

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## بررسی بازیافت دانه های تغییر شکل یافته (ضایعاتی) حاصل از مصرف پودر جوشکاری زیر پودری

کاوه ارزانی<sup>۱</sup> (مسئول مکاتبات)

[dr\\_kaveh\\_arzani@yahoo.com](mailto:dr_kaveh_arzani@yahoo.com)

امیر حسین حقیقتی<sup>۲</sup>

سید علیرضا میرزا حسینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۱

### چکیده

انسان عصر جدید در فکر و تلاش عملی برای یافتن راه حل های مناسبی است تا بتواند قسمت اعظم ضایعات صنعتی را به جای دور ریختن در آب ها و اقیانوس ها و انباشتن در کویرهای بی سرنشین جهان سوم ، به طریقی مورد مصرف مجدد قرار دهد. ضایعات حاصل از مصرف پودر های جوشکاری زیر پودری نیز یکی از ضایعات صنعتی آلوده کننده محیط زیست است. در این تحقیق سعی شده با کمک دستگاه های تعیین کننده نوع فازها (ایکس ری دیفرانکتومتری  $XRD$ ) ، تعیین کننده ترکیب شیمیایی (ایکس ری فلوروسنس  $XRF$ )، بررسی نوع و شکل فازها (الکترومیکروسکوپ روبشی  $SEM$ )، تعیین کننده آنالیز فازها در ضمن بررسی های الکترومیکروسکوپ روبشی (پراکنده کننده انرژی اشعه ایکس  $EDX$ )، تعیین کننده مقدار کربن و گوگرد (دستگاه اشترولاپن) و با استفاده از روش های آسیاب، جداسازی، فرآوری، فرمولاسیون و زینتسرامیکی روشی برای مصرف مجدد ضایعات جوشکاری زیر پودری یافته شود. طی این تحقیق مشخص گردید که با جداسازی ذرات آهنی افزوده شده ضمن کاربرد به ترکیب پودر، می توان ضایعات حاصل از پودر تغییر شکل یافته را مجدداً جهت ساخت پودر جوشکاری مورد استفاده قرار داده و اثرات زیست محیطی آن را کاهش داد.

۱- استادیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۲- عضو هیات علمی مجتمع آزمایشگاهی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۳- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

## مقدمه

در جوشکاری صنعتی فلزات روش های متعددی وجود دارد که یکی از متداول ترین آن ها روش جوشکاری زیر پودری است که از آن برای متصل نمودن لوله های فلزی بزرگ که در خطوط طولانی انتقال آب، نفت و گاز به کار برده می شود و یا اتصال قطعات بزرگ فلزی استفاده های زیادی می شود. در این روش فلزات تحت پوشش لایه ای از پودر دارای فرمول و دانه بندی خاص به کمک سیم مفتولی شکل الکتروود به هم جوشکاری و متصل می شود.

در روش جوشکاری زیرپودری (تحت اثر عنصری که در پودر جوش وجود دارد) واکنش های الکتروشیمیایی بین فلز مذاب در بستر جوشکاری و پودر تبدیل شده به سرباره مذاب انجام می شود. در این هنگام عناصر لازم برای بستر جوش مذاب در سیم الکتروود و پودر جوشکاری وجود دارد که ضمن فرآیند جوشکاری ذوب گشته و وارد مذاب فلزی بستر جوش می گردد. هم زمان عناصر جانبی فلز مذاب بستر جوش جذب سرباره مذاب می شود.

به این طریق پودر جوشکاری زیر پودری در هنگام کاربرد دارای اثرات الکتریکی، متالوژیکی و فیزیکی متفاوتی است که در این تحقیق فقط فرآیند تولید ضایعات پودر جوشکاری به صورت دانه های تغییر شکل یافته ونحوه فرآوری آن مطالعه شده است.

یکی از ضایعات این روش ایجاد سرباره شیشه مانند پودر جوشکاری بر روی بستر جوش است. این سرباره که به آن گل جوش می گویند حاصل ذوب پودر جوشکاری روی بستر جوش بر اثر قوس ایجاد شده بین فلز مورد جوش و مفتول الکتروود به وجود می آید و به سهم خود اثرات واکنشی بر مذاب فلز دارد.

یکی دیگر از ضایعات مهم این روش تغییر شکل یافتن دانه های تشکیل دهنده پودر در اثر خرد شدن و سائیده شدن پودر جوشکاری ضمن عملیات حمل و نقل و تبدیل شدن آن به پودر دارای ذرات تغییر شکل یافته می باشد. که این پودر تا اندازه زیادی تحت عوامل نفوذ مذاب الکتروود دچار آلودگی ذرات

آهنی می شود. این قسمت پودر ضمن الک شدن از دانه های سالم جدا گشته و به عنوان ضایعات پودر جوشکاری از سیستم خارج می گردد.

به این ترتیب قسمتی از پودر مورد مصرف در فرآیند جوشکاری زیر پودری به صورت پودری خرد شده و تغییر شکل یافته غیر قابل مصرف در می آید و در حالی که محتوی مواد با ارزشی است به صورت زباله در بیابان ها دور ریخته می شود. مواد موجود در این زباله در تماس با آب به صورت محلول های سمی وارد آب های سطحی و زیر زمینی می گردد و باعث تأثیرات نامطلوب بر گیاهان و موجودات زنده می شود. لذا هدف از این بررسی ارایه یک فرآیند بازیافت و مصرف مجدد این ضایعات می باشد تا مواد مفید و گران قیمت به کار رفته در آمیز این پودر مجدداً مصرف شود و باعث آلودگی محیط زیست نگردد.

## ۱- عوامل انتخاب پودر مورد تحقیق

برای انتخاب پودر مناسب عوامل در نظر گرفته شده عبارتند از:

الف) ضایعات تولید شده طی مصرف پودر برای محیط زیست مضر باشد.

ب) مقدار مصرف پودر در اندازه ای باشد که تحقیق در مورد بازیافت ضایعات آن قابل ارزیابی باشد.

ج) بازیافت ضایعات به طریقی باشد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد .

د) فرایند تحقیق در مورد بازیافت و فرمولاسیون های مجدد ضایعات باید خطری برای محققان و محیط زیست ایجاد نکند.

## ۱-۱- انواع پودرهای جوشکاری زیر پودری

پودرهای جوشکاری زیر پودری دارای انواع متفاوت با ترکیبات متفاوتی محتوی اکسیدهای فلزی مثل اکسید منگنز، اکسید سیلیسیم، اکسید تیتانیوم، اکسید کلسیم، اکسید منیزیم و اکسید زیرکونیم و به همراه سایر اکسیدهای فلزی و مواد

### ج- پودرهای آگلومره ایی زینتر شده

مواد اولیه این پودر در اندازه میکرونیزه با به کاربری چسب های معدنی در فرمول آن تهیه می شود و سپس به صورت خمیر به کمک چرخ گردان دارای زاویه به صورت دانه های آگلومره ایی کوچک درمی آید و پس از خشک شدن در کوره دوار در حرارت ۶۰۰-۹۰۰ درجه سانتی گراد زینتر می شود و دانه بندی و توزیع دانه های آن به صورت استاندارد درآورده می شود. این پودرها دارای خواص هر دو نوع قبلی می باشد (۳).

### ۱-۲- گل جوش

در ضمن جوشکاری پودر پوشش دهنده سیم الکتروود و بستر فلز در حال جوش کاری ذوب می شود (شکل ۱) و به علت سبکی روی بستر مذاب فلز قرار گرفته و به صورت یک لایه سرباره این مذاب سرد گشته و ایجاد گل جوش می کند. پودر ذوب شده بر روی بستر محل جوشکاری فلز و الکتروود اثر واکنشی خود را به کار می برد و در طی این عمل عناصر آلیاژی پودر به محل اتصال مذاب فلز نفوذ کرده و همزمان عناصری که حضور آن ها مورد نیاز محل اتصال نیست توسط سرباره پودر مذاب شده جذب می شود (۱ و ۲).

ضمن سرد شدن محل اتصال جوش سرباره تشکیل شده توسط پودر ذوب شده سریعاً به شکل سرباره شیشه ای شکل بر روی بستر جوش سرد و منجمد می گردد (شکل ۱) که بعد از عملیات توسط چکش شکسته شده و از روی بستر جوش برداشته می شود که به این مجموعه سرباره یا گل جوش می گویند (۲ و ۹). گل جوش یکی از ضایعاتی است که فرآوری آن در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است.

افزودنی مانند فلوراید کلسیم می باشد که طی فرایندهای مشخصی باهم آمیخته شده و با دانه بندی استاندارد به مصرف کننده ارایه می شود (۱ و ۲) و به همین دلیل ضایعات حاصل شده از مصرف آن ها نیز دارای انواع متفاوتی است.

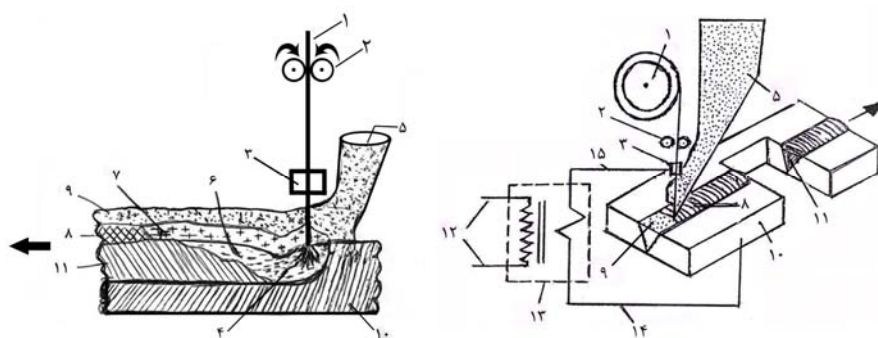
### الف- پودرهایی که به طریقه فرایند ذوبی تولید می شوند

در این روش مواد اولیه فرموله شده پودر و سپس ذوب می شود و مواد ذوب شده در آسیاب خرد گشته، به صورت دانه بندی با توزیع دانه مناسب در آمده و به مصرف کننده ارایه می شود. ترکیب این پودر بسیار همگن است و در مقابل عوامل رطوبت و نم حساسیت ندارد و می توان از آن در جوشکاری زیر پودری با سرعت زیاد استفاده کرد (۳).

### ب- پودر های آگلومره به هم چسبانیده شده زینتر نشده

مواد اولیه این پودر را به صورت میکرو نیزه در می آورند و سپس با چسب سیلیکات سدیم یا سیلیکات پتاسیم مخلوط شده و به صورت تکه های کوچک خشک در می آید و بعد با آسیاب گلوله خرد گشته و با توزیع اندازه دانه مناسب مصرف می شود.

به کارگیری این پودر با توجه به سرعت مصرف و اندازه دانه های آن به علت توانایی جذب رطوبت محدود می باشد. این عیب را می توان تا حدی با اضافه کردن مواد محتوی آلیاژ آهن و عناصر آنتی آکسیدان برطرف نمود. این پودر نسبت به انواع دیگر دارای وزن مخصوص کمتر است و ضمن عملیات ایجاد سرباره ضخیم تری را روی بستر جوش می نماید. این سرباره به راحتی از روی بستر جوش جدا می شود (۳).



شکل ۱- تصویر شماتیک روش جوشکاری زیر پودری

۱- مفتول جوشکاری ، ۲- تغذیه کننده مفتول ، ۳- محل اتصال برق به مفتول ، ۴- قوس الکتریکی بین مفتول و قطعه در حال جوشکاری ، ۵- تغذیه پودر جوشکاری زیر پودری ، ۶- حوضچه مذاب الکتروود و قطعه ، ۷- حوضچه مذاب پودر زیر پودری ، ۸- سرباره یا گل جوش ، ۹- بستر بالایی پودر جوشکاری زیر پودری ، ۱۰- قطعه در حال جوشکاری ، ۱۱- جوش منجمد شده.

ریوی بنام سیدروزیس می کند که بیماری خفیفی است. فرآیند جوشکاری زیرپودری به دلیل پوشش قوس با فلاکس نسبت به سایر روش های جوشکاری دارای خطرات کمتر می باشد و فیوم حاصل یک هشتم سایر روش ها است (۱۲).

### ۳- مطالعات تجربی

#### مشخصات پودر انتخاب شده

با درنظر گرفتن عوامل فوق پودر جوشکاری زیر پودری با نام  $LW 680$  با استاندارد  $DIN-8557-61$  برای مطالعه انتخاب شد، این پودر تولید آلمان است و نمونه مشابه آن نیز توسط کارخانجات داخلی در کشور تولید می شود .

آنالیز مینرالی ( $XRD$ )، (۴) این پودر در جدول ۱ و آنالیز عنصری آن طبق استاندارد در جدول ۲ ارایه گشته است. آنالیز توزیع اندازه ذرات آن بر اساس استاندارد  $DIN 32522$  می باشد. ولیکن آنالیز ( $XRF$ )، (۵) این پودر با اندازه گیری مجدد در جدول ۳ ذکر شده. تصویر الکترومیکروسکوپی ( $SEM$ ) (۶) پودر قبل از کاربرد در شکل ۲ نشان داده شده است.

### ۳-۱- ذرات پودر تغییر شکل یافته و خرد شده

در طی فرایند جوشکاری زیرپودری، پودر مورد مصرف تحت عوامل جابه جا شدن و نقل و انتقالات فرآیند (شکل ۱) دچار تغییر شکل، خرد شدگی و ساییدگی و آلودگی حاصل از مصرف می گردد در نتیجه قسمتی از آن در اندازه های میکرونی خرد گشته و به علت مزاحمت در فرآیند جوشکاری قابل مصرف مجدد نیست.

لذا آن را از پودر درشت دانه جدا کرده و در ردیف ضایعات برطرف شده قرار می دهند، مقدار این پودر به ۱۵٪ وزن کل پودر به کار برده شده در عملیات جوشکاری می رسد.

### ۲- اثرات

ذرات فیوم حاصل از فرآیند جوشکاری بین نیم تا پنج درصد جرم کلی الکتروود می باشد. فیوم تولید شده توسط روپوش الکتروودها شامل: اکسید های آهن و منگنز، فلوراید ها، دی اکسید سیلیس، ترکیبات تیتانیوم، نیکل، کرم، وانادیم، تنگستن، مس، کبالت، سرب و روی می باشد و ترکیبات منگنز در حدود ۱۰-۳ درصد فیوم می رسد (۱۲).

اکسید آهن که بخش اعظم فیوم را تشکیل می دهد. قدرت بیماری زایی خیلی شدید ندارد و فقط تولید ناراحتی

جدول ۱- شناسایی فاز (XRD) پودر جوشکاری زیر پودری LW۶۸۰

نوع پودر						نوع کانی
هاسمنیت	مگنیزیت	فلوریت	پرژیکلاس	کوارتز	آناتاز	
$Mn_3O_4$	$MgCO_3$	$CaF_2$	$MgO$	$SiO_2$	$TiO_2$	
⊕⊕⊕	⊕	⊕⊕	⊕⊕	⊕⊕⊕	⊕	پودر LW ۶۸۰ مصرف نشده

⊕⊕⊕: زیاد ، ⊕⊕: متوسط ، ⊕: کم ، -: خیلی کم

جدول ۲- معرفی درصد عناصر تشکیل دهنده پودر جوشکاری زیر پودری LW ۶۸۰ براساس استاندارد DIN8557-61

(مقدار فلور (F) در این جدول ذکر نشده است).

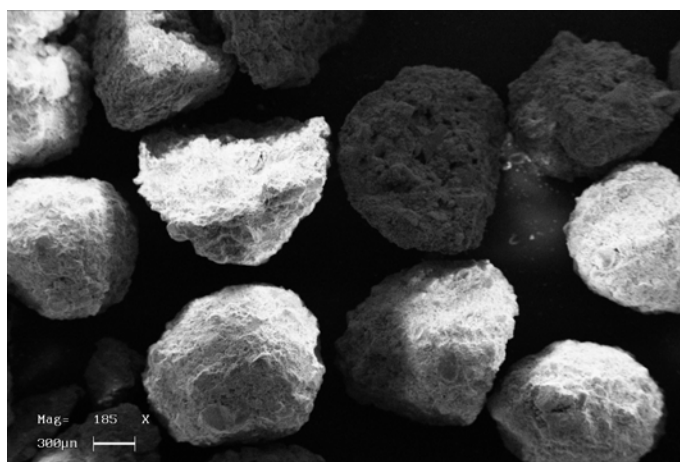
عناصر	$SiO_2+TiO_2$	$CaO+MgO$	$Al_2O_3+MnO$	$K_2O+Na_2O$
درصد	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰

جدول ۳- شناسایی درصد عناصر تشکیل دهنده پودر جوشکاری زیر پودری LW ۶۸۰

براساس تجزیه با اشعه ایکس (XRF).

عناصر	$SiO_2$	$TiO_2$	$CaO$	$MgO$	$Al_2O_3$	$MnO$	$K_2O$	$Na_2O$	$Fe_2O_3$
درصد	۳۲/۷۵	۱۴/۰۰۰	۱۰/۶	۱۹/۴	۱۵/۰۰۰	۵/۰۰۰	۲/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۲۵

حدود ده درصد فلوریت ( $CaF_2$ ) در ترکیب وجود دارد که مقدار فلور (F) آن به علت مشکلات دستگاهی (XRF) ذکر نشده است.



شکل ۲- تصویر الکترومیکروسکوپی (SEM) پودر جوشکاری زیر پودری LW ۶۸۰ تولید شرکت Messer Gries آلمان

مصرف این نوع پودر در کشور حدود ۵۶۰ تن در سال برآورد گشته است در حالی که بنابر مطالعه انجام شده در مورد مصرف آن ضمنی این پژوهش ۸۵٪ ضایعات باقی مانده از آن به صورت گل جوش (سرباره) و بقیه به صورت پودر دفرمه خرد شده در اثر سائیدگی‌ها و عوامل حمل و نقل از سیکل مصرف خارج می‌گردند.

پودر ۶۸۰  $LW$  اکثراً در جوشکاری فولادهای ساختمانی کم آلیاژ و جوشکاری فلزات دیر گداز محتوی کرم ( $Cr$ ) مانند ۱۵  $Cr Mo44$  با استفاده از سیم مفتولی الکترو تپ  $S2CrMo1$  مصرف می‌شود (جدول ۴). محصولات جوشکاری شده با این پودر شامل لوله های بزرگ انتقال آب، نفت و گاز می شود که صدها کیلومتر طول دارند (۷). طبق آمارهای مختلف وزارت بازرگانی (۸) و بر اساس تحقیقات انجام شده

جدول ۴- شناسایی با اشعه ایکس ( $EDX$ ) عناصر تشکیل دهنده سیم مفتول الکترو تپ  $S2Mo1$  مورد مصرف در فرآیند جوشکاری زیر پودری در مقایسه با عناصر تشکیل دهنده ذرات آهن داخل پودر تغییر شکل یافته

درصد عناصر									جسم مورد بررسی
$Fe$	$Nb$	$Mo$	$Cr$	$S$	$P$	$Mn$	$Si$	$C$	
۹۶/۹۱	۰/۲	۰/۵۳	۰/۹	۰/۰۴	۰/۰۱۶	۰/۸	۰/۵۵	۰/۰۸	مفتول الکترو تپ
۹۶/۸۶	۰/۱۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۷	۰/۶	۰/۰۹	ذرات آهنی

شناسایی مقادیر کربن و گوگرد به کمک دستگاه اشترو لاین در جدول ۶ ارایه شده است. به طوری که مشاهده می‌شود درصد عناصر آن نیز با درصد عناصر  $LW 680$  متفاوت است.

ذرات تغییر شکل یافته و خرد شده پودر ۶۸۰  $LW$  ضمن فرآیند مصرف پودر خرد شده با الک از دانه های درشت تر جدا می‌شود. شناسایی عناصر تشکیل دهنده آن در جدول ۵ و

جدول ۵- شناسایی درصد عناصر تشکیل دهنده پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی حاصل از مصرف پودر جوشکاری زیر پودری ۶۸۰  $LW$  براساس شناسایی با اشعه ایکس ( $XRF$ )

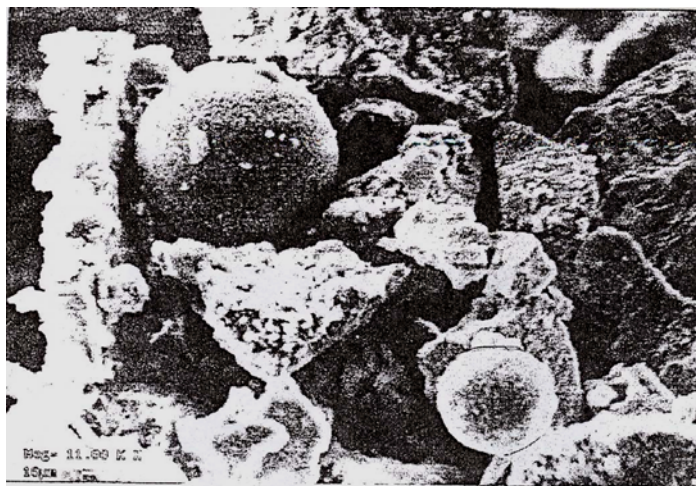
عناصر	$SiO_2$	$TiO_2$	$CaO$	$MgO$	$Al_2O_3$	$MnO$	$K_2O$	$Na_2O$	$Cr_2O_3$	$MoO$	$Nb_2O_3$	$Fe_2O_3$
درصد	۲۰/۰۸	۸/۶۸	۶/۵	۱۱/۸	۹/۲	۳/۰۶	۱/۲۲	۰/۶۱	۰/۵۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۳۸/۱۳

مقدار فلور (F) در مواد فوق به علت مشکلات دستگاهی ( $XRF$ ) ذکر نشده است.

جدول ۶- مقدار کربن و گوگرد موجود در پودر ۶۸۰  $LW$  قبل از مصرف در مقایسه با پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی پس از مصرف بر اساس شناسایی با دستگاه اشترو لاین

درصد عنصر	%C	%S
پودر ۶۸۰ $LW$	۰/۰۶۶۷۴	-
پودر تغییر شکل یافته	۰/۰۷۱۶۳	۰/۰۰۱۴۲

همان طور که توضیح داده شد (۲) در ضمن عملیات الکتروود به قطرات مذاب تبدیل می شود، اندازه قطرات الکتروود وابسته است به شدت جریان، به طوری که در شدت جریان های کم قطرات درشت تر است و می تواند ایجاد مشکل کند، در بعضی مواقع حتی احتمال تماس آن ها با اتمسفر وجود دارد که باعث کم شدن محافظت سرباره می شود و می تواند در روابط تعادلی بین سرباره-گاز و فلز ایجاد اشکال نماید. ذرات کروی شکل آهن به راحتی توسط مگنت از پودر تغییر شکل یافته قابل جدا شدن است. اندازه دانه های پودر  $LW 680$  قبل از تغییر شکل و بعد از تغییر شکل پس از جدا کردن ذرات آهنی از آن در جدول ۷ ارائه شده که نشان دهنده به هم ریختگی شدید توزیع اندازه دانه های آن نسبت به پودر قبل از مصرف است.



شکل ۳- تصویر الکترومیکروسکوپی (SEM) ذرات مذاب مفتول الکتروود که به صورت ذرات کروی در ذرات پودر تغییر شکل یافته پودر جوشکاری زیر پودری پراکنده شده اند.

در بررسی های الکترو میکروسکوپی (شکل ۳) ذرات کروی همراه ذرات پودر شده مشاهده می شود که بر اساس آنالیز ضمن الکترومیکروسکوپی (EDX)، (۶). جدول ۴ و آنالیز توزیع عناصر (MAP)، شکل ۴ ذرات کروی متعلق به سیم مفتول جوشکاری، داری عنصرهای تشکیل دهنده مندرج در جدول ۴ می باشد.

علت به وجود آمدن این ذرات، تبدیل سیم مفتول الکتروود به میلیون ها ذره مذاب در طی فرایند جوشکاری است که تعداد زیادی از آن ها به داخل پودر جوشکاری پوشش دهنده مفتول الکتروود پرتاب گشته و در آن جا منجمد شده است. اندازه این ذرات کروی آهن بین ۱۰ ، ۲۵۰ میکرو متر است که بیشتر آن ها در زیر اندازه های ۱۰۰ میکرو متر می باشد و در مجموع ۲۵٪ وزن پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی را تشکیل می دهد.

#### طریقه اول

تولید پودر جوشکاری زیر پودری جدید از طریق ذوبی، برای این کار اول پودر تغییر شکل یافته با مگنت قوی آهن زدایی و سپس در کوره قوس الکتریکی آزمایشگاهی ذوب شد و مواد حاصل اول به کمک آسیاب فکی و سپس با آسیاب مخروطی خرد گردید. دانه های به دست آمده در بالمیل گلوله ای طی ۴ ساعت گردش به شکل دانه های تقریباً کروی مطابق شکل ۵ در آمد و سپس توزیع دانه بندی آن بر اساس استاندارد

#### ۴- بررسی چگونگی بازیافت ذرات پودر تغییر شکل یافته

علی رغم فقدان منابع تحقیقاتی موثق در مورد فرآوری ضایعات جوشکاری زیر پودری روش های معقولی برای فرآوری آن ابداع شد. لذا طبق تحقیق چون این پودر پس از جدایی ذرات آهن آلوده کننده از آن، از نظر آنالیز فرقی با پودر اصلی  $LW 680$  نداشت، بهترین طریقه مصرف مجدد آن در تولید پودر جوشکاری  $LW 680$  برآورد شد. برای این هدف دو طریقه پیشنهاد می گردد.

زمان ۴ ساعت برای تشکیل فازهای مشابه  $LW ۶۸۰$  مناسب تشخیص داده شد.

مواد اولیه استفاده شده در این تحقیق در مجموع دارای عناصر مندرج در جدول ۸ بوده و از کانی‌های زیر تشکیل شده است.

- کائولن (*Kaolin*) معادل زنوز و گناباد جهت تأمین مقدار  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  و چسبندگی مورد نیاز فرمول

- برونیت (*Braunit*) معدن قم جهت تأمین ( $MnO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ )

- ایلمنیت (*Ilmenit*) معدن کهنوج جهت تأمین ( $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ )

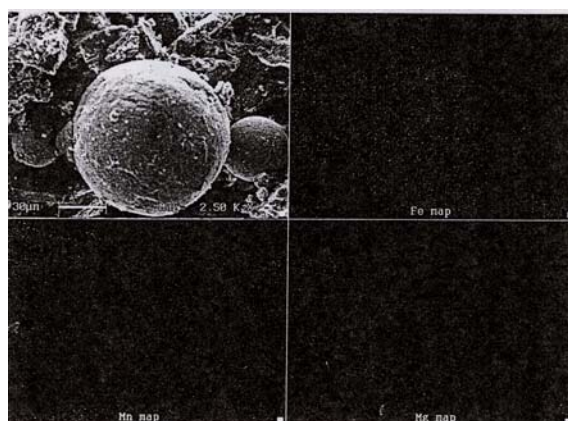
- فلورین (*Flurin*) معدن گناباد جهت تأمین ( $CaF_2$ )

- سنگ مرمر (*Marmor*) معدن ازنا جهت تأمین ( $CaO$ )

- سنگ مگنیزیت (*Magnesit*) معدن سربیشه بیرجند جهت تأمین ( $MgO$ )

- بالکلی (*Balclay*) معدن دهبید طبس جهت تأمین ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ) و ایجاد چسبندگی مورد نیاز

- روتیل (*Rutil*) خارجی جهت تأمین ( $TiO_2$ ) به عنوان مواد پایدار سازنده قوس الکتریکی و اکسیژن زدا

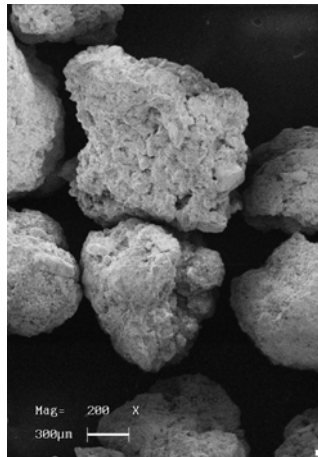


شکل ۴- شناسایی توزیع عناصر ذرات  $Fe, Mg, Mn$  ( $MAP$ ) ذرات کروی موجود در پودر تغییر شکل یافته  $LW ۶۸۰$  بادستگاه الکترومیکروسکوپ روبشی ( $SEM$ ).

$DIN 32522$  مناسب مصرف در جوشکاری زیرپودر تنظیم شد. لازم به ذکر است که شناسایی فاز (XRD) پودر حاصل حالت آمورف دارد. پودر فوق با استفاده از مفتول جوشکاری  $S2CrMo1$  در جوشکاری قطعات فولادی  $St 37$  آزمایش شد. بررسی ساده شکل ظاهری محل جوش خوب و تنش ( $\sigma$ ) حداکثر آن در حد درجه  $A$ ،  $۵۱۰ N/mm^2$  (۹) برآورد گردید. در بررسی کیفیت جوش به طور ساده بنا به اطلاعات کسب شده از (۲) شکاف جوش کاملاً پر بود، سطح جوش بدون موج و صاف بود، ترکیب‌گی در جوش یا شکاف در منطقه مجاور آن مشاهده نشد، در سطح جوش تخلخل و مک مشاهده نشد، سوختگی یا بریدگی در کنار آن وجود نداشت، صدای آن زنگ دار و سالم بود، روی آن با رنگ سفید محلول در آب کشیده شد. پس از پاک کردن اثری از ترک یا حفره قابل ذکر مشاهده نشد.

#### طریقه دوم

در روش دوم بررسی، تولید پودر جوشکاری زیر پودری جدید، مشابه پودرهای زینتر شده مورد تحقیق قرار گرفت. جهت ساخت پودر نمونه مورد نظر پودر ضایعاتی تغییر شکل یافته با آمیزی از مواد اولیه معدنی مخلوط شد. آمیز مواد اولیه معدنی همراه ناخالصی‌های موجود در آن‌ها طوری تنظیم شد که وظیفه چسبانند ذرات پودر به هم را انجام دهد. عناصر تشکیل دهنده مواد اولیه یاد شده در جدول ۸ و ترکیب فازهای ایجاد شده آمیز نهایی پس از زینتر در جدول ۹ ارایه شده است که نشان دهنده مشابهت آن با ترکیب عنصری (جدول ۳) و فاز (جدول ۱)  $LW ۶۸۰$  هست. لازم به ذکر است ضمن تحقیق، آمیز مواد اولیه معدنی در حرارت‌های  $۷۰۰ - ۱۱۵۰$  درجه سانتی گراد طی زمان‌های مختلف زینتر گردید و نوع فازهای به وجود آمده با فازهای تشکیل دهنده پودر  $LW ۶۸۰$  مقایسه گشت. در نهایت حرارت  $۱۰۵۰$  درجه سانتی گراد و



شکل ۵- تصویر الکترومیکروسکوپی (SEM) دانه های فرآوری شده

از طریق ذوب ذرات پودر تغییر شکل یافته LW 680

جدول ۷- اندازه دانه های استاندارد و دانه های عبوری از الک و درصد آن ها در پودر LW 680 در مقایسه با اندازه دانه

پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی

مش	۲۵۰	۱۷۱	۱۱۵	۱۰۰	۶۰	۴۲	۳۲	۲۴	۱۴	۱۲
طبق پودر استاندارد <i>DIN 32522</i>	۱/۵	۰/۶	۶/۳	۱۵/۵	۳۱	۲۳	۱۳	۵/۵	۱/۲۰	۲/۵۰
پودر LW 680	۱/۲۱	۰/۶۲	۶/۲۱	۱۵/۳۶	۳۱	۲۳/۱	۱۳/۳	۵/۴	۱/۳	۲/۵
پودر تغییر شکل یافته	۵/۹۹	۴/۳۸	۴۱/۶۶	۴۶/۶۴	۰/۲۵	۰/۳	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۰۴

جدول ۸- شناسایی عنصری (XRF) عناصر تشکیل دهنده مخلوط مواد اولیه معدنی که به عنوان تکمیل کننده آمیز و

چسب معدنی جهت ایجاد گرانول پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی به کار برده شده است.

اکسید	$SiO_2$	$TiO_2$	$MgO$	$CaO$	$MnO$	$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$	$Fe_2O_3$	$Nb_2O_3$
درصد	۳۲/۱۸	۱۳/۴۰	۲۰/۵۳	۱۰/۶۳	۴/۹	۱۶/۹۲	۲/۳۰	۱/۴۱	۰/۳۳	۰/۰۱

توضیح: در این مخلوط مقدار ده درصد کانی فلوریت ( $CaF_2$ ) مصرف شده که به علت مشکلات دستگاهی XRF مقدار فلور ( $F$ ) آن در

این شناسایی مصرفی نشده است.

حرارت ۱۰۴ درجه سانتی گراد خشک شدند و دانه های مابین ۳۰۰ الی ۶۰۰ میکرومتر آن به کمک الک جدا شد و اندازه توزیع دانه را بر اساس استاندارد *DIN 32522* تنظیم گشت. سپس در حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت زینتر شد. شکل ۶ نشان دهنده تصویر الکترومیکروسکوپی این

در جهت ایجاد آمیز نهایی ۸۰٪ وزنی از پودر تغییر شکل یافته با ۲۰٪ وزنی آمیز اولیه معدنی مخلوط گشت و آمیز حاصل شده با ۱۵٪ وزنی آب خوب مخلوط و همگن شد، سپس مواد مرطوب ایجاد شده به کمک میز دوار تحت زاویه خاصی به صورت گرانول های کوچک درآمدند و به مدت ۴ ساعت در

پودر آماده است. شناسایی فازی این پودر (جدول ۹) در مقایسه با پودر  $LW\ 680$  در (جدول ۱) ارایه گشته است.



شکل ۶- تصویر الکترومیکروسکوپی (SEM) گرانول های فرآوری شده پودر جوشکاری زیر پودری جدید، با استفاده از ۸۰٪ پودر تغییر شکل یافته  $LW\ 680$  و ۲۰٪ مواد اولیه معدنی به عنوان چسب

جدول ۹- شناسایی فازی (XRD) آمیز نهایی زینتر شده (پودر مشابه سازی شده)

نوع کانی						نوع پودر
آناناز $TiO_2$	کوارتز $SiO_2$	پرژیکلاس $MgO$	فلوریت $CaF_2$	مگنیزیت $MgCO_3$	هاسمنیت $Mn_3O_4$	
⊕	⊕ ⊕	⊕ ⊕	⊕ ⊕	-	⊕ ⊕ ⊕	آمیز نهایی (پودر مشابه سازی) با مخلوط مواد اولیه معدنی

های مورد مصرف در فرآیند جوشکاری زیرپودری بود، لذا پودری انتخاب گشت که از نظر مصرف قابل ملاحظه باشند و ضایعات آن علاوه بر فراوانی دارای اثرات منفی زیست محیطی قابل ملاحظه بوده و بازیافت آن نیز مقرون به صرفه اقتصادی باشد، ضمن این که آمیز ساخته شده جدید با آن برای محققان و مصرف کنندگان ایجاد خطر نکند.

در نتیجه مطالعات میدانی و آمارهای مختلف صنایع

پودر  $LW\ 680$  با استاندارد  $DIN-8557-61$  انتخاب شد، این پودر مصرف زیادی در سطح جهان دارد، میزان مصرف آن سالیانه در کشور بالغ بر ۵۶۰ تن می شود. طی مصرف ۸۵٪ آن به صورت ضایعات گل جوش و ۱۵٪ به صورت ضایعات تغییر

پودر به دست آمده در آزمایشگاه با استفاده از سیم مفتول الکتروود  $S2CrMoI$  (جدول ۴) در جوشکاری فولاد  $37\ St$  مورد آزمایش قرار داده شد، بررسی های اولیه بیانگر کیفیت مناسب خواص مکانیکی جوش ایجاد شده و تحمل تنش ( $\sigma$ ) حداکثر در حدود درجه  $A$ ،  $510\ N/mm^2$  (۹) بود که در مقایسه با پودر جوشکاری  $LW\ 680$  نتیجه خوبی را ارایه داده است.

## ۵- بحث و نتیجه گیری

### ۵-۱- انتخاب نوع پودر ضایعاتی

چون هدف از تحقیق، مطالعه فرآوری ضایعات پودر-

شیشه ای شکل و تقریباً کروی حاصل شد که نسبت به پودر ۶۸۰ LW دارای سیالیت کمتری بود. پودر جدید مطابق دستورالعمل مصرف پودرهای جوشکاری زیر پودری، با استفاده از مفتول جوشکاری S2CrMo1 در جوشکاری فولاد St 37 مورد آزمایش قرار گرفت. کنترل اولیه جوش ایجاد شده بر اساس دستورالعمل های ذکر شده در مراجع انجام شد، در آن دستورالعمل ها مهم ترین نکات قابل ذکر عبارت بودند از: بررسی مقدار تنشی که جوش می تواند تحمل کند، بررسی نحوه پرشدگی حفره جوش، بررسی چگونگی صافی سطح جوش، بررسی وجود تخلخل، مک، ترک در سطح جوش، بررسی صدای محل جوش و بررسی وجود سوختگی یا بریدگی در کناره های محل جوش. کنترل جوش بر اساس دستورالعمل های ذکر شده انجام شد. کنترل فوق نشان داد که محل جوش می تواند  $510 \text{ N/mm}^2$  تنش را تحمل نماید. حفره جوش کاملاً پر شده بود و سطح آن صاف بدون حفره مک یا ترک بود. با میله فولادی به محل جوش ضربه زده شد صدای آن زنگ دار و سالم بود. هیچ سوختگی یا بریدگی در اطراف محل جوش وجود نداشت.

از این روش نتیجه گیری شد که با استفاده از روش ذوب، ساخت دانه های قابل مصرف امکان پذیر است و نتیجه بررسی کلی بنا به اطلاعات کسب شده از مراجع نشان دهنده تعلق پودر فرآوری شده به روش اول به درجه A و قابل مصرف بود. آن در فرآیند جوشکاری زیر پودری بود.

#### روش دوم:

در روش دوم با استفاده از پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی و مواد معدنی به کمک حرارت، پودری مشابه پودر جوشکاری زیر پودری از نوع زینتر شده تهیه و آزمایش گشت. مخلوط های متفاوتی از مواد اولیه مختلف محاسبه و آزمایش شد. سرانجام مخلوط محاسبه شده مشخصی شامل کائولن زنور، کائولن گناباد، بالکلی دهیید طیس، فلورین گناباد، سنگ مرمر اژنا، برونیت قم، ایلمنیت کهنوج، مگنیزیت بیرجند و اکسید تیتان خارجی، توانست آمیز مناسبی را ارائه نماید که از نظر ترکیب عنصری و ترکیب فازی (پس از زینتر) مشابه پودر

شکل یافته پودر جوش از فرآیند مصرف خارج می شود و باید به صورت ضایعات دفع گردد. حضور عناصر گران قیمت و قابل ترکیب مجدد با آب های سطحی مثل فلور، تیتان، آهن، کرم، منگان، پتاسیم، سدیم و ناپدید می تواند باعث ایجاد ترکیبات سمی با آب های سطحی شده و وارد گردش آب زیر زمینی و ایجاد ضایعات زیست محیطی شود.

#### ۵-۲- فرآیند فرآوری

علی رغم فقدان منابع تحقیقاتی موثق در مورد بازیافت پودرهای جوشکاری توجه شد که پس از آهن زدایی از پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی، پودر به همان ترکیب قبل از تغییر شکل یافتن می رسد. در این شرایط اگر بتوانیم آن را به شکل و اندازه گرانول های پودر قابل مصرف در آوری، مسلماً قابل مصرف مجدد در فرآیند جوشکاری زیرپودری خواهد شد. لذا برای فرآوری پودر ضایعاتی تغییر شکل یافته دو روش پیشنهاد گردید.

در روش اول پودر تغییر شکل یافته از طریق ذوبی مشابه پودر تولید شده از طریق ذوبی مصرف در فرآیند جوشکاری زیرپودری در آمد و مورد آزمایش کاربردی قرار گرفت. در روش دوم پودر تغییر شکل یافته به کمک آمیزی از چند ماده اولیه معدنی، به کمک حرارت، به صورت مشابه پودرهای تولید شده از طریق زینتر در آمد و مورد آزمایش کاربردی قرار گرفت.

#### روش اول:

پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی با مگنت قوی آهن زدایی شد و سپس به کمک کوره قوس الکتریکی آزمایشگاهی ذوب گشت، مذاب پس از سرد شدن با آسیاب فکی و مخروطی خرد گشت و با کمک بالمیل آزمایشگاهی به شکل دانه های گلوله ای کوچک تبدیل شد.

دانه ها پس از خروج از بالمیل با کمک الک های استاندارد از هم تفکیک و مجدداً مطابق دانه بندی استاندارد (DIN 32322) پودرهای جوشکاری زیر پودری تنظیم شد. در نتیجه دانه های

مورد فوق اقدام مفیدی در حفظ محیط زیست (۱۱ و ۱۰) خواهد بود.

### ۵-۳- خلاصه نتایج

۱- تحقیقات در مورد جوشکاری فلزات نشان دهنده اشکال مختلف ضایعات مواد مصرف شده در جوشکاری است در مورد پودر جوشکاری زیر پودری  $LW\ 680$ ، ۸۵٪ آن به صورت گل جوش و ۱۵٪ بقیه به صورت پودر تغییر شکل یافته و خرد شده، محتوی ذرات کروی آهن ناشی از ذوب سیم مفتول جوشکاری می باشد.

- در مورد بازیافت پودر تغییر شکل یافته و خرد شده  $LW\ 680$  پودر تغییر شکل یافته را می توان به دو طریقه مورد بازیافت قرار داد.

الف- این پودر را می توان پس از آهن ربایی نمودن مستقیماً به کمک قوس الکتریکی ذوب نموده و پس از خرد کردن به صورت دانه بندی استاندارد درآورد و به عنوان پودر جوشکاری زیر پودری از نوع ذوبی مورد آزمایش قرار داد.

ب- این پودر را می توان آهن زدایی نمود و به کمک ۲۰٪ مواد متشکل از آمیز مواد معدنی به هم چسباند و سپس به کمک میز دوار تحت زاویه خاصی به صورت گرانول درآورد. پس از خشک کردن دانه های ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرومتری آن را جدا نمود و توزیع اندازه دانه های آن را براساس استاندارد تنظیم کرد و پس از زینتر مورد آزمایش قرار داد.

### ۶- پیشنهادها

الف- پیگیری دقیق تحقیقات بازیافت ضایعات حاصل از فرآیند جوشکاری زیر پودری به عنوان یک عامل علمی، زیست محیطی و اقتصادی باید در نظر گرفته شود.

ب- بررسی امکان مصرف مجدد ذرات آهن جدا شده از پودر تغییر شکل یافته در فرآیند تهیه سیم مفتول الکترو تپ  $S2CrMo1$  یا به عنوان قراضه در تولید فولادهای آلیاژی.

ج- نتایج ظاهری جوشکاری آزمایشی با استفاده از پودرهای باز یافتی تهیه شده در آزمایشگاه نشان دهنده بستر مناسب جوش

مصرف نشده  $LW\ 680$  بود. حرارت زینتر مواد معدنی در راستای ایجاد فاز مشابه پودر مصرف نشده طی آزمایش های متعددی حاصل گشت. نهایتاً حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد و مدت ۴ ساعت مناسب برآورد شد. ۲۰٪ وزنی از مخلوط مواد اولیه با ۸۰٪ وزنی پودر تغییر شکل یافته مخلوط شد و آمیز جدید با ۱۵٪ وزنی آب به خوبی مخلوط و همگن شد. پودر مرطوب حاصل شده با میز دوار زاویه دار به صورت گرانول های ریز ۶۰۰-۳۰۰ میکرو متری شکل دهی شد. این کار نشان داد که پودر ضایعاتی با کمک مواد معدنی مرطوب چسبناک قابلیت گرانول شدن را دارد. گرانول های حاصل جهت ایجاد استحکام در حرارت ۱۰۴ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت خشک گردید. بعد از خشک کردن گرانول ها با الک های استاندارد تفکیک شد و مجدداً طبق دانه مناسب استاندارد  $DIN\ 32522$  تنظیم شد.

پس از ایجاد دانه بندی مناسب پودر حاصل طی مدت ۴ ساعت در حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد زینتر گشت. در نتیجه پودری با اندازه دانه، سیالیت، ترکیب عنصری، ترکیب فازی مشابه پودر مصرف نشده  $LW\ 680$  حاصل شد. پودر حاصل شده از روش دوم مانند روش اول مطابق استاندارد معرفی شده در جوشکاری زیر پودری فولاد  $St\ 37$  با مفتول جوشکاری  $S2Mo1$  مورد کنترل کیفی قرار گرفت. طی کنترل فوق محل جوش توانست  $510\ N/mm^2$  تنش را تحمل کند، حفره جوش کاملاً پر شده بود و سطح آن صاف بدون حفره و مک یا ترک بود، در اثر ضربه میله فولادی به محل جوش صدای زنگ دار و سالم حاصل گشت، هیچ گونه سوختگی یا بریدگی در اطراف محل جوش وجود نداشت. نتیجه بررسی کیفی پودر حاصل شده از روش دوم در مقایسه با اطلاعات ارایه شده در مراجع، حاکی از تعلق پودر فوق به درجه A و قابل مصرف بودن آن در فرآیند جوشکاری زیر پودری بود.

در مجموع بررسی فرآوری طی روش اول و دوم نشان داد فرآوری پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی حاصل از فرآیند جوشکاری زیر پودری، می تواند قابل فرآوری عملی و علمی با رعایت اصول اقتصادی باشد و لذا ادامه پژوهش در

6. Castejon, O. J., "Scanning electron microscopy", Springer, 2003, ISBN: 0306477114.
  7. Robert, O. C., "Welding; Management primer and employee training guide", Industrial Press, New York, 2000, ISBN: 0-8311-3139.
  ۸. سالنامه آمار بازرگانی جمهوری اسلامی، " واردات ۱۳۸۰"، انتشارات وزارت بازرگانی، تهران ۱۳۸۱.
  9. Parmar, R. S., "Welding Processes and Technology", P. 200-206, 2nd ed.; Khanna Publishers, 2001, ISBN: 81-7409-126-2.
  10. Matschullant, J., "Geochemie and Umwelt; relevante Prozesse in atom-Pedo-und hydrosphere", Berlin, Heideberg; Springer, 1997, ISBN: 3-540-61866-X.
  11. Fabian, P., "Atomopheare and Umwelt" Berlin, Heidelberg; Springer, 1992, ISBN: 3-540-55773-3.
  12. Wiliam, A. Burgess, "Recognition of Health Hazards in industry review of material and processes, Occupation Health Engineering Harvard School
- و خواص مکانیکی خوب در مقایسه با نتایج حاصل از مصرف پودر جوشکاری  $LW ۶۸۰$  بر روی فولاد  $St 37$  با الکتروود  $S2CrMo1$  می باشد.
- د- مطالعات انجام شده نشان دهنده امکان کاربرد پودرهای باز یافتی تولید شده از پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی در آزمایشگاه در مقایسه با پودر  $LW ۶۸۰$  است به طوری که می توان به این طریقه از آلودگی های زیست محیطی این ضایعات جلوگیری نمود و در ضمن کمک شایان ذکری به اقتصاد تولید این پودرها نمود.
- منابع**
1. Sindo Kou; "WELDING METALLRGY", 2 Ed; WILEY-INTERSCINE, 2003, ISBN: 0-471-43491-4.
  ۲. امیرحسین کوکی، "تکنولوژی جوشکاری"، چاپ ششم، انتشارات آزاده، جامعه ریخته گران، تهران، زمستان ۱۳۸۳.
  3. American Welding Society; "Welding Hand-book", 8<sup>th</sup> end, vol. 1: Welding Technology, AWS, Miami, Macmillan, London, 1991.
  4. Chung, F., Smith, D., "Industrial applications of X-ray diffraction"; Macel Dekker, 2000, ISBN: 0824719921.
  5. Smith, K. A., "Soil and environmental analysis, Marcel Dekker", 2003, ISBN: 0824709918.