ISSN 1028-3897

ریخته گری

انتشارات جامعه ریخته گران ایران/ سال ۴۲/ شماره ۱۳۳/ بهار ۱۴۰۲

فهرست مطالب:

تولید پودر فلزات با استفاده از روش های اتمیزاسیون مذاب (بخش نخست)
دکتر فرشید ریخته گر..... ۳

اثر پیرسازی ثانویه بر ریزساختار وخواص آلیاژ ریختگی Al–Cu–Mg
مهندس عبدالحمید قدیمی..... ۲۰

اخبار ایران وجهان..... ۳۰

پرسش و پاسخ
مهرداد عضو امینیان..... ۴۴

واژه نامه
مهرداد عضو امینیان..... ۴۶

بسم الله الرحمن الرحیم

ریخته‌گری

ISSN 1028-3897

انتشارات جامعه ریخته گران ایران/ سال ۴۲/ شماره ۱۳۳/ بهار۱۴۰۲

صاحب امتیاز: جامعه ریخته‌گران ایران

مدیر مسئول: دکتر پرویز دوامی

سردبیر: دکتر جلال حجازی

مدیراجرایی: دکتر مهرداد عضو امینیان

هیات اجرایی:

مهندس اسدالله اسلامی (فولاد طبرستان)

مهندس عبدالحمید قدیمی (انجمن صنفی ریخته‌گری ایران)

مهندس شیوا خاتمی‌زاده (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

هیات تحریریه:

دکتر حسین آشوری (دانشگاه صنعتی شریف)

مهندس اسدالله اسلامی (فولاد طبرستان)

دکتر هاشم بنی هاشمی (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

دکتر جلال حجازی (دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر پرویز دوامی (دانشگاه صنعت شریف)

دکتر مهدی دیواندری (دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر سعید شبستری (دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر نجم الدین عرب (دانشگاه آزاد اسلامی)

دکتر مهرداد عضو امینیان (دانشگاه آزاد اسلامی)

مهندس عبدالحمید قدیمی (انجمن صنفی ریخته‌گری ایران)

دکتر سید محمد حسین میر باقری (دانشگاه امیرکبیر تهران)

مهندس شیوا خاتمی‌زاده (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

قابل توجه علاقمندان به چاپ مقاله در فصلنامه تخصصی ریخته‌گری:

علاقمندان به چاپ مقالات در فصلنامه ریخته‌گری، می‌توانند مقالات خود را بر اساس الگوی نگارش مقالات به نشانی irfs.edu@gmail.com ارسال کنند.

قابل توجه علاقمندان به نشریات تخصصی گروه انتشارات انجمن علمی ریخته‌گری ایران:

از کلیه اعضای دانشجویی، حقیقی و حقوقی این انجمن درخواست می‌شود هر گونه تغییر در نشانی، شماره تماس یا شماره دورنگار خود را به روابط عمومی این انجمن اطلاع دهند. بدیهی است در صورت صحیح نبودن نشانی پستی، این انجمن هیچگونه مسئولیتی در قبال ارسال به موقع نشریات به دریافت‌کنندگان نخواهد داشت.

نشانی نشریه: تهران، خیابان بهار شمالی، جنب اداره برق، شماره ۱۷۴، طبقه سوم کدپستی: ۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳

تلفن: ۸۸۸۲۷۲۰۲-۸۸۸۲۴۹۲۷، دورنگار: ۸۸۸۲۳۴۹۰

website: www.irfs.ir

Email: irfs.edu@gmail.com

Telegram: irfs1359

زیر نظر گروه انتشارات مجری طرح: نگارین پرتو (۷۷۵۳۰۳۰۷)

گرافیک و صفحه آرایی: شیوا خاتمی زاده چاپ خانه: چاپ علوی تهران

ریخته گری
انتشـارات جـامعه ریختـه گـران ایـران/ سـال ۴۲/ شمـاره ۱۳۳/ بهار۱۴۰۲

فهرست مطالب:

تولید پودر فلزات با استفاده از روش های اتمیزاسیون مذاب (بخش نخست)
دکتر فرشید ریخته گر..... ۳

اثر پیرسازی ثانویه بر ریزساختار وخواص آلیاژ ریختگی Al-Cu-Mg
مهندس عبدالحمید قدیمی..... ۲۰

اخبار ایران وجهان..... ۳۰

پرسش و پاسخ
مهرداد عضو امینیان..... ۴۴

واژه نامه
مهرداد عضو امینیان..... ۴۶

نشانی نشریه: تهران، خیابان بهار شمالی، جنب اداره برق، شماره ۱۷۴، طبقه سوم
کدپستی: ۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳ تلفن: ۸۸۸۲۷۲۰۲-۸۸۸۲۴۹۲۷، دورنگار: ۸۸۸۲۳۴۹۰
لیتوگرافی (نگارین پرتو): ۷۷۵۳۰۳۰۷
Websit:www.irfs.ir Email: irfs.edu@gmail.com Telegram: irfs1359

تولید پودر فلزات با استفاده از روش های اتمیزاسیون مذاب (بخش نخست)

ترجمه و تنظیم: دکتر فرشید ریخته گر

مدرس انجمن علمی ریخته گری ایران؛ عضو گروه آموزش

ایمیل: Foundryman84@gmail.com

Production of metal powders using melt atomization methods (Part-1)

Dr.F.Rikhtegar

Lecturer at Iranian Foundrymen's Society (IRFS)

چکیده:

گسترش صنایع نوین فرآوری پودر مانند ساخت افزایشی، میزان علاقه مندی به تولید پودر فلزات را بیشتر کرده است. بازار اولیه این حوزه محدود به تعداد کمی از تولیدکنندگان متخصص در تولید پودر بوده و امروزه طیف وسیعی از رقبا را می توان جزء زنجیره تامین مواد اولیه برای ساخت افزایشی قطعات بر پایه پودر لحاظ نمود. البته تولید استاندارد پودر هم نیازمند الزاماتی است که چندان هم کار ساده‌ای نبوده و در این مقاله دو بخشی قصد داریم تا از منظرهای مختلف همه جوانب آن را بررسی کنیم. در قسمت اول، فرآیند اتمیزاسیون یا افشانش مذاب و زیر مجموعه های آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در ادامه، یکی از متداول ترین روش های تولید پودر فلزات، یعنی اتمیزاسیون آبی، بررسی خواهد گردید. این تکنولوژی دارای قدمت زیادی بوده و برای تولید طیف وسیعی از پودر فلزات برای کاربردهای صنعتی متفاوت، شامل روش‌های پرس و تفجوشی (متالورژی پودر متداول)، قالب گیری تزریقی و اخیراً مواد اولیه برای پرینترهای سه بعدی فلزی به کار گرفته می شود.

کلمات کلیدی: پودر فلز، ساخت افزایشی، اتمیزاسیون مذاب، متالورژی پودر

Abstract:

The expansion of new powder processing industries, such as additive manufacturing, has increased the interest in metal powder production. The initial market of this field is limited to a small number of manufacturers specializing in powder production, and today a wide range of competitors can be considered in part of the supply chain of raw materials for additive manufacturing of powder-based parts. Of course, the standard production of powder also requires issues, which is not a simple task, and in this two-part article, we intend to investigate all aspects from different perspectives. In the first part, the process of atomization or melt spraying and its subsets are studied, and in the following, one of the most common methods of metal powder production, i.e. water atomization, will be disccussed. This technology has a long history and is used to produce a wide range of metal powders for different industrial applications, including press and sintering methods (commercial powder metallurgy), injection molding, and recently raw materials for metal 3D printers.

Keywords: Metal Powder, Additive Manufacturing, Melt Atomization, Powder Metallurgy

۱- مقدمه

در گزارش حاضر، مروری بر انواع فرآیندهای اتمیزاسیون، تاثیرات شرایط مذاب روی خواص پودر نهایی و تاثیر شکل ذرات بر مشخصات توده پودر صورت می پذیرد. همچنین جزئیات بیشتری از فرآیند اتمیزاسیون آبی و محصولات قابل تولید توسط آن ارائه خواهد شد.

کاربردهای صنعتی و تجاری مختلفی برای پودر فلزات وجود دارد. بسیاری از این کاربردها برای مصرف کننده نهایی به صورت ناشناخته باقی مانده اند، زیرا پودر به شکل های مختلفی مانند استحاله به حالت جامد و صلب در اثر تفجوشی یا ذوب، اضافه شده به رنگ ها و پوشش ها، افزوده شده به عنوان سوخت یا سرعت بخش یک واکنش شیمیایی و یا به عنوان جزء ترکیبی در ترکیبات غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. به هر حال چه این شرایط برای عموم افراد ملموس باشد یا نباشد، تولید پودر فلزات در جهان به صورت سالانه از عدد یک میلیون و پانصد هزار تن در سال فراتر رفته است. در بخش متالورژی پودر، کاربرد اصلی پودر فلزات در ساخت قطعات فابریک و ماشینکاری شده، ابزار برش، بوش ها و فیلترها می باشد که دو نمونه از آنها در شکل ۱ نشان داده شده است [۱].

در همه این فرآیندهای متالورژی پودر، از تفجوشی برای فرآوری پودر، یا به صورت جامد و یا به شکل ذوب جزئی استفاده می‌کنند. این موضوع شامل تکنولوژی‌های ساخت افزایشی بر پایه تفجوشی مانند پاشش چسب، روش‌های ذوب بستر پودری با لیزر و یا پرتو الکترونی هم می شود. فرآیندهای ساخت افزایشی، قطعات سه بعدی را با اتصال ذرات پودر فلزات به یکدیگر، از طریق ذوب مستقیم تولید می کنند. از طرفی استفاده از مکانیزم ذوب در فرآوری پودر، با روش‌های دیگری مانند جوشکاری، لحیم کاری و پاشش حرارتی نیز انجام پذیر می باشد. به عنوان مثال، در شکل ۲ یک اتصال لحیم شده را نشان می دهد که در آن از یک خمیر حاوی پودر به عنوان ماده پرکننده استفاده شده است [۱].

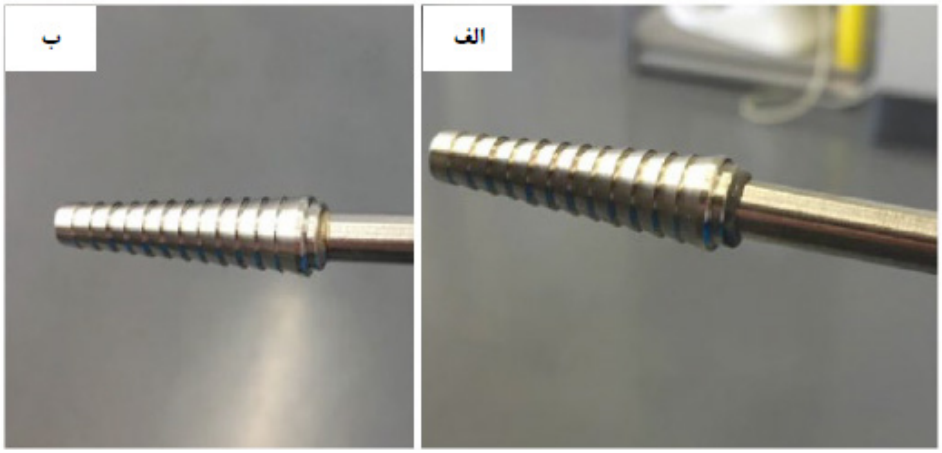
از دیگر کاربردهای پودر فلزات می توان به حامل های جریان در جوهرهای هادی، مدیای ضبط مغناطیسی، استفاده در واکنش های شیمیایی، به کارگیری در صنایع غذایی، داروسازی و نیز صنایع نظامی به صورت سوخت در راکت ها، اجسام پرنده و فلرها اشاره نمود. در همه موارد فوق لازم است که مواد فرآوری شده با درنظرگیری مواردی همچون مکان کاربرد، حجم و وزن پودر، زمان عملکرد و بازده، به سهولت مورد استفاده قرار گیرند.

پودر فلزات به روش های مختلفی تولید می شود که ۴ روش اصلی آن به شرح ذیل است:

- احیای اکسید
- واکنش شیمیایی (رسوب گذاری یا تجزیه)
- پودر سازی حالت جامد (خردایش، آسیا کاری)
- اتمیزاسیون فلز مذاب

اتمیزاسیون، در تعریف کلی خود شامل تجزیه مایع به قطرات

شکل ۱) الف: فیلتر برنزی متخلخل از فرآوری با متالورژی پودر و ب: دنده مارپیچی [۱]



شکل ۲) یک قطعه مونتاژ با اتصال لحیم شده، الف: قطعه مونتاژ شده با یک خمیر تیره رنگ در محل اتصال
ب: اتصال لحیم کاری با نوار پرکن در منطقه اتصال بین دو قطعه [۱]

کوچک است. اگر این مایع فلز مذاب باشد، قطرات آن منجمد شده و تبدیل به پودر می‌شوند. حجم بیشتر تولید پودر از طریق اتمیزاسیون صورت می گیرد. به این دلیل که اتمیزاسیون برخلاف روش های دیگر از لحاظ اقتصادی بسیار به صرفه است و قادر است پودرهای آلیاژی را با وجود تنوع در اندازه ذرات، مورفولوژی، ترکیب شیمیایی و ریزساختار تولید نماید.

تجزیه توده مذاب به قطرات از روش های مختلفی مانند تزریق یک سیال دوم (مانند گاز، آب یا روغن)، استفاده از نیروهای گریز از مرکز با چرخش یک دیسک یا الکترود، یا اعمال نیروهای مکانیکی دیگری مانند ارتعاشات التراسونیک و یا پاشش مذاب تحت فشار انجام می پذیرد. در غیاب هر نیروی دیگری، یک قطره مذاب به شکل کروی در می آید که نشان دهنده حداقل انرژی برای یک حجم است. در اینجا برای هر قطره، بحث انرژی سطحی یا نیروی کشش سطح مطرح می شود. هرچقدر مساحت سطح کمتر باشد، انرژی سطحی نیز برای آن سطح کوچک تر خواهد بود [۱].

از آنجا که کره دارای حداقل نسبت مساحت سطح به حجم می باشد، درنتیجه دارای حداقل میزان انرژی از لحاظ شکلی است. اگرچه در اغلب فرآیندهای اتمیزاسیون، قطرات تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرند که ممکن است مانع از تشکیل یا پایدارسازی شکل کروی ذرات گردد.

۲- اصول پایه ای اتمیزاسیون

قبل از ارائه جزئیات هر کدام از روش های اتمیزاسیون، در این گزارش به اصول کلی و علمی فرآیند اتمیزاسیون فارغ از الزامات هر روش خاص پرداخته می شود. این نکات کلی بوده و در مورد تمام روش ها مصداق دارد. همه فرآیندهای اتمیزاسیون شامل سه مرحله اصلی هستند: تشکیل مذاب، اتمیزاسیون مذاب و جمع آوری ذرات پودر منجمد شده (شکل ۳) [۱].

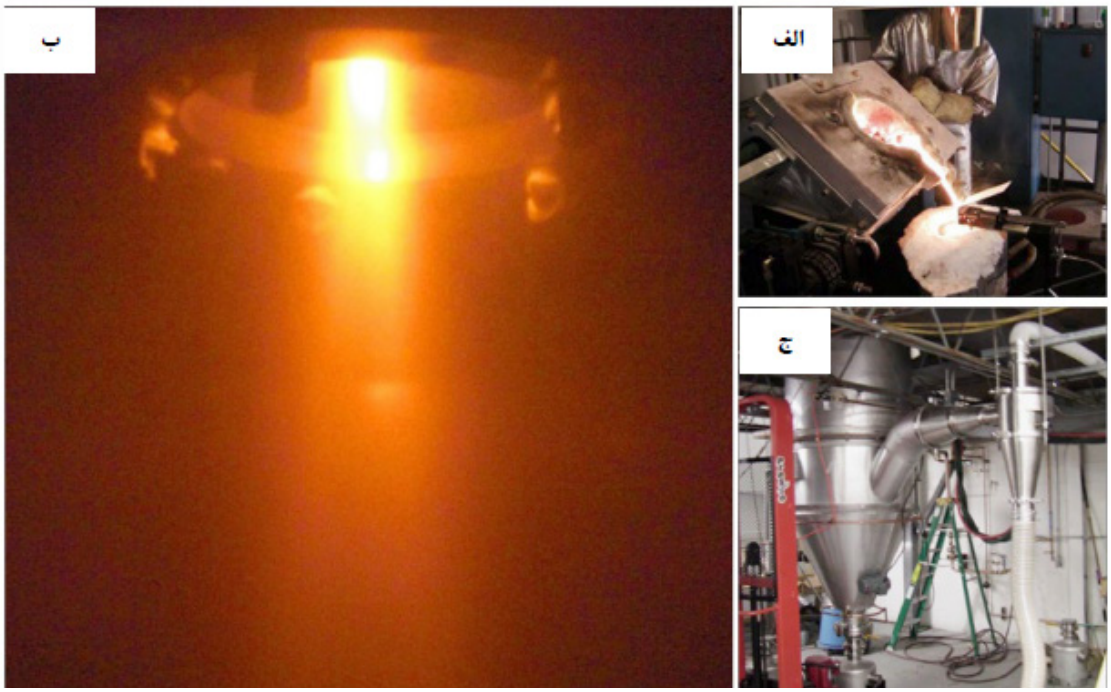
قطره مذاب در حین فرآیند به سمت یک دگرگونی در شکل خود پیش می رود. به این صورت که از یک طرف نیروی کشش سطحی تمایل دارد تا قطره را به سمت شکل کروی با حداقل انرژی پیش ببرد و از طرف دیگر، ویسکوزیته مذاب، نیروهای برشی و واکنش‌های قطره با محیط اطراف، مانند اکسیداسیون سطح، مانع از ایجاد کرویت در شکل نهایی قطره می شوند. در همین زمان، سرد شدن مذاب نیز رخ می دهد و زمان مورد نیاز برای تشکیل کره را محدودتر می‌کند. تعادل بین مقیاس زمانی کروی شدن و انجماد و نیز شکل گیری پوسته اکسیدی، رخدادهای اولیه ای به‌شمار می‌روند که مورفولوژی ذرات را مشخص می کنند. سردشدن آهسته، کروی شدن ذرات را قبل از انجماد تسهیل می نماید و شرایط مطلوبی برای ایجاد ذرات کروی فراهم می سازد. در مقابل، سرد شدن سریع مانع از دستیابی به ساختار تعادلی ذرات (حالت کروی شکل) شده و در نتیجه، مورفولوژی نهایی بی نظم می شود. همچنین، اگر زمان هم به اندازه کافی برای ایجاد ساختار کروی مناسب باشد، شکل گیری پوسته اکسیدی باعث توقف یا کاهش شدید پدیده کروی شدن می‌گردد. علاوه بر این تعادل اولیه، شاخص هایی از خواص ماده (شامل ویسکوزیته، واکنش پذیری با محیط، خطوط سالیدوس

و لیکوئیدوس و...)، متغیرهای فرآیند (مانند فوق گداز مذاب، سرعت قطره) و پارامترهای سخت افزاری و تجهیزاتی (یکپارچگی مسیر هدایت قطره، زاویه و مکان سطوح جت سیال و...) نیز در مورفولوژی نهایی ذرات پودر موثرند. بنابراین فاکتورهای مختلفی بر مشخصات پودر و ذرات تشکیل دهنده آن تاثیر می گذارند. تئوری‌های مختلفی در مورد تجزیه توده مذاب به قطرات ریزتر وجود دارد. برخی از آنها از اصول اولیه نشأت می گیرند و برخی دیگر متکی بر مشاهدات و آزمایشات تجربی هستند. به نظر می رسد که هیچکدام از آن‌ها تاکنون پیش بینی به عنوان یک قاعده کلی در اتمیزاسیون و مستقل از نوع فرآیند، افزایش بسیار زیاد مساحت سطح به واسطه تبدیل جریان پیوسته مذاب به مجموعه‌ای از قطرات، باعث افزایش انرژی سطحی سیستم می شود. این انرژی اضافه، باید به واسطه مکانیزم تجزیه توده مذاب فراهم شود. بنابراین به نظر می رسد که مذاب هایی با انرژی سطحی کم، شرایط مساعدتری برای اتمیزه به ذرات پودر ریزتر دارند، زیرا برای انجام این کار به انرژی کمتری نیازمندند. از جنبه دیگر، ویسکوزیته خاصیتی از مذاب است که در برابر تجزیه و تبدیل آن به قطرات مقاومت می کند. پس فلزات با ویسکوزیته بالاتر، درحین اتمیزه تبدیل به ذرات پودر درشت تری می شوند. در نتیجه، کاملی از خواص پودر تولید شده نهایی ارائه نکرده‌اند. اگرچه برخی از فرمول ها و روابط آنها به صورت کلی صحیح بوده و به عنوان یک راهنمای جامع در تعیین ارتباط بین متغیرهای فرآیند و مشخصات پودر ارائه خواهند شد [۱].

از آنجا که اتمیزاسیون به عنوان نتیجه رویداد قرارگیری فلز مذاب در معرض نیروها به شمار می رود، خواص مذاب شامل انرژی سطحی و ویسکوزیته، می بایست در تبیین چگونگی شکست توده مذاب و تعیین رفتار قطرات پیش از انجماد مورد نظر قرار گیرد.

در راستای دستیابی به پودری با درصد ذرات ریزتر به میزان بیشتر، می بایست هر دو ویژگی کشش سطحی و ویسکوزیته به حداقل برسد. اگرچه هر دو این ویژگی ها جزء خواص ثابت آلیاژها هستند، اما خوشبختانه هم کشش سطحی و هم ویسکوزیته با افزایش دما کاهش می یابند [۱]. بنابراین افزایش دمای مذاب، ابزار مناسبی است که می‌توان با استفاده از آن درصد ذرات ریزتر پودر را در تمام روش های اتمیزاسیون افزایش داد.

اگر در نظر بگیریم که انرژی انتقال یافته به مذاب، اندازه قطره را کنترل می کند، ایجاد انرژی بیشتر منجر به تولید ذرات ریزتری می‌شود. انرژی در شکل های مختلفی مانند فشار گاز یا آب در



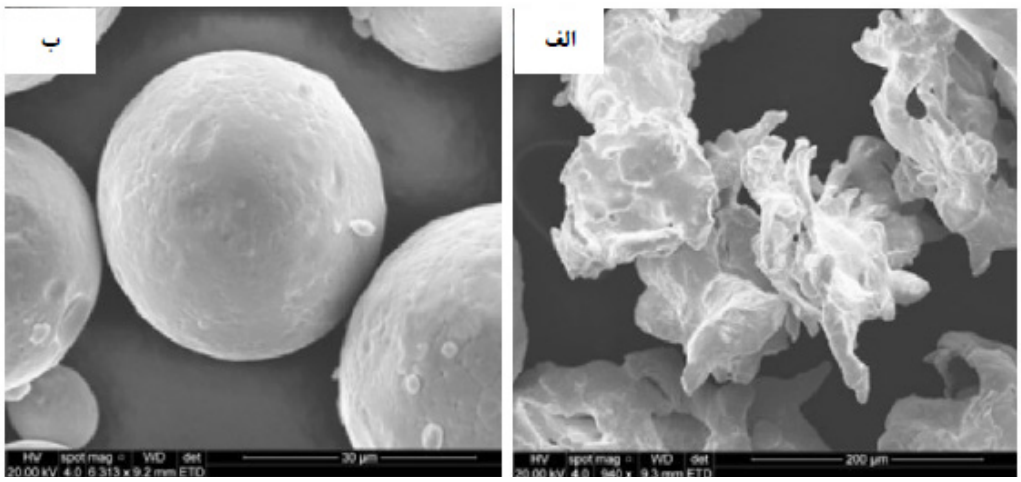
شکل ۳) همه فرآیندهای اتمیزاسیون شامل سه مرحله اصلی هستند، الف: تشکیل مذاب، ب: اتمیزاسیون مذاب، ج: جمع آوری پودر منجمد شده [۱]

اتمیزاسیون با سیال، سرعت چرخش دیسک یا الکترود در اتمیزاسیون گریز از مرکز یا فرکانس و دامنه در اتمیزاسیون با امواج التراسونیک بروز پیدا می کند. بنابراین افزایش فشار، سرعت سیال، دامنه و یا فرکانس در هر یک از روش های اتمیزاسیون، منجر به کاهش اندازه قطرات شکل گرفته خواهد شد.

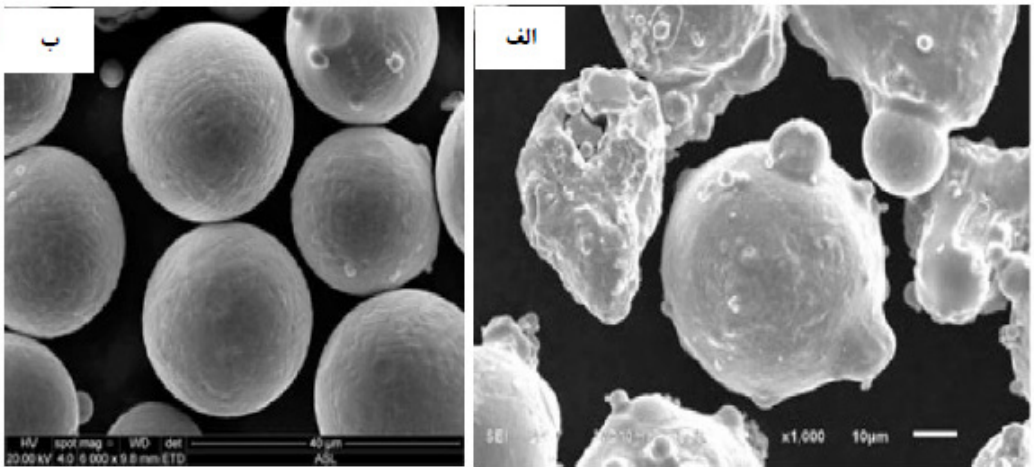
زمانی که قطره شکل پیدا می کند، کروی شدن با انرژی سطحی بالاتر و ویسکوزیته کمتر به صورت مطلوب در در می آید. کشش سطحی بالا به عنوان نیروی محرکه برای حداقل نمودن مساحت سطح عمل می کند و باعث ایجاد قطرات کروی شکل می گردد. ویسکوزیته به عنوان عامل مقاوم در برابر تغییر شکل مایع عمل می نماید. قطراتی از مذاب آلیاژ با کشش سطحی کمتر، تمایل کمتری به کروی شدن در مقایسه با آلیاژهای با کشش سطحی بیشتر دارند. اگرچه، سرد شدن نیز از سطح رخ داده و با جبران تغییرات آهسته در ویسکوزیته داخلی، منجر به بیشتر شدن کشش سطحی می شود و نهایتا، همه این عوامل به بهبود عملیات کروی سازی کمک می نماید.

همانگونه که پیشتر اشاره شد، تمایل قطره برای کروی شدن و در نتیجه آن تشکیل ذره کروی، بستگی به توانایی قطره مذاب به ایجاد حالت کروی قبل از انجماد دارد. متغیرهایی که نرخ سرمایش قطره را به طور موثری کاهش و زمان انجماد آن را افزایش می‌دهند، منجر به ایجاد قطرات با شکل کروی به میزان بیشتری می شوند. به عنوان مثال، افزایش فوق گداز مذاب (نسبت به دمای لیکوئیدوس)، زمان انجماد را طولانی تر کرده و به تشکیل ذرات کروی کمک می‌نماید. محدوده انجماد هم می تواند روی میزان کرویت تاثیرگذار باشد. دامنه انجماد وسیع، زمان انجماد را به تاخیر می‌اندازد. معمولاً عناصر خالص دارای دمای انجماد مشخص بوده و به طور یکنواخت منجمد می‌شوند و زمان انجماد آنها کوتاه تر از آلیاژها است که فرآیند انجماد آنها بین دو منحنی لیکوئیدوس و سالیدوس انجام می گیرد. توانایی سرد کردن محیط اطراف قطرات نیز به عنوان یک پارامتر مهم در تعیین مورفولوژی نهایی ذرات عمل می‌کند. افزایش توان سرمایش محیط، نرخ سرد شدن را افزایش و زمان انجماد را کاهش- می دهد. این اختلاف در شکل ذرات، به وضوح در مورفولوژی پودرهای اتمیزه شده با گاز و آب خود را نشان می دهد. نرخ انتقال حرارت بین فلز مذاب و آب به مراتب بیشتر از فلز مذاب با گاز است که ضرورتاً دارای حالت عایق در مقایسه با آب می‌باشد. بنابراین در اتمیزاسیون آبی، قطرات پیش از آنکه به حالت کروی درآیند، منجمد می شوند و از طرفی، اکسیداسیون هم ممکن است مانع از کروی شدن ذرات گردد. به طور کلی، ذرات پودر اتمیزه شده با گاز خنثی کروی شکل هستند، در صورتی که ذرات اتمیزه آبی از نظر شکلی بی نظم می باشند. شکل ۴ ذرات پودر فولاد زنگ نزن را در دو حالت اتمیزاسیون با آب و گاز نشان می دهد [۱].

فیلم نازک اکسید کروم با نقطه ذوب بالا، به میزان زیادی در تشکیل ساختار نهایی ذرات پودر فولاد زنگ نزن تاثیر می گذارد و تفاوت بین مورفولوژی ها بسیار مشهود است، هر چند که



شکل ۴) ذرات پودر فولاد زنگ نزن، الف: محصول اتمیزاسیون با آب و ب: اتمیزه با گاز [۱]



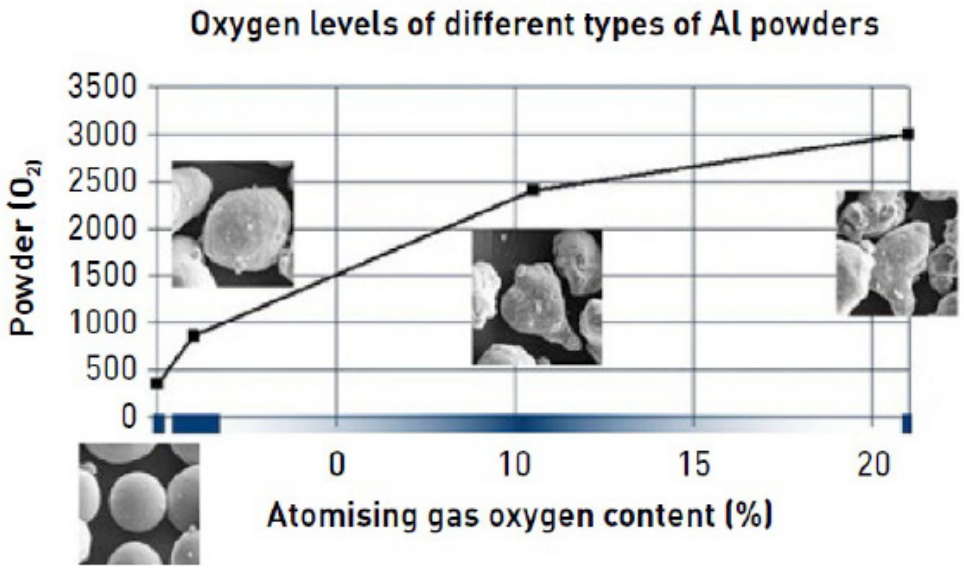
شکل ۵) مقایسه بین ذرات پودر اتمیزه گازی، الف: در حالت تشکیل پیرا ذرات، ب: حالت کروی کامل [۱]

استثناهایی هم وجود دارد.

بررسی های اخیر در استفاده از اتمیزاسیون آبی با فشار بالا، نشان می دهد که به این روش پودر بسیار ریز کروی قابل تولید است. قطرات شکل گرفته با فشار بالا بسیار کوچک (کمتر از۱۵μm) هستند و در نتیجه، کشش سطحی روی این قطعات بسیار ریز به سرعت عمل می کند و قطرات پیش از انجماد به حالت کروی در می آیند.

از دیگر موارد استثناء، ایجاد ذرات ریز چسبیده به ذرات بزرگتر (پیرا ذرات) است که به واسطه برخورد بین ذرات در محفظه اتمیزاسیون گازی شکل می گیرد و شکل نهایی پودر را تا حدودی از حالت کروی خارج می سازد. شکل ۵ نشان دهنده یک مقایسه بین پودر اتمیزه گازی در دو حالت دارای پیرا ذرات و نیز حالت کروی کامل بدون ریز ذرات چسبیده می باشد [۱].

محیطی که قطرات در آن شکل گرفته و منجمد می‌شوند نیز نقش مهمی در شکل نهایی ذرات دارد. اگر فلز مذاب با محیط اطراف خود واکنش دهد، محصولات این واکنش ممکن است مانع از کروی شدن پودر گردند. در شکل ۶، مقایسه‌ای بین مورفولوژی های مختلف پودر آلومینیم و میزان ppm اکسیژن پودر نهایی به صورت تابعی از مقدار اکسیژن موجود در سیال گاز اتمیزاسیون نشان داده شده است. به عنوان مثال، پودر اتمیزه



شکل ۶) مقایسه بین مورفولوژی های پودر آلومینیم به صورت تابعی از محتوای اکسیژن در سیال گاز اتمیزاسیون [۱]

شده در اتمسفر خنثی، قطرات مذاب و ذرات پودر کاملا کروی را به دست می دهد. در مقابل، اتمیزاسیون آلومینیم در هوا یا اتمسفری با میزان قابل‌توجه اکسیژن، منجر به تشکیل یک لایه اکسید چسبنده روی سطح می شود که این لایه سخت جامد، در نقطه ذوب فلز از آن محافظت کرده و مانع از کروی شدن ذرات پودر خواهد شد [۱].

۳- مشخصات پودر؛ از پارامترهای ذرات تا خواص توده پودر

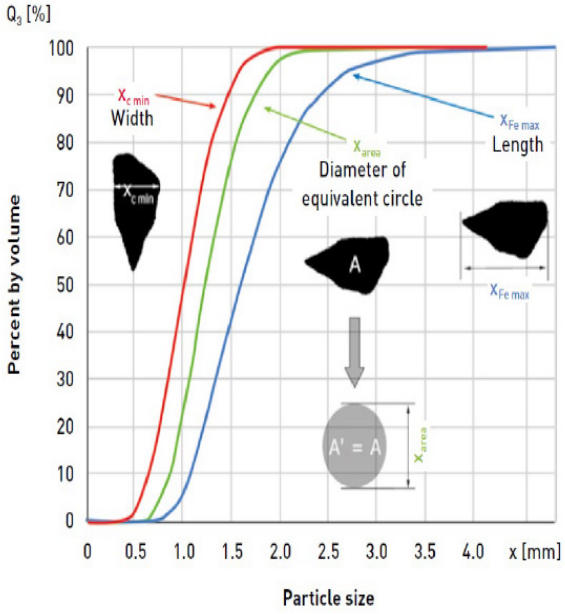
پودر ها اغلب نه به صورت تک ذره، بلکه شامل مجموعه ای از میلیون ها ذره مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالتی که پودر به عنوان مجموعه ذرات عمل می کند (با درنظرگیری خواصی نظیر سیلان پذیری و چگالی توده ای)، از طریق مشخصات منحصر به فرد هر ذره و اندازه و توزیع ذرات اندازه گیری و ارزیابی می شود.

باید به این نکته توجه داشت که فرآیندهای اتمیزاسیون اغلب بی نظم و اتفاقی هستند و پودر هایی با شکل و اندازه دقیقاً مشابه تولید نمی کنند. بنابراین توده پودر به صورت توزیع آماری اندازه ذرات و شکل آن ها تبیین می گردد [۱].

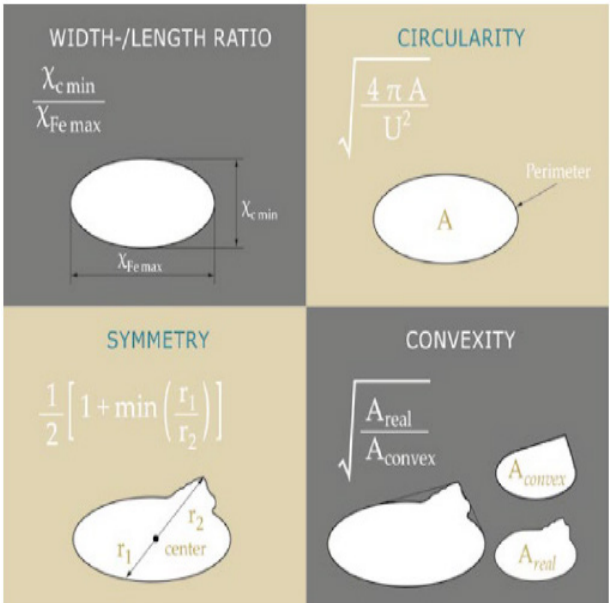
این نوع از نمونه سازی و تفکیک، نیازمند بهره گیری از روش های پیچیده تری مانند متدهای برپایه پراکندگی لیزر یا آنالیز تصویری دینامیک است که قادرند اندازه و شکل هزاران ذره منفرد را در هر تست اندازه گیری نموده و متغیرهای آماری را برای توزیع کل ذرات پودر ارائه نمایند. خوشبختانه در حال حاضر این ابزار برای توصیف شرایط پودر با متغیرهای نسبتاً کم و قابل درک در دسترس است، هرچند که ایجاد مطابقت بین نتایج حاصله از ابزار مختلف، می تواند به عنوان یک چالش جدی قلمداد گردد.

به منظور مشخصه یابی اندازه ذرات و توزیع ذرات پودر، شاخص‌های میانگین اندازه، انحراف میانگین، انحراف استاندارد و میزان درصدهای هریک به کار برده می شوند. در شکل ۷، خروجی داده های آنالیز اندازه ذرات با استفاده از روش تفرق لیزری نشان داده شده است [۱].

کمی سازی مورفولوژی ذرات کمی دشوارتر است و نه تنها شکل یک ذره، بلکه شکل مجموعه ای از ذرات باید به درستی اندازه گیری شود. مورفولوژی یک ذره معمولاً با متغیرهای میزان کرویت مانند نسبت شعاعی، گردی، میزان تحدب و تقارن نسبت به مرکز سنجیده می‌شود. در شکل ۸ به طور شماتیک برخی از این متغیرها قابل ملاحظه است.



شکل ۷) خروجی داده ها از یک تست متداول آنالیز اندازه ذرات با تفرق لیزری [۱]



شکل ۸) تعیین مورفولوژی یک ذره با متغیرهای کرویت مانند نسبت شعاعی، گردی، میزان تحدب و تقارن [۱]

به طور مشابه، در این حالت نیز متغیرهای ذرات منفرد به طور آماری طبقه بندی می شوند و برای توده ذرات پودر، شاخص‌های میانگین و انحراف در کل محدوده استفاده می گردند [۱].

شاید بتوان گفت در عمل مهمترین عوامل مرتبط به توده پودر شامل دو مورد قابلیت فشرده سازی و سیلان پذیری می باشد. قابلیت فشرده سازی مربوط به توانایی پودر در پر کردن حجم قالب تحت شرایط فرآیند است. مهمترین آزمایشات برای بررسی این قابلیت، اندازه گیری چگالی ظاهری و چگالی نشست بوده که اولی چگالی پودر در حالت کپه بدون تکان دادن و دومی بیشترین چگالی قابل حصول در اثر تکان دادن پودر بدون اعمال فشار خارجی است. سیلان پذیری خاصیتی است که رفتار پودر را در حالت‌های جابجایی، توزیع، ترکیب، آمیختگی، تجمع و لایه ای شدن توصیف می کند و معمولاً بر حسب زمان عبور وزن مشخصی از پودر از داخل یک قیف با سایز سوراخ خروجی معین اندازه گیری می شود.

اندازه ذره، توزیع اندازه و مورفولوژی ذره به عنوان عوامل تاثیرگذار بر این خواص مطرح هستند، اما می بایست نقش اصطکاک بین ذرات را نیز به طور مشخص تبیین نمود. برای فشرده سازی، ذرات کروی کامل دارای حداقل واحد حجمی بوده و ذرات به شکل کروی با ابعاد یکنواخت و آرایش منظم، می توانند تا ۷۴ درصد چگالی جامد صلب را ایجاد نمایند، به شرط آنکه همه ذرات آزادانه به اطراف حرکت کرده و هیچ نوع محدودیتی برای جابجایی آنها وجود نداشته باشد.

اگر عامل اصطکاک را هم اضافه کنیم، ذرات کروی نمی‌توانند به همه موقعیت های بهینه شان دسترسی پیدا کنند و در نتیجه قابلیت فشرده سازی کاهش می یابد. در حالتی که ذرات حالت کرویت کمتری داشته باشند، حجم مینیمم خود را نداشته و شاخص فشرده سازی کاهش پیدا می کند. این شاخص حتی می تواند از ۷۴ درصد هم فراتر رود، به شرط آنکه منحنی توزیع اندازه ذرات پهن تر گردد. در این صورت، ذرات کوچکتر فضاهای موجود بین ذرات بزرگتر را پر می کنند. حتی با وجود شکل کرویت کامل برای ذرات، اصطکاک سطحی وجود دارد و هر تماس به عنوان یک منبع محدودیت اصطکاکی عمل می نماید. بنابراین، علی‌رغم آنکه با توزیع اندازه ذرات پهن‌تر قابلیت فشرده سازی می تواند افزایش یابد، اما سیلان پذیری اغلب کم شده که دلیل اصلی آن افزایش اصطکاک بین ذره ای است.

در نتیجه ذرات با اندازه یکسان، دارای حداکثر سیلان پذیری هستند، اما قابلیت فشرده سازی در آنها کمتر می باشد. در عمل توزیع تک اندازه ذرات در پودرهای مورد استفاده صنعتی به ندرت دیده می شود، اما توزیع های اندازه باریک تر (مانند نسبت max/min= 5:1)، سیلان بهتری نسبت به توزیع های اندازه پهن تر (مانند نسبت max/min= 10:1)، در یک نسبت میانگین اندازه ذرات مشابه نشان می دهند.

اگر در یک توزیع ذرات، میانگین اندازه ذره کمتر شود، اصطکاک بین ذرات توده پودر افزایش پیدا می کند. حتی زمانی که یک منحنی توزیع ذرات باریک با میانگین اندازه کوچک (کمتر از۲۰mμ) باشد، دارای سیلان پذیری ضعیف یا ناچیز بوده که این شرایط در اغلب پودر های اتمیزه گازی برای فرآیند قالب گیری تزریقی فلز (MIM)[1] ملاحظه می گردد.

در مقیاس میکروسکوپی، ذرات می توانند بسیار کروی باشند و محدوده کلی ذرات آنها کمتر از۲۵mμ باشد، اما در عمل این نوع پودر سیلان مناسبی ندارد. در حالیکه پودرهای کروی با میانگین اندازه ذرات۱۰۰mμ و توزیع کلی۲۵mμ، به خوبی سیلان پیدا می کنند [۱].

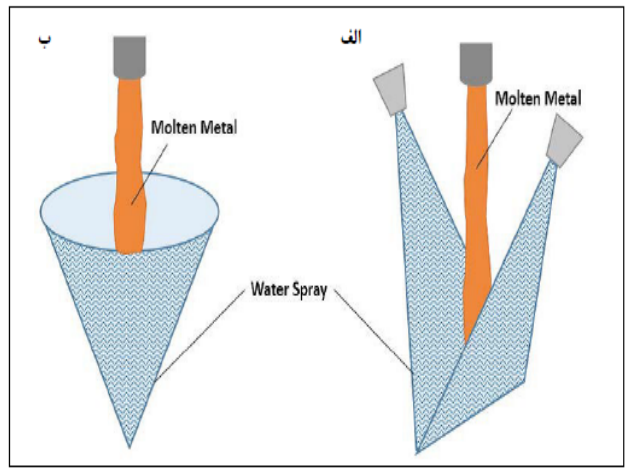
۴- اصول کلی اتمیزاسیون آبی

بر طبق آمار موجود، مواد به شکل پودر در محدوده ای بین ۱/۰ تا ۵۰ درصد از تولید جهانی آلیاژهای مختلف را شامل می شوند که از این میان سهم عمده ای از تولید آنها از طریق اتمیزاسیون آبی صورت می گیرد. سر منشأ استفاده از این فرآیند قدیمی چندان مشخص نیست، اما آماده سازی آهن و فولاد برای آن بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد. از طرفی، استفاده از اتمیزاسیون آبی با فشار بالا، بیشتر برای فلزات غیر آهنی توسعه یافته است.

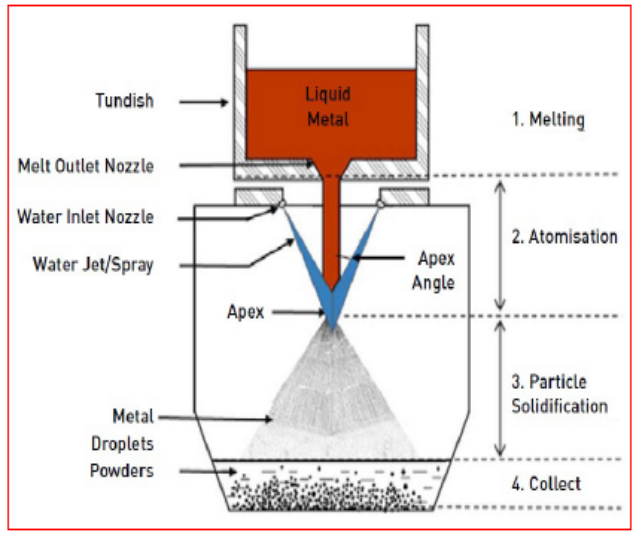
افرادی مانند Dr. Jones به عنوان پیشگامان این صنعت در دهه ۱۹۴۰ و پنجاه میلادی، اقدامات مهمی را در تولید پودرهای فولاد زنگ نزن و آلیاژ های نیکل خود سرباره ساز با ایجاد شرکت های (FW Berk Chemical) و در ادامه (Powder Metallurgy Ltd) به سرانجام رساندند.

1- Metal Injection Moulding (MIM)

شکل ۹) اتمایزر با ظرفیت ۵ تن در حال کار؛ فلز مذاب از ذوب کننده چرخشی به داخل تاندیش ریخته می شود تا اتمایزر را تغذیه نماید [۲]



شکل ۱۰) تصویر شماتیک از دو نوع ساختار تشکیل جت آب اطراف مذاب، الف: V شکل، ب: مخروطی [۲]



شکل ۱۱) اجزای سیستم اتمیزاسیون آبی و بخش های مختلف آن [۲]

در ادامه این روند، واحدهای تولید پودر در دهه ۶۰، از مقادیر اولیه ۱۰۰-۲۰۰kg برای پودرهای پرآلیاژ تا مقدار ۵-۲ تن برای پودر آهن خام به صورت تولید روزانه توسعه یافتند. سپس فرآیند صنعتی سازی با ورود کوره های قوس الکتریک برای شارژ پاتیل های مذاب فولاد با ظرفیت ۱۰، ۲۰ و۶۰ تن ادامه یافته و در حال حاضر کارخانجاتی با ظرفیت ۱۱۰ تن برای تولید پودر آهن و فولاد با در اختیار داشتن محفظه های بزرگ فولاد سازی با اکسیژن وجود دارند. در شکل ۹، یک واحد تولید پودر با ظرفیت ۵ تن نشان داده شده است [۲].

فرآیند اتمیزاسیون آبی از فشار بالای آب (و در نتیجه سرعت بالای سیال) برای پاشش به فلز مذاب و تجزیه آن به قطرات ریز استفاده می کند. بر این اساس، دو نوع اصلی شکل گیری جت آب در اطراف مذاب مطابق شکل ۱۰ وجود دارد: جت مخروطی و جت V شکل. در هر دو مورد، جریان مذاب به صورت عمودی حرکت کرده و پس از برخورد با جت پاشش آب، تبدیل به قطرات ریز می شود. بسته به شدت انتقال حرارت فلز به آب، قطرات به سرعت منجمد شده و به شکل ذرات پودر در می آیند و در محفظه انتهایی اتمایزر جمع می شوند (شکل ۱۱). این فرآیند اغلب با وجود یک اتمسفر خنثی در محفظه انجام می شود، اما در برخی واحدها استفاده از دمش هوا نیز رویت گردیده است. برای اغلب کاربردها محدوده فشار آب بین مقدار کم ۲۰ بار (۲MPa) تا ۲۰۰ بار(۲۰MPa) در نظر گرفته می شود. اما، این مقدار می‌تواند تا ۵۰۰ بار نیز از طریق اعمال اصلاحات در طراحی تجهیزات افزایش یابد، با در نظرگیری این نکته که سرعت آب در این حالت به نزدیکی سرعت صوت می رسد. اتمایزرهای آبی با طراحی ویژه جهت کارکرد با فشار بسیار بالا در محدوده ۲۰۰۰-۱۰۰۰ بار، برای تولید پودرهای آهنی، نقره و مس با میانگین اندازه ذرات ریزتر از۱۰μm ساخته و به کار گرفته می شوند[۲].

به طور کلی این فرآیند برای طیف وسیعی از فلزات و آلیاژها، از روی، پلاتین و آهن تا کبالت، نیکل، مس، طلا و نقره به کار می رود. مقیاس تولید از واحدهای یک کیلوگرمی برای طلا تا سیستم های ۱۰۰ تنی برای تولید پودر آهن با سرعت۳۰t/h قابل تغییر است. به عنوان مثال، پودر فلز روی در سیستم پیوسته ظرف چند روز با نرخ تولید۳t/h ساخته می شود. در حالیکه، معمولا عملیات تک مرحله‌ای برای اغلب

فلزات و آلیاژها رایج است، زیرا قابلیت مورد نیاز جهت تولید پودر با تنوع زیادی از ترکیب ها، اندازه ها و شکل ها را فراهم می سازد [۲]. سیستم های اتمیزاسیون آبی بسیار بزرگ بر مبنای کار با سرباره کوره بلند با نرخی بالغ بر5t/min کار می کنند که فاصله بسیار زیادی با دیگر تکنولوژی های موجود دارند. شاید از این حیث، اتمیزاسیون گریز از مرکز، تا حدودی از نظر مقیاس ظرفیت تولید با این نوع سیستم ها قابل مقایسه باشد. برای تولید مقادیر کم پودر از فلزات و آلیاژهای خاص، اتمیزاسیون با سرعت ۱۰kg/min-۱مرسوم بوده و ظرفیت هر فرآیند تک مرحله ای آن بین ۲۵۰-۵ کیلوگرم خواهد بود. برای آلیاژهای مس و آلیاژهای با عناصر زیاد و گران قیمت مانند نیکل و کبالت، سرعت اتمیزاسیون معمولاً بین ۷۰Kg/min-۲۰و ظرفیت ساخت پودر بین ۱۰۰۰Kg-۱۰۰ انتخاب می گردد.

فولادهای پر آلیاژ مانند فولاد زنگ نزن، معمولاً در کوره هایی با ظرفیت۵۰۰۰-۵۰۰ کیلوگرم و اتمایزرهایی با سرعت تولید ۲۰۰ Kg/min-۵۰، به پودر تبدیل می شوند. در مورد پودر آهن، عدد سرعت تولید بین ۲۰۰-۵۰۰ و حتی در مواردی تا نزدیک ۱۰۰۰Kg/min نیز قرار می گیرد.

هزینه تولید پودر به روش اتمیزاسیون آبی، در مقایسه با دیگر روش ها در حداقل مقدار قرار دارد. زیرا، آب معمولاً سیالی ارزان با قابلیت مصرف مجدد است. اگرچه، یک پمپ آب فشار بالا می تواند هزینه قابل توجهی را به ویژه در سیستم های بزرگ تحمیل نماید. در طرف مقابل، اتمایزرهای گازی که در آنها از گاز فشرده استفاده می شود و این سیال گازی نیاز به مواردی همچون مخزن ذخیره نسبتاً پیچیده، تجهیزات جابجایی ویژه و یک سیستم کمپرسور دارد و می توان به قطعیت اظهار نمود که گاز مصرفی مجدداً قابلیت به کارگیری در چرخه تولید را در بسیاری موارد نخواهد داشت.

بنابراین کارخانجات متالورژی پودر در وهله اول، اتمیزاسیون آبی را با توجه به هزینه کمتر آن برای تولید پودر مورد نیاز خود انتخاب می‌کنند. از طرفی، روش های نوین فرآوری پودر فلزات مانند قالب گیری تزریقی و ساخت افزایشی، بر مبنای استفاده از محصول پودر اتمیزه گازی توسعه بیشتری یافته اند، اما با وجود مطالعات و آزمایشات اخیر، استفاده از پودر اتمیزه آبی نیز در فرآیندهای جدید با در نظرگیری هزینه کمتر آن، بسیار مورد توجه و استقبال قرار گرفته است [۲].

۵- مشخصات پودر اتمیزه آبی

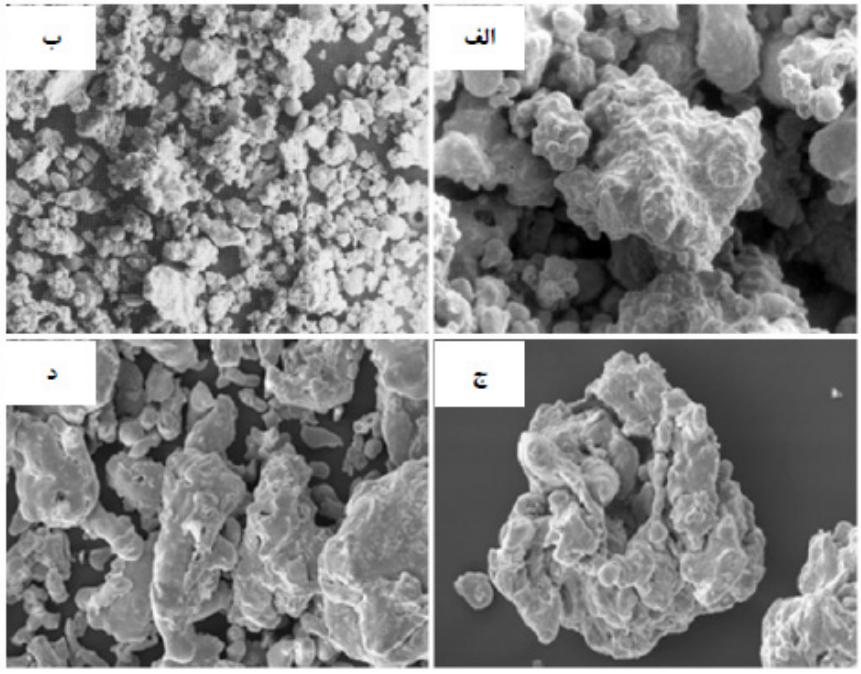
ناپیوستگی ایجاد شده در جت مذاب به واسطه برخورد با آب با فشار زیاد، باعث تولید هزاران نوع ذرات پودر مختلف، از شکل کروی تا پودر بسیار بی نظم می گردد که این مقوله به فاکتورهای متعددی از جمله فشار آب اتمیزاسیون، نوع شکل جت آب، نسبت جرمی آب به مذاب، فوق گداز ذوب و نحوه واکنش مذاب آلیاژ با آب (مانند پدیده اکسیداسیون) بستگی دارد. شکل ۱۲ چند نوع از مورفولوژی های ذرات پودر حاصل شده از اتمیزه آبی را در چند بزرگنمایی نشان می دهد. اغلب پودرهای به دست آمده از این فرآیند به واسطه مساحت سطح شان (به عنوان عامل رسوب دهنده در تصفیه هیدرو متالورژیکی یا برای مصرف در لیچینگ ثانویه) و یا به علت قابلیت تغییر شکل شان و قفل شدن در یکدیگر تحت فشار داخل قالب (فرآیند پرس و تفجوشی در متالورژی پودر متداول) به کار گرفته می شوند [۲].

به طور کلی، اتمیزاسیون آبی بالاترین نرخ سرمایش را حین فرآیند ایجاد نموده و قطرات مذاب تشکیل شده، پیش از آنکه به حالت کروی درآیند، منجمد می گردند. این وضعیت تحت شرایط نسبت آب به مذاب زیاد، فوق گداز مذاب کم، منطقه تلاقی بزرگ بین جت آب و توده مذاب و مقدار تراز بالای آب در محفظه جمع آوری پودر حاصل می گردد. در طرف مقابل، وجود کرویت بیشتر برای پودر که حالت مطلوب برای فرآیندهای MIM و AM^2 است، با اعمال متغیرها به صورت عکس موارد فوق مانند نسبت آب به مذاب کمتر، فوق گداز بالای مذاب و... ایجاد می شود. از طرفی پارامتر اندازه ذرات، بیشتر به صورت تابعی از فشار آب در اتمیزاسیون به صورت کمی در می آید.

۶- انواع اتمایزرهای آبی

طیف متنوعی از طرحاحی ها برای اتمایزرهای آبی وجود دارد، اما در حالت کلی بر حسب مکانیزم عملکرد به دو دسته

2 - Additive Manufacturing (AM)



شکل ۱۲) الف: پودر اتمیزه آبی فولاد (۳۰۰×)، ب: پودر اتمیزه آبی آهن (۱۰۰×)
ج: پودر اتمیزه آبی برنز (۶۳۰×)، د: پودر اتمیزه آبی فولاد زنگ نزن ۳۱۶ (۳۰۰×) [۲]

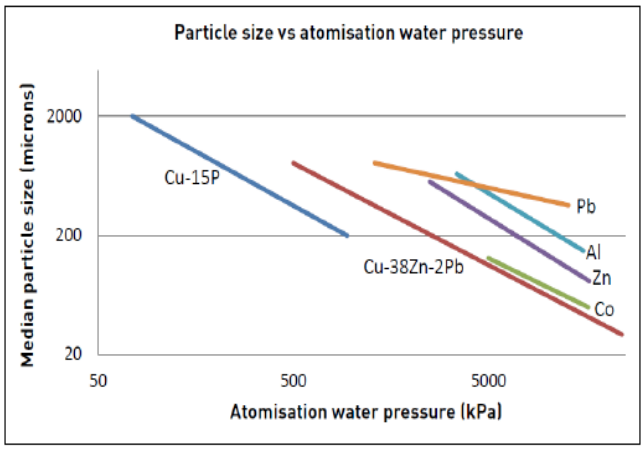
تک مرحله ای یا پیوسته قابل تقسیم بندی است. سیستم های تک بار بیشتر متداول بوده و دارای مزیت هایی همچون نرخ اتمایزینگ بالا و قابلیت تغییر آلیاژ در هنگام انجام فرآیند می باشند. در نتیجه تولید محصول به میزان قابل توجه و تنوع در آلیاژهای مورد استفاده، از جمله ویژگی های مهم آنها به شمار می آیند. همچنین، اتمایزرهای تک بار دارای محدوده وسیعی از لحاظ ابعاد هستند [۲].

کوچکترین سیستم ها با ظرفیت تولید۱۰Kg-۱ پودر در هر مرحله، مناسب برای اتمایزینگ فلزات خاص با حداقل میزان تلفات هستند. این نوع از دستگاه ها بسیار جمع و جور و در عین حال به اندازه کافی بزرگ بوده و پودر تولید شده در هر مرحله، به صورت کامل در همان گام قابل جمع آوری است و مخزن آن گنجایش کامل برای ذخیره آب مصرفی را دارد (شکل ۱۳) [۲].

چیدمان مشابهی برای سایت های با اندازه متوسط جهت تولید پودرهای آلیاژی با ظرفیت Kg ۱۰۰-۵۰۰نیز وجود دارد، اما در این حالت مخزن دستگاه ظرفیت لازم را برای جمع آوری کامل آب مورد استفاده در فرآیند ندارد و آب باید به طور پیوسته تخلیه شود. این مهم از طریق پمپ دوغاب حاوی پودر از اتمایزر به یک سیستم جداگانه حذف آب صورت می پذیرد که آن دستگاه نیز ممکن است به صورت تک مرحله ای یا پیوسته عمل نماید. از جمله سیستم های حذف آب

شکل ۱۳) یک مذاب تهیه شده کوچک که به داخل اتمایزر پنج کیلوگرم ریخته می شود [۲]

می توان به فیلتر خلأ، هیدروسیکلون ها و یا جاذب آب مغناطیسی اشاره نمود. اگر ظرفیت تولید تک بار از ۵۰۰Kg بیشتر شود (تا میزان ۱۰۰ تن)، حتماً لازم است که از سیستم های جداگانه حذف آب و خشک سازی پودر (در برخی موارد در چندین ایستگاه متعدد) استفاده شود. لذا طراحی سیستم بسیار متنوع بوده و به عواملی مانند انعطاف پذیری آلیاژ، ارزش قیمتی آلیاژ، اندازه ذره مورد نظر و خواص آلیاژ (مثل ویژگی فرومغناطیسی آن) بستگی دارد.



شکل ۱۴) منحنی میانگین اندازه ذرات (µm) بر حسب فشار اعمالی (KPa) در اتمیزاسیون آبی به صورت لگاریتمی [۲]

۷- فشار آب مورد نیاز

مطابق با شکل ۱۴، رابطه معکوسی بین فشار آب اتمیزاسیون و میانگین اندازه ذرات پودر وجود دارد. بر اساس منحنی های ارائه شده، این ارتباط برای آلیاژهای متعدد و در محدوده وسیعی از فشار مورد نیاز برای اتمیزه پودر برقرار است. این موضوع نشان می‌دهد که اتمیزه آبی برای تولید هر نوع پودری، از پولک ها با ابعاد میلیمتری تا پودرهای کمتر از۱۰µm و دارای نسبت ابعادی ۱:۱۰۰، قابلیت کاربرد دارد [۲]. به این ترتیب، طراحی سیستم به طور چشمگیری تحت تاثیر انتخاب فشار آب قرار دارد که آن هم با در نظرگیری توزیع اندازه ذرات مورد نیاز تثبیت می گردد.

اتمیزاسیون با فشار کم معمولاً در فشار کمتر از۵۰ بار (۵MPa) انجام می گیرد و برای تولید پولک ها و ذرات خرد میلیمتری، فشار فرآیند به میزان بسیار کم ۱ بار (۰/۱MPa) در نظر گرفته می شود. برای اندازه میانگین ذرات فولادها به میزان تقریبی۲۰۰µm، تنها نیاز به ۲۰ بار فشار وجود دارد. برای گرید های مورد نیاز متالورژی پودر متداول (با اندازه کمتر از۲۰۰µm و میانگین تقریبی۵۰µm)، از اتمیزاسیون با فشار متوسط بین ۱۵۰-۱۰۰ بار استفاده می شود. بهره گیری از فشار بالا در اتمیزه آبی (بین ۵۰۰-۲۰۰ بار)، برای تولید پودرهای ریز با میانگین اندازه ذرات بین ۳۰-۲۰µm انجام می گیرد. در موارد خاص نیز از فشارهای بسیار بالا (در محدوده ۲۰۰۰-۱۰۰۰ بار) جهت دستیابی به پودرهایی با میانگین اندازه۱۰µm> استفاده می گردد. هرچه فشار مورد نیاز افزایش یابد، میزان ظرفیت کیلووات پمپ آب تامین کننده بیشتر می شود. بنابراین یک اتمایزر آبی با ظرفیت تولید۶۰Kg/min، با فشار آب ۱۵۰ بار و نسبت آب به فلز ۶:۱ (که برای فولاد جهت نگهداری دمای سیال به میزان تقریبا ۵۰°C بالاتر از دمای هد تانک کافی است)، نیازمند به کارگیری یک پمپ آب۳۶۰Lit/min بوده که توان اسمی آن۹۰KW است. در فشار ۱۵۰۰ بار (معادل۱۵۰MPa)، توان مورد نیاز پمپ به ۹۰۰KW افزایش می یابد.

نکته دیگری که باید به آن توجه نمود این است که فولاد با نرخ حرارتی۱۳۰۰KJ/Kg سیلان می کند و لذا در میزان تولید (۱Kg/s) ۶۰Kg/min، به مقدار۱۳۰۰KW حرارت وارد سیستم می نماید. از طرفی، انرژی آب پمپ شده در فشار ۱۰۰۰ بار، تقریباً با انرژی مذاب برابر بوده و باعث افزایش سریع دمای آب به۱۰۰°C و تبدیل آن به بخار می گردد که منجر به چالش های جدی در طراحی خواهد شد. در نتیجه می توان گفت اتمیزاسیون با فشار بسیار بالا می بایست در نرخ سیلان کمتر آب (و فلز) انجام پذیرد تا هزینه های مربوط به پمپ آب کاهش یافته و مشکلات حین تولید کمتر شود.

به طور کلی، نسبت آب به فلز باید به گونه ای انتخاب شود که از جوشیدن آب و تبدیل آن به بخار جلوگیری گردد. این مهم به محتوای حرارتی فلز مرتبط می شود که از مقادیر کم۲۵۰KJ/Kg برای طلا تا۱۳۴۰KJ/Kg برای آهن (و تا میزان بالای۳۰۶۰KJ/Kg برای سیلیسیم) متغیر است [۲].

اگرچه، اجباری برای تامین تمام آب مورد نیاز در فشار بالا وجود ندارد و آب با فشار کم هم می تواند حرارت مذاب را جذب نماید. بنابراین، نرخ سیلان آب در اتمیزاسیون، با انتخاب مقدار کم یک لیتر آب به ازای هر کیلوگرم فلز مذاب

امکان پذیر است و طبیعتاً در هر دو عامل اندازه و شکل نهایی پودر نیز تاثیرگذار می باشد.

۸- اجزای اصلی سیستم

۸-۱-ذوب کننده ها

تشکیل مذاب یکی از اجزای اصلی تمام فرآیندهای اتمیزاسیون است. برای سیستم های تک مرحله ای با ظرفیت کمتر از ۲۰ کیلوگرم، ذوب اولیه ممکن است در تاندیش انجام شده و از طریق یک میله نگهدارنده و پلاگر، سیلان مذاب به داخل اتمایزر کنترل گردد. در مقادیر بیشتر، از ذوب کننده اولیه استفاده می شود که معمولاً تاندیش را با استفاده از ذوب ریزی چرخشی تغذیه می نماید. در این حالت تاندیش تا دمایی بسیار بیشتر از دمای فرآیند اتمیزاسیون حرارت داده می‌شود تا از اتلاف حرارتی در حین انتقال مذاب جلوگیری به عمل آید.

۸-۱-۱- ذوب کننده های اولیه

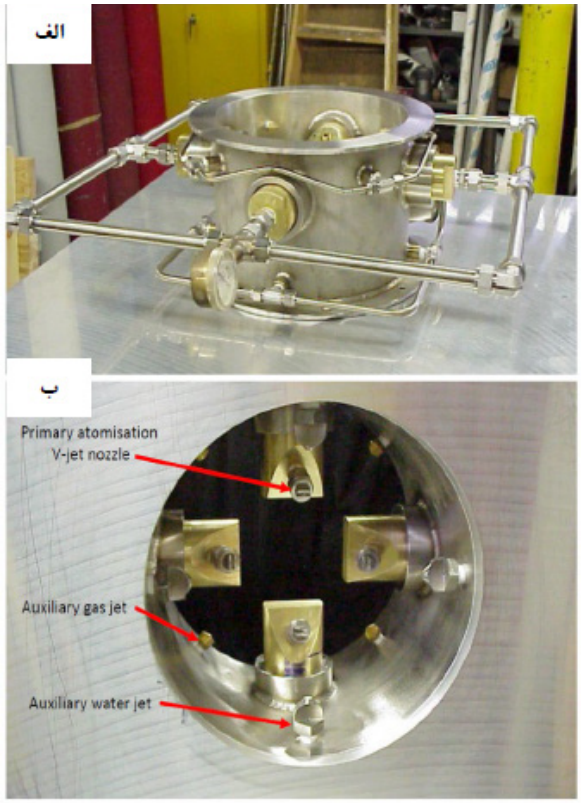
در اتمیزاسیون آبی، روش های مختلفی برای ایجاد ذوب اولیه به کار گرفته می شود. کارخانجات با اتمایزر تک مرحله‌ای تا ظرفیت ۱۰ تن، عموماً از سیستم ذوب القایی بدون هسته استفاده می کنند و در ظرفیت های بالاتر، از کوره های قوس الکتریک، فولاد سازی با اکسیژن یا واحدهای گدازش بهره گرفته می شود. البته در حال حاضر، کوره های ذوب القایی تا ظرفیت ۵۰ تن نیز به کار می روند. در اتمایزرهای بزرگ که فرآیند تولید پودر در آنها یک ساعت به طول می انجامد، از پاتیل های ۵ تنی با عایق کاری مناسب برای تغذیه اتمایزر استفاده می شود که این پاتیل ها قبلاً توسط یک منبع تولید کننده ذوب اولیه پر می گردند. به عبارت دیگر، در سیستم های تک مرحله ای بزرگ، کوره های تامین مذاب دارای تجهیزات زیادی بوده و مستقیماً به اتمایزر وصل نمی شوند.

۸-۱-۲- تاندیش

مذاب ایجاد شده در ذوب کننده اولیه به داخل تاندیش ریخته می شود که به عنوان مخزن ذخیره میانی عمل نموده و اتمایزر را تغذیه می کند. نرخ حرکت مذاب با ترکیبی از اندازه سوراخ یا نازل در کف تاندیش و فشار هد سیال مذاب در بالای این سوراخ کنترل می شود. هدف دیگر طراحی تاندیش، کمینه کردن اتلاف حرارتی مذاب در زمان حضور در تاندیش است. بر این مبنا، تاندیش باید به‌خوبی عایق کاری شده و به اندازه کافی حرارت داده شود. برای سیستم های کوچکتر یا دارای تغذیه آهسته، تاندیش ممکن است تا دمایی بالاتر از نقطه ذوب آلیاژ حرارت داده شود تا از انجماد مذاب جلوگیری به عمل آید. برای این کار ذوب کننده های القایی یا سوختی، بسته به نقطه ذوب آلیاژ، امکان به کارگیری دارند. برای سیستم هایی که با نرخ ریختن و انتقال مذاب بالا کار می کنند، اتلاف حرارتی در تاندیش حداقل بوده و ممکن است نیاز به حرارت دهنده تاندیش وجود نداشته باشد. اگرچه، تجهیزات پیش گرمایش شعله ای یا مقاومتی، برای جلوگیری از انجماد آنی مذاب آلیاژ به کار برده می شوند.

۸-۲- دهانه اتمایزینگ

دهانه اتمایزینگ در ابتدا شامل مونتاژ تجهیزات پاشش آب می شود، اما ممکن است ابزار دیگری برای آب رسانی اضافی و تزریق گازهای ثانویه به آن افزوده شود. این بخش یا داخل محفظه اتمیزاسیون و یا به عنوان یک بخش جداگانه قرار می گیرد و می تواند با دمش گاز خنثی، مانع از اکسیداسیون پودر شود و نیز، به عنوان یک جزء ایمنی در سیستم، از ایجاد انفجار به واسطه وجود گاز هیدروژن جلوگیری نماید. طراحی های مختلفی برای دهانه اتمایزینگ وجود دارد، اما معمولاً تقسیم بندی آن ها بر اساس نوع نازل های جت آب، یعنی V شکل یا مخروطی (مطابق شکل ۱۰) انجام می پذیرد. طراحی پاشش مخروطی شکل، عموماً برای واحدهای بزرگ تولید پودر آهن به کار می رود که معمولا انعطاف ناپذیر بوده و دارای ابعاد بزرگی هستند. در شکل ۱۵، یک نوع متداول از دهانه اتمایزینگ برای سیستم های مقیاس کوچک تا متوسط (۵-۳۰Kg/min) نشان داده شده است. در این مثال، چهار نازل فن- جت آب V شکل به صورت متقارن و شعاعی چیده شده اند. زاویه رأس هر نازل از طریق شاخص گذاری نگهدارنده نازل مشخص می شود. همچنین، نازل های فن- جت اضافه (کمکی) در بالا و پایین نازل‌های اتمیزاسیون در شکل ۱۵



شکل ۱۵) الف: دهانه‌ی اتمایزینگ برای یک اتمایزر تحقیقاتی یا مقیاس کوچک، ب: دهانه از قسمت زیرین [۲]

ملاحظه می گردد [۲].

نازل‌های بالایی گاز مورد نیاز فرآیند (هوا یا گاز خنثی) و نازل های پایینی آب خنک کاری اضافی با فشار کم (در صورت نیاز) را تامین می کنند. استفاده از فن- جت ها در این نوع از اتمیزاسیون، انعطاف پذیری زیادی در چگالی انرژی آب، طراحی زاویه رأس، فشار و سیلان آب حین فرآیند ایجاد می کند و باعث می شود تا این نوع سیستم برای انجام کارهای پژوهشی یا ساخت پودر از چند نوع آلیاژ مختلف به طور موثری عمل نماید.

برای سیستم های با فشار کم تا زیاد، نازل های فن- جت با استانداردهای آماده و تعیین شده به کار می روند که در نتیجه آن، هماهنگی کامل بین شاخص های سیلان پمپ و میزان فشار، با نرخ سیلان مذاب و در نهایت توزیع مناسب اندازه ذرات ایجاد می گردد. برای اتمایزرهای با فشار بسیار بالا که در آنها جت آب با سرعت هایی نزدیک به میزان فراصوت پاشش می کند، نازل های ویژه ای باید طراحی شود.

۸-۳ -پمپ های فشار بالا

پمپ های فشار بالا در طراحی بسیار متفاوت هستند. برای فشارهای کمتر (تا ۲۰ بار)، پمپ های گریز از مرکز چندتایی به کار می رود. این پمپ ها برای واحدهای بزرگ تولید پودر آهن تا فشار ۱۵۰ بار نیز مورد استفاده قرار می گیرند، اما در این شرایط راندمان آنها کم (تقریباً ۶۰ درصد) و انعطاف پذیری آنها محدود می باشد.

پمپ های پیستونی با جابجایی مثبت، انتخاب مناسبی برای فشارهای ۵۰-۲۰ بار به شمار می آیند، از آنجا که راندمان آنها بالای ۹۰ درصد بوده و تطابق مناسبی با فشارهای اعمالی حین فرآیند دارند. اخیراً پیشرفت های چشمگیری در توسعه پمپ های با فشار بسیار زیاد ایجاد شده که از آن جمله می‌توان به برش بتن و فولاد با جت آب اشاره نمود که در آنها فشار آب به مقدار ۲۰۰۰ بار نیز می رسد.

۸-۴- محفظه اتمایزینگ

محفظه های اتمایزینگ در طراحی بسیار متنوع می باشند. یک نوع متداول آن دارای شکل انتهایی مخروطی به منظور جمع آوری پودر یا قرارگیری یک خروجی برای پمپ دوغاب به بیرون است. واحد های پودر سازی کوچک، مورد استفاده برای فلزاتی مانند طلا و...، تمام دوغاب (مخلوط پودر و آب) ایجاد شده را داخل خود جمع می کنند و سیلان آب در آن ها نرخی بین ۳۰-۵۰Lit/min دارد. اتمایزرهای با ظرفیت۲۵۰Kg، مناسب برای آلیاژهای پر عنصر که دوغاب را جمع‌آوری می نمایند، محفظه هایی با حجم بیشتر از ۲ متر مکعب دارند و تا حدودی شبیه به اتمایزرهای گازی هستند. اگر عملیات پمپینگ دوغاب به طور کامل و مداوم انجام شود، محفظه می تواند بسیار فشرده با حجمی به کوچکی ۲۰۰-۱۰۰ لیتر باشد.

از جمله موارد مهم دیگر طراحی شکل محفظه است، به گونه‌ای که انرژی جت آب به طور موثر جذب شده و خللی در روند ورود باریکه مذاب ایجاد نگردد. به این ترتیب، محفظه های مورد نیاز برای سیستم های تغذیه پاتیلی جهت تولید پودر آهن معمولاً بزرگتر بوده و حجم داخلی آنها بین۱ تا ۳ متر مکعب و یا بیشتر قرار می گیرد.

۸-۵-آب زدایی

حذف آب از دوغاب در اتمایزرهای کوچک (بین۱۰۰-۵۰Kg) ممکن است داخل سیستم انجام شود، اما در واحدهای بزرگتر، دوغاب از سیستم به بیرون پمپ شده و آب از آن جدا می گردد.

روش های متعددی برای این منظور وجود دارد که از آن جمله می‌توان به هیدروسیکلون ها، فیلترهای خلأ (بستر مسطح یا چرخان)، جداکننده های مغناطیسی، جداکننده های مارپیچ، کلاسیفرهای شیاری و سانتریفیوژهای تک مرحله ای و پیوسته اشاره نمود. انتخاب سیستم مناسب بر اساس شاخص هایی همچون انعطاف پذیری، سرعت، خوردگی پودر، کارایی، مصرف انرژی و... صورت می پذیرد. معمولاً آب زدایی در دو مرحله انجام می گیرد. به عنوان مثال هیدروسیکلون غلظت دوغاب را از ۱۰ درصد ذرات جامد به ۸۰ درصد می رساند و سپس فیلتر خلأ، میزان رطوبت در ساختار متخلخل ایجاد شده را بین ۳-۵ درصد کاهش می دهد [۲].

۸-۶-خشک کردن

خشک کردن پودر مرحله دیگری است که به شکل های متعددی مانند چرخشی، فلش (پنوماتیک)، سینی شکل (در هوا یا خلأ)، میکسرهای دو مخروطی و یا با انواع دیگر خشک کننده ها انجام می پذیرد. در اینجا نیز شاخص های مهمی جهت انتخاب نوع فرآیند مانند اکسیداسیون و خوردگی پودر، چگالی، تخریب مکانیکی ذرات، انفجار پذیری پودر و توزیع اندازه ذرات مورد نیاز وجود دارد که می بایست در نظر گرفته شود.

۸-۷- جمع آوری/حمل و نقل

جهت جمع آوری و انتقال پودر (به شکل خشک شده یا مرطوب)، راهکارهای مختلفی وجود دارد. برای ایجاد انعطاف پذیری و حفظ تمیزی پودر، حمل با کانتینرهای ابعاد متوسط یا قیف های متحرک بسیار مناسب است، اما به نسبت سیستم کانوایر، نیاز به نیروی کار بیشتری دارد و عملاً در مواردی که گرید های پودرهای آلیاژی به طور متناوب تغییر می کند، قابل کاربرد نیست. برای واحدهای تک محصول، انواع کانوایرها شامل پیچی، تسمه ای و در هر دو شکل متراکم و تکیه دار مورد استفاده قرار می گیرند.

۸-۸- احیای اکسید/ آنیلینگ

احیای اکسید/ آنیلینگ یک مرحله ضروری برای گرید های PM پودرهای آهن و فولاد به شمار می آید که در کوره های تسمه ای پیوسته با ظرفیتی تا حدود۶t/h صورت می پذیرد. برخی پودرهای خاص مانند فولادهای تندبر، در خلأ آنیل می شوند تا میزان اکسیژن آنها از ۰/۲ ٪ به ۰/۰۸ ٪ کاهش یابد. هزینه این عملیات (به هر دو صورتCapex و Opex)، به ویژه هزینه انرژی بر واحد CO_2 ایجاد شده، ممکن است از کل هزینه مراحل تهیه مذاب و اتمایزینگ بیشتر شود. لذا، این فرآیند فقط در صورت نیاز به کار گرفته می شود [۲].

۸-۹- تفکیک اندازه ذرات (غربالگری و کلاسه بندی)

تفکیک و غربالگری ذرات پودر معمولاً برای فرآیندهای متالورژی پودر، AM و پاشش حرارتی انجام می پذیرد و برای کاربرد پودر در عملیات لیچینگ (به مانند مراحل دیگر مانند حذف آب و خشک کردن) ضرورتی ندارد. برای انجام یک الک ساده (شامل حذف ۵ ٪ ذرات با اندازه بیشتر از۲۵۰μm)، استفاده از ویبراتور یا غربال های چرخشی بزرگ با ظرفیت چندین تن در ساعت مناسب است.

برای مصارف پیچیده‌تر مثل ساخت افزایشی، پاشش حرارتی و یا ساخت فیلترها، سیستم های متنوعی برای غربالگری به کار می روند که عموماً دارای سرعت پایینی (کمتر از۱۰۰Kg/h) می باشند.

سرعت غربالگری با کاهش اندازه مش و استفاده از الک های مختلف (برای پودر های زیر۱۰۰μm) به سرعت افت می کند. اگرچه به کارگیری ابزارهای التراسونیک برای جلوگیری از چسبیدگی ذرات (به ویژه برای پودرهای ریزتر از۴۵μm) موثر خواهد بود. اخیراً دستگاه های جدیدی برای غربال ذرات ریز بین۱۰-۲۰μm توسعه یافته، اما سرعت کار آنها کم، عمر کاری محدود و هزینه غربال سازی با آنها معمولاً گران است. از غربالگری می توان به عنوان یک هنر تاریک نام برد که هنوز به طور کامل شناخته نشده است. از این رو، تجهیزات متعددی برای این منظور طراحی شده که به سختی می توان از آنها نتیجه مطلوب و کامل را به دست آورد. در حال حاضر کلاسه بندی پودر با هوا (یا گاز خنثی) به میزان زیادی برای پودرهای زیر۵۰μm به کار می رود. حتی برای پودر های ریزتر، مانند پودر مناسب MIM (با اندازهD۹۰ بین ۲۵μm-۲۰) و AM (عموماً بین ۵۳μm+۲۰-) نیز از این روش استفاده می شود.

۹- انفجار پذیری پودر

علاوه بر موارد پر ریسکی که ممکن است حین تهیه مذاب در

کوره القایی (مانند پدیده پل زدن یا تخریب نسوز) رخ دهد، معمولاً دو نگرانی در خصوص انفجارها در هنگام اتمیزاسیون آبی وجود دارد. یکی از آنها انفجار ناشی از گرد و غبار و دیگری انفجار مربوط به گاز هیدروژن است.

نوع اول زمانی اتفاق می‌افتد که فلز به طور زیادی مستعد سوختن بوده و ذرات پودر به اندازه کافی ریز باشند تا امکان ایجاد تجمع احتراق پذیری از ذرات گرد و غبار فراهم گردد. این حالت معمولا در سیستم های اتمیزه آبی نادر بوده، اما لازم است که تمهیدات ویژه ای برای تولید پودر موردنیاز روش MIM با اتمیزه آبی با فشار بسیار بالا در نظر گرفته شود.

عمده چالش ها در زمان احیای پودر آهن ایجاد می گردد که در آن پودر تازه احیا شده، بسیار انفجارزا بوده و نیازمند اعمال مراقبت های اجباری و ضروری زیادی در مرحله جمع آوری و انبارش می باشد. گاز هیدروژن در زمان اتمیزاسیون آبی بسیاری از فلزات، با توجه به تشکیل اکسید فلز مطابق واکنش ذیل ایجاد می گردد:

$$M+H2O \rightarrow MO+H2\uparrow$$

برای بررسی ترکیب شیمیایی آلیاژ و تغییرات ایجاد شده در آن پس از انجام اتمیزه آبی، استفاده از روش های مختلف آنالیز شیمیایی برای بررسی نمونه های پودر تولید شده، بسیار متداول و تاثیرگذار است (شکل ۱۶) [۲].

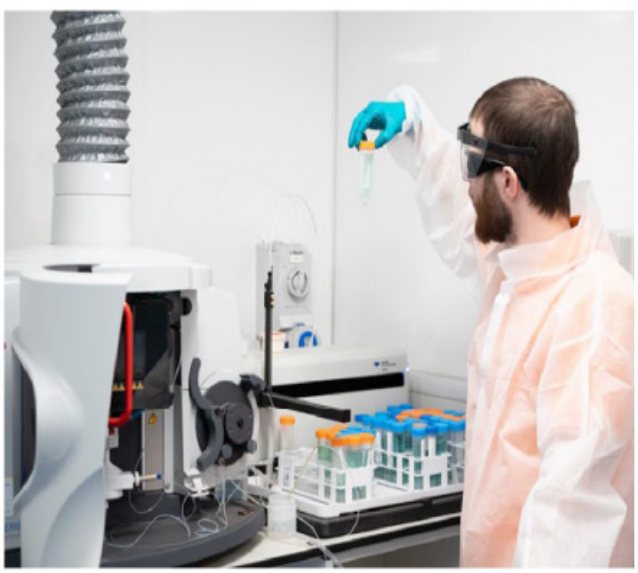
محاسبه ساده‌ای وجود دارد که یک اتمایزر با ظرفیت تولید X Kg/min پودر و با میزان Y ٪ اکسیژن، گاز هیدروژن به میزان XY×14 Lit/min ایجاد می نماید. به عنوان مثال فرآوری آلیاژ FeSi15 با سرعت۵۰ Kg/min با محتوای اکسیژن ۰/۱ ٪، تقریباً ۷۰Lit/min و یا اتمایزینگ آلیاژ FeMn با مقدار اکسیژن ۱ ٪ و نرخ ساخت پودر ۷۰۰ Lit/min، ۵۰ Kg/min گاز هیدروژن تولید خواهد کرد. بنابراین، سایت طراحی شده باید به دقت گاز هیدروژن ایجاد شده را به بیرون انتقال داده و از انفجار احتمالی ناشی از ترکیب هیدروژن با هوا داخل اتمایزر جلوگیری نماید. این مهم با تزریق کافی یک گاز خنثی یا هوا برای رقیق نمودن گاز ایجادی داخل محفظه اتمایزر و کاهش انفجار پذیری سیستم انجام می پذیرد.

به طور کلی مشخص شده است که استفاده از جت اسپری ها برای جلوگیری از گسترش انفجار و به حداقل رساندن حجم اتمایزر و کاهش خطرات احتمالی بسیار موثر است. اگر از محفظه های اتمایزینگ بزرگ با حجم چندین متر مکعب استفاده شود، از درب ها یا پنل های کنترل انفجار برای افزایش ایمنی سایت تولید بهره برداری می‌گردد تا ریسک های فرآیند به حداقل برسد.

۱۰- گردش آب

در سال های گذشته، روند قابل قبولی از پیشرفت فرآیند پمپ آب داغ و کثیف از اتمایزر به سمت سیستم زهکشی مشاهده شده است. اگرچه در مواردی ادعا شده که سالانه چند تن فلز نیکل به این روش از دست می رود. یک طراحی مناسب در اتمایزر آبی، باید دارای یک سیستم گردش آب بسته برای فیلترینگ و خنک کاری آب فرآیند باشد و آب را داخل تانک با هد کافی نگهداری نماید تا با استفاده از آن پمپ های فشار بالا، بدون ایجاد اثرات حباب زایی به خوبی تغذیه شوند. در سیستم های تک مرحله ای پیشنهاد می شود که آب کافی در هد تانک تا میزان ۵۰ درصد بیشتر از زمان پیش‌بینی شده اتمایزینگ موجود باشد. البته این موضوع زمان های شروع و خاموشی ماشین را افزایش داده و پتانسیل بیشتری برای حرکت آهسته مذاب فراهم می سازد.

اجرای فرآیندهای فیلتراسیون، به ویژه برای واحدهای فشار بالا که در آن ها ذرات زیر میکرون یافت می شود، چالش برانگیز بوده و از روش‌های مختلفی همچون فیلتراسیون مغناطیسی،



شکل ۱۶) استفاده از آنالیز شیمیایی برای بررسی نمونه های پودر فلزات

کارتدریجی و فیلترهای پیش-پوشش دار به مثابه گزینه هایی مانند هیدروسیکلون ها و سانتریفیوژ ها در چند مرحله استفاده می شود. در این روش ها دستیابی به کارایی بالا امکان پذیر است.

به عنوان مثال یک اتمایزر Kg ۲۵تک مرحله با قابلیت تولید پودر نقره با ظرفیت (۱۰ Kg/min) ۵۰ t/yr، تمام آب مورد استفاده را به جز آب حذف شده حین خشک کردن، بازیابی نموده و مورد استفاده مجدد قرار می دهد و تنها مقدار ۱Kg پودر در هد تانک آن پس از گذشت یک سال مشاهده می شود که نشان از بازیابی فلز به میزان مطلوب ۹۹/۹۹۸ ٪ دارد. در حالی که اتمایزر نیاز به استفاده از $۶m^3$ آب در هر تن پودر فلز داشته، با رعایت الزامات و کنترل شرایط آب (شامل فیلتراسیون و بهره گیری مجدد)، می توان تلفات آن را به کمتر از یک درصد کاهش داد.

۱۱-جمع بندی

به عنوان جمع بندی این بخش می توان اشاره نمود که ارتباطی مستقیم بین مکانیزم تولید پودر، مشخصات آنها و رفتار توده پودر وجود دارد که این مهم به درک بهتر انواع پودرهای تولید شده با هر یک از تکنولوژی های اتمیزاسیون کمک می کند. اتمیزاسیون آبی، در اکثر موارد یک فرآیند مهم و قدرتمند به شمار می آید. در یک تعریف کلی، این فرآیند از دو مرحله کاملا مشخص و مجزا تشکیل شده است: ریختن فلز مذاب و پمپ آب با فشار بالا. هر دو این واحدها به طور مناسبی شناخته و بررسی شده اند و پایه علمی نسبتاً کاملی برای آنها وجود دارد. جهت انجام بهینه کار، نیاز به تجمیع تجهیزات به طور متناسب وجود دارد تا فرآیند با اطمینان پذیری بالایی انجام شود. در نگاه اول، به نظر می رسد که نقشه اجرایی ساخت یک واحد اتمایزر آبی، نیاز به تجهیزات نسبتاً کمی دارد. اما، وجود فرآیندهای متصل به آن، مانند انتقال آب مصرفی، جداسازی، خشک کردن، احیا و بازیابی مجدد آب، باعث می شود تا گستره مراحل و پیچیدگی کل فرآیند تولید پودر به این روش افزایش یابد. این موارد قابلیت کاربرد فرآیند را در تولیدات بزرگ محدود می سازد و بهره گیری از آن در مقیاس کوچکتر نیز برای برخی فلزات پر هزینه خواهد بود.

بیشتر کاربردهای پودر تولید شده به روش اتمیزه آبی شامل پودر بی نظم برای فشرده سازی در قالب، با مساحت سطح ویژه زیاد و هزینه کم می باشد. البته اخیراً این روش پتانسیل هایی برای تولید پودر با مورفولوژی کروی را نیز بروز داده که قابل استفاده برای روش های ساخت MIM و AM بوده و دامنه وسیع تری از بازار مصرف را در آینده پیش روی آن قرار می دهد.

۱۲-مراجع

[1] Joseph Tunick Strauss, PhD and John J Dunkley, PhD, The article of "How to make metal powders, part1: An introduction to atomization, process fundamentals and powder characteristics" published in Journal of Powder Metallurgy Review Magazine, winter 2021, pages 63-68.

[2] Joseph Tunick Strauss, PhD and John J Dunkley, PhD, The article of "How to make metal powders, part2: Understanding water atomization and water atomized powdres" published in Journal of Powder Metallurgy Review Magazine, Spring 2022, pages 79-86.

اثر پیرسازی ثانویه بر ریزساختار وخواص آلیاژ ریختگی Al-Cu-Mg

ترجمه مهندس عبدالحمید قدیمی، انجمن علمی ریخته گری ایران

Effect of secondary aging on microstructure and properties of cast Al-Cu-Mg alloy

Abdolhamid Ghadimi, Iranian Foundrymen's Society

چکیده:

برای به دست آوردن خواص کلی بهتر آلیاژهای ریختگی Al-Cu-Mg، عملیات پیرسازی ثانویه (T_{616}) (شامل پیرسازی اولیه، مراحل پیرسازی منقطع و پیرسازی مجدد) با روش متعامد بهینه سازی شد. ریزساختار آلیاژ Al-Cu-Mg بهینه شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری مشاهده شد. خواص با اندازه گیری سختی و کشش بررسی شد. تست‌ها،(تست‌های خوردگی لایه‌برداری، و تست‌های خوردگی بین دانه‌ای)صورت گرفت. نتایج نشان می دهد که فاز S و فاز θ' به طور همزمان در آلیاژ عملیات (T_{616}) شده وجود دارد. افزایش مناسب دمای پیری منقطع در فرآیند (T_{616}) می تواند خواص مکانیکی و مقاومت در برابر خوردگی آلیاژ Al-Cu-Mg را بهبود بخشد. از بهینه سازی خواص کلی (مقاومت کششی ۴۴۳/۶ مگاپاسکال، سختی۱۶۱/۶HV) آلیاژ به دست می آید. پیرسازی اولیه در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت، پیرسازی متوقف شده در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه و پیرسازی مجدد در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت.

کلمات کلیدی: آلیاژ ریختگی Al-Cu-Mg; پیرسازیی ثانویه؛ ویژگی های مکانیکی؛ مقاومت در برابر خوردگی؛ تقویت کردن فاز

۱- معرفی

آلیاژهای Al-Cu-Mg به طور گسترده به عنوان پایه مواد برای صنعت هوافضا به دلیل بالا بودن استحکام کششی، چقرمگی و فرآیند پذیری خوب [۵-۱] استفاده می شوند. سختی و استحکام آلیاژهای Al-Cu-Mg پایین بوده و خوردگی حفره ای، خوردگی بین دانه ای (IGC) و خوردگی موضعی اغلب در این آلیاژ بوجود می آید(۷ و ۶) که موجب محدودیت در کاربردهای صنعتی آنها می شود. بنابراین برروی ارتقا خصوصیات جامع Al-Cu-Mg همیشه در تحقیقات تمرکز گردیده است.

مطالعات متعددی نشان می دهد که عملیات حرارتی

می تواند به طور قابل توجه خصوصیات آلیاژهای Al-Cu-Mg را توسعه دهد(۱۰ تا۸)، فرآیند استاندارد T_6 می تواند خصوصیات مکانیکی آلیاژهای Al-Cu-Mg را ارتقا دهد. لیکن این بهبود محدود می باشد. برای ارتقا بیشتر خصوصیات مکانیکی،Lumley و همکارانش(۱۱) پیشنهاد انجام فرآیند پیرسازی ثانویه را داده است. عملیات پیرسازی ثانویه به منحنی قطع فرآیند T_6 برای یک دوره زمانی در یک درجه حرارت پایین تر می باشد. فرآیند بهسازی ثانویه T_{614} و T_{616} نامیده می شود که در آن پیرسازی مجدد پس از قطع پیرسازی اولیه درجه حرارت پایین انجام گردد. در تعداد زیادی از تحقیقات نشان داده شده که جوانه زایی و نرخ رشد فازهای استحکام ده در آلیاژها با پدیده رسوبات ثانویه در پیر سازی قطع شده در یک درجه حرارت پایین تغییر می یابد(۱۲ و ۱۳).

فرآیند T_{616} قادر به ارتقای استحکام آلیاژ بدون کاهش چقرمگی بوده و برای آلیاژهای آلومینیم قابل پیرسختی زیادی اعمال شده است (۱۴ تا ۱۶). Yin و همکارانش (۱۷) اظهار داشتند که یک افزایش در درجه حرارت پیرسازی قطع شده می تواند کمک کننده به جوانه زایی ثانویه و ارتقای اثر پیرسختی در فرآیند T_{616} تاثیر بزرگی بر رسوبات در مرز دانه دارد و تغییر در رسوبات مرز دانه منجر به تغییر در مقاومت به خوردگی خواهد شد(۱۹ و ۱۸). البته تاثیر فرآیند T_{616} بر مقاومت به خوردگی آلیاژهای Al-Cu-Mg تاکنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است.

در تحقیق حاضر فرآیند $\mathbf{T_{616}}$ با استفاده روش ارتوگونال بهینه شده و اثر آن بر خصوصیات مکانیکی و مقاومت به خوردگی آلیاژ Al-Cu-Mg نیز مورد بررسی واقع شده است.

۲- روش آزمایش

نمونه آلیاژ مورد مطالعه Al-Cu-Mg به صورت استوانه به قطر ۲۵۰ و طول ۱۰۰ میلیمتر با ترکیب 0.13%Si-0.28%Fe-0.48%Mn-1.52%Mg و مابقی Al ریخته گردید. نمونه ها ابتدا در ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۴۰ دقیقه در یک کوره مقاومتی تحت عملیات انحلالی قرار گرفته و در انتها به سرعت کوئنچ شدند و سپس در یک درجه حرارت ثابت در یک آون با هوای گرم در سه مرحله پیرسخت گردیدند.

جدول ۱)طراحی آزمایش با استفاده از روش ارتوگونال$L25(5^6)$

No.	Initial aging		Interrupted aging		Re-aging	
	Temp. (°C)	Time (h)	Temp. (°C)	Time (min)	Temp. (°C)	Time (h)
	A	B	C	D	E	F
1	150	1	80	10	150	1
2	150	2	90	20	160	2
3	150	3	100	30	170	3
4	150	4	110	40	180	4
5	150	5	120	50	190	5
6	160	1	90	30	180	5
7	160	2	100	40	190	1
8	160	3	110	50	150	2
9	160	4	120	10	160	3
10	160	5	80	20	170	4
11	170	1	100	50	160	4
12	170	2	110	10	170	5
13	170	3	120	20	180	1
14	170	4	80	30	190	2
15	170	5	90	40	150	3
16	180	1	110	20	190	3
17	180	2	120	30	150	4
18	180	3	80	40	160	5
19	180	4	90	50	170	1
20	180	5	100	10	180	2
21	190	1	120	40	170	2
22	190	2	80	50	180	3
23	190	3	90	10	190	4
24	190	4	100	20	150	5
25	190	5	110	30	160	1

عوامل و فاکتورهای اصلی فرآیند $\mathbf{T_{616}}$ عبارتند از: درجه حرارت و زمان پیرسازی اولیه، درجه حرارت و زمان پیرسازی قطع شده و درجه حرارت و زمان پیرسازی که همگی در جدول ۱ ارائه گردیده است. آزمون سختی با یک سختی سنج دیجیتال ویکرز 250HV انجام و میانگین پنج اندازه گیری ثبت شد. برخی عوامل و فاکتورهای فرآیند $\mathbf{T_{616}}$ براساس سختی آلیاژ تعیین و سپس بهینه گردید. این عوامل سپس با انجام آزمایشات کشش، آزمون خوردگی و مشاهدات ریزساختاری مورد مطالعه گرفتند. آزمایش کشش با یک دستگاه یونیورسال MTS با سرعت کرنش 10^{-4} برثانیه، براساس استاندارد ISO6892-1:2009 برروی نمونه استوانه ای به قطر ۵ و طول ناحیه کشش ۲۵ میلیمتر انجام و میانگین سه نتیجه ثبت گردید. آزمایش مقاومت به خوردگی پوسته ای شدن (EXCO) براساس استاندارد ASTMG34-01

بر روی نمونه ای به شکل مکعب مستطیل انجام شد. یک سطح نمونه تحت تاثیر محلول خورنده و سایر سطوح با چسب پوش داده شد به طوری که در جریان آزمایش نسبت سطح به حجم نمونه $25cm^2/L$ بوده است. محلول خورنده ۴ مول برلیتر NaCl به علاوه ۰/۵ مول برلیتر KNO_3 به علاوه ۰/۱ مول برلیتر HNO_3 و درجه حرارت محلول (۳)±۲۵ درجه ی سانتی گرادکنترل گردید. نمونه ها پس از ۹۶ ساعت در تماس با محلول برای مشاهده شرایط خوردگی از محلول خارج شده و میزان EXCO براساس استاندارد ASTMG34-01(2013) تعیین شده است.

آزمایش خوردگی بین دانه ای IGC مطابق استاندارد ASTM G110-1992(2009) انجام گردید. سه نمونه با شرایط مختلف عملیات حرارتی برداشته شد به طوری که نسبت حجم سطح کمتر از $20cm^2/L$ باشد.

نمونه ها با سنباده پرداخت گردید و در محلول ۱۰درصد NaOH برای ۵ تا ۱۵ دقیقه جهت عملیات اولیه غوطه ور شد. سپس با آب شسته و در محلول ۳۰ درصد HNO_3 فرو برده شد تا سطوح بسیار صاف گردید و در انتها مجدداً با آب شسته شد. در نهایت نمونه ها به صورت عمودی در محلول خوردگی (۵۷ گرم NaCl و ۱۰ میلی لیتر H_2O_2، در یک لیتر آب مقطر) برای مدت شش ساعت و در درجه حرارت (۲)±۳۵ درجه ی سانتی گراد به صورت آویزان نگه داشته شد. در انتهای آزمایش هم خوردگی بین دانه ای IGC به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی TM3030 و میکروسکوپ الکترونی عبوری JEM-2100 مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-نتایج وبررسی

۳-۱- سختی و مقادیر S/N محاسبه شده

اثر عوامل و فاکتورهای فرایند $\mathbf{T}_{616}$ بر سختی آلیاژ Al-Cu-Mg را می توان با مقادیر محاسبه شده **S/N** بررسی نمود. در جدول۲ نتایج سختی و مقادیر **S/N** ارائه شده است. از آنجا که طراحی آزمایشگاهی ارتوگونال این امکان وجود دارد از هر عامل فرایند $\mathbf{T}_{616}$ در سطوح مختلف جدا شود. (۲۰ تا ۲۲) برای مثال معنی مقدار **S/N** برای درجه حرارت پیر سازی اولیه در سطوح ۱،۲،۳،۴،۵می تواند به ترتیب با مقادیر متوسط **S/N** برای آزمایشات ۱ تا ۵ ، ۶ تا ۱۰ ، ۱۱ تا ۱۵ ، ۱۶ تا ۲۰ و ۲۱ تا ۲۵ محاسبه شود. این نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱ با افزایش تمام عوامل فرایند $\mathbf{T}_{616}$ مقادیر **S/N** از سختی آلیاژ ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد اما تغییر مقادیر **S/N** برای درجه حرارت پیرسازی مجدد قابل مشاهده نیست. به علاوه مقادیر **S/N** در درجه حرارت پیرسازی قطع شده از ۸۰ و ۹۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد مشابه بوده و به ترتیب ۴۲/۸۹۸، ۴۲/۰۱۶و ۴۳/۰۴۶ میباشد و مقادیر **S/N** در تغییر زمان پیرسازی قطع شده از ۳۰ و ۴۰ دقیقه مشابه بوده و به ترتیب ۴۳/۱۶۸ و ۴۳/۰۹۴ است.

۳-۲-آنالیز واریانس

آنالیز واریانس خطی آلیاژ در جدول ۳ ارائه شده است. سختی آلیاژ تحت عملیات $\mathbf{T}_{616}$ بیشتر تحت تاثیر درجه حرارت و زمان پیر سازی اولیه به ترتیب ۳۴/۹ و ۳۶/۰۷ درصد بوده به میزان زیادی موثر از درجه حرارت پیر سازی قطع شده، زمان پیرسازی قطع شده و زمان پیرسازی مجدد به ترتیب ۴/۲۰ ، ۱۷/۵۱ و ۶/۶۶ درصد و تاثیر کمتری از درجه حرارت پیر سازی مجدد در حد ۰/۶۶ درصد داشته است.

۴- بهینه سازی و سگالش

برای بهینه سازی بیشتر فرایند $\mathbf{T}_{616}$ ضروری است تاثیر عوامل و فاکتورهای فرآیند $\mathbf{T}_{616}$ به طور مشروح در نظر گرفته شود. بر اساس شکل ۱ مقادیر S/N از درجه حرارت پیرسازی اولیه، زمان پیرسازی اولیه و زمان پیرسازی مجدد نشان از نقاط حداکثری مشهود داشته بنابراین عوامل بهینه را می توان در درجه حرارت ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت و زمان پیش سازی مجدد ۴ساعت در نظر گرفت. اما مقادیر S/N برای درجه حرارت پیرسازی قطع شده و زمان و درجه حرارت پیرسازی مجدد نشان دهنده نقاط پیک قابل توجه نیست. بر اساس جدول ۳ درجه حرارت پیرسازی مجدد دارای حداقل تاثیر بر فرآیند $\mathbf{T}_{616}$ داشته بنابراین نیازمند بهینه سازی بیشتر نیست و عواملی با بالاترین مقدار S/N (۱۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت) انتخاب شدند. بدین ترتیب بهینه سازی بیشتر باید بر درجه حرارت پیرسازی قطع شده(۸۰ و۹۰و ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و زمان های ۳۰ و ۴۰ دقیقه از طریق تمرکز انجام شود (جدول چهار).

جدول ۲)نتایج سختی و مقادیر محاسبه شده S/N

Experiment No.	Average hardness (HV)	Calculated S/N value
1	124.54	41.905957
2	140.42	42.948065
3	142.42	43.070537
4	134.12	42.549341
5	123.36	41.823051
6	144.26	43.182536
7	149.28	43.479706
8	138.48	42.827298
9	128.84	42.200335
10	135.68	42.649866
11	147.58	43.380294
12	144.64	43.205504
13	138.72	42.842670
14	144.78	43.213734
15	141.92	43.040228
16	144.26	43.182545
17	158.58	44.004822
18	148.54	43.436569
19	141.56	43.018594
20	138.56	42.832489
21	140.62	42.960670
22	146.00	43.286908
23	139.46	42.888535
24	132.86	42.467741
25	131.56	42.382277

۴-۱-خصوصیات مکانیکی

شکل دو منحنی های تنش کرنش نمونه‌های ۰۴-۰۱ و جدول چهار نیز نتایج خصوصیات کشش و سختی نمونه ها را نشان می دهد. بنابر نتایج می توان دریافت که خصوصیات کششی و سختی چهار نمونه روند تغییرات یکنواختی داشته ولی نمونه ۰۲ بالاترین استحکام کشش و تسلیم، ازیاد طور نسبی و سختی را به ترتیب ۴۴۳/۶ مگاپاسکال ، ۴۰۱/۶ مگاپاسکال ، ۱۰/۱ درصد و ۱۶۱/۶ویکرز داشته است. نتایج نشان می‌دهد در جریان زمان مشابه پیرسازی افزایش مناسب درجه حرارت در پیرسازی منقطع دمای پایین، استحکام و سختی آلیاژ ارتقا می یابد. البته هنگام تشابه درجه حرارت پیرسازی زمان طولانی مدت پیرسازی و دمای پایین، استحکام و سختی افت خواهد کرد.

۴-۲-خصوصیات خوردگی پوسته ای شدن

در شکل ۳ مورفولوژی سطحی نمونه ها پس از آزمایش EXCO نشان داده شده که در شکل های ۳a و ۳b سطوح نمونه ها تحت خوردگی، پوسته شدید واقع شده و در اثر خوردگی به رنگ قهوه ای تیره در آمدند. در شکل ۳cیک ناحیه بزرگ تحت خوردگی پوسته ای قرار گرفته را میتوان بر روی سطح آلیاژ مشاهده نمود که به رنگ قهوه ای در آمده است. در شکل ۳b سطح آلیاژ کمی دچار خوردگی پوسته ای و تغییربه طوری که هنوز برق فلزی بر روی آن باقی مانده است. بنابراین در مقایسه با سایر نمونه ها، نمونه۰۲ درجه خوردگی پوسته ای کمتر داشته و کوچکترین سطح خورده شده را دارد. جدول ۶ مقادیر خوردگی EXCO نمونه ها را نشان می دهد. بنابراین نتایج می توان دریافت افزایش مناسب درجه حرارت بی سازی منقطع برای ارتقاء مقاومت به خوردگیEXCO مفید بوده اما اگر این درجه حرارت بسیار بالا رود مقاومت به خوردگی پوسته ای شدن به شدت کاهش می یابد. بر اساس نتایج نمونه ۰۲بهترین مقاومت به خوردگی EXCO را دارد.

۴-۳-خصوصیات خوردگی بین دانه ای

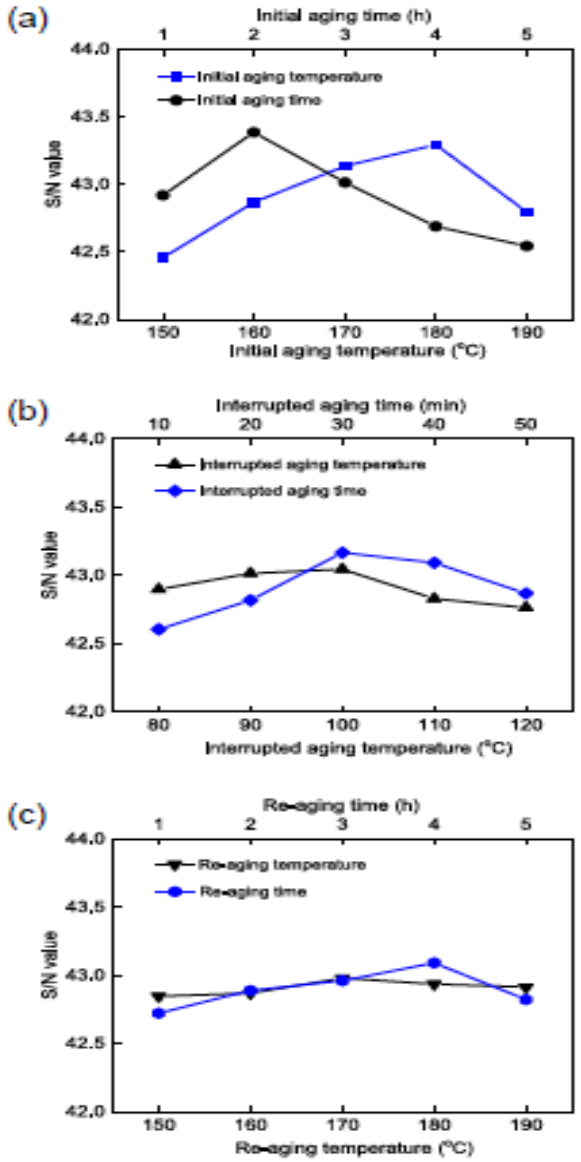
عمق خوردگی آلیاژها با آزمایش IGC مورد مطالعه قرار می گیرد. و شکل چهار مورفولوژی مقطع عرضی نمونه ها را پس از آزمایش IGC نشان می‌دهد که در شکل ۴a خوردگی در امتداد مرز دانه ها در نمونه۰۱ پیشروی کرده است.عمق خوردگی IGC نمونه۰۲ در شکل ۴ نسبت به شکل ۴a بر اساس شکل ۴c عمق خوردگی IGC در نمونه۰۳ عمیق‌ترین سطح خوردگی بزرگترین است. در شکل ۴d مشاهده می شود که هم خوردگی IGC آلیاژ کم عمق تر از مشکل ۴c بوده ولی خوردگی هنوز عمیق است. جدول ۷ نتایج عمق خوردگی کلیه نمونه های ارائه شده که در آن ملاحظه می‌شود عمق IGC در نمونه کم عمق تر بوده و فقط ۱۵۰ میکرون میباشد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مقاومت به خوردگی IGC آلیاژ را میتوان با افزایش مناسب درجه حرارت پیرسازی. در زمان یکسان بالا برد، اما اگر درجه حرارت بسیار بالا رود و زمان نیز به سرعت افزایش یابد مواد به خوردگی IGC کاهش می‌یابد. این نتایج نتایج خوردگی IGC نیز سازگار است.

۴-۴-بررسی ریزساختار

مطالعات نشان داده که ترتیب رسوب کردن در آلیاژهای Al-Cu-Mg بدین ترتیب است: (از ۲۶ تا ۲۳)

$$sss \rightarrow GP \rightarrow \theta'' \rightarrow \theta' \rightarrow \theta(Al_2Cu)$$
$$sss \rightarrow GP \rightarrow 's \rightarrow s(Al_2CuMg)$$

تصاویرTEM زمینه روشن در تمامی نمونه ها در شکل۵ نشان داده شده که مشاهده می شود در۴ شکل اولیه فازهای استحکام ده در آلیاژ تحت عملیات حرارتی T_{616} ،فازهای 'S و 'θ شکل 5a نشان می دهد که اندازه و توزیع فاز S در نمونه۰۱یکنواخت نیست و فاز 'θ کمتر است. بر اساس شکل 5b فازهای استحکام ده در نمونه ۰۲توزیع یکنواخت داشته و بیشتر فاز هایS کوچک بوده و در حد حدود ۱۵۰ نانومتر می باشد. فازهای اولیه'S در نمونه ۰۳ شدیداً درشت هستند. (شکل5c) که موجب کاهش خصوصیات مکانیکی آلیاژ می شود. همانطور که در شکل شکل 5d نشان داده شده فازهای استحکام طور یکنواختی توزیع گردیده ولی در نمونه۰۴ اندکی درشت شده اند. در شکل 5c الگوهای پراش و فاز ربات آرایش بین فاز و زمینه ارائه شده و شکل ۵ الگوهای پراش فاز S و ارتباط آرایش بین فاز S و زمینه $[100]_s[100]_{Al}$ ارائه شده و شکل 5f الگوهای پراش فاز 'θ و ارتباط آرایش بین فاز 'θ و زمینه را به صورت $[021]_{Al}//[010]_{s(s')}$,$[100]_{Al}//[100]_{s(s')}$,$[021]_{Al}//[100]_{s(s')}$ است.(۲۵) فاز S به زمینه نچسبیده و مانع حرکت نابجایی ها می شود. در شکل 5f همچنین الگوی پراش فاز'θ و ارتباط آرایش بین فاز'θ و زمینه را به صورت$[001]_{Al}//[010]_{\theta'}$مشاهده می شود. فاز'θ به زمینه نیمه چسبنده بوده و کرنش چسبندگی بزرگی داره که منجر به اثر استحکام دهی بیشتری می گردد. بنابراین فازهای 'θ و s که در عملیات حرارتی T_{616} آلیاژ Al-Cu-Mg بوجودآمده، می تواند خصوصیات مکانیکی آلیاژ را ارتقا دهد. در عملیات پیرسازی اولیه علت بزرگتر بودن قابلیت نفوذ و انرژی چسبندگی جاهای خالی منیزیم نسبت به Cu، فاز's ابتدا در محلول جامد فوق اشباع رسوب می کند. هنگامی که عملیات پیرسازی به صورت منقطع در درجه حرارت پایین انجام می‌شود نسبت اتم‌هایMg اندکی از آلیاژ رسوب می کنند، ولی اتمهای Cu به طور مداوم رسوب می نمایند. ناحیه GPB وGP احتمالا رسوبات ثانویه آلیاژ هستند. افزایش دادن درجه

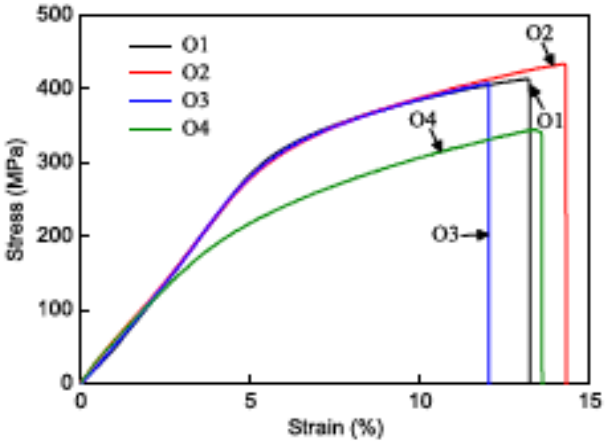


شکل۱) اثر عوامل عملیات حرارتی T_{616} برمقادیر سختی S/N

a)عوامل و فاکتورها در عملیات پیرسازی اولیه

b) عوامل و فاکتورها در پیرسازی منقطع

c)عوامل پیرسازی مجدد



شکل۲) نمودار تنش-استحکام برروی نمونه ها

جدول۳) آنالیز واریانس سختی آلیاژها

Factors	Degrees of freedom	Sum of square	Mean square	F-ratio	Contribution (%)
A	4	528.0489	132.0122	2.374	34.90
B	4	545.7668	136.4417	2.454	36.07
C	4	63.6655	15.9164	0.286	4.20
D	4	264.8359	66.2090	1.191	17.51
E	4	10.1027	2.5257	0.045	0.66
F	4	100.6809	25.1702	0.453	6.66
Total	24	1,513.1007	378.2751	6.803	100

جدول۴) انواع مختلف عملیات پیرسازی

Sample	Initial aging	Interrupted aging	Re-aging
O1	180 °C×2 h	80 °C×30 min	170 °C×4 h
O2		90 °C×30 min	
O3		100 °C×40 min	
O4		80 °C×40 min	

جدول۵) خصوصیات کششی و مقادیر سختی نمونه ها

Sample	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV)
O1	413.7	375.3	7.4	150.2
O2	443.6	401.6	10.1	161.6
O3	407.7	368.9	6.5	149.4
O4	345.1	302.2	8.3	125.4

جدول۶) میزان خوردگی EXCO نمونه ها

EA=سطحی و کم، EB=متوسط، EC=شدید، ED=بسیارشدید

Sample	O1	O2	O3	O4
EXCO rating	EB	EA	ED	EB

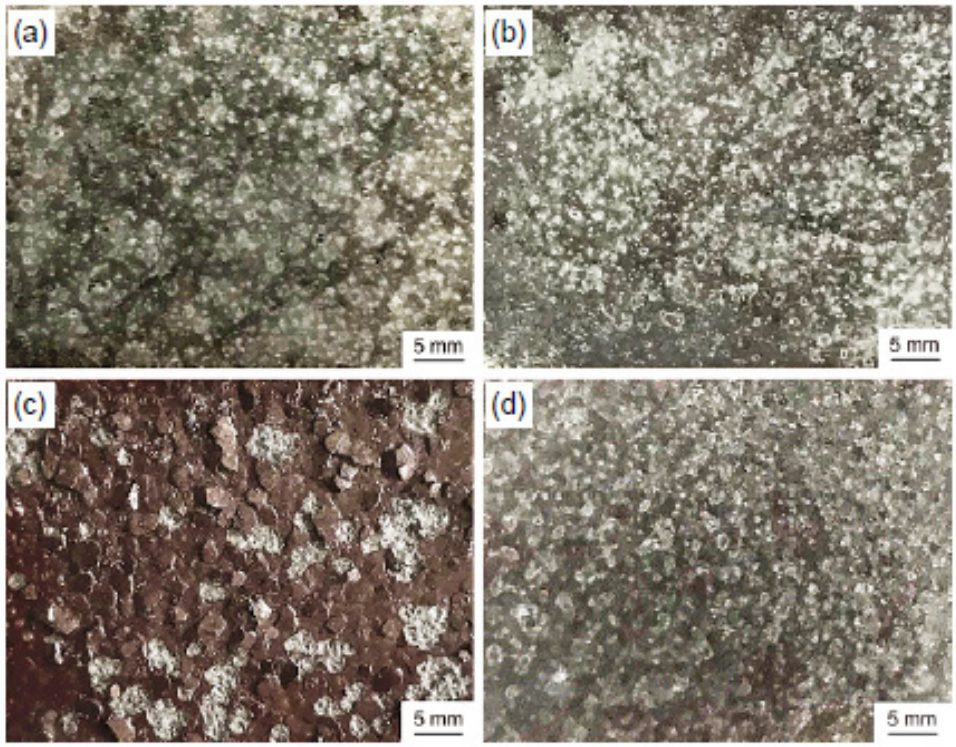
جدول۷) عمق خوردگی بین دانه ای IGC

Sample	O1	O2	O3	O4
IGC depth (μm)	166	105	204	179

حرارت و طولانی شدن زمان پیرسازی منقطع بیشتر به جوانه زنی رسوبات ثانویه و درشت شدن فازs منجر خواهد شد. اما در پیرسازی مجدد فاز اولیه S به رشد و حتی درشت شدن ادامه می‌دهد و نواحی ثانویه GPB وGP نیز به آرامی به ترتیب به فازهای S و θ' تغییر میکند. ارتقای خصوصیات مکانیکی در عملیات حرارتی T_{616} عمدتاً به دلیل وجود همزمان فاز های ظریف و یکنواختs و θ' است. رسوب مداوم اتم های Cu این قابلیت را در آلیاژ ایجاد می کند تا نزدیک به آلومینیوم خالص شود که می‌تواند حساسیت خوردگی ها را کاهش دهد.

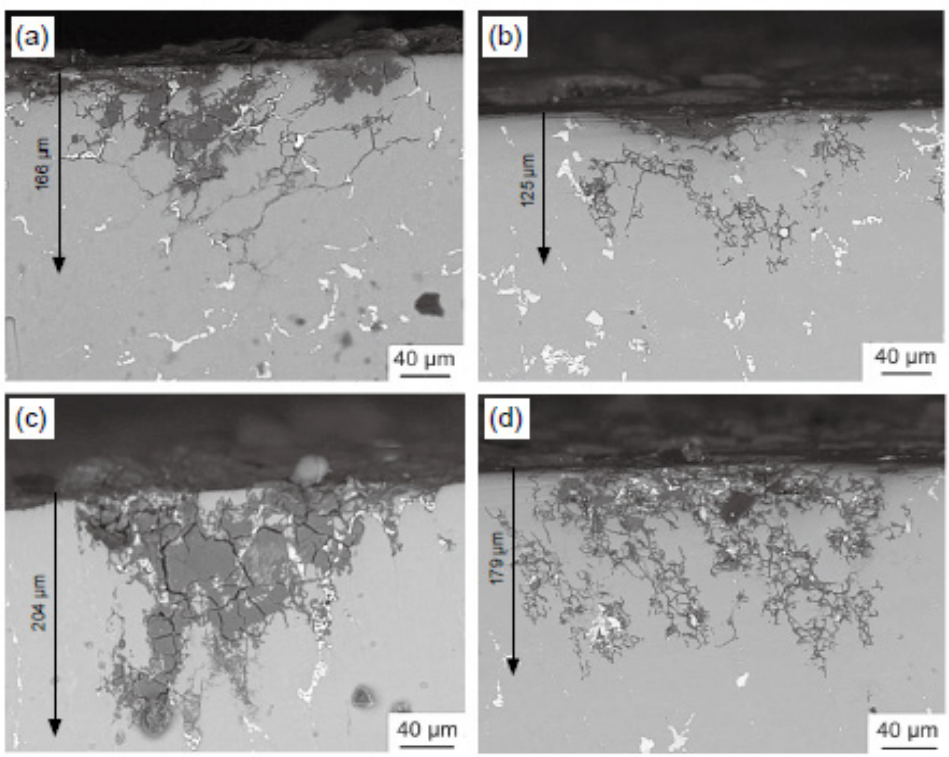
۵-نتیجه گیری

۵-۱- افزایش مناسب درجه حرارت پیرسازی منقطع برای پیرسختی و اثر استحکام دهی آلیاژ بسیار مفید است. با فرآیند بهینه T_{616} یعنی



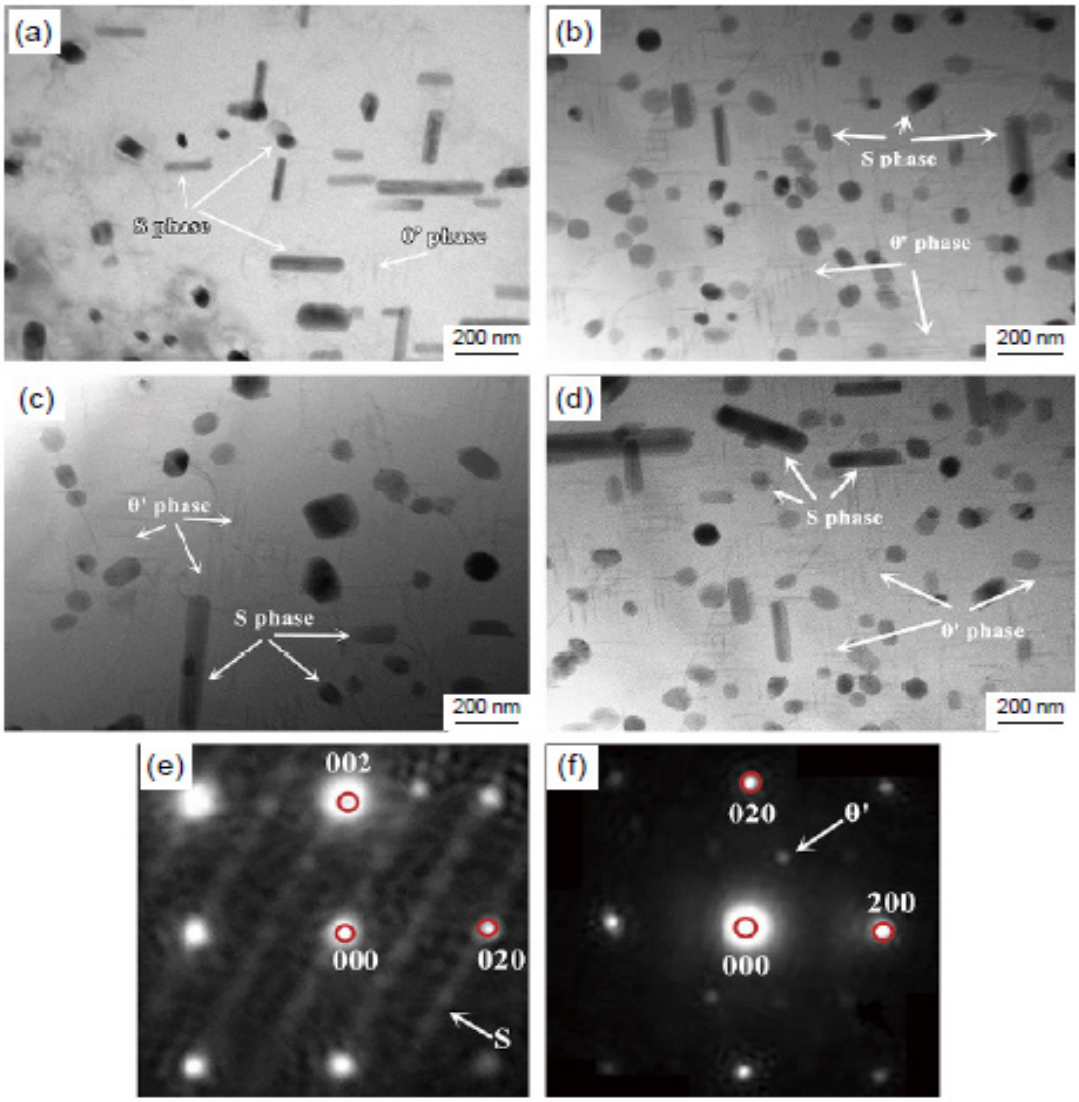
شکل ۳) مورفولوژی سطحی نمونه ها در خوردگی پوسته ای EXCO

a) نمونه ۰۱ b) نمونه ۰۲ c) نمونه ۰۳ d) نمونه ۰۴



شکل ۴) مورفولوژی مقطعی عرضی نمونه ها در خوردگی بین دانه ای IGC

a) نمونه ۰۱ b) نمونه ۰۲ c) نمونه ۰۳ d) نمونه ۰۴



شکل ۵) تصاویر TEM و الگوهای پراش فازهای S در تصویر eو فاز 'θ در تصویر f

a) نمونه ۰۱ b) نمونه ۰۲ c) نمونه ۰۳ d) نمونه ۰۴

پیرسازی اولیه در ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت، پیرسازی منقطع در ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه و پیرسازی مجدد در ۱۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت استحکام کشش ۴۴۳/۶مگاپاسکال و سختی ۱۶۱ بوده و میزان خوردگی پوسته ای شدن EXCO در حد کم عمق و سطحی (EA) و خوردگی بین دانه ای نیز با عمق ۱۰۵ میکرون بوده است.

۲-۵- پدیده رسوب ثانویه می‌تواند فازهای استحکام در را در عملیات حرارتی T_{616} افزایش دهد. ارتقای خصوصیات مکانیکی و مقاومت به خوردگی آلیاژ ریختگی Al-Cu-Mg به دلیل وجود همزمان فاز ضعیف و یکنواختs و'θ پس از عملیات Al-Cu-Mg است.

***References**

[1] Du A H, Wang W G, Gu X F, et al. The dependence of precipitate.morphology on the grain boundary types in an aged Al-Cu binary alloy. Journal of Materials Science, 2021, 56(1): 781-791.

[2] Liu F, Liu Z Y, Liu M, et al. Analysis of empirical relation between microstructure, texture evolution and fatigue properties of an Al-Cu-Li alloy during different pre-deformation processes. Materials Science and Engineering A, 2019, 726: 309-319.

[3] Shi W N, Zhou H F, Zhang X F. High-strength and

ondary precipitation.US Patent No. 7037391 B2, 2006-05-02.

[12] Xu X H, Deng Y L, Chi S Q, et al. Effect of interrupted ageing treatment on the mechanical properties and intergranular corrosion behavior of Al-Mg-Si alloys. Journal of Materials Research and Technology, 2020, 9(1): 230-241.

[13] Buha J, Lumley R N, Crosky A G, et al. Secondary precipitation in an Al-Mg-Si-Cu alloy. Acta Materialia, 2007, 55(9): 3015-3024.

[14]Chen Y, Weyland M, Hutchinson C R. The effect of interrupted aging on the yield strength and uniform elongation of precipitation-hardened Al alloys. Acta Materialia, 2013, 61:5877-5894.

[15]Lumley R N, Polmear I J, Morton A J. Development of mechanical properties during secondary aging in aluminium alloys. Materials Science and Technology, 2005, 21(9): 1025-1032.

[16] Lumley R N, Polmear I J, Morton A J. Development of properties during secondary ageing of aluminium alloys. Materials Science Forum, 2003, 426-432(4): 303-308.

[17] Yin M J, Chen J H, Liu C H. Effect of interrupted aging treatment on mechanical properties and microstructure of AA2024 aluminum alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(12): 3271-3281. (In Chinese)

[18] Li H, Pan D Z, Wang Z X, et al. Influence of T6I6 temper on tensile and intergranular corrosion properties of 6061 aluminum alloy. Acta Metallurgica Sinica, 2010, 46(4): 494-499. (In Chinese)

[19] Boag A, Taylor R J, Muster T H, et al. Stable pit formation on AA2024-T3 in a NaCl environment. Coranti-corrosion of Al-Cu-Mg alloy by controlled ageing process. Philosophical Magazine Letters, 2019, 99(7): 235-242.

[4] Qi Z W, Cong B Q, Qi B J, et al. Microstructure and mechanical properties of double-wire plus arc additively manufactured Al-Cu-Mg alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 255: 347-353.

[5] Zainul H, Nur I T, Tuan Z. Characterization of 2024-T3: An aerospace aluminum alloy. Materials Chemistry and Physics, 2009, 113(2-3): 151-157.

[6] Barros A, Cruz C, Silva A P, et al. Length scale of solidification microstructure tailoring corrosion resistance and microhardness in T6 heat treatment of an Al-Cu-Mg alloy. Corrosion Engineering Science and Technology, 2020, 55(6): 471-479.

[7] Niu P L, Lia W Y, Lia N, et al. Exfoliation corrosion of friction stir welded dissimilar 2024-to-7075 aluminum alloys. Materials Characterization, 2019, 147: 93-100.

[8] Marceau R K W, Sha G, Lumley R N, et al. Evolution of solute clustering in Al-Cu-Mg alloys during secondary ageing. Acta Materialia, 2010, 58(5): 1795-1805.

[9] Gao N, Starink M J, Kamp N, et al. Application of uniform design in optimisation of three stage ageing of Al-Cu-Mg alloys. Journal of Materials Science, 2007, 42(12): 4398-4405.

[10] Ye L Y, Gu G, Zhang X M, et al. Dynamic properties evaluation of 2519A aluminum alloy processed by interrupted aging. Materials Science and Engineering A, 2014, 590(1): 97-100.

[11] Lumley R N, Polmear I J, Morton A J. Heat treatment of age hardenable aluminium alloys utilizing sec-

rosion Science, 2010, 52(1): 90-103.

[20]Kurtulmus M. Experimental investigation and optimization of welding parameters on weld strength in friction stir spot welding of aluminum using Taguchi experimental design. Emerging Materials Research, 2020, 9(6): 662-667.

[21] Vidal C, Infante V. Optimization of FS welding parameters for improving mechanical behavior of AA2024-T351 joints based on Taguchi method. Journal of Materials Engineering and Performance, 2013, 22(8): 2261-2270.

[22] Xin F H, Liu W H, Song L, et al. Modification of inorganic binder used for sand core-making in foundry practice. China Foundry, 2020, 17(5): 341-346.

[23] Li H Z, Liu R M, Liang X P, et al. Effect of predeformation on microstructures and mechanical properties of high purity Al-Cu- Mg alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016, 26(6): 1482-1490.

[24] Oltra R, Vuillemin B, Rechou F, et al. Effect of aeration on the microelectrochemical characterization of Al2Cu intermetallic phases. Electrochemical and Solid-State Letters, 2009, 12(12):C29-C31.

[25] Wang S C, Starink M J. Precipitates and intermetallic phases in precipitation hardening Al-Cu-Mg-(Li) based alloys. Acta Materialia, 2005, 50(4): 193-215.

[26] Wang S C, Starink M J. Two types of S phase precipitates in Al-Cu-Mg alloys. Acta Materialia, 2007, 55(3): 933-941.

[27]Kim I S, Song M Y, Kim J H, et al. Effect of added Mg on the clustering and two-step aging behavior of Al-Cu alloys. Materials Science and Engineering A, 2020, 798: 140123.

[28]Warner J S, Gangloff R P. Alloy induced inhibition of fatigue crack growth in age-hardenable Al-Cu alloys. International Journal of Fatigue, 2012, 42: 35-44.

اخبار ایران و جهان

اخباراایران

معتبرترین مرجع نرخ فولاد و فلزات خواهیم شد/ ضرورت پیشروی صنعت فولاد به سمت انقلاب صنعتی چهارم

در حال حاضر جهان پیرامون بشر در مسیر توسعه و پیشرفت قرار گرفته و انقلاب صنعتی چهارم در کشورهای در حال توسعه و انقلاب صنعتی پنجم در کشورهای توسعه‌یافته در حال شکل‌گیری است. در این میان، هوش مصنوعی می‌تواند به یکی از مهم‌ترین ارکان اثرگذار در انقلاب‌های صنعتی تبدیل شود. ایران به عنوان یکی از ۱۰ کشور برتر فولادساز جهان، به خوبی توانسته است مسیر توسعه و پیشرفت در این صنعت مهم و پرکاربرد را طی سالیان اخیر طی کند اما متاسفانه با توجه تحریم‌های خارجی از یک سو و سوء مدیریت‌های داخلی از سوی دیگر، شاهد عدم به‌روزرسانی تکنولوژی و دانش فنی تولید در شرکت‌های مختلف فولادی هستیم که ضرورت دارد با توجه به افزایش سرعت روزافزون انقلاب صنعتی چهارم، دانش و تکنولوژی مورد استفاده تقویت و به‌روزرسانی شود. شرکت فولاد نرخ ایرانیان، علاوه بر فعالیت در زمینه تامین مواد اولیه و تجهیزات شرکت‌های بزرگ فولادی و سایر صنایع فلزی و همچنین بازرگانی در حوزه‌های مذکور، یکی از شرکت‌های پیشتاز در عرصه انقلاب صنعتی چهارم و کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت فولاد و سایر فلزات شناخته می‌شود. در همین راستا، این شرکت با به‌کارگیری جوانان نخبه و متخصص از معتبرترین دانشگاه‌های کشور، در حال مطالعات و پژوهش با موضوع هوشمندسازی صنعت فولاد و کاربردهوش-مصنوعی در این صنعت است که بدون شک نتایج حاصل از آن می‌تواند آثار شگرفی در صنعت فولاد کشور داشته باشد. در همین راستا، گفت‌وگویی مدیرعامل این شرکت تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

در خصوص زمینه فعالیت و اقدامات فولاد نرخ توضیحاتی ارائه بفرمایید.

تامین مواد اولیه مورد نیاز شرکت‌های بزرگ فولادی مانند فولاد خوزستان، صنعتی و معدنی اپال پارسیان سنگان، صبا فولاد خلیج فارس، سنگ آهن مرکزی ایران بافق و...، محوریت اصلی فعالیت شرکت فولاد نرخ ایرانیان را تشکیل می‌دهد؛ این مواد اولیه به طور عمده شامل سنگ‌آهن، کنسانتره، گنداله، آهن اسفنجی و ... است. ما فعالیت خود را از سال ۱۳۷۴ آغاز کردیم و دفاتر و انبارهای مجموعه در شهرهای تهران و اهواز واقع شده است. در ادامه طی دو تا سه سال اخیر، مسیر حرکت خود را به سمت و سوی استارت‌آپ فولادی تغییر دادیم و در راستای فعالیت در حوزه خرده‌فروشی، تیم فوق‌العاده قوی و کاربلد شامل نخبگان برتر دانشگاهی را به منظور طراحی و راه‌اندازی یک پلتفرم کاملا نوین و جدید در کنار هم تشکیل دادیم. این پلتفرم از قوی‌ترین زیرساخت‌های موجود در حوزه استارت‌آپ کشور برخوردار است که ۸۰ درصد آن بر مبنای هوش مصنوعی بوده و ۲۰ درصد باقی‌مانده آن برنامه‌نویسی شده است. باید توجه داشت که خرید و فروش آهن‌آلات، یک فرایند زمان‌بر است که مواردی همچون تعیین برند محصول، نحوه حمل‌ونقل، اعمال کنترل

کیفیت نهایی و... باید در آن لحاظ شود و در نتیجه این فرایند، کاملا متفاوت از خرید و فروش سایر کالاهاست؛ بر همین اساس ما تلاش کرده‌ایم در پلتفرم جدید که بر مبنای هوش مصنوعی طراحی شده، اکثر مراحل خرید محصول مانند ثبت سفارش اولیه توسط هوش مصنوعی انجام شود؛ در حالی که مشتری به هیچ وجه متوجه این مسئله نخواهد شد و عملکرد ربات های هوش مصنوعی به شکلی است که گویا یک کارشناس فروش واقعی تمامی اقدامات لازم در این زمینه را انجام می‌دهد.

علاوه‌براین، تفاهم‌نامه‌های مطالعاتی و پژوهشی بسیاری با دانشگاه‌های شاخص کشور در حوزه فلزات (آهنی و غیرآهنی) منعقد کرده‌ایم. اساس کار فولاد نرخ، صنعت فلزات اساسی به ویژه فولاد است و ما برخلاف برخی همکاران که در زمینه انواع محصولات غیر فلزی نیز فعالیت می‌کنند، ذهنیت خود را روی فلزات متمرکز کرده‌ایم و اقدامات متنوعی در راستای به‌روزرسانی خطوط مختلف تولید برخی واحدهای فولادی و همچنین هوشمندسازی منابع انرژی و نیروی انسانی انجام داده‌ایم. در همین راستا مکاتباتی با مدیران عامل محترم شرکت‌های فولادی داشته‌ایم و در صورت موافقت طرف‌های متقابل، می‌توانیم برنامه‌های خود در این زمینه را عملیاتی کنیم.

آیا مشابه چنین اقداماتی در داخل کشور طی سالیان اخیر انجام شده است؟

باور ما بر این است که این اقدامات برای نخستین بار در سطح کشور توسط مجموعه ما انجام شده است. رقبای ما در این حوزه مانند مرکز آهن، آهن آنلاین و ... انصافا عملکرد بسیار خوبی به ویژه در زمینه خرده‌فروشی داشته‌اند؛ در حالی که ما پس از تحقیقات و بررسی‌های فراوان متوجه شدیم که تقریبا عملکرد و ساختار اکثر استارت‌آپ‌های فولادی کپی‌برداری از یک ساختار موجود در کشور است. بنابراین تصمیم گرفتیم از حدود دو سال قبل، مسیر حرکت مجموعه که سنتی بود را به سمت استارت‌آپ فولادی با زیرساختی نوین و متفاوت تغییر دهیم و معتقدیم که فولاد نرخ در آینده نزدیک، به معتبرترین مرجع نرخ‌های لحظه‌ای فولاد و فلزات تبدیل خواهد شد. در حال حاضر نرخ‌ها توسط کارشناسان یک سایت به‌روزرسانی می‌شود و یا یک سری برنامه‌نویسی انجام شده که نرخ‌ها را بر اساس برخی سایت‌های معتبر و مرجع به‌روزرسانی می‌کند.

بر اساس طراحی‌های انجام شده در پلتفرم جدید فولاد نرخ، نرخ‌ها با استفاده از هوش مصنوعی، به طور لحظه‌ای و با توجه به قیمت‌های اعلام‌شده در سایت‌های مرجع به‌روزرسانی می‌شود و بر همین اساس به نظر می‌رسد هیچ استارت‌آپ فولادی در کشور چنین قابلیتی را ندارد و فولاد نرخ در این زمینه پیشتاز و بی‌رقیب است. از طرفی، مشغول فعالیت در زمینه خرید و فروش پسماندهای فولادی هستیم. در واقع ما نسبت به خرید پسماندها و دورریزهایی اقدام کرده‌ایم که از اهمیت بالایی در تولید بریکت‌ها و... برخوردارند و تا پیش از این، هیچ مجموعه‌ای به طور عمده در این زمینه فعالیت نکرده بود.

در خصوص کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت فولاد توضیحاتی ارائه بفرمایید.

به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت فولاد می‌تواند به بهبود کارآیی و کاهش هزینه‌های تولید کمک شایانی کند. با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان پیش‌بینی نیاز به تعمیرات و نگهداری تجهیزات را بررسی کرد و از این رو این مهم می‌تواند با کاهش تعطیلی تجهیزات و خطوط تولید، به بهبود کارآیی و کاهش هزینه‌ها یاری رساند. بهینه‌سازی فرایند تولید، دیگر مزایای استفاده از هوش مصنوعی به شمارمی‌آید؛ با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان به بهینه‌سازی فرایند تولید فولاد پرداخت. برای مثال، می‌توان بهبود کیفیت محصولات، کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه و کاهش زمان تولید را با استفاده از سیستم‌های هوشمند به‌دست آورد. همچنین با استفاده از سیستم‌های هوشمند هوش مصنوعی، می‌توان با دقت بسیار بالایی، کیفیت محصولات فولادی را کنترل کرد و از این طریق با تشخیص خودکار عیوب، از ارسال محصولات معیوب به بازار جلوگیری کرد. بهینه‌سازی زمان‌بندی تولید، یکی

دیگر از مزایای به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت فولاد است. با استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌توان به بهینه‌سازی زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد پرداخت. در واقع با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان زمان دقیق تولید هر محصول را محاسبه کرد و با بهینه‌سازی زمان‌بندی، به کاهش زمان تولید و هزینه‌های آن پرداخت. از آنجایی که صنعت فولاد یکی از صنایع انرژی‌بر محسوب می‌شود، به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی در این صنعت می‌تواند به کاهش قابل توجه مصرف انرژی و بهبود کارآیی و کاهش چشمگیر هزینه‌های تولید منجر شود. این پنج مورد، جزو اساسی‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت فولاد بوده و امیدواریم در آینده نزدیک، شاهد به‌کارگیری هرچه بیشتر الگوریتم‌های هوش مصنوعی در این صنعت مهم و پرکاربرد باشیم.

با چه چالش‌های عمده‌ای در مسیر استارت‌آپی شدن مواجه هستید؟ راهکارهای پیشنهادی شما جهت رفع این معضلات چیست؟

تحریم‌های شدید خارجی از یک سو و سوء مدیریت‌های داخلی از سوی دیگر، منجر به عدم تامین زیرساخت‌های کافی در صنایع مختلف به ویژه فولاد شده است. ما در حالی با چالش کمبود زیرساخت در صنعت فولاد کشور مواجهیم که این صنعت در حال پیشروی به سمت انقلاب صنعتی چهارم در سطح جهان است. از این رو در تلاش هستیم سمینار انقلاب صنعتی چهارم با هدف تحلیل و بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت فلزات اساسی به ویژه فولاد را طی شهریور ماه سال جاری برگزار کنیم. دبیرخانه این سمینار با حضور اساتید و برخی هیئت‌های علمی داخلی تشکیل شده است و در تلاشیم ضمن دعوت از هیئت‌های علمی خارجی شاخص و برجسته، از حضور آن‌ها در سمینار بهره‌مند شویم؛ ضمن اینکه از متخصصان و صاحب‌نظران این عرصه دعوت به عمل آورده‌ایم تا در این همایش حضور داشته باشند و امیدواریم که به عنوان مجری برگزاری سمینار انقلاب صنعتی چهارم، بتوانیم این سمینار را همه ساله برگزار کنیم.

یکی دیگر از چالش‌های این بخش، تعدد شرکت‌های استارت‌آپی فعال در سطح کشور است که بدون هیچ گونه شناخت و آگاهی نسبت به سازوکارهای موجود، وارد این حوزه شده‌اند. به نظر می‌رسد هدف این افراد از حضور در عرصه استارت‌آپ، تنها سودآوری آن هم با فروش محصولات به مشتریان با قیمت‌های کاذب و غیرواقعی بوده که متاسفانه این معضل در داخل کشور روزبه‌روز در حال افزایش است و کیفیت و نتیجه کار هیچ اهمیتی برای آن‌ها ندارد.

نحوه قیمت‌گذاری محصولات فولادی در داخل کشور را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

قیمت‌گذاری محصولات فولادی در داخل کشور، به طور معمول از طریق تعیین قیمت توسط شرکت‌های فولادی صورت می‌پذیرد. این شرکت‌ها بر اساس متغیرهایی مانند قیمت سهام، قیمت فلزات اولیه، نرخ ارز، قیمت حمل‌ونقل و سایر هزینه‌های تولید، قیمت محصولات خود را تعیین می‌کنند. همچنین، دولت نیز از طریق وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، برخی از قیمت‌های محصولات فولادی را تعیین می‌کند.در بازار داخلی فولاد، قیمت‌های محصولات فولادی بر اساس عرضه و تقاضا تعیین می‌شود. در صورت افزایش تقاضا برای محصولات فولادی، قیمت ها نیز معمولا افزایش می‌یابد و برعکس، در صورت کاهش تقاضا، قیمت‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، تحریم‌های اقتصادی و تحریم‌های دیگر نیز می‌تواند بر قیمت‌های محصولات فولادی در داخل کشور تاثیر بگذارد. به طور کلی، قیمت‌گذاری محصولات فولادی کشور از تاثیر متغیرهای متعددی تبعیت می‌کند.

آیا علاوه بر تامین مواد اولیه و فعالیت در حوزه بازرگانی، به دنبال تولید محصولات فولادی نیز هستید؟

ما همواره معتقدیم که تولید در کشور ما مهجور واقع شده است و بر همین اساس هیچ برنامه‌ریزی در زمینه تولید نداریم. در سال گذشته، متاسفانه یکی از کارخانجات بزرگ فولادی در زمینه تولید میلگرد در شهرک صنعتی شمس‌آباد ورشکسته و تعطیل شد و در حالی که می‌خواستیم نسبت به خرید و راه‌اندازی مجدد آن اقدام کنیم، پس

از بررسی‌های دقیق و کارشناسانه متوجه شدیم که تولید در آن برهه زمانی مقرون به صرفه نبوده و فعالیت در حوزه بازرگانی صرفه اقتصادی بیشتری دارد. در واقع ریسک‌پذیری و خطرپذیری فعالیت در حوزه بازرگانی نسبت به حوزه تولید کمتر است. متاسفانه شرایط اقتصادی کشور به سمت و سویی سوق پیدا کرده که یک تولیدکننده نمی‌تواند برنامه مشخصی برای خود داشته باشد و ممکن است تمام سرمایه خود که با تلاش و زحمت فراوان به دست آورده است را یک شبه از دست بدهد.

نرخ فولاد چه رویکردهایی را در ادامه مسیر فعالیت خود متصور شده است؟

به‌کارگیری جوانان نخبه دانشگاهی از دانشگاه‌های معتبر کشور همچون صنعتی شریف، تهران، علم و صنعت، علامه طباطبائی و...، مهم‌ترین رویکرد ما طی ماه‌های اخیر بوده است. شاید باور این موضوع کمی دشوار باشد که ما در ابتدای امر، به دنبال جذب یک گروه ۶ تا هفت نفره از جوانان نخبه و مسلط به هوش موصنوعی و برنامه‌نویسی در مجموعه بودیم اما در ادامه با تامین فضا و امکانات لازم که پیش از این برای آن‌ها فراهم نشده بود، توانستیم جوانان بسیاری را در قالب فولاد نرخ کنار هم قرار دهیم و به آن‌ها اجازه دادیم علاوه بر فعالیت در مجموعه، نسبت به اجرا و تکمیل پروژه‌های دانشگاهی خود هم اقدام کنند. ما به دنبال آن هستیم که به عنوان اولین مجموعه در به‌کارگیری هوش مصنوعی در حوزه استارت‌آپی کشور شناخته شویم و امیدوار هستیم به لطف و یاری خداوند به این موفقیت دست پیدا کنیم.

- مدیرعامل شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا «هیمکو»، گره‌گشای کلاف سردرگم حمل‌ونقل ریلی و بندری در کشور

تامین زیرساخت‌های کافی و مناسب حمل‌ونقل، یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در رونق اقتصادی و توسعه بخش‌های مختلف به ویژه معدن و صنایع معدنی و فلزی محسوب می‌شود. بسیاری از کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته جهان، همواره نگاه ویژه‌ای به حوزه حمل‌ونقل داشته و سرمایه‌گذاری‌های فراوانی در این زمینه اعم از جاده‌ای، ریلی و دریایی داشته‌اند. در همین راستا، با توجه به تاکید مسئولان و مقامات مختلف کشور ما مبنی بر جایگزینی اقتصاد معدن با اقتصاد نفت، باید زیرساخت‌های لازم در حوزه حمل‌ونقل مواد معدنی که همواره یکی از گلوگاه‌های این بخش نیز بوده است، فراهم شود. ضمن اینکه توسعه سرمایه‌گذاری در این بخش توسط شرکت‌های بزرگ داخلی نیز می‌تواند به رشد و بهبود روزافزون حمل‌ونقل مواد معدنی به ویژه در بخش‌های ریلی و دریایی کمک شایانی کند. شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا (هیمکو)، یکی از شرکت‌های برجسته و فعال در عرصه حمل‌ونقل کشور است که با هدف احداث و توسعه تاسیساتی مانند پایانه تخصصی مکانیزه مواد معدنی و اسکله تخلیه و بارگیری مواد معدنی و تهیه و توسعه تجهیزات و ارائه خدمات جاده‌ای، ریلی، دریایی و بندری به منظور صادرات و واردات محصولات بخش معدن و صنایع معدنی به ویژه فولاد، با راهبری شرکت سرمایه‌گذاری توسعه معادن و فلزات تاسیس شده است. در حال حاضر مهم‌ترین پروژه این شرکت، احداث اسکله و پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد معدنی با ظرفیت بارگیری ۱۰ میلیون تن از غرب بندر شهید رجایی بوده که با پیشرفت قابل توجهی در زمینه قراردادی و مطالعات پایه همراه است. در همین راستا، خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی با محسن نادری، مدیرعامل هیمکو تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

توضیحاتی در خصوص تاریخچه و پروژه‌های شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا (هیمکو) ارائه بفرمایید.

شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا (هیمکو) با رویکرد توسعه و بهبود تعامل لجستیکی در حوزه حمل‌ونقل مواد فله معدنی و محصولات فولادی، با سهام‌داری نقش‌آفرینان اصلی بخش معدن و صنایع معدنی کشور شامل شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر، شرکت

معدنی و صنعتی چادرملو، شرکت سنگ‌آهن گهرزمین، شرکت سرمایه‌گذاری توسعه معادن و فلزات، شرکت تجلی توسعه معادن و فلزات و گروه مدیریت سرمایه‌گذاری امید در سال ۱۳۹۶ تاسیس شد. هم‌زمان با توسعه تولید و فعالیت‌های بخش معدن و صنایع معدنی و فلزی کشور از گذشته، ضرورت توسعه بنادر در حوزه مواد فله معدنی و فولادی پیش از پیش احساس می‌شد. این در حالی بود که ظرفیت بنادر فله معدنی کشور در منطقه بندرعباس، حداکثر به چهار میلیون تن می‌رسید و بنادر دیگر نیز به صورت تک‌محصولی و یا با ظرفیت‌های کم فعالیت می‌کردند. در این میان، میزان صادرات انواع محصولات اعم از معدنی و فلزی به صورت چشمگیری افزایش پیدا کرد؛ به‌گونه‌ای که تناژ صادراتی از بندر شهید رجایی به بیش از ۲۰ میلیون تن در سال رسید و مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده نیز حاکی از آن بود که با تداوم این روند، چشم انداز تناژ صادراتی کشور به ۵۰ میلیون تن افزایش پیدا خواهد کرد. در همین راستا، شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا قرارداد احداث اسکله و پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد معدنی با ظرفیت بارگیری ۱۰ میلیون تن از غرب بندر شهید رجایی را با اداره کل بنادر و دریانوردی استان هرمزگان منعقد کرد. این پروژه در زمینی به مساحت ۶۷ هکتار و با سرمایه‌گذاری چهار هزار و ۹۶۰ میلیارد تومانی طی مدت زمان حدود سه سال اجرا خواهد شد. در حال حاضر ما تمام ذهنیت خود را روی احداث و راه‌اندازی فاز اول این پروژه متمرکز کرده‌ایم؛ در صورتی که شرایط اقتصادی کشور بهبود پیدا کند و زیرساخت‌های مورد نیاز فراهم شود، بدون شک نسبت به راه‌اندازی اسکله‌های ۲۰ و ۵۰ میلیون تنی نیز اقدام خواهیم کرد.

اجرای فاز نخست این پروژه چه مزایایی را به همراه دارد و در حال حاضر در چه وضعیتی قرار دارد؟

احداث اسکله همراه با تجهیزات مورد نیاز، نقش بسزایی در حوزه صادرات و واردات مواد معدنی و فلزی خواهد داشت و منجر به ارتقای ظرفیت عملیاتی صادرات و واردات می‌شود. این مهم همچنین مزایایی مانند ایجاد اشتغال پایدار و کاهش حمل‌ونقل و حوادث جاده‌ای در منطقه به دنبال تمرکز بر فعالیت حمل‌ونقل ریلی، کاهش آلایندگی و آلودگی هوا به دنبال انجام عملیات تخلیه و بارگیری به صورت مکانیزه، کاهش زمان توقف واگن‌ها در ایستگاه‌های راه‌آهن، افزایش راندمان بیشتر واگن متعلق به شرکت‌های ریلی و همچنین افزایش درآمد حاصل از آن را به همراه خواهد داشت.همچنین عمر واگن‌های کشور که در این فضا استفاده می‌شوند، به واسطه بهره‌گیری از واگن برگردان بسیار بیشتر خواهد شد.

در حال حاضر فاز یک این پروژه بیش از ۱۰ درصد پیشرفت فیزیکی داشته و ما وارد مرحله اجرایی و عملیاتی شده‌ایم. در سه ماه پایانی سال پیش، عملیات خاک‌ریزی را آغاز کردیم و پس از پایان این عملیات، وارد فضای مهندسی و سپس اجرای سنگ‌ریزی در دریا و اجرای دایک شدیم. در حال حاضر مطالعات جامع به پایان رسیده و جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطلوب حاصل شده است. طی سه ماه ابتدایی امسال، به دنبال اخذ تاییدیه از واحدهای مختلف سازمان بنادر و دریانوردی بوده‌ایم تا بتوانیم ضمن اعمال جمیع نظرات سرمایه‌گذار و سرمایه‌پذیر، در سال جاری وارد برنامه‌های عملیاتی بیشتری در این زمینه شویم.

هیمکو با چه چالش‌ها و مشکلاتی در راستای اجرای این پروژه مواجه بوده است؟

فعالیت‌های مرتبط با حوزه زیرساخت در کشور، همواره با مقاومت‌ها و اظهارنظرهای بسیاری همراه بوده است. برای مثال، زمانی که قرار است یک بندر احداث و راه‌اندازی شود، بسیاری از افراد که آگاهی و دانش لازم در این زمینه را هم ندارند، اظهارنظرهای بی‌پشتوانه و غیرکارشناسانه‌ای را مطرح می‌کنند که به هیچ وجه مرتبط با این حوزه نبوده و اصلا قابل قبول نیست. باور ما بر این است تا زمانی که مزیت اقتصادی و سوددهی حاصل از سرمایه‌گذاری در حوزه زیرساخت به ویژه حمل‌ونقل ریلی و بندری مشخص نشود، نمی‌توان انتظار حمایت سازمان و یا ارگان مشخصی در راستای

توسعه این بخش‌ها را داشت؛ چراکه عمده حمل‌ونقل مواد فله معدنی در کشور به صورت سنتی و از طریق جاده صورت می‌پذیرد و توجه چندانی به مکانیزه‌سازی حمل‌ونقل در بخش‌های ریلی و بندری نمی‌شود. متاسفانه بعضی گروه‌هایی که در زمینه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور فعال بوده و یا به صورت سنتی در حمل مواد فله معدنی فعالیت می‌کنند، مخالف مکانیزاسیون حمل‌ونقل این مواد هستند. از طرفی، متاسفانه فرهنگ‌سازی لازم جهت به‌کارگیری روش‌های نوین حمل‌ونقل نیز از جانب مسئولان و مدیران بخش‌های مرتبط صورت نپذیرفته است. بدین معنا که ما نمی‌توانیم توقع نقش‌آفرینی در سیاست‌گذاری‌های فرهنگی کلان از یک راننده محترم کامیون که مشغول حمل مواد معدنی در جاده‌های کشور است، داشته باشیم و این مهم باید از مدیران و مسئولان بالادستی آغاز و در ادامه نهادینه شود. زمانی که هیمکو نسبت به اجرای پروژه در بندر شهید رجایی اقدام کرد، یک سری اظهارنظرها مبنی بر اینکه چرا این پروژه در مکران و جاسک به مرحله اجرا نرسید، مطرح شد؛ در واقع یکی از مهم‌ترین دست‌اندازهای راه‌اندازی پروژه در بندر شهید رجایی، همین اظهارنظرهای بی‌پشتوانه و غیرکارشناسانه بود؛ در حالی که ما پس از بررسی‌ها و محاسبات دقیق و کارشناسانه متوجه شدیم که منطقه بندرعباس و به طریق اولی، بندر شهید رجایی، بهترین گزینه برای احداث یک اسکله و پایانه مکانیزه ریلی حمل مواد معدنی هم از بعد مسافت و هم از بعد زمان است. ضمن اینکه این مسئله، به کلافی سردرگم تبدیل شده بود و در نهایت تیم متشکل از مشاوران و متخصصان جوان و توانمند داخلی توانست به غایت و نتیجه مطلوب پیدا کند؛ به طوری که در حال حاضر به عنوان یک الگوی موفق در حوزه لجستیک و حمل‌ونقل کشور شناخته می‌شود. البته سازمان بنادر و دریانوردی نیز به پیشرفت‌های قابل توجهی طی سالیان اخیر دست یافته است و بر همین اساس می‌توان به توسعه بخش حمل‌ونقل دریایی و بندری کشور بیش از پیش امیدوار بود.

شرکت مدیریت بین‌المللی همراه جاده ریل دریا چه اقداماتی در حوزه حمل‌ونقل ریلی انجام داده است؟

در سال گذشته، ما با تشکیل واحد مستقل حمل‌ونقل ریلی و همچنین تشکیل کمیته حمل‌ونقل، نسبت به انعقاد قرارداد ساخت ۳۰ دستگاه واگن لبه‌بلند با یکی از شرکت‌های داخلی اقدام کردیم که هم‌اکنون در قالب قراردادی با شرکت حمل‌ونقل ترکیبی مواد معدنی گهر ترابر سیرجان در حال بهره‌برداری است.

راهکارهای پیشنهادی شما جهت توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل به ویژه ریلی در کشور چیست؟

بدون شک افزایش سرمایه‌گذاری با رویکرد جذب موثر و هدفمند، مهم‌ترین عاملی است که می‌تواند منجر به توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل در کشور شود. در همین راستا، شرکت‌های سرمایه‌گذاری بزرگ و شناخته‌شده باید نگاه ویژه‌ای به سرمایه‌گذاری در این زمینه داشته باشند. بهبود و ارتقای بهره‌وری خطوط راه‌آهن نیز از دیگر مواردی است که می‌تواند همگام با رشد نسبی سرعت واگن‌ها، منجر به بهبود شرایط حمل‌ونقل ریلی شود. از طرفی، تامین کسری لکوموتیو و واگن در بخش ریلی و تعمیر و نگهداری لکوموتیوهای موجود، از اقدامات مهمی است که منجر به بهبود حمل‌ونقل ریلی خواهد شد. همچنین توسعه پایانه‌هایی که آسیب کمتری به واگن‌ها وارد می‌کنند، در کاهش هزینه‌های جانبی سرمایه‌گذاران و بهره‌برداران و در مجموع صنعت ریلی موثر است. در واقع تمامی این اقدامات باعث خواهد شد تا ظرفیت حمل‌ونقل ریلی کشور به عنوان مهم‌ترین و اثرگذارترین سیستم حمل‌ونقل در بخش معدن و صنایع معدنی و فلزی افزایش داشته باشد.

- مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور مطرح کرد: ریخته‌گران، سردرگم از مشکلات فراوان

مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور، تولیدکننده قطعات ریختگی آلومینیوم گفت: متاسفانه فعالان صنعت ریخته‌گری با چالش‌های عدیده‌ای در مسیر تولید مواجه هستند؛ افزایش قیمت مواد اولیه و مواد مصرفی،

ابلاغ بخشنامه‌های متعدد و بدون در نظر گرفتن جوانب کارشناسی، اخذ مالیات بر ارزش افزوده و محدودیت‌های انرژی باعث شده تا آینده خوبی در انتظار واحدهای ریخته‌گری نباشد.

د: این کارگاه فعالیت خود را از سال ۱۳۶۱ در استان اصفهان با تولید قطعات آلومینیومی خودرو آغاز کرد؛ در حال حاضر این مجموعه به طور مستقیم و یا با همکاری برخی شرکت‌های بزرگ تامین‌کننده قطعات خودرو، محصولات خود را در بازار به فروش می‌رساند. این واحد تولیدی از روش‌های مختلف ریخته‌گری (دایکست، ریژه و ماسه‌ای) برای تولید محصولات بهره می‌برد و قطعاتی همچون واتر پمپ، درب ترموستات، شیرهای بخاری، دسته موتور و... را تولید می‌کند. لازم به ذکر است که این مجموعه به دلیل سابقه طولانی که دارد و همچنین برند مطرح آن، محصولات خود را به اکثر استان‌های ایران همچون خراسان جنوبی، سیستان‌وبلوچستان، خراسان رضوی، تهران، تبریز، ارومیه و... ارسال می‌کند.

وی با اشاره به چالش‌های اصلی تولیدکنندگان، عنوان کرد: یکی از چالش‌های اصلی که تمام فعالان صنعت آلومینیوم با آن روبه‌رو هستند، عدم ثبات قیمت شمش آلومینیوم و نوسان شدید آن است؛ این موضوع باعث شده تا برخی صنعتگران برای تولید محصولات خود از شمش‌های آلومینیومی تولید شده از ضایعات استفاده کنند. البته نکته جالب اینجاست که برخی کارخانه‌های تولیدکننده شمش آلومینیوم که همانند کارگاه‌های ذوب ضایعات از ضایعات به عنوان مواد اولیه استفاده می‌کنند، شمش را بدون هیچ دلیلی ۱۷ تا ۱۸ هزار تومان گران‌تر به فروش می‌رسانند؛ خرید شمش آلومینیوم با این قیمت برای مصرف‌کنندگان توجیه اقتصادی ندارد. بعد از چالش نوسان قیمت شمش آلومینیوم، به دلیل افزایش نرخ دلار، تهیه مواد اولیه چالش بعدی تولیدکنندگان محسوب می‌شود زیرا با افزایش نرخ دلار، تولیدکنندگان مواد اولیه حاضر به فروش محصولات نبوده و آن‌ها را دپو می‌کنند. باید گفت که تا زمانی که شرایط بر همین روال ادامه داشته باشد، تولید یک میلیون و ۵۰۰ هزار تن شمش آلومینیوم هم گرهی از مشکلات تولیدکنندگان باز نخواهد کرد.

مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور در همین راستا ادامه داد: متاسفانه تهیه شمش آلومینیوم از بورس کالا هم با مشکلاتی روبه‌رو است زیرا تناژ شمش عرضه شده در این تالار صنعتی به قدری بالاست که تولیدکنندگان توانایی خرید آن را نداشته و تنها واسطه‌گران خواهان آن هستند. به عنوان مثال تولیدکننده‌ای که به یک تن شمش آلومینیوم نیاز دارد، چگونه می‌تواند ۶۰ تن شمش را از بورس کالا خریداری؟ البته در کنار کمبود نقدینگی، تولیدکنندگان با مشکلاتی همچون هزینه حمل‌ونقل بالا، عدم وجود فضای کافی برای انبار این مقدار شمش، محافظت از آن‌ها در برابر خطرات احتمالی و نبود جرثقیل سقفی برای تخلیه شمش روبه‌رو هستند. یکی از مشکلات دیگری که تولیدکنندگان برای خرید مواد اولیه از بورس کالا با آن مواجه هستند، نحوه قیمت‌گذاری شمش آلومینیوم است. متاسفانه فرمول قیمت‌گذاری ثابتی برای تعیین نرخ شمش آلومینیوم در این تالار صنعتی وجود ندارد و هر بار قیمت شمش بر اساس نرخ‌های متفاوت دلار تعیین می‌شود؛ تنها خواسته تولیدکنندگان، عرضه شمش آلومینیوم در تناژهای پایین‌تر و تثبیت قیمت آن است.

وی مطرح کرد: متاسفانه اخذ مالیات بر ارزش افزوده از خرید مواد اولیه تا فروش محصول نهایی، باعث شده تا هم تولیدکنندگان با مشکل مواجه شوند و هم مصرف‌کنندگان محصولات را با قیمت بالاتری خریداری کنند؛ این موضوع تنها مختص به آلومینیوم نبوده و در خصوص سایر فلزات همچون روی، سرب، آهن و مس نیز صدق می‌کند. در صورتی که باید این مالیات تنها یک بار اخذ شود و اگر قرار است در مراحل بعدی مالیاتی پرداخت شود، این مالیات باید مربوط به سایر موارد و خدمات باشد نه مواد اولیه. در اینجا باید به نکته‌ای اشاره کنم که شاید اخذ مالیات بر ارزش افزوده، عاملی تاثیرگذار بر بالاتر بودن قیمت شمش آلومینیوم تولید شده در کارخانه‌های کوچک است. نکته جالب دیگری که در این میان وجود دارد این است که قیمت آلومینیوم در داخل بسیار بالاتر از قیمت‌های

جهانی است.

وی با بیان اینکه اخذ مالیات در تمام مراحل، تاثیر منفی بر بازار مصرف گذاشته است، ابراز کرد: متاسفانه افزایش قیمت محصول نهایی، باعث شده تا بازار مصرف از شرایط خوبی برخوردار نبوده و میزان سفارشات به شدت کاهش یابد. در صورتی که در سال‌های گذشته وضعیت این چنین نبود؛ به عنوان مثال میزان سفارش مشتری که قبلا ۱۰۰۰ عدد قطعه ریخته‌گری سفارش می‌داد، اکنون به ۲۰ قطعه کاهش یافته است. تولید قطعات در تناژهای پایین برای تولیدکنندگان صرفه اقتصادی ندارد زیرا با کاهش میزان سفارشات، آن‌ها نمی‌توانند برنامه‌ریزی درستی برای تولید داشته باشند. همچنین صنعتگران با کاهش میزان تولید محصولات، به ناچار باید اقدام به تعدیل نیرو کنند؛ در نهایت با این شرایط سرنوشت کارگاه‌های ریخته‌گری به تعطیلی ختم خواهد شد.

مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور در پاسخ به این سوال که آیا قطعات چینی و یا تولیدکنندگان غیرمجاز باعث شده‌اند تا شرایط بازار مصرف، دستخوش تغییراتی شود، اظهار کرد: نکته جالب اینجاست که در خصوص قطعات خودرویی به دلیل اخذ مالیات بر ارزش افزوده از تولیدکنندگان ایرانی، قطعه چینی وارد کشور نمی‌شود. البته در زمینه قطعات الکترونیکی و برقی، به دلیل نبود شرکت‌های فعال در این حوزه، برای تامین نیاز داخل واردات انجام می‌شود. در رابطه با کارگاه‌های ریخته‌گری غیرمجاز باید گفت که با افزایش هزینه‌های برق و گاز، ادامه فعالیت برای آن‌ها توجیه اقتصادی ندارد و تا آنجایی که اطلاع دارم دیگر در استان اصفهان این کارگاه‌های غیرمجاز وجود ندارند.

وی در رابطه با خساراتی که قطعی برق به کارگاه‌های ریخته‌گری وارد می‌کند، توضیح داد: با قطعی برق و کاهش دمای کوره، مذاب درون کوره تبدیل به جامد می‌شود؛ تولیدکنندگان در این شرایط یا باید کوره جدیدی را خریداری کنند و یا باید مواد را حرارت داده تا مجددا تبدیل به مذاب شود که آن هم ممکن است با افزایش دما، کوره منبسط شده و ترک بردارد. البته تولیدکنندگانی که از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند، با قطعی برق متحمل خسارت‌های شدیدی می‌شوند زیرا هزینه‌های خرید یک کوره القایی کوچک در حال حاضر حداقل یک میلیارد و ۵۰۰ میلیون تومان است. در کوره‌های القایی برای اینکه لوله‌های مسی حین فرایند ذوب آسیبی نبینند، آب درون آن‌ها جریان دارد؛ با قطعی برق این جریان قطع شده و مذاب درون کوره که دمایی بالاتر از نقطه ذوب مس دارد، آن را ذوب و تمام سیستم کوره را از بین می‌برد. همین موضوع باعث شده تا اکثر تولیدکنندگانی که از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند، برای اینکه با قطعی برق متحمل خسارات شدیدی نشوند، مولدهای برق خریداری کنند. لازم به ذکر است که این کارگاه از بوته‌های چدنی و مشعل‌های گازی برای ذوب آلومینیوم استفاده می‌کند اما مشعل‌های گازی هم برای اینکه روشن شوند به برق نیاز دارند.

قیمت‌های نجومی

وی در خصوص نوسان قیمت بوته‌های چدنی، اذعان کرد: ابتدای سال گذشته قیمت چدن به ازای هر کیلوگرم ۱۶ هزار تومان بود اما در حال حاضر چدن با قیمتی در حدود ۴۰ هزار تومان به ازای هر کیلوگرم به فروش می‌رسد. در گذشته بوته چدنی با ظرفیت ذوب ۹۰ کیلوگرم آلومینیوم را با قیمت ۷۰۰ هزار تومان خریداری می‌کردیم اما اکنون آن را باید با قیمت پنج تا ۶ میلیون تومان تهیه کنیم. هم‌اکنون قیمت بوته‌ای با ظرفیت ذوب ۴۰۰ کیلوگرم آلومینیوم به ۲۱ میلیون تومان و بوته‌ای با ظرفیت یک تن ذوب به ۳۸ میلیون تومان رسیده است. لازم به ذکر است که این بوته‌های چدنی در داخل تولید می‌شوند اما بوته‌های گرافیتی که برای ریخته‌گری قطعات خاصی استفاده می‌شوند، در داخل تولید نشده و وارداتی هستند. به عنوان مثال برای تولید سرسیلندر باید از بوته‌های گرافیتی برای ذوب مواد استفاده کرد تا محصول نهایی از کیفیت خوبی برخوردار باشد.

مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور با اشاره به شرایط دشوار واردات دستگاه‌های «CNC»، تصریح کرد: متاسفانه شرایط سخت و

تعرفه‌های بالای واردات باعث شده تا این کارگاه برای خریداری ماشین‌آلات مورد نیاز خود با مشکل مواجه شود و به ناچار برای تامین نیاز خود به واسطه‌گران روی بیاورد. گفتنی است که این دستگاه‌ها در داخل تولید نمی‌شوند و برخی شرکت‌ها که نماینده شرکت‌های چینی در داخل هستند، قطعات وارداتی را مونتاژ و آن‌ها را به قیمت‌های بسیار بالایی به فروش می‌رسانند. به عنوان مثال قیمت یک دستگاه ۴۰ ساله آلمانی و ژاپنی برابر با قیمت این دستگاه‌های مونتاژ شده است. میزان عمر مفید این دستگاه‌ها طبق استاندارد در خارج از کشور ۱۰ سال است اما واسطه‌گران با واردات ماشین‌آلات از رده خارج شده، آن‌ها را به هر قیمتی در بازار عرضه می‌کنند؛ به طوری که اگر در خارج از کشور قیمت دستگاه‌های دست دوم ۵۰۰ میلیون تومان باشد، قیمت آن‌ها در داخل به چهار تا پنج میلیارد تومان می‌رسد.

وی در رابطه با افزایش قیمت و کمیاب شدن برخی مواد مصرفی، افزود: در حال حاضر به دلیل عدم تولید روغن «مقاوم ۶۸K» در داخل و عدم واردات آن، با مشکل مواجه هستیم زیرا در ایران تنها یک شرکت این روغن را تولید می‌کرد. این روغن در ریل‌های دستگاه‌های «CNC» مورد استفاده قرار گرفته و باعث حرکت روان‌تر آن‌ها می‌شود؛ اگر روغن «مقاوم ۶۸K» در ریل‌ها استفاده نشود، با سایش آن‌ها به یکدیگر دقت دستگاه پایین می‌آید. مورد دیگری که باید به آن اشاره کنم، عدم تولید مواد اولیه روغن «Z1» یا همان کولانت در داخل است که باعث شده این روغن در بازار کمیاب و قیمت آن دائما در نوسان باشد. این روغن برای خنک کردن دستگاه‌های «CNC» که در حال تراش قطعه هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که حتی برای تعمیر و نگه‌داری ماشین‌آلات هم به دلیل شرایط دشوار واردات قطعات با مشکل مواجه هستیم؛ این موضوع باعث می‌شود تا یک دستگاه به مدت طولانی تا زمان جایگزینی قطعه یدکی، از خط تولید خارج شود.

وی اضافه کرد: در ابتدای سال جاری به دلیل مسائل زیست‌محیطی و آلودگی هوای شهر اصفهان، برق اکثر واحدهای ریخته‌گری قطع شد؛ بعد از این اتفاق تولیدکنندگان به سازمان‌های مربوطه مراجعه و در خصوص انتقال فعالیت به خارج از شهر، تعهد کتبی دادند. صنعتگران نیز برای اینکه واحد تولیدی خود را به خارج از شهر منتقل کنند، به وزارت صمت مراجعه کرده و جواز تاسیس در شهرک‌های صنعتی را اخذ کردند. اکنون مشکل اینجاست که شرکت شهرک‌های صنعتی اعلام می‌کند که زمینی برای در اختیار گذاشتن واحدهای ریخته‌گری ندارد و یا اگر زمینی باشد در استان‌های دیگر قرار دارد.

مدیر کارگاه ریخته‌گری نام‌آور، تاکید کرد: در حال حاضر تولیدکنندگان برای اینکه بتوانند به راحتی محصولات خود را به فروش برسانند، باید آن‌ها را در اختیار شرکت‌های بازرگانی قرار دهند زیرا این شرکت‌های با ارائه خدمات متنوع و تامین قطعات مورد نیاز مشتریان، نیازهای آن‌ها را راحت‌تر رفع می‌کنند. این شرکت‌ها محصولات را به صورت مدت‌دار به مشتریان عرضه می‌کنند اما تولیدکنندگان امکان فروش قطعات به صورت اعتباری را ندارند. همچنین به دلیل اینکه میزان سفارش محصولات از سوی این شرکت‌ها بسیار بالاست، صنعتگران می‌توانند برنامه‌ریزی مناسبی برای تولید داشته باشند.

نام‌آور با اشاره به مهارت بالای قالب‌سازان ایرانی، ابراز کرد: مراحل قالب‌سازی و تراشکاری در فرایند تولید قطعات ریخته‌گری از اهمیت بالایی برخوردار هستند؛ در فرایند ریخته‌گری هم استفاده از مواد اولیه مرغوب اهمیت دارد که در ایران شمش‌های آلومینیومی باکیفیتی تولید می‌شود. خوشبختانه در زمینه طراحی قالب‌ها، به دلیل مهارت بالای تولیدکنندگان داخلی، با مشکلی مواجه نیستیم اما موضوع اصلی اینجاست که فولادی که برای تولید قالب‌های قطعات آلومینیومی مورد استفاده قرار می‌گیرد از کیفیت لازم برخوردار نیست. در حال حاضر فولاد مورد نیاز برای صنایع قالب‌سازی از کشور چین وارد شده و در داخل نیز تنها یک شرکت آن را تولید می‌کند. کیفیت فولادهای چینی به پای فولادهای آلمانی و ایتالیایی نمی‌رسد و بعد از مدت کوتاهی قالب‌های تولید شده از آن‌ها فرسوده

می‌شوند اما قالب‌های فولادی آلمانی و ایتالیایی تا چند سال کارایی دارند. قیمت فولادهای چینی در سال ۱۳۹۸، ۱۹ هزار تومان به ازای هر کیلوگرم بود اما اکنون به ۴۰۰ هزار تومان به ازای هر کیلوگرم افزایش یافته است.

وی در پایان در خصوص دورنمای صنعت ریخته‌گری، خاطرنشان کرد: متاسفانه علی‌رغم اینکه بازار نیاز مبرمی به قطعات خودرویی دارد و این صنعت زمینه اشتغال برای افراد بسیاری را فراهم کرده است، به دلیل شرایط فعلی آینده خوبی در انتظار آن نیست؛ درصورتی که مهارت ریخته‌گران داخلی به قدری بالاست که اگر به آن‌ها توجه شود، امکان عرض‌اندام در بازارهای خارجی را دارند. لازم به ذکر است که این واحد تولیدی ظرفیت اشتغال‌زایی برای ۱۰۰ نفر را دارد اما به دلیل مشکلات ذکر شده و کمبود نقدینگی برای خرید مواد اولیه، اکنون با ۲۳ نفر به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

پایگاه خبری تحلیلی فلزات آنلاین، تیرماه ۱۴۰۲

اخبار جهان

اخبارجهان

- در سال جاری میلادی, چالشی جدید برای خودروهای الکتریکی ایجاد خواهد شد

تولیدکنندگان لیتیوم هشدار می‌دهند که عرضه جهانی ممکن است تقاضای خودروهای الکتریکی را برآورده نکند.

تولیدکنندگان لیتیوم نگران این هستند که تاخیر در صدور مجوز معدن، کمبود نیروی انسانی و تورم ممکن است توانایی آن‌ها را برای تامین مقدار کافی فلز کاربردی در باتری برای برآورده کردن سریع در تولید خودروهای برقی در جهان، مختل کند.

تقاضا برای لیتیوم با شتاب‌دهی برنامه‌های خودروهای الکتریکی از سوی خودروسازان بزرگ، به شدت افزایش یافته و آن را به یک فلز خاص در انتقال انرژی سبز تبدیل کرده است.

سرعتی که وسایل نقلیه الکتریکی می‌توانند جایگزین موتورهای احتراق داخلی شوند، یک جنبه حیاتی برای دستیابی به اهداف انتقال انرژی سبز است. با این حال، چالش‌های کنونی که تولیدکنندگان لیتیوم با آن مواجه هستند، می‌تواند به طور بالقوه مانع این انتقال شود.

رئیس شرکت «Lake Resources»، ابراز نگرانی کرد که اگر شرکت‌های باتری‌ساز برای تامین منابع کافی از مواد اولیه لیتیوم تلاش کنند، ممکن است وضعیت بحرانی ایجاد شود.

لیتیوم زمانی که فلزی خاص بود، عمدتا در سرامیک و مواد دارویی مورد استفاده قرار می‌گرفت. این فلز هم‌اکنون یکی از فلزات پرتقاضا در جهان است که در خودروهای الکتریکی کاربرد دارد. از آنجایی که تقاضا برای لیتیوم همچنان در حال افزایش است، صنعت با پیش‌بینی کمبود مقابله می‌کند.

«Albemarle»، بزرگ‌ترین تولیدکننده لیتیوم در جهان، به سرعت در سراسر قاره آمریکا، آسیا و استرالیا در حال رشد است. با این حال، انتظار می‌رود تقاضای جهانی لیتیوم در سال ۲۰۳۰، به میزان ۵۰۰ هزار تن از عرضه بیشتر شود. مشاوران مختلف و سایر تولیدکنندگان پیش‌بینی‌های متفاوتی دارند اما همگی نسبت به کمبود احتمالی هشدار می‌دهند. سرعت فعلی توسعه معدن لیتیوم، از الزامات برای اطمینان از عرضه جهانی کافی کمتر است.

بر اساس گزارش رویترز، سال گذشته ۴۵ معدن لیتیوم در جهان فعال بود که ۱۱ معدن در سال جاری و هفت معدن در سال آینده افتتاح خواهند شد. این سرعت بسیار کمتر از آن چیزی است که مشاوران برای اطمینان از عرضه جهانی کافی لازم می‌دانند.

حتی اگر معادن لیتیوم بیشتری ساخته شود، امکانات کافی برای تولید انواع تخصصی لیتیوم مورد نیاز برای باتری‌ها وجود ندارد. مدیران خودروسازان اظهار کردند که ممکن است مجبور شویم لیتیوم

با کیفیت پایین‌تر را بپذیریم که برد باتری خودروهای الکتریکی و عملکرد باتری را کاهش می‌دهد.

- شرکت «Anglo American»، پیشرو در استخراج و تولید انواع فلزات به ویژه مس

شرکت «Anglo American» یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های معدنی در جهان است که در زمینه استخراج و عرضه فلزات زیادی از جمله مس، الماس، پلاتین، طلا، سنگ‌آهن، زغال‌سنگ متالورژیکی و حرارتی، نیکل، منگنز، پالادیم و رادیوم فعالیت می‌کند. این شرکت بزرگ‌ترین تولیدکننده فلز پلاتین در جهان محسوب می‌شود. در سال ۲۰۲۲، تولید مس شرکت «Anglo American» تقریبا ۳ درصد افزایش یافت و به ۶۶۴ هزار تن رسید که مهم‌ترین دلیل این امر، افزایش تولید معدن مس «Quellaveco» در کشور پرو اعلام شد. درآمد شرکت از فروش محصولات مسی در این سال، حدود پنج میلیارد و ۱۷۰ میلیون دلار بود که تقریبا ۱۴ درصد از کل درآمد شرکت محسوب می‌شد.

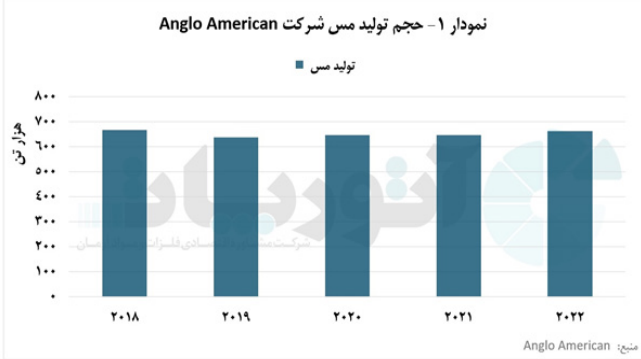
شرکت «Anglo American» در سال ۱۹۱۷ با حمایت مالی شرکت آمریکایی «J.P. Morgan Co.» در ژوهانسبورگ کشور آفریقای جنوبی تاسیس شد. در ابتدا این شرکت تنها به منظور بهره‌برداری از معادن طلا به وجود آمد و در ادامه با توسعه فعالیت خود شروع به استخراج فلزات و موادی از قبیل مس، الماس، پلاتین، سنگ آهن، زغال‌سنگ متالوژیکی و حرارتی، نیکل، منگنز، پالادیوم و رادیوم کرد. علاوه بر این، در سال‌های اخیر این شرکت پروژه‌هایی برای کاشت محصولات غذایی در مناطق مختلف جهان از جمله کشور انگلیس انجام داده است. در حال حاضر دفتر مرکزی شرکت «Anglo American» در شهر لندن کشور انگیس واقع شده است.

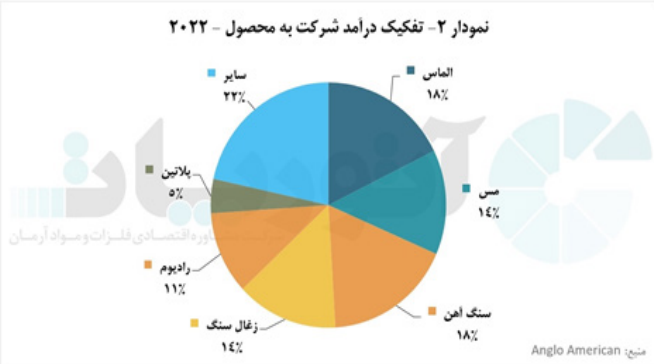
این شرکت بزرگ‌ترین تولیدکننده فلز پلاتین در جهان محسوب می‌شود و عمده بر پلاتین تولیدی این شرکت از معادن کشورهای زیمباوه و آفریقای جنوبی استخراج می‌کند؛ با این حال در سال‌های اخیر، توجه شرکت Anglo American بر تولید فلز مس و نیکل بود که بخش زیادی از تولید این دو فلز از کشورهای شیلی، پرو و برزیل به دست می‌آید. دو معدن «Barro» و «Codemin» در برزیل در مجموع ظرفیت تولید سالانه ۴۵ هزار تن نیکل را دارا هستند و عمدتا آلیاژهای نیکل را تولید می‌کنند.

علاوه‌براین، سولفات نیکل از محصولات جانبی تولید شده از معادن این شرکت در آفریقای جنوبی بوده که طبق گزارش شرکت، حجم تولید سولفات نیکل در سال ۲۰۲۲ حدود ۲۱ هزار و ۳۰۰ تن برآورد شده است. حجم کل نیکل تولید شده توسط این شرکت در سال ۲۰۲۲، حدود ۴۱ هزار و ۷۰۰ تن بود که حدود ۵ درصد در مقایسه با سال ۲۰۲۱ کاهش پیدا کرد. به گزارش این شرکت، علت افت تولید نیکل در این سال، باران شدید و اختلال در روند استخراج معادن بود که شرکت را مجبور به صرف هزینه برنامه‌ریزی نشده در بخش تعمیرات و نگهداری کرد.

الماس از دیگر محصولات مهم تولید شده در شرکت «Anglo American» است که سهم قابل توجهی در درآمد این شرکت دارد. شرکت «De Beers» از تولیدکنندگان مهم این محصول در دنیا محسوب می‌شود که عمدتا به استخراج الماس از کشورهای بوتسوانا، نامیبیا، آفریقای جنوبی، کانادا و استرالیا مشغول است. حدود ۸۵ درصد از سهام شرکت «De Beers» به «Anglo American» تعلق دارد.

معادن مس مهم این شرکت در کشور شیلی، Collahuasi (سومین معدن مس بزرگ در جهان) و Los Bronces (چهاردهمین معدن مس بزرگ در جهان) هستند که به‌ترتیب ۴۴ درصد و ۵۰ درصد از سهام آن‌ها متعلق به شرکت «Anglo American» است. همچنین از مهم‌ترین معادن این شرکت در پرو می‌توان به «Quellaveco» اشاره کرد. عمده فلز مس استخراج شده از معادن این شرکت به صورت کنسانتره و کاتد به فروش می‌رسد.





در نمودار ۱ حجم، تولید مس این شرکت از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ نشان شده است. در سال ۲۰۱۸، حجم تولید مس حدود ۶۶۸ هزار تن بود. پس از شروع همه‌گیری کرونا و محدودیت‌های آن از سال ۲۰۱۸، حجم تولید مس کاهش پیدا کرد و به حدود ۶۳۸ هزار تن در سال ۲۰۱۹ رسید. از سال ۲۰۲۰، هم‌زمان با افزایش قیمت جهانی مس و کاهش محدودیت‌های کرونا، تمایل به تولید این فلز در جهان افزایش یافت. مقدار تولید مس این شرکت طی این سال به حدود ۶۴۷ هزار تن رسید. در سال ۲۰۲۲، تولید مس شرکت «Anglo American» تقریبا ۳ درصد افزایش یافت و به ۶۶۴ هزار تن رسید که مهم‌ترین دلیل این امر، افزایش تولید معدن مس Quellaveco در کشور پرو اعلام شد.

همان‌طور که در نمودار ۲ قابل مشاهده است، بیشترین درآمد شرکت «Anglo American» در سال ۲۰۲۲ به الماس، سنگ‌آهن، زغال‌سنگ و مس تعلق داشت. در این سال، حدود ۱۷،۷ درصد از درآمد کل شرکت به فروش الماس اختصاص پیدا کرد که بیشترین سهم را بین محصولات تولیدی شرکت داشت. پس از الماس، سنگ‌آهن با سهم ۱۷،۵ و زغال‌سنگ با سهم ۱۴ درصد، در جایگاه دوم و سوم پردرآمدترین محصولات شرکت در سال ۲۰۲۲ قرار دارند. در این سال درآمد شرکت از فروش محصولات مسی، حدود پنج میلیارد و ۱۷۰ میلیون دلار بود که تقریبا ۱۴ درصد از کل درآمد شرکت محسوب می‌شد. دو فلز گران‌بهای پلاتین و رادیوم به ترتیب ۵ درصد و ۱۱ درصد از درآمد را در اختیار داشتند. در نهایت سایر فلزات تولیدی این شرکت از قبیل پالادیم، نیکل، منگنز و آلیاژهای آن به همراه درآمد حاصل از خدمات شرکت «Anglo Ameri-can»، در مجموع سهم ۲۲ درصدی از کل درآمد در سال ۲۰۲۲ داشتند.

به طور کلی به دلیل افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، روند انتشار کربن دی‌اکسید در شرکت «Anglo American» از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ نزولی بود. در سال ۲۰۲۰، مجموع حجم انتشار کربن دی‌اکسید این شرکت، حدود هشت میلیون و ۹۰۰ هزار تن بود که این مقدار در سال ۲۰۲۲، به هشت میلیون و ۳۰۰ هزار تن کاهش یافت. در سال ۲۰۲۲، تقریبا ۱۰۰ درصد از برق مورد نیاز در تولید فلز نیکل شرکت Anglo American از طریق منابع تجدیدپذیر به دست آمد.

در حال حاضر شرکت «Anglo American» مشغول به احداث صفحه‌های خورشیدی و توربین‌های بادی برای تامین انرژی مورد نیاز معادن خود به ویژه معادن آفریقای جنوبی است که انتظار می‌رود صفحه‌های خورشیدی این شرکت تا پایان سال ۲۰۲۳ آماده بهره‌برداری باشند. از دیگر اقدامات این شرکت در جهت کاهش انتشار کربن دی‌اکسید در بخش حمل‌ونقل، می‌توان بهینه‌سازی تجهیزات و ماشین‌آلات مورد استفاده در بهره‌برداری معادن را نام برد. علاوه‌براین، از مهم‌ترین پروژه‌های زیست‌محیطی این شرکت می‌توان به هدف‌گذاری برای افزایش ۳۰ درصدی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تا پایان سال ۲۰۳۰ و کاهش ۵۰ درصدی انتشار کربن دی‌اکسید این شرکت تا پایان سال ۲۰۴۰ اشاره کرد.

پایگاه خبری تحلیلی فلزات آنلاین، تیرماه ۱۴۰۲

همایش ها و نمایشگاه های خارجی در سال ۲۰۲۳		
ردیف	عنوان	تاریخ و محل برگزاری
۱	دهمین کنفرانس یورو استیل ۲۰۲۳	۱۴-۱۲ سپتامبر، آمستردام، هلند
۲	کنفرانس سالانه فناوری ریخته گری نیوزیلند	۱۰ - ۸ سپتامبر، اوکلند، نیوزیلند
۳	هفدهمین کنفرانس بین المللی فرآوری نیمه جامد آلیاژها و کامپوزیت ها	۸-۶ سپتامبر، برشا، ایتالیا
۴	ششمین کنفرانس بین المللی علم مواد و نانوتکنولوژی	۷-۶ سپتامبر، رم، ایتالیا
۵	سیزدهمین نمایشگاه بین المللی فولاد، فولادسازی، شکل دهی، ساخت و تکمیل فلزات	۴-۲ سپتامبر، قاهره، مصر
۶	دومین نمایشگاه بین المللی ریخته گری و پردازش حرارتی	۵-۱ سپتامبر، شنیانگ، چین
۷	پنجمین نمایشگاه و کنفرانس بین المللی تولید فلز، فرآوری فلزات، فلزکاری و صنایع وابسته	۳-۱ سپتامبر، بمبئی، هند
۸	شصت و سومین کنفرانس بین المللی ریخته گری	۱۵ - ۱۳ سپتامبر، پورتوروز، اسلوونی
۹	نمایشگاه فلزات انگلستان	۱۴ - ۱۳ سپتامبر، بیرمنگام، بریتانیا

جهت کسب اطلاعات بیشتر به سایت https://www.castingarea.com/events.htm مراجعه نمایید.

پرسش و پاسخ

دکتر مهرداد عضو امینیان
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
mrd.aminian@gmail.com

سوال ۱) یک لیست قیمت خوب در باره قطعات ریختگی، باید شامل چه بندهایی باشد؟

جواب:

– شماره قطعات

- شماره نقشه و تعداد کپی نقشه های مورد نیاز

– توضیحات اضافی در باره قطعه

– مشخصات مواد و استاندارد های مربوطه

– تعداد مورد نیاز در زمانهای مشخص شده

– تعداد مورد نیاز در هر شیفت کاری

• تجهیزات مدل – اگر به جزئیات وجود دارد، اگر مدل جدید مورد نیاز است، قیمت و جزئیات آن و نحوه ساخت مدل

– وزن قطعه بطور دقیق و یا تقریبی

– اعمال فرآیند های اضافی روی قطعات نظیر

– صافی سطح

– تمیز کاری

– عملیات حرارتی

– آزمایشات غیر مخرب

– تلورانس های ابعادی قطعه

– لقی مورد نیاز برای اتصال قطعه با اجزاء دیگر

– شرایط سرویس دهی قطعات

– میزان سایش

– میزان خوردگی

– دمای کاری

– زمان تحویل قطعه

سوال ۲) نقشه های همراه لیست قیمت علاوه بر مشخصات مواد، شامل چه مواردی باید باشند؟

جواب:

آنها باید دارای خصوصیات مکانیکی نظیر موارد زیر باشند:

– استحکام کششی

– سختی

– تلورانس ابعادی

– خصوصیات دمایی (کمترین و بیشترین دما)

– مقاوم به فشار و یا آب بندی در صورت نیاز

– اطلاعات مورد نیاز ماشین کاری

– موقعیت قرار گیری شماره قطعه، علامت تجاری و محل قرارگیری قطعه مورد نظر

سوال ۳) به چه نکاتی در لیست سفارش خریدار قطعه ریختگی باید توجه شود؟

- تمام مشخصات تکنیکی قطعات از قبیل تلورانس های ماشین کاری، اطلاعات ماشین کاری، محل های مهم برای ماشین کاری،

موقعیت شماره قطعه و دیگر علائم مشخص کننده قطعه ریختگی باید بطور واضح و روشن توسط قسمت طراحی و مهندسی تایید و مشخص گردد.

- بررسی شرایط فروش قطعه ریختگی توسط تولید کننده

– آماده سازی سفارش خریدار شامل:

– مشخصات کامل مواد

– شماره نقشه و مدل قطعه ریختگی

– تعداد قطعات مورد نیاز

– زمان تحویل قطعات

– تعداد در هر شیفت

– برنامه زمان بندی جهت تحویل قطعات

– قیمت قطعات

– تاریخ استعلام قیمت قطعات

– جزئیات و نحوه ساخت مدل

– قیمت مدل

– جزئیات آزمایشات غیر مخرب مورد نیاز

– تولید نمونه آزمایشی به مسئولیت چه کسی است.

– اعلام شرایط سرویس دهی قطعه و یا هر گونه اطلاعاتی که در باره مهم می باشد.

– شرایط پرداخت وجه قطعات (مقدار تخفیف و نحوه پرداخت نقد و اقساط)

– تجهیزات مدل نامناسب

– برنامه زمان بندی غیر واقعی

سوال ۴) تحویل سریع قطعات ریختگی علاوه بر استراتژی خرید به عوامل دیگری وابسته می باشند، آنها را نام ببرید؟

جواب:

– انتخاب نامناسب تولید کننده قطعات

– پرداخت ضعیف و نامناسب

– قیمت نادرست و غیر منطقی

– زمان ناکافی

واژه نامه

دکتر مهرداد عضو امینیان
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
mrd.aminian@gmail.com

در برخی از موارد برای ترمیم عیوب قطعات ریختگی از جمله مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب دارند، از چسب های مخصوصی با نام های تجاری مختلفی استفاده می شود که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است:

۱) چسب SUPERIOR METAL LOCTITE 3478

این چسب برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۷/۲۵ به ۱ می باشد.

۲) چسب WEICON A

این چسب با کد A برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۱۰ به ۱ می باشد. برای تعمیر مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب با سیلان چسب می باشد استفاده می شود. اگر مغایرتی از نظر رنگ چسب با زمینه فلزی در تحویل وجود نداشته باشد، می توان از چسب های WEICON BL و WEICON WR (فقط برای چدن و فولاد) با رنگ سیاه و با نسبت وزنی رزین به هاردنر ۱۰۰ به ۱۵ در هر دو استفاده نمود. تزریق چسب مایع در داخل مک ها باید با فشار اعمال شود و از تشکیل حباب های هوا اجتناب گردد.

۳) چسب WEICON ST

این چسب با کد ST برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن استفاده می شود و با کد BR برای قطعات برنزی استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۱۰ به ۱ می باشد. برای تعمیر مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب با سیلان چسب می باشد استفاده می شود.

۴) چسب های WEICON BL و WEICON WR

برای تعمیر مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب با سیلان چسب می باشد و مغایرتی از نظر رنگ چسب با زمینه فلزی در تحویل وجود نداشته باشد، از چسب های WEICON BL و WEICON WR (فقط برای چدن و فولاد) با رنگ سیاه و با نسبت وزنی رزین به هاردنر ۱۰۰ به ۱۵ در هر دو استفاده می شوند.

۵) چسب WEICON BR

این چسب با کد BR برای تعمیر قطعات ریختگی برنزی استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۱ به ۱ می باشد. برای تعمیر مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب با سیلان چسب می باشد، کاربرد دارد.

۶) چسب MULTY METAL

این چسب با کد MM-METAL SS STEEL و MM-METAL SS STEELCERAMIC برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن استفاده می شود و تا دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۲۰ به ۱ می باشد.

همچنین این چسب با کد MM-METAL SS BRONZ برای تعمیر قطعات برنزی استفاده می شود و کاربرد آن تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد است. نسبت وزنی رزین به هاردنر ۲۰ به ۱ می باشد.

این چسب ها برای تعمیر مک ها و حفرات ریز و عمیق و سایر مناطقی که نیاز به پر شدن محل عیبب با سیلان چسب می باشد استفاده می شود. تزریق چسب مایع در داخل مک ها باید با فشار اعمال شود و از تشکیل حباب های هوا اجتناب گردد. در چسب MM-METAL SS STEELCERAMIC از هاردنر زرد رنگ استفاده شود.

۷) چسب SEALIUM

این چسب مشابه چسب های مولتی متال می باشد و تا دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد.

۸) چسب BELZONA

این چسب با کد ۱۱۱۱ و ۱۳۱۱ برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن استفاده می شود و تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۵ به ۱ می باشد.

۹) چسب DEVCON A

این چسب برای تعمیر قطعات ریختگی چدنی، فولاد کربنی استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۹ به ۱ می باشد.

۱۰) چسب DEVCON ST

این چسب برای تعمیر قطعات ریختگی فولاد زنگ نزن استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۱۱ به ۱ می باشد.

۱۱) چسب DEVCON BR

این چسب برای تعمیر قطعات ریختگی برنزی استفاده می شود و تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد کاربرد دارد. نسبت وزنی رزین به هاردنر آن ۹ به ۱ می باشد.

لیست اعضاء حقوقی فعال جامعه ریخته گران ایران

آرمان تجارت صبا
تهران- خیابان ولنجک، نبش خیابان هفتم، پلاک ۲۲، طبقه سوم، واحد ۳۰۲
تلفن: ۲۶۳۵۴۴۶۵
فاکس: ۲۶۳۵۴۵۷۹
بازرگانی-واردات

بهریز فولادان
تهران ، فلکه اول تهرانپارس ، خیابان گلبرگ بعد از رشید - پلاک ۷۹، طبقه ۵ شمالی - واحد ۱۶
تلفکس۷۷۷۰۳۱۲۸
فاکس: ۷۷۲۹۹۶۸۵
Email: info@behrizfoladan.com
ریخته گری فولاد

ایران غلتک کاشان .
کاشان ـ میدان ولیعصر ـ کیلومتر ۵ جاده نصر آباد- شهرک صنعتی کویر-
تلفن: ۰۳۱۵۵۵۸۷۰۰۱

پات روشان نیکتا (پاترون)
تهران- ملاصدرا، خیابان پردیس،کوچه زاینده رود شرقی، پلاک ۱۷- طبقه اول
تلفن: ۸۸۷۸۰۰۵۴
کدپستی: ۱۹۹۱۹۳۳۳۹۳
Email: info@patron.group

فولاد بست ایرانیان
تهران بازار آهن،بلوک ۱۰ شمالی، شماره ۴۶۲ و ۴۶۳
تلفن: ۶۶۶۷۴۷۵۳

جویندگان دانش افق سبز
تهران- پیروزی- خیابان پنجم نیروی هوایی- مجتمع تجاری ولی عصر
تلفن: ۷۷۴۶۲۱۲۶
فکس:۷۷۱۶۰۶۱۸
تامین و واردات کلیه مواد اولیه صنایع ریخته گری و فولاد

مهندسی و ساخت پره توربین مپنا -پرتو
کرج، کیلومتر۷جاده ملارد،، ضلع شمالی نیروگاه منتظر قائم، شرکت پرتو - واحد انتقال تکنولوژی و مرکز اسناد
تلفن: ۰۲۶۳-۶۱۹۲۰۰۰
فاکس: ۰۲۶۳-۶۶۱۸۲۹۵
کدپستی: ۱۹۱۸۹۵۳۶۵۱
Email: info@mapnagroup.com
ساخت پره های داغ توربین گازی

فولادریزان الماس شرق
مازندران، سوادکوه شمالی،شهرک صنعتی بشل،فاز ۲، خیابان صنعت ۷، پلاک ۲۰۸
تلفن:۰۱۱۴۲۴۳۳۶۸۵
کدپستی: ۴۷۸۳۱۸۸۷۹۴

چشمه سار
زنجان ، کیلومتر ۱۸ جاده تهران ص.پ: ۱۵۷۱ ـ ۴۵۱۹۵
تلفن:۳-۰۲۴۳۲۴۶۲۳۴۱
فکس: ۰۲۴۳۲۴۶۲۳۴۰
صندوق پستی: ۱۵۷۱۴۵۱۹۵
Email: foundry@cheshmehsar.com
ریخته گری قطعات ترمز خودروچدنی

چدنیت صدر
تهران، خیابان مطهری، نرسیده به چهارراه سهروردی، ساختمان ۱۲۰ ، طبقه ۳، واحد ۶
تلفن : ۸۸۳۰۱۰۴۹
فاکس :۸۸۳۰۱۱۳۱
کارخانه : تهران، جاده خاوران، بعد از پلیس راه شریف آباد ، شهرک صنعتی عباس آباد ، بلوار خیام، کوی ۱/۱

داکتیل

تهران، میدان توحید ، خیابان ستارخان، خیابان کوثر دوم، پلاک ۱۵ واحد ۷، طبقه چهارم کدپستی: ۱۴۵۷۶۷۶۵۸۴

تلفن: ۶۶۹۲۵۶۷۳-۶۶۹۲۲۹۳۷-۶۶۹۲۴۸۰۹

فاکس: ۶۶۹۲۶۴۰۸

ریخته گری انواع چدنها و فلزات غیر آهنی

ذوب آهن البرز غرب

تهران، خیابان شهید بهشتی - بعد از چهارراه سهروردی - نرسیده به میدان تختی - خیابان کابوسی فر - کوچه آریا وطنی - پلاک ۱۰

کد پستی :۱۵۷۷۸۱۵۷۱۳

تلفن: ۷-۸۸۱۷۰۹۸۳

فاکس: ۸۸۱۷۰۹۶۹

Email: west.alborz.steel@gmail.com

رزیتان

تهران پاسداران، چهارراه فرمانیه، نارنجستان هشتم، پلاک ۲۳، طبقه ۱۵، واحد ۱۵۰۳ و ۱۵۰۲

تلفن: ۳۰ ـ ۲۲۰۲۰۵۲۱

فاکس: ۲۲۰۲۰۴۸۶

کد پستی: ۱۹۵۷۶۱۴۰۵۳

تولید انواع رزینهای صنعتی

ریخته گری دقیق پولادیر

تهران، بلوار اشرفی اصفهانی ، خیابان گلستان چهاردهم ، برج نگین رضا ، واحد ۴۰۶ شمالی کد پستی : ۱۴۷۱۷۹۳۵۷۴

تلفن: ۸-۴۴۰۳۱۶۷۳-۴۴۰۳۱۶۹۶-۴۴۰۳۰۲۶۴/۴۴۰۹۷۰۷۷

فاکس: ۴۴۰۳۰۵۶۹

تولید قطعات متنوع صنعت

شوفاژ کار

کیلومتر ۸ جاده مخصوص کرج ، روبروی شهاب خودرو ، خیابان نخ زرین ، شرکت شوفاژ کار ، واحد آموزش

تلفن: ۳-۴۴۵۴۵۱۲۰

فاکس: ۴۴۵۴۵۱۱۴

خیابان طالقانی، بین چهارراه مفتح . بهار، پلاک ۱۸۰ ، طبقه اول

تلفن :۸۸۳۰۸۶۷۷

فکس :۸۸۳۰۹۳۲۶

تولید انواع دیگ‌های بخار چدنی

فارس ریزان مواد

دفتر : مرزداران -۳۵ متری لاله ،جنب لاله ۹- پلاک ۱۷، واحد ۱۲

تلفن : ۴۴۲۵۶۳۲۵

فاکس:۴۴۲۵۵۹۲۷

کارخانه : ساوه، شهر صنعتی کاوه، بلوار آزادی، خیابان ۱۷

مالیبل سایپا

کیلومتر ۱۵/۵ جاده مخصوص کرج ، روبروی شرکت سایپا

ص.پ : ۱۳۴۴۵/۱۹۳

تلفن: ۴۴۱۹۶۵۳۷

فاکس: ۴۴۱۹۶۵۳۹

ریخته گری و ساخت انواع میل بادامک خودرو

هلدینگ میدکو

تهران- سعادت آباد- بلوار فرهنگ- نبش خیابان معارف- پلاک ۸

تلفن: ۲۷۳۴۰

فاکس: ۲۲۳۶۳۶۹۱

تولید کنسانتره سنگ آهن- کنسانتره زغال سنگ- کک متالورژی- گندله سنگ آهن- شمش فولادی- آهن اسفنجی- مس کاتد- لوله های مسی

کد پستی: ۱۹۹۷۷۴۴۱۱۱

فروسیلیس ایران

تهران- خیابان پاسداران- بعد از چهار راه فرمانیه- نارنجستان ۷- ساختمان پارک سنتر- طبقه ۱۹- واحد ۱۹۰۲ و ۱۹۰۳

تلفن: ۶۰-۴۰۲۲۹۷۵۶ فاکس:۴۰۲۲۹۸۸۶

فروسیلسیم-فروسیلسیم منیزیم-پودر میکرو سیلیکا

ذوب و نسوز ایرانیان

شهرک صنعتی شمس آباد، بلوار نگارستان مهر جنوبی، پلاک ۲۱۷

تلفکس: ۵۶۲۳۲۰۴۸

کدپستی: ۱۸۳۴۱۳۶۶۹۵

فولاد روانشیر
تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، خ گرمسار غربی، کوچه بهاردوم، پلاک ۶، طبقه چهارم
تلفن: ۲۷و ۸۸۰۶۵۷۲۶
فاکس: ۸۸۰۶۹۷۹۸
ریخته گری قطعات چدنی و فولاد

فولاد طبرستان
تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، کوچه بهار، پلاک۶، طبقه ۲
تلفن: ۳ ـ ۸۸۰۶۱۴۷۱
فاکس: ۸۸۰۶۱۴۷۰
تولید فولاد و چدن آلیاژی

فولاد ریزان
جاده قدیم کرج، پشت شیر پاستوریزه، شاد آباد ،خ ۱۷ شهریور، روبروی شرکت دارو سازی اسوه
تلفن: ۶۶۸۰۴۰۲۹ و ۶۶۸۰۵۵۶۵و ۶۶۸۱۱۸۰۰
فاکس: ۴۴۲۵۵۹۲۷
کد پستی: ۱۳۷۱۸۴۴۸۱۳

فولاد مازندران
تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، کوچه بهار۲، پلاک۶، طبقه سوم
تلفن: ۸۸۰۴۸۶۵۶-۸۸۰۴۸۶۳۶
تولید کننده انواع قطعات فولادی و چدنهای آلیاژی

غلتک سازان سپاهان
اصفهان- شهرک صنعتی بزرگ شرق اصفهان- فاز دوم- خیابان هفتم
تلفن: ۰۳۱-۴۶۴۱۲۶۵۹
فاکس: ۰۳۱-۴۶۴۱۲۶۶۰
تولید کننده قطعات ریختگی سنگین چدنی و فولاد

ماشین سازی اراک
کارخانه: اراک، کیلومتر ۴ جاده تهران ص.پ ۱۴۸ ،
تلفن: ۹ ـ ۳۱۳۰۰۳۱ ـ ۱/۰۸۶۱-۲۱۷۲۵۰۰
فاکس: ۳۱۳۲۰۵۹ ـ ۳۱۳۹۰۲۳/۰۸۶۳-۰۸۶۳
دفتر تهران: تهران، مرزداران، خیابان ایثار، نبش نامدار۲، پلاک ۴
تلفن: ۶-۴۴۲۷۹۷۷۵
فکس: ۴۴۲۷۵۷۱۵
فولاد سازی و آهنگری

فولادآلیاژی سمنان
سمنان، شهرک صنعتی شرق، جنب کارخانه عقاب
تلفکس: ۹- ۰۲۳۳۳۶۵۲۵۳۸
کدپستی: ۳۵۳۵۱۳۳۱۱۱

مرکز پژوهش متالورژی رازی
کیلومتر ۲۱ جاده مخصوص کرج، جنب نفت پارس، ورودی سرخه حصار، بلوار حاج قاسم اصغری، خیابان فرنان، پلاک ۸
تلفن: ۰۲۱۴۶۸۳۱۵۷۰ و ۰۲۱۶۳۰۷
کد پستی: ۳۷۵۳۱۴۶۱۷۱

بنیاد علوم کاربردی رازی
کیلومتر ۲۱ جاده مخصوص کرج، ورودی شهر قدس، بلوار شهید حاج قاسم اصغری، ورودی سرخه حصار، خ فرنان، پلاک ۲۷
تلفن:۴۹۷۳۲
Email: info@RAZI-FOUNDATION.com
کد پستی: ۳۵۵۳۱۴۶۱۳۷

پایا ذوب کاوه
اصفهان، خیابان سعادت آباد، ساختمان هرم طبقه ۵ واحد ۱۵
تلفن: ۰۳۱-۳۶۷۰۰۴۹۵
فکس: ۰۳۱-۳۶۶۹۱۴۹
Email:info@payazob.com

فولادین ذوب امل
آمل، شهرک صنعتی امامزاده عبدالله، فاز یک
تلفن: ۲۳۲۳۰۲۴۴۱۱۹۸+

پارس شمیم راه خورشید
خیابان سعدی شمالی، خیابان منوچهری، کوچه دکتر اقاجان، پلاک ۱۳ واحد ۱۴
کدپستی: ۱۱۴۵۷۴۳۷۱۷
تلفن: ۶۶۷۱۶۰۶۵

شرکت ذوب بریس
تهران، خیابان شهید بهشتی، خیابان پاکستان، کوچه دوم (قدیم) پلاک ۱۵
کد پستی: ۱۵۳۱۶۳۶۴۱۱
تلفن: ۸۸۵۰۳۸۰۴

شرکت نانو آریسا پوشش
گیلان، رشت، کیلومتر ۱۰ اتوبان رشت به قزوین، پارک علم و فناوری، واحد ۵،
کدپستی: ۳۴۴۱۳۳۱۷۵۷
تلفن: ۰۱۳۳۱۸۸۴۹۹۸

شرکت دانش پرتو نقش جهان
اصفهان، شهرک صنعتی نجف آباد، بلوار امیر کبیر، خ ابوریحان بیرونی، فرعی ۱ پلاک ۱۲،
کد پستی: ۸۵۸۵۱۶۵۷۴۷
تلفن: ۰۳۱۴۲۶۹۳۵۲۴

مجتمع صنعتی سپاهان فولاد آتشگاه
اصفهان، نجف آباد، شهرک صنعتی نجف آباد ۲، میدان صنعت، بلوار دکتر حسابی، نبش فرعی ۲۸
تلفن:۰۳۱-۴۲۶۹۶۵۰۰

صنایع ریخته گری اصفهان
اصفهان، شهرک صنعتی محمودآباد، خیابان شماره ۲۴
تلفن: ۰۳۱-۳۳۸۰۲۳۸۵

انجمن علمی ریخته‌گری ایران
(جامعه‌ریخته‌گران ایران)

IRANIAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY

ثبت:۲۰۸۱

فرم درخواست اشتراک فصل نامه ریخته گری

نام و نام خانوادگی: نام موسسه / سازمان:

شغل/نوع فعالیت: میزان تحصیلات: رشته تحصیلی:

کدملی:

نشانی کامل پستی:

کد پستی: کد اقتصادی:

تلفن تماس:

مشترک جدید □ تمدید اشتراک □ تاریخ تکمیل فرم:

نوع اشتراک مورد نظر :فصلنامه تعداد نسخه: ۴ شروع ارسال از شماره:

شماره کارت تجاارت بنام عبدالحمید قدیمی: ۵۸۵۹۸۳۱۱۴۵۰۸۱۵۳۴

مبلغ: ۶/۰۰۰/۰۰۰ ریال- شش میلیون ریال (سالانه)

خواهشمند است اشتراک اینجانب با مشخصات یاد شده را برقرار نمایید.

فیش واریزی را لطفا به تلگرام به شماره ۰۹۱۹۳۴۹۹۴۲۹ و یا به ایمیل irfs.edu@gmail.com ارسال نمایید.

تهران:خیابان بهار شمالی،جنب‌اداره برق، شماره ۱۷۴ تلفن:۸۸۸۲۷۲۰۲-۸۸۸۲۴۹۲۷ نمابر:۸۸۸۲۳۴۹۰ تلفن‌گویا:۸۸۳۰۸۶۲۶کدپستی:۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳
صندوق‌پستی:۱۵۷-۱۵۶۳۵
No.200,North Bahar Ave.,Tehran-IRAN,P.O.BOX:15635-157,Tel: (0098)21-88827202,88824927
Fax:(0098)21-88823490Goyatel:88308626

Rikhtegary

Journal Of Iranian Foundrymen's Society, No.133-42th Year, Summer2023

contents:

Production of metal powders using melt atomization methods (Part-1)
Dr. Farshid Rikhtegar.....3

Effect of secondary aging on microstructure and properties of cast Al-Cu-Mg alloy
Abdolhamid Ghadimi.....20

Iran & Word News.....30

Question and answer
Mehrdad Ozve Aminian.....44

Lexicon
Mehrdad Ozve Aminian.....46

ISSN 1028-3897

Rikhtegary

Journal Of Iranian Foundrymen's Society, No.133-42th Year, Summer2023

Concerning Certificate No. P/92/5/26,
Rikhtegary, Journal of Iranian foundrymen's Society
Index by Islamic World Citation Center (ISC), Since 1999.

License: Iranian Foundrymen's Society
Director: Prof .P. Davami
Editor: Prof . J . Hejazi
Editorial Manager: Dr. M. Ozve Aminian

Executive Board:
Eng .A. Eslami
Eng .A. Ghadimi
Eng .SH. Khatamizadeh

Editorial Board:

Prof .H. Ashoori	Sharif University of Technology
Eng .A. Eslami	Tabarestan Steel Co
Dr .H. Banihashemi	Iranian Foundrymen's Society
Prof .J. Hejazi	Iran University of Science & Technology
Prof .P. Davami	Sharif University Of Technology
Dr. M .Divandari	Iran University of Science & Technology
Prof .S. Shabestari	Iran University of Science & Technology
Dr .N. Arab	Islamic Azad University
Dr .M. Ozve Aminian	Islamic Azad University
Eng .A. Ghadimi	Iran Foundry Syndicate
Dr .M H. mirbagheri	Amirkabir University
Eng .SH. Khatamizadeh	Iranian Foundrymen's Society

Head Office:

3th Floor, No. 174, North Bahar Ave, Tehran, Iran. **Postal Code:** 1573635863, P.O.Box: 15665-157
Tel: +98-21-88824927 , +98-21-88827202 **Fax:** +98-21-88823490
Websit:www.irfs.ir Email: irfs.edu@gmail.com Telegram: irfs1359

ISSN 1028-3897

Rikhtegary

Journal Of Iranian Foundrymen's Society, No.133-42th Year, Summer 2023

contents:

Production of metal powders using melt atomization methods (Part-1)
Dr. Farshid Rikhtegar.....3

Effect of secondary aging on microstructure and properties of cast Al-Cu-Mg alloy
Abdolhamid Ghadimi.....20

Iran & Word News.....30

Question and answer
Mehrdad Ozve Aminian.....44

Lexicon
Mehrdad Ozve Aminian.....44