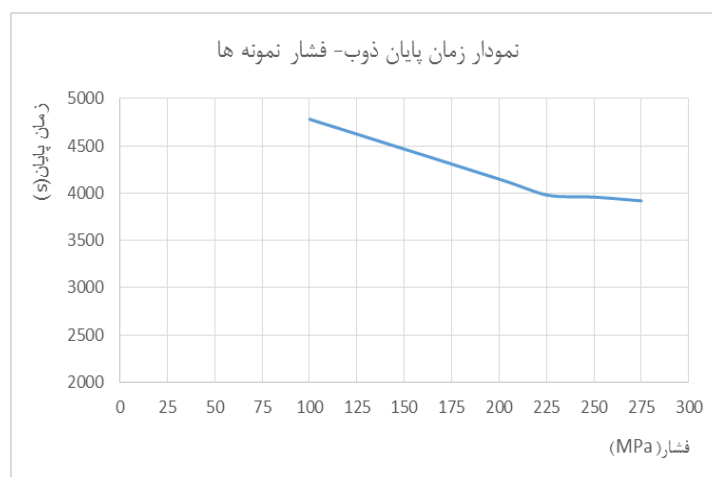
شکل ۶. نمودار دمای شروع ذوب- فشار نمونه‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۲۲۵ و ۲۵۰ و ۲۷۵ MPa



شکل ۷. نمودار دمای پایان ذوب- فشار نمونه‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۲۲۵ و ۲۵۰ و ۲۷۵ MPa



شکل ۸. نمودار زمان شروع ذوب- فشار نمونه‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۲۲۵ و ۲۵۰ و ۲۷۵ MPa



شکل ۹: نمودار زمان پایان ذوب- فشار نمونه‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۲۲۵ و ۲۵۰ و ۲۷۵ MPa

مطالعات نشان می دهند که با افزایش فشار پرس دمای شروع و پایان و زمان شروع و پایان ذوب کاهش پیدا می کند. کاهش دما و زمان با افزایش فشار به این علت است که با افزایش فشار پرس دانسیته نمونه زیاد شده و این افزایش دانسیته نشانگر کاهش حفره‌های داخلی و چگال تر شدن قطعه می باشد [۶]. چون حفرات داخلی مانع انتقال سریع حرارت می شوند، بنابراین با کاهش حفرات داخلی، سرعت انتقال حرارت بیشتر شده و نمونه در دما و زمان کمتری به دمای ذوب خواهد رسید و دمای تف جوشی کاهش پیدا می کند [۸]. نمودارهای ۶ تا ۹ نیز این امر را تصدیق می کند. البته خطاهایی نیز در تعیین مقادیر دما و زمان ج.د دارد

که می تواند ناشی از خطای موجود در هنگام فشردن نمونه ها باشد. خطای دیگر ممکن است ناشی از عمق سوراخ ایجاد شده جهت قرار گرفتن ترموکوبل باشد.

#### ۴. نتیجه گیری:

۱. با افزایش فشار پرس، نقطه ذوب پودر آلومینیوم فشرده شده کاهش پیدا می کند.
۲. با افزایش فشار پرس، زمان رسیدن به نقطه ذوب پودر آلومینیوم فشرده شده کاهش پیدا می کند.
۳. زمان شروع ذوب و زمان پایان ذوب نمونه های پودر آلومینیوم فشرده شده با افزایش فشار پرس افزایش پیدا می کند.

#### ۵. مراجع:

۱- ام جرمن، راندال، متالورژی پودر دکتر علی حائریان اردکانی و دکتر مجتبی ناصریان ریایی چاپ اول انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ قبلی نشر میعاد- بهار ۱۳۸۵

2- Akira Fujiki "Present state and future prospects of powder metallurgy parts for automotive applications", Materials Chemistry and Physics 67 (2001)

3- Rahaman, N.M. (2024). Sintering of Ceramics, New York: Plenum Press.

Chiang, Y. M., Birnie, D. P., Kingery, W. D. (2022). Physical Ceramics Principles for Ceramic Science and Engineering, New York: John Wiley & Sons, Inc

4- Aluminium powder metallurgy- S.H. HUO, M. QIAN and G.B. SCHAFFER, The University of Queensland, Australia and E. CROSSIN, The University of Queensland, Australia and RMIT University, Australia

5- Pressure effect on the melting temperature

Jozsef Garaia and Jiuhua Chena, Department of Mechanical and Materials Engineering, Florida International University, Miami, USA bCeSMEC, Florida International University, Miami, USA

۶- مقاله بررسی اثر فشار پرس بر خواص ساختاری آلیاژ فریتی ساخته شده به روش متالورژی پودر- فرهاد سپاهیان پوربختیاری ، سید محمود ربیعی، فیروز ایرانی ، مجتبی موسوی- یازدهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران ۲۷-۲۹ مهرماه ۱۳۸۹ - دانشگاه تبریز

7- Pressure dependence of the melting temperature of aluminum Yong Zou and Li-rong Chen - Department of Physics, Anhui Normal University, Wuhu 241000, P.R. China

8- Effect of sintering parameters on The Mechanical And PHysical Proper Ties Of Sinter Formed Materials-Ahmad Al-Tounsi- Collaborating Establishment: Harris Ireland, Dundalk-Ireland- August 1992

## The effect of press pressure on the melting point of compressed aluminum powder

S. Moghimi<sup>1</sup>, N. Farahbakhsh<sup>2</sup>, S. A. Sajjadi<sup>3</sup>

Dept. of Materials Science and engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

E-mail: nnfarahbakhsh@gmail.com

### Abstract

One of the important problems in powder metallurgy is to determine the time of sintering temperature or melting of materials and the time required to perform the reaction. They depend on several factors including the amount of the pressure applied in the step of preparation of raw compressed sample. So, in this study, the effect of the press pressure on the melting point of the compacted samples prepared from aluminum powder was studied. The used sample in the form of cylinders with a diameter of 20 mm and a height of 10 mm, were built by pressing at pressure of 100, 200, 225, 250, and 275 MPa. For making each sample 9 grams of pure aluminum powder was used. The samples were separately placed in a furnace and heated by heating rate of 10°C/s. Temperature-time diagrams were obtained with using a thermocouple installed in the samples and with the help of Data acquisition system. In the next series of experiments 5 samples with the same conditions as the previous test samples were built and separately placed in a furnace under Argon gas at 700°C. Time to melting temperature was measured by a chronometer. The samples were examined with light and electron microscopy to determine their melting and sintering behavior. The results of the first series of experiments showed that with increasing pressing pressure, melting duration was reduced. Examination of the temperature-time diagram showed reducing of melting point with increasing press pressure.

**Keywords:** Powder metallurgy, aluminum, pressing pressure, melting point, microstructure.