

بررسی تاثیر افزودن پودر قلع به پودر فولاد ST316L در قابلیت تف جوشی و ریزساختار فیلترهای فولادی

علی کفلو^{*۱}، سید محمد زهرائی^۱

^۱پژوهشکده مواد پیشرفته و انرژیهای نو، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۸/۰۸/۰۶

چکیده از جمله استفاده فرآیند متالورژی پودر، ساخت فیلترهای فلزی و نیز فیلترهای فولادی است و همان‌طور که از نام آنها پیدا است اینها قطعاتی متخلخل هستند. فیلترها در حوزه‌های مختلف صنایع متالورژی، شیمیایی، داروسازی، فضایی و هوایی کاربرد های وسیعی دارند. در این تحقیق، نمونه‌هایی متخلخل از پودری از فولاد ۳۱۶L طی فرآیند متالورژی پودر تهیه شدند. پودر فولادی ۳۱۶L به صورت خالص و هم‌چنین ترکیب شده با درصد معینی از پودر قلع (Sn) به منظور تهیه نمونه‌های آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است. سپس با اسپری نمودن استنارات روی به عنوان روانساز روی سطوح قالب و سنبه‌ها، مخلوط‌های حاصل در قالب صلبی و در چهار فشار مختلف ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ مگا-پاسکال فشرده شدند. خشته‌های خام به دست آمده در اتمسفر خلأ در دمای ۱۳۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه تف جوشی شدند. نمونه‌ها در کوره تحت خلأ سرد شده و سپس، چگالی آنها اندازه‌گیری و مورد بررسی ریزساختاری و آنالیز شیمیایی توسط میکروسکوپ نوری و رویشی الکترونی قرار گرفتند. با اندازه‌گیری چگالی نمونه‌های تف جوشی شده ملاحظه شد که تخلخل نمونه‌ها از ۳۸-۴۶ درصد می‌باشد.

کلمات کلیدی: فیلتر، فیلترهای فولادی، قطعات متخلخل.

The Effect of Adding Sn powder to ST316L Powder on Sinter Ability and Microstructure of Steel Filters

A. Kafloo^{*1}, S. M. Zahraei¹

¹Department of advanced materials and new energy, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Abstract In this study, porous samples of 316L were prepared by aqueous atomizing during powder metallurgy process. Pure 316L powder, as well as mixed with a certain percentage of Sn powder has been used to prepare the test specimens, Then, by spraying zinc stearate as a lubricant on the mold surfaces and punches, the mixtures were pressed into a rigid mold at four different pressures of 300, 350, 400 and 450 MPa. The green bulk were sintered in vacuum atmosphere at 1320 ° C for 60 min. The samples were cooled in the furnace and their densities were measured and then microstructural and chemical analysis was performed by light microscopy and scanning electron microscopy. Measuring the density of the sintered samples showed that the porosity of the samples was from 38% to 46%

Keywords: Filter, Steel Filters, Porous Parts.

۱- مقدمه

راندمان بالاتر و بهتری می‌باشند. استفاده از پودرهایی با شکل ذرات نامنظم به مقدار قابل ملاحظه‌ای محدوده خواص فیلترها را گسترش می‌دهد، زیرا تخلخل‌های موجود در آنها دارای ابعاد متفاوت‌تر و غیریکنواخت‌تر از نظر شکل می‌باشند [۹].

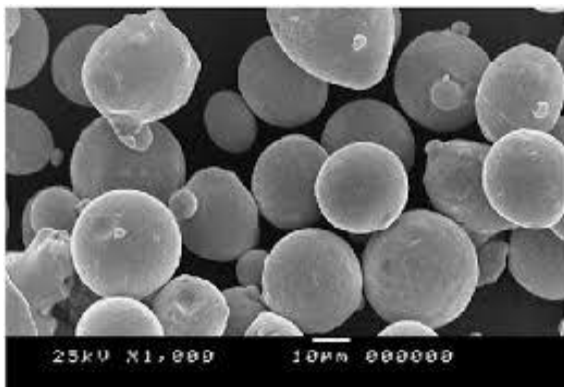
چگالی خسته خام، دما و زمان تف‌جوشی عناصر آلیاژی افزوده شده به پودر و اندازه ذرات اولیه پودر از عوامل متغیرهایی هستند که تخلخل فیلترها را کنترل می‌نمایند [۸]. البته اندازه تخلخل‌ها، توزیع آنها، شکل و مورفولوژی تخلخل بر روی رفتار و خواص مکانیکی فیلترها تاثیر می‌گذارند [۱۰-۱۱].

مشخصات یک فیلتر خوب، توزیع یکنواخت و مناسب تخلخل در سرتاسر قطعه، تراوایی و قابلیت عبوردهی بالا برای یک اندازه و تخلخل مشخص، خواص مکانیکی و استحکام بالا می‌باشد. از لحاظ کاربردی باید به راحتی و خوبی تمیز و دوباره استفاده شود. علاوه بر این یک فیلتر ایده‌آل دارای خواص و مشخصات مقاومت به خوردگی بالا است [۱۱-۱۲].

در این پژوهش، تاثیر افزودن پودر قلع به پودر فولاد SS316L در قابلیت تف‌جوشی و ساخت این نوع فیلترها و همچنین تاثیر آن بر ریزساختار حاصل مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

پودرهای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از پودر فولاد 316L تهیه شده به روش افشانش آبی ساخت شرکت DAIDI Steel با ذرات کروی (شکل ۱) با D_{50} حدود $80 \mu m$ می‌باشد. آنالیز ترکیب شیمیائی آن نیز در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. تصویر میکروسکوپ SEM از ذرات پودر فولاد 316L

فرآیند متالورژی پودر در مقایسه با سایر فرآیندهای شکل‌دهی نظیر آهنگری، تراشکاری و ریخته‌گری مزایای بسیاری دارد. از جمله مزایای آن تهیه قطعاتی است که به‌طور قطع و مسلم نمی‌توان با سایر روش‌ها تهیه نمود و از جمله می‌توان به تهیه و ساخت قطعات متخلخل با این روش اشاره کرد [۱]. از مزیت‌های بسیار مهم فرآیند متالورژی پودر تهیه قطعات متخلخل با درصد معین و مشخص تخلخل و نیز با اندازه و توزیع کنترل شده تخلخل‌ها در قطعه است که با هیچ‌کدام از روش‌های دیگر شکل‌دهی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

فرآیند متالورژی پودر روشی بسیار کارآمد در ساخت قطعات متخلخل مانند فیلترهای فلزی و نیز فیلترهای فولادی می‌باشد. فیلترها در حوزه‌های مختلف صنایع متالورژی، شیمیایی، داروسازی، و هوا-فضا مورد استفاده وسیع دارند. برای جداسازی مایعات/ جامدات و در محیط‌های گازی بهترین کارائی را دارند [۲-۳].

استفاده از فرآیند متالورژی پودر برای ساخت قطعات فولادی از سال‌های ۱۹۶۰ میلادی در آمریکای شمالی شروع شد [۴]. به‌طور معمول برای تهیه و ساخت فیلترهای فولادی از پودر فولاد تهیه شده به روش افشانش آبی استفاده می‌شود که این پودرها در حالت کلی دارای ذرات کروی شکل هستند. مزیت فیلترهای فولادی در مقابل با فیلترهای غیرفلزی را می‌توان استفاده آنها در دماهای بالا، استحکام بالاتر، انعطاف‌پذیری و هدایت حرارتی بیشتر، مقاومت بهتر در مقابل شوک‌های حرارتی و مقاومت به خوردگی خوب آنها برشمرد. همچنین از دیگر مزیت این نوع فیلترها قابلیت استفاده مجدد و چندین مرتبه‌ای پس از هر بار تمیز نمودن آنها است [۵-۶].

به‌طور معمول مقدار تخلخل در فیلترهای فولادی ۲۰ تا ۷۰٪ با میانگین اندازه تخلخل از ۱ تا ۱۶۵ میکرون ذکر شده است [۷]. اگر چه استفاده از پودرهای فولادی با ذرات کروی-شکل در مقایسه با پودرهای ذرات نامنظم و بی‌شکل، استحکام کمتر خسته خام آنها است، لیکن برای تهیه بسیاری از فیلترها ایده‌آل و مناسب هستند [۸]. مزیت استفاده از پودرهای کروی-شکل در یکنواختی تخلخل حاصل در قطعه و سطوح صاف‌تر تخلخل‌ها می‌باشد. این نوع فیلترها در هنگام فیلتراسیون، دارای

جدول ۱. ترکیب شیمیایی پودر 316L بر حسب درصد وزنی.

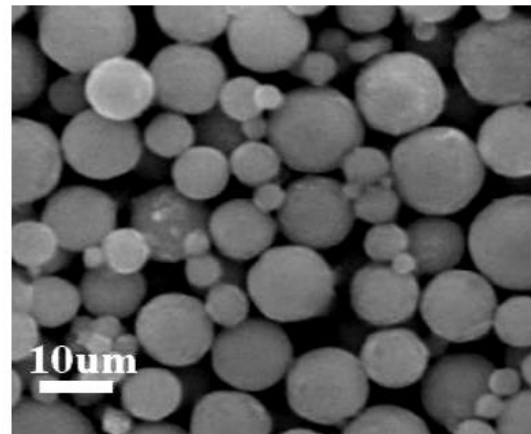
عصر	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe
درصد وزنی	۰٫۰۲	۰٫۲۵	۱۵	۲٫۵	۱۲٫۵	بالانس

پودر قلع به کار رفته در این تحقیق از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شد. همان طور که در شکل ۲ دیده می شود این پودر به صورت ذرات کروی با D_{50} حدود ۲۹ μm می باشد. آنالیز شیمیائی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲. درصد پودرهای فولاد 316L و قلع و فشار وارده به آنها جهت تهیه نمونه های فشرده شده.

ردیف	کد نمونه	فشار (MPa)	قلع (%)	پودر 316L (%)
۱	۰-۳۰۰	۳۰۰	۰	۱۰۰
۲	۰-۳۵۰	۳۵۰	۰	۱۰۰
۳	۰-۴۰۰	۴۰۰	۰	۱۰۰
۴	۰-۴۵۰	۴۵۰	۰	۱۰۰
۵	۲-۳۰۰	۳۰۰	۲	۹۸
۶	۲-۳۵۰	۳۵۰	۲	۹۸
۷	۲-۴۰۰	۴۰۰	۲	۹۸
۸	۲-۴۵۰	۴۵۰	۲	۹۸

شکل ۲. تصویر میکروسکوپی SEM از ذرات پودر قلع. $10\mu\text{m}$



جدول ۱. ترکیب شیمیایی پودر قلع بر حسب درصد وزنی.

عصر	Sn	Pb	S	As
wt%	>۹۹٫۹۵	<۰٫۰۰۳	<۰٫۰۰۱	<۰٫۰۰۲
عصر	Fe	Cu	Bi	Sb
wt%	<۰٫۰۰۳	<۰٫۰۰۱	<۰٫۰۰۲	<۰٫۰۰۱

آزمون ها به منظور بررسی اثر عنصر قلع در یک دمای تف جوشی ثابت، طراحی و انجام پذیرفت. برای تولید نمونه های مورد نظر با توجه به حجم قالب صلبی که برای پرس کاری در نظر گرفته شده بود آلیاژی با ترکیب شیمیایی نشان داده شده در جدول ۲ با کدهای مشخص، تهیه شد.

برای تهیه نمونه های آلیاژی، پودر فولاد 316L و پودر قلع در یک مخلوط کن دو سر مخروطی تا یک سوم حجم مخلوط کن پودر ریخته شد و سپس مخلوط کردن با سرعت ۴۵ rpm برای مدت ۱۵ دقیقه انجام گردید.

ابتدا قبل از ریختن پودر در داخل قالب، جداره داخلی قالب و سطوح سنبه های بالایی و پایینی به روانساز استنارات روی آغشته شدند. نمونه پودرهای مورد نظر به ترتیب به داخل

۳- نتایج و بحث

۳-۱- چگالی نمونه های خام و تف جوشی شده

جهت محاسبه و تعیین چگالی نمونه ها پس از آماده

نمونه های خشته خام و تف جوشی شده، توزین و چگالی خام و تف جوشی شده آنها با دقت 0.1 gr/cm^3 تعیین و محاسبه گردید. سپس چگالی نسبی نمونه ها محاسبه شد.

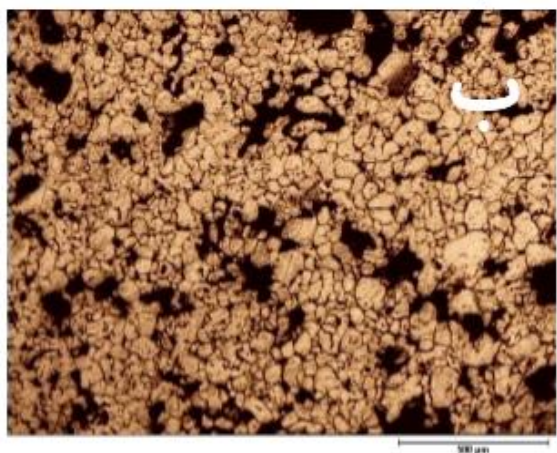
جهت بررسی های ریزساختاری در ابتدا نمونه ها عمود بر جهت فشار مقطع زده شدند. سپس عملیات مانت، سنباده زنی و پولیش انجام گرفت. در نهایت نمونه ها با محلول گلیسیریل ($10 \text{ mL HNO}_3 + 15 \text{ mL HCl} + 35 \text{ mL}$ glycerol) حکاکی شده و ریزساختار مقاطع به وسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی بررسی گردیدند.

جدول ۴. چگالی نمونه‌های تف جوشی شده 316 L - 2wt.%Sn و 316 L در مقادیر مختلف فشردن.

نمونه / فشار MPa	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰
چگالی نمونه 316 L (gr/cm ³)	۴,۶۷	۴,۷۱	۵,۰۳	۵,۰۹
چگالی نسبی نمونه 316 L (%)	۵۸,۳۸	۵۸,۸۹	۶۳,۸۸	۶۳,۶۳
چگالی نمونه 316 L - 2wt.%Sn (gr/cm ³)	۴,۳۸	۴,۵۹	۴,۷۴	۴,۹۵
چگالی نسبی نمونه 316 L - 2wt.%Sn (%)	۵۴,۸۸	۵۷,۵۲	۵۹,۹۴	۶۲,۰۳

۳-۲- بررسی های ریزساختاری

تصاویر ریزساختار نمونه‌های مختلف قلع‌دار و بدون قلع که با میکروسکوپ نوری تهیه شده است در شکل آمده است.



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ نوری 316 L (الف) بدون و (ب) 2wt.%Sn تهیه شده در فشار 450 MPa و تف جوشی در دمای C ۱۳۲۰ به مدت ۶۰ دقیقه.

شدن آنها، خسته‌های خام و تف جوشی شده توزین و سپس ابعاد آنها اندازه‌گیری شدند. در جدول ۳ چگالی خسته‌های خام 316 L و 316 L - 2wt.%Sn که در فشارهای مختلف پرس‌کاری شده‌اند نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش فشار، چگالی نمونه‌ها افزایش یافته و در مقادیر مختلف فشردن، چگالی نمونه‌های قلع‌دار 316 L - 2wt.%Sn در مقایسه با نمونه‌های بدون قلع (316 L) کمتر است که این امر ناشی از حضور و مخلوط نمودن پودر قلع می‌باشد [۱۳].

جدول ۳. چگالی خسته‌های خام 316 L و 316 L - 2wt.%Sn در مقادیر مختلف فشردن.

نمونه / فشار MPa	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰
چگالی نمونه 316 L (gr/cm ³)	۴,۱۷	۴,۳۴	۴,۳۲	۴,۴۷
چگالی نسبی نمونه 316 L (%)	۵۲,۱۲	۵۴,۲۵	۵۴,۰۰	۵۵,۸۸
چگالی نمونه 316 L - 2wt.%Sn (gr/cm ³)	۴,۰۳	۴,۱۴	۴,۲۱	۴,۲۹
چگالی نسبی نمونه 316 L - 2wt.%Sn (%)	۵۰,۵۰	۵۱,۸۸	۵۲,۷۶	۵۳,۷۶

هم‌چنین در جدول ۴ چگالی نمونه‌های تف جوشی شده 316 L و 316 L - 2wt.%Sn که در فشارهای مختلف پرس‌کاری شده‌اند ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود چگالی نمونه‌های قلع‌دار 316 L - 2wt.%Sn در مقایسه با چگالی نمونه‌های بدون قلع (316L) کمتر است که این امر را در نمونه‌های قلع‌دار می‌توان با توجه به ریزساختار حاصل از انبساط اندازه حفره‌ها در حین فرآیند تف جوشی و در هنگام سرد نمودن برشمرد که در ادامه بحث توضیح بیشتری داده شده است. هم‌چنین با مقایسه نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که به‌طور کلی چگالی نمونه‌های تف جوشی شده در مقایسه با نمونه‌های خام (خسته خام) افزایش یافته‌اند.

جدول ۶. نتایج کمی مربوط به آنالیز نقطه A (بر روی دانه).

Elt	Line	Int	Error	W%	A%
Cr	Ka	۶۱۳	۰/۷۵۸۶	۱۴/۲۱	۱۵/۵۰
Fe	Ka	۱۹۲/۰	۰/۷۵۸۶	۷۳/۵۰	۷۴/۶۵
Ni	Ka	۱۱/۳	۰/۷۵۸۶	۷/۰۷	۶/۸۳
Mo	La	۱۶/۰	۰/۵۷۴۳	۴/۶۵	۲/۷۵
Sn	La	۱/۶	۰/۵۷۴۳	۰/۵۷	۰/۲۷
				۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

این آنالیز نقطه‌ای اگرچه کمیت عناصر فقط در یک نقطه مشخصی را به دست می دهد، لیکن به طور کلی می توان نتیجه گرفت که ذرات (A) غنی از عناصر کروم، مولیبدن، نیکل، آهن و فقیر از قلع بوده در حالی که نقطه (B) غنی از قلع می باشد.

برای بررسی حضور قلع و تاثیر آن بر خواص فیلتر متخلخل، از نمونه قلع دار آنالیز طیف سنجی نشر خطی EDS Line Scanning^۲ گرفته شد. نتایج آنالیز منطقه‌ای از نمونه که تحت بررسی قرار گرفته در شکل ۴ آمده است. مشاهده می شود که بخاطر مخلوط سازی خوب و ایده آل قلع در سرتاسر نمونه وجود دارد که در هنگام تف جوشی ذوب و حوضچه های از مذاب در میان دانه های فولاد تشکیل داده و به تف جوشی نمونه کمک می کند.

جدول ۷. نتایج کمی مربوط به آنالیز نقطه B (حفره).

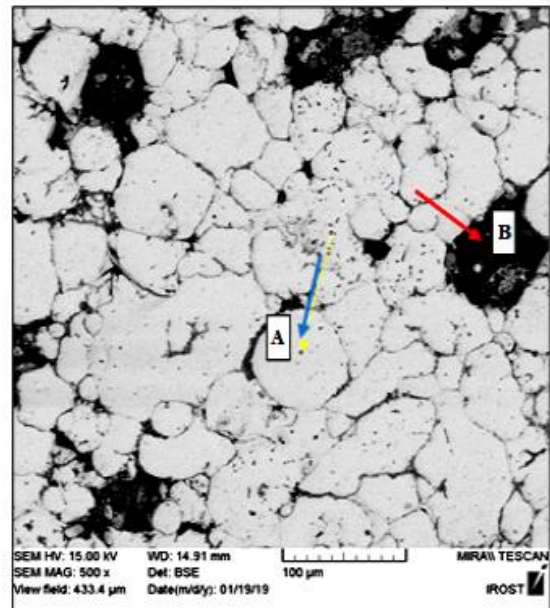
Elt	Line	Int	Error	W%	A%
Cr	Ka	۶۷/۴	۰/۸۵۶۴	۱۳/۶۰	۱۴/۹۸
Fe	Ka	۲۲۲/۷	۰/۸۵۶۴	۷۳/۷۴	۷۵/۶۱
Ni	Ka	۱۰/۳	۰/۸۵۶۴	۵/۵۴	۵/۴۱
Mo	La	۱۹/۹	۰/۵۷۲۳	۴/۹۸	۲/۹۸
Sn	La	۶/۹	۰/۵۷۲۳	۲/۱۳	۱/۰۳
				۱۰۰/۰۰	۱۴/۹۸

قلع مایع همچون مسیری برای تبادل و جابجایی اتم ها شده و موجب سرعت بخشیدن نفوذ اتمی می شود. حضور قلع مذاب باعث انحلال نیکل موجود در ترکیب، شده و پس از اشباع مذاب قلع از نیکل در هنگام سرد نمودن مقدار مازاد پس زده شده (خارج شده) و دوباره بر روی ذرات پودر فولاد رسوب می نمایند.

همان طور که مشاهده می شود اضافه نمودن قلع به نمونه فولادی 316 L منجر به افزایش تخلخل و نیز افزایش اندازه تخلخل ها در نمونه ها شده است. همچنین، حضور قلع در نمونه که با مخلوط سازی خوب و ایده آل به دست آمده به نحوی که در سرتاسر نمونه حضور دارد موجب شده است تا به اندازه قابل ملاحظه ای دانه های ریز کمتر شده و دانه های موجود در ریزساختار گرد و مدور و نیز درشت تر شوند. البته علت و سازوکار این پدیده در ادامه ضمن ارائه آنالیز شیمیایی نمونه ها به طور مشروح تری توضیح داده شده است.

۳-۳- آنالیز شیمیایی با استفاده از طیف سنجی انرژی^۱

در شکل ۳ تصویر SEM از سطح مقطع نمونه 316 L+2wt%.Sn که با اعمال فشار ۴۵۰MPa در حالت تف جوشی شده تهیه شده مشاهده می گردد.

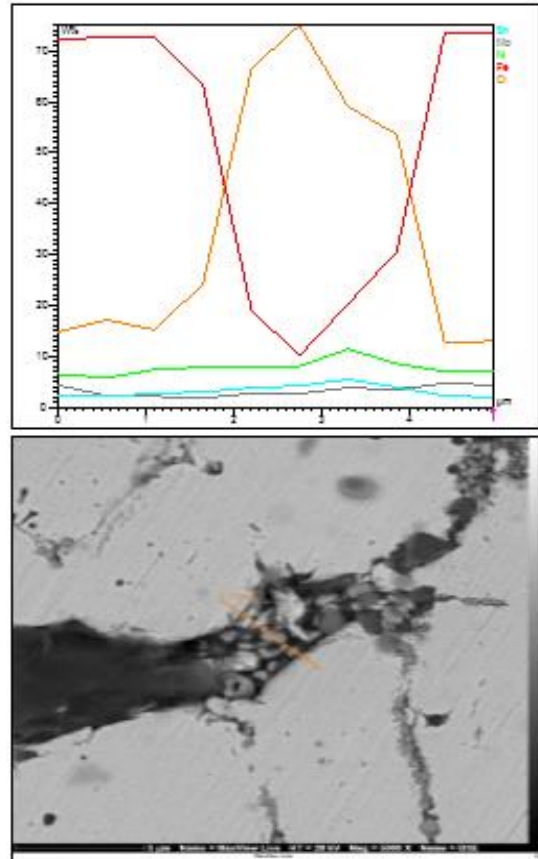
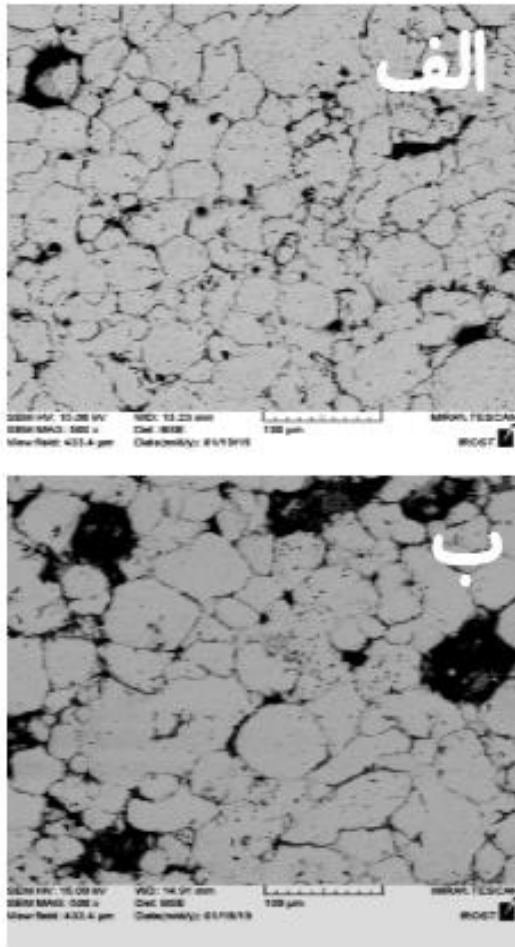


شکل ۳. تصویر SEM از سطح مقطع نمونه 316 L+2wt%.Sn با اعمال ۴۵۰MPa و تف جوشی شده.

آنالیز شیمیایی نقاط A (بر روی دانه و ذره پودر فولاد) و B (حفره) موجود در شکل ۳ که با استفاده از EDS بدست آمده به ترتیب در ۶ و ۷ ارائه شده است.

² Energy Dispersive Line Scan Analysis

¹ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)



شکل ۴. مکان استفاده شده در آنالیز EDS Line Scanning و نتایج مربوط به آن برای نمونه 316 L+2wt%.Sn.

شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ الکترونی الف) نمونه 316L و ب) 316 L- 2wt.%Sn تف جوشی شده با فشار ۴۵۰MPa.

۴- نتیجه گیری

با توجه به بررسی چگالی و ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- چگالی نسبی نمونه‌های قلع‌دار در مقایسه با نمونه بدون قلع کمتر می‌باشد به نحوی که از ۱/۶ تا ۳/۵ درصد متغیر هستند.
- ۲- تخلخل موجود در نمونه‌ها در محدوده ۳۸ - ۴۶٪ می‌باشد.
- ۳- افزودن قلع، موجب بهبود قابلیت تف جوشی^۱ نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های بدون قلع گردید.
- ۴- تشکیل مذاب قلع در نمونه‌های قلع‌دار موجب پلايش دانه‌های موجود در ریزساختار می‌گردد، به نحوی که دانه‌های ریز کمتر و هم‌چنین رشد دانه مشاهده می‌شود.

این فرآیند موجب می‌گردد تا در مراحل اولیه آن گوشه‌های تیز ذرات و ذرات کوچکتر در این حوضچه‌های مذاب حل شوند که در نتیجه ذراتی تقریباً مدور حاصل می‌گردد و در هنگام رسوب مجدد بر روی ذرات موجود باعث درشت شدن ذرات می‌شود. نتایج سایر محققین نیز که منتشر نموده‌اند موید این مطلب و ادعا می‌باشد [۱۸]. هم‌چنین مشابهت کامل این پدیده در هنگام تف جوشی در حضور فاز مایع آلیاژهای سنگین تنگستنی اتفاق می‌افتد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به نمونه‌های قلع‌دار و بدون قلع تف جوشی شده با فشار ۴۵۰MPa در شکل ۵ آمده است. بر اساس نتایج SEM می‌توان به خوبی پدیده‌های کاهش ذرات ریز، از بین رفتن گوشه‌های تیز ذرات و هم‌چنین درشت شدن ذرات و نیز افزایش حفرات و افزایش اندازه‌های آنها را در نمونه قلع‌دار در مقایسه با نمونه بدون قلع به وضوح مشاهده و ملاحظه نمود.

¹ Sinterability

۵- در نمونه قلع دار دانه‌های موجود دارای گوشه‌های تیز کمتر و تقریباً به صورت گرد و مدور می‌باشند.

در نمونه‌های قلع دار تخلخل بیشتر و اندازه تخلخل‌ها بزرگتر می‌باشند.

مراجع

1. Rosso, M. Grande, M. A. High density sintered stainless steels with improved properties. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, 21(2), 97-102.
2. Coovattanachai, O., Tosangthum, N., Morakotjinda, M., Yotkaew, T., Daraphan, A., Krataitong, R., Vetayanugul, B., & Tongsri, R. . Performance improvement of P/M 316L by addition of liquid phase forming powder. *Materials Science and Engineering: A*, 2007, 445, 440-445.
3. Erhard Klar, Prasan K. Samal, , Powder Metallurgy Stainless Steels: Processing, Microstructure and Properties *ASM International* , 2007
4. Garcia C., Martína F., Tiedraa, P., García Cambronerob, L. . Pitting corrosion behaviour of PM austenitic stainless steels sintered in nitrogen-hydrogen atmosphere. *Corrosion Science* 2007, 49(4), 1718-1736.
5. R.M. German "Gas Flow Physics in Porous Metal", *Inter. J. Powder Metall. Powder Tech.*, 1979, Vol.15, p23-30.
6. W. Schatt & K, P, Wieters, "Powder Metallurgy", *European Powder Metallurgy Association*, 1997 p346-352, .
7. White I. A., "Stainless Steel Powders- Manufacturing techniques and applications", p90-115.
8. Salak A., "Ferrous Powder Metallurgy", Cambridge International Science Publishing, Cambridge, 1997.
9. N. Chawla, S. Polasik, K.S. Narasimhan, K.K. Chawla, *Inter. J. Powder Metall.* Vol.37, No.49, 2001.
10. . Polasik S.J. Williams J.J. Chawla N, "*Metall. Mater. Trans. A*, 33A,73,2002
11. Tang H.P., "*Rare Metal Material and Engineering*", 26:1, 1997.
12. Padmavathi, C., Upadhyaya, A., & Agrawal, D. . Corrosion behavior of microwave-sintered austenitic stainless steel composites. *Scripta Materialia*, 2007 57(7), 651-654.
13. Verlee, B., Dormal, T., & Lecomte-Beckers, J. Density and porosity control of sintered 316L stainless steel parts produced by additive manufacturing. *Powder Metallurgy*, 2012 55(4), 260-267.
14. "Powder Metal Technologies and Applications", Vol 7, ASM Handbook, 1998, ASM International.
15. Tosangthum N., Muangtong P., Ornmanee Coovattanachail, M et al., . Effects of Tin Powder on Properties of Sintered Stainless Steels, *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2008 Vol.18 No. 1 pp.47-51.