ریخته گری
انتشارات جامعه ریخته گران ایران/سال ۴۳/شماره ۱۳۴/تابستان ۱۴۰۲
ISSN 1028-3897

فهرست مطالب:

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

قالب هوشمند پرینت سه بعدی برای ریخته‌گری در ماسه
مهندس شیوا خاتمی زاده.....۲۸

اخبار ایران وجهان.....۳۳

پرسش و پاسخ
شیوا خاتمی زاده.....۴۵

واژه نامه
شیوا خاتمی زاده.....۴۸

بسم الله الرحمن الرحیم

ریخته‌گری

ISSN 1028-3897

انتشارات جامعه ریخته گران ایران/ سال ۴۳/ شماره۱۳۴/ تابستان۱۴۰۲

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
انتشارات جامعه ریخته گران ایران/ سال ۴۳/ شماره ۱۳۴/ تابستان۱۴۰۲

فهرست مطالب:

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

قالب هوشمند پرینت سه بعدی برای ریخته گری در ماسه
مهندس شیوا خاتمی زاده.....۲۸

اخبار ایران وجهان.....۳۳

پرسش و پاسخ
شیوا خاتمی زاده.....۴۵

واژه نامه
شیوا خاتمی زاده.....۴۸

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 دوم)

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-2)

Dr.F.Rikhtegar

Lecturer at Iranian Foundrymen's Society (IRFS)

چکیده:

در بخش دوم از بررسی روش های تولید پودر فلزات، روش اتمیزاسیون گازی با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می گیرد. اتمیزاسیون گازی در سال های گذشته، با توجه به قابلیت های منحصر به فرد خود در تولید پودر مورد نیاز فرآیند ساخت افزایشی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه این روش به تازگی به بهره برداری نرسیده و اولین پتنت مربوط به آن، بیش از ۱۰۰ سال پیش منتشر شده است. پودر های تولیدی به این روش در کاربردهای متفاوتی در مقیاس جهانی، از تولید پودر سوپرآلیاژها برای PM و پودرهای مورد نیاز روش MIM، تا پودرهای برنز کروی برای ساخت فیلترها و مواد لازم جهت لحیم کاری و... به کار گرفته می شوند.

در ادامه این بخش، روش های دیگری از اتمیزاسیون، شامل تجزیه مکانیکی جت مذاب و تبدیل آن به قطرات فلز ارائه می شود. برخی از این فرآیندها مانند اتمیزاسیون گریز از مرکز به طور مناسبی تثبیت شده و با ظرفیت حدود ۵۰ الی ۱۰۰ کیلو تن در سال در مقیاس صنعتی به بهره برداری رسیده اند. روش اتمیزاسیون التراسونیک، چندین دهه به صورت تجاری برای آلیاژهای دمای پایین به کار گرفته شده است و پیشرفت های اخیر باعث شده تا دمای کاری آن افزایش یافته و قابلیت فرآوری طیف وسیعی از آلیاژها را داشته باشد. همچنین در این بخش، اتمیزاسیون فشاری (یا تک سیاله) که کاربرد بسیار محدودی دارد و نیز به طور اختصار، برخی فرآیندهای دو سیاله با استفاده از سیال های نامتعارف (مانند روغن و گاز برودتی) تشریح خواهند شد.

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

Abstract:

In the second part of investigation of metal powder production methods, the gas atomization method is examined in more details. In recent years, gas atomization has received a lot of attention due to its unique capabilities in producing the powder required for the additive manufacturing process. Although, this method has not been exploited newly and the first related patent was published more than 100 years ago.

The produced powders in this way are used in different applications on a global scale, from the production of superalloy powders for PM and powders required by the MIM method, even the spherical bronze powders for making filters and necessary materials for soldering, etc.
In the rest of this section, other methods of atomization are presented including the mechanical breakdown of the molten jet and its transformation into metal droplets. Some of these processes, such as centrifugal atomization, have been properly established and applied in industrial scale with a capacity of about 50-100 kilotons per year. The ultrasonic atomization method has been commercially used for decades for low temperature alloys, and recent advances have increased its operating temperature and enabled it to process a wide range of alloys. Also, in this section, pressure atomization (or single fluid), which has a very limited application, and also briefly, some two-fluid processes using unconventional fluids (such as oil and cryogenic gas) will be described.

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

۱- اصول کلی اتمیزاسیون گازی

فرآیند اتمیزاسیون گازی در اغلب تعاریف پایه ای، شامل شکست جت مذاب با استفاده از سیال گاز با سرعت بالا و تبدیل جت به اسپری ذرات است که در ادامه با انجماد آنها در حین سقوط به سمت پایین، ذرات پودر نهایی شکل می گیرند. برای این هدف، چندین طراحی مختلف تاکنون ارائه شده است و شاید ساده ترین آنها که هنوز هم برای فلزات غیر آهنی به کار می رود، شامل ریختن عمودی مذاب به سمت یک یا چند جت گاز افقی می باشد. اغلب اتمایزرها، به ویژه برای فلزات با نقطه ذوب بالاتر، از یک مسیر عبور مذاب عمودی و رو به پایین استفاده می کنند که مذاب از بین جت های گاز با سطوح رو به پایین عبور می نماید.

به طور کلی فرآیند اتمیزاسیون گازی بسیار متفاوت از اتمیزاسیون آبی است، با توجه به اینکه اختلاف زیادی بین نرخ انتقال حرارت گاز در مقایسه با آب وجود دارد و این عدد در مورد سیال گازی به مراتب کمتر است. این موضوع به آن معناست که زمان های انجماد قطرات مذاب در اتمیزه گازی، حداقل چندین برابر بیشتر بوده و نیاز است که ذرات در محفظه اتمایزینگ مسافت طولانی تری، تا میزان چند متر، به پرواز درآیند. در حالی که در مورد اتمیزه آبی، اغلب طول محفظه کمتر از یک متر نیز کفایت می کند تا اطمینان حاصل شود هیچ گونه پاششی از مذاب روی دیواره محفظه اتمایزینگ باقی نمانده است.

بر اساس همین تفاوت مشخصات بین دو فرآیند، پودرهای اتمیزه آبی معمولاً محفظه را در دمایی کمتر از ۱۰۰°C ترک می کنند، اما محصولات اتمیزه گازی دارای دمایی بیش از ۳۰۰°C در انتهای فرآیند بوده و بنابراین، در اغلب موارد از خنک کاری ثانویه در انتهای مسیر استفاده می شود. در شکل ۱ نمونه ای از یک اتمایزر گازی مدرن با ظرفیت ۲۵۰kg با ویژگی مذکور نشان داده شده است[۱].

پودرهای اتمیزه گازی اغلب به شکل کروی در نظر گرفته می‌شوند که البته این گزاره همواره صادق نیست. بر اساس تجربیات قبلی، در بیشتر پودرهای اتمیزه شده با هوا از فلزات دارای اکسیدهای پایدار با نقطه ذوب کم و متوسط مانندAl، Sn ، Pb و Zn، به واسطه ایجاد لایه اکسیدی چسبنده روی قطرات مذاب، شکل گیری ذرات کروی با چالش جدی روبرو بوده است. حتی پودرهای اتمیزه شده با گاز خنثی، که معمولاً دارای مقدار کمی لایه اکسیدی یا بدون فیلم اکسیدی هستند، از نظر تشکیل پیراذرات (ذرات ریز ناهمگون چسبیده به ذره کروی اصلی) دچار مشکل می شوند. به عنوان مثال، در نمونه‌های متعددی از پودر فولاد با اتمیزه گازی، همین موضوع باعث کاهش چگالی ظاهری از ۴/۵g/ml به ۳/۵g/ml گردیده است.

۲- تاریخچه اتمیزاسیون گازی

بر اساس آنچه پیشتر گفته شد، مواد فلزی به صورت پودری بین ۰/۱ تا۵۰ ٪ از تولید جهانی فلزات را شامل می شوند. کسر قابل توجهی از تولید پودر فلزات از طریق اتمیزاسیون گازی (با هر دو نوع هوا یا گاز خنثی) انجام می گیرد. قدمت این فرآیند به بیش از صد سال باز می گردد که اولین پتنت ثبت شده مربوط به آن در انگلستان در

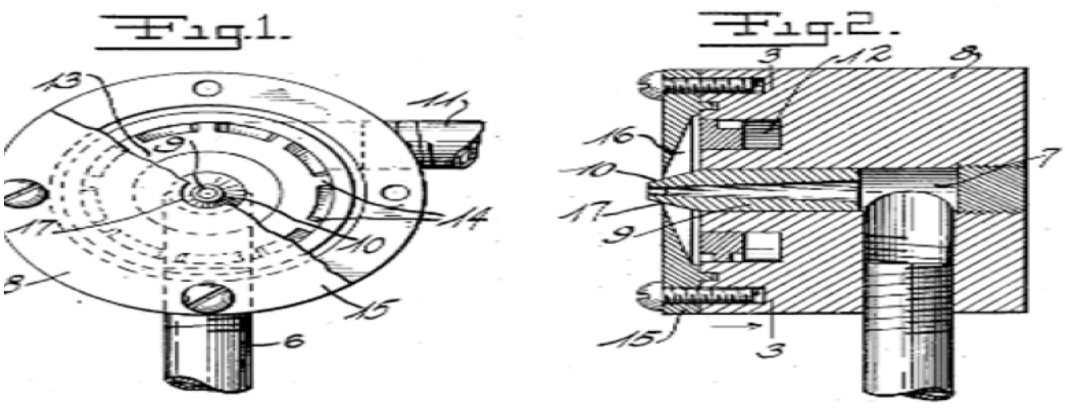
شکل ۱) یک سیستم اتمایزینگ گازی با ظرفیت کوره ۲۵۰ kg با قابلیت جلوگیری از تشکیل پیرا ذرات[۱]

سال ۱۸۷۲ (به شماره ۳۳۲۲ توسط W Marriot) بوده که در آن اتمیزاسیون با بخار برای مذاب سرب به انجام رسیده است. بخار در آن زمان به عنوان یک گاز فشرده و در دسترس به کار برده می شده، اما در دهه ۱۸۹۰، هوای فشرده به عنوان یک جایگزین اقتصادی مناسب معرفی شده است. این طور به نظر می رسد که اصول مربوط به اتمیزاسیون گازی با تغییر سده و استفاده از آن برای فلزات دیگر با نقطه ذوب پایین، مانند روی و قلع در سال های بعد، به طور کامل تحلیل و کاربردی گردیده است.

به طور قطع پتنت های ثبت شده توسط دانشمند بزرگ پروفسور Everett Hall در زمان جنگ جهانی اول (۱۸۷۹-۱۹۳۱) که شامل تولید پودر آلومینیم با اتمیزه هوا بوده، دارای طراحی و جزئیاتی است که همچنان برای ما پس از گذشت یکصد سال، آشنا و قابل استفاده است (شکل ۲) [۱]. در دهه ۱۹۴۰، اتمیزه با هوا به عنوان یک فرآیند تثبیت شده برای تولید پودر روی، آلومینیم و احتمالاً پودرهای غیر آهنی دیگر مانند مس، برنج و برنز به کار-گرفته شده است. در جریان جنگ جهانی دوم، مهندسان آلمانی از این روش برای تبدیل آهن خام به پودر آهن با بهره گیری از روش ((RZ (Roheisen-Zunder Verfahren) استفاده نمودند.

در دهه ۱۹۵۰، W D Jones در انگلستان روی اتمیزه گازی با گاز خنثی کار نمود و در دهه ۱۹۶۰، سایت های تولید برای دستیابی به پودر آلیاژی مورد نیاز در فرآیند پاشش حرارتی از نوع خود سرباره ساز NiCrBSi احداث شدند. در دهه ۱۹۷۰، با توسعه متالورژی پودر برای مواد پر آلیاژ و پیشرفت مفهوم انجماد سریع جهت رسیدن به ساختار ریزدانه، به تدریج اتمایزرهای گازی با گاز خنثی برای تولید پودر فولادهای ابزار با ظرفیتی بین ۲-۱ تن در کشور سوئد ساخته شدند.

همزمان دولت آمریکا سرمایه گذاری سنگینی جهت تحقیق و توسعه تولید پودر سوپر آلیاژها برای صنایع هوافضا نمود که منجر به ساخت



شکل ۲) فرآیند تجزیه فلز بر اساس پتنت ۱/۶۵۹/۲۹۱ USPatثبت شده توسط J Hall

اولین اتمایزر گاز خنثی در محیط خلأ (VIGA)[1] با ظرفیت تولید ۳۰۰-۱۰۰kg گردید. از آن زمان، به کارگیری اتمیزاسیون با گاز خنثی (IGA)[2] همراه با ذوب در هوا، همانند روش VIGA برای تولید پودرهای پاشش حرارتی، سوپر آلیاژهای PM، پودرهای مورد نیاز AM و MIM گسترش یافت. در حال حاضر تولید پودرهای سوپرآلیاژ به روش VIGA، تنها در آمریکا مقداری در حدود ۲۰-۱۰kt (کیلوتن) در سال را به خود اختصاص می دهد [۱].

۳- محدوده و مقیاس کاربردهای اتمیزه گازی

در حال حاضر اتمیزه با هوا به طور گسترده برای تولید پودر آلومینیم و روی به کار می رود. حجم پودر تولید شده Al به میزان بیشتر از ۱۰۰، حتی تا ۲۰۰kt در سال رسیده و برای محدوده وسیعی از کاربردها مورد مصرف قرار می گیرد. حجم پودر روی تولید شده بیشتر است اما در مقابل، بازار محدود تری نسبت به آلومینیم دارد. بیشتر پودر Zn داخل گدازنده های روی تولید شده و به جهت استفاده در خالص سازی محلول سولفات روی به کار برده می شود که در فرآیند الکتروواینینگ روی نقش اساسی ایفا می نماید.

فلز روی به مقدار ۱۳Mt (مگاتن) در سال تولید می شود که عمدتاً ناشی از فرآیند الکتروواینینگ است. برخی گدازنده ها نیز به طور متوسط بین ۵-۲ درصد از محصولات خود را به صورت پودر برای عملیات خالص سازی استفاده می کنند. برای پودر اتمیزه روی، حجم تولیدی بین ۶۰۰-۲۶۰kt در سال لحاظ می شود.

مقدار کمی از پودرهای قلع و سرب مورد نیاز برای لحیم کاری سرد، با اتمیزه هوا تولید می گردند. اگرچه مواد لحیم سرد مورد استفاده در قطعات الکترونیکی، می بایست از طریق اتمیزه گاز خنثی ساخته شوند. فلزات غیر آهنی مانند مس، برنج و برنز نیز معمولاً با اتمیزاسیون در هوا تهیه می گردند. اخیراً برای تولید فیلترها از پودر برنز کروی (با افزودن فسفر به مذاب به منظور جلوگیری از اکسیداسیون سطحی حین پرواز قطرات مذاب) استفاده می شود که کل تناژ تولیدی آن با اتمیزه گازی در محدوده ۴۰-۲۰kt در سال قرار می گیرد.

اتمیزاسیون با گاز خنثی به عنوان یک گزینه مناسب برای کاربردهای دیگری همچون MIM، AM، HIP، HVOF، مواد لحیم گرم و... در نظر گرفته می شود. برای این هدف، اغلب گاز نیتروژن گزینه اقتصادی تر است، اما آرگون نیز برای برخی از فلزات فعال مانند سوپر آلیاژها و تیتانیم به کار می رود.

گاز هلیم برای تولید پودرهای آلومینیم و منیزیم به کار برده می شود، اما به علت هزینه بالای گاز هلیم و عدم شرایط پایدار برای تامین آن، عمدتاً از گاز آرگون به جای آن استفاده می گردد. کل ظرفیت نصب شده در مورد فرآیندهای IGA و VIGA تقریباً ۱۰۰ kt در سال برآورد می شود که با توجه به تعداد زیادی سایت های تولید در کشورهای مختلف محاسبه شده است. این سایت ها از واحدهای کوچک تولید پودر آلیاژی برای لحیم کاری گرم با گنجایش چند kg/s تا واحد های پیوسته تولید پودر فولاد ابزار با ظرفیت ۳t/h را شامل می شود. اغلب این واحدها برای تولید پودر فلزات و آلیاژهای ارزشمند، با ارزش افزوده بالا و کاربرد های جانبی گسترده، به صورت کوچک، منطقه ای و با توجیه اقتصادی امکان سنجی شده ساخته می شوند. برخلاف واحدهای تولید پودر آهن که در آنها لحاظ شاخص های دیگری مانند هزینه نهایی کم و اقتصادی بودن تناژ پودر تولیدی ضروری است [۱].

۴- طراحی نازل اتمیزاسیون گازی

مطابق با شکل ۳، در سال های گذشته پیشرفت هایی در طراحی شکل۲ نازل از نوع جت متقابل تا انواع دیگری مانند سقوط آزاد و دوتایی- نزدیک (محدود شده) مشاهده شده است [۱].

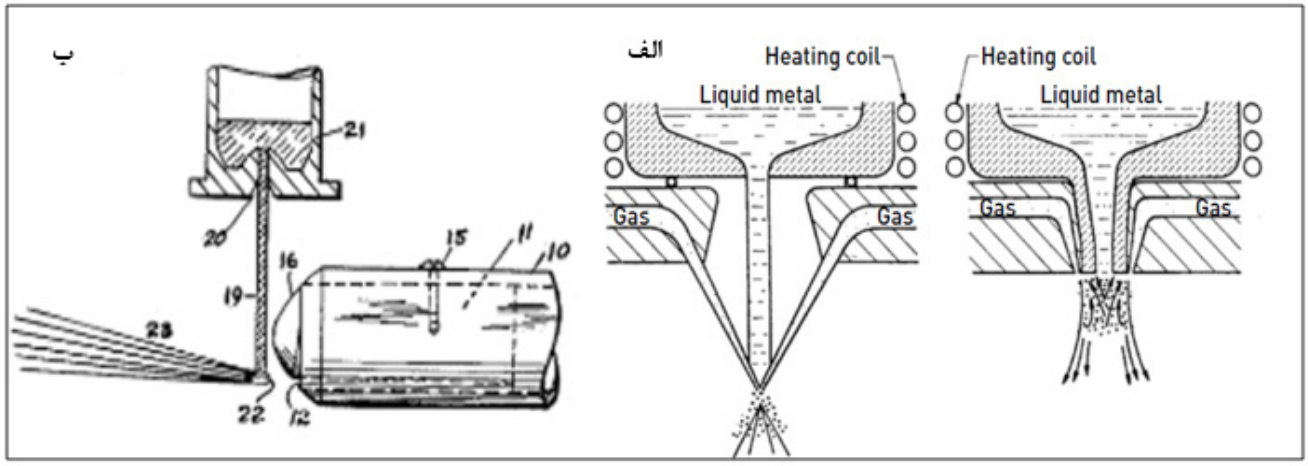
واضح است که در سیستم های جت متقابل نیاز به یک محفظه بزرگ افقی وجود دارد که اغلب باعث تولید پودر با بازده کم و توزیع ذرات پهن گردیده و نهایتاً باعث پاشش ریز ذرات روی سطح حین کاربرد در روش های پاشش حرارتی می گردد. این موضوع از چند جنبه قابل بررسی است. اولاً این چالش به واسطه عدم کارایی فرآیند در تجزیه غیرمتقارن جت مذاب به وجود می آید. ثانیاً در این مدل، جت گاز به فاصله یک تا چند اینچ (۱۰۰-۲۵mm) از باریکه مذاب قرار دارد و در نتیجه، گاز به سرعت انرژی مورد نیاز خود را از دست می دهد. از طرفی، مزیت این سیستم در تشکیل و سیلان مذاب در جهت جاذبه از انتهای بوته یا تاندیش است که بسیار ساده و قابل اطمینان و تکرار می باشد. با وجود آنکه کنترل توزیع اندازه ذرات در این سیستم ها مشکل است، اما همچنان به طور گسترده برای تولید پودر فلزاتی مثل روی، قلع و پودر فلزات قرمز به کار برده می شوند.

نوع سقوط آزاد به مذاب اجازه می‌دهد تا به سمت نازل‌های گاز حرکت نماید که اغلب این نازل ها به شکل هندسی متقارن شعاعی

---

۱ - Vacumm Inert Gas Atomizer (VIGA)

۲- Iner Gas Atomization (IGA)



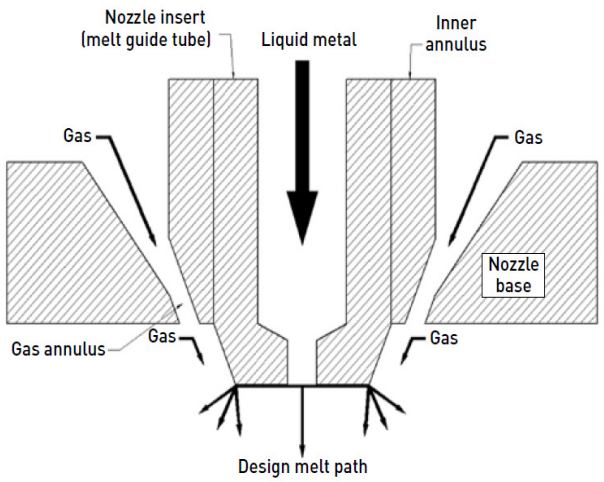
شکل ۳) الف: دیاگرام سقوط آزاد جت مذاب (چپ) و فرآیند اتمیزاسیون دوتایی- نزدیک (راست) و
ب: تجهیزات برای تولید پودر؛ نشان دهنده یک اتمایزر با جت متقابل (کراس جت) برای تولید پودر روی [۱].

آرایش یافته اند و باعث می شوند تا باریکه مذاب به دور فضای پیرامون خودش تجزیه گردد. همچنین، از آنجا که جت مذاب محدود نشده است، مشکلات ناشی از انجماد نازل تاندیش کاهش می یابد اما، همچنان میزان اتلاف انرژی در جت های گاز به علت مسیر حرکت نسبتاً طولانی مذاب پیش از برخورد با آنها زیاد است. بنابراین، این روش برای تولید پودر ریز (با میانگین اندازه کمتر از ۱۰۰μm مناسب نیست، اما در مقیاس بزرگی برای تولید پودر فولاد ابزار جهت استفاده در روش HIP به کار می رود [۱].

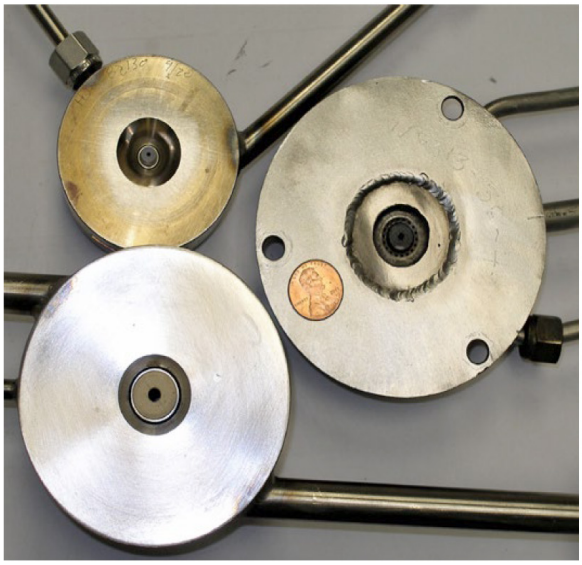
ترم های " محدود شده" و " دوتایی- نزدیک" به طور مترادف بر مبنای طراحی جدید نازل اتمیزاسیون مورد بهره برداری قرار می گیرند. واژه "دوتایی- نزدیک" توسط Walter Giles در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۸۰ عنوان شد و اشاره به نزدیکی هندسی خروجی گاز و باریکه مذاب، به میزان کسری از یک اینچ (۱-۵mm) دارد که به مراتب کمتر از عدد چندین اینچ (۷۰-۲۰۰mm) در حالت نازل سقوط آزاد می باشد. البته ترم دوتایی- نزدیک، علاوه بر وضعیت هندسی قرارگیری جت گاز و باریکه مذاب، شامل این منظر نیز می شود که مذاب از طریق سیلان گاز با دو نازل تحت عملیات اتمیزاسیون قرار می گیرد. در این شرایط، سیلان فلز مذاب تحت تاثیر متغیرهایی همچون فشار گاز اتمیزه، نرخ سیلان گاز و مشخصات هندسی نازل ها قرار دارد.

در راستای به کارگیری اثر دوتایی- نزدیک، همزمان مسیر باریکه خروج مذاب از تاندیش هم باید توسط نازل انتهایی (معمولاً با الحاق یک جزء سرامیکی) محدود شود. شکل ۴ تصویر شماتیکی از طراحی یک نازل دوتایی- نزدیک به صورت محدودیت همزمان و اجزای الحاق شده به آن را نشان می دهد [۱].

اگرچه حرکت باریکه مذاب توسط جزء سرامیکی محدود می شود، اما با این وجود مذاب در مجاورت بدنه سرد نازل اتمیزاسیون و مجرای گاز قرار دارد. در این شرایط، اتلاف حرارتی مذاب باید به حداقل برسد تا از انجماد نازل جلوگیری به عمل آید. این وضعیت بسیار شبیه به نازل اصلی طراحی شده Hall (شکل ۲) است. مجرای گاز، اطراف باریکه مذاب محدود شده را احاطه می نماید. مذاب از طریق سوراخ مرکزی در نوک جزء الحاقی سرامیکی خارج شده، در حالیکه گاز جریان یافته از بین مسیر حلقوی، اطراف باریکه مذاب را در بر می گیرد. شکل ۵ مقطع خروجی برخی از نازل های متداول در اتمیزاسیون گازی را نشان می دهد [۱].



شکل ۴) تصویر شماتیک یک نازل دوتایی- نزدیک با محدودیت همزمان در سطح مقطع آن [۱].



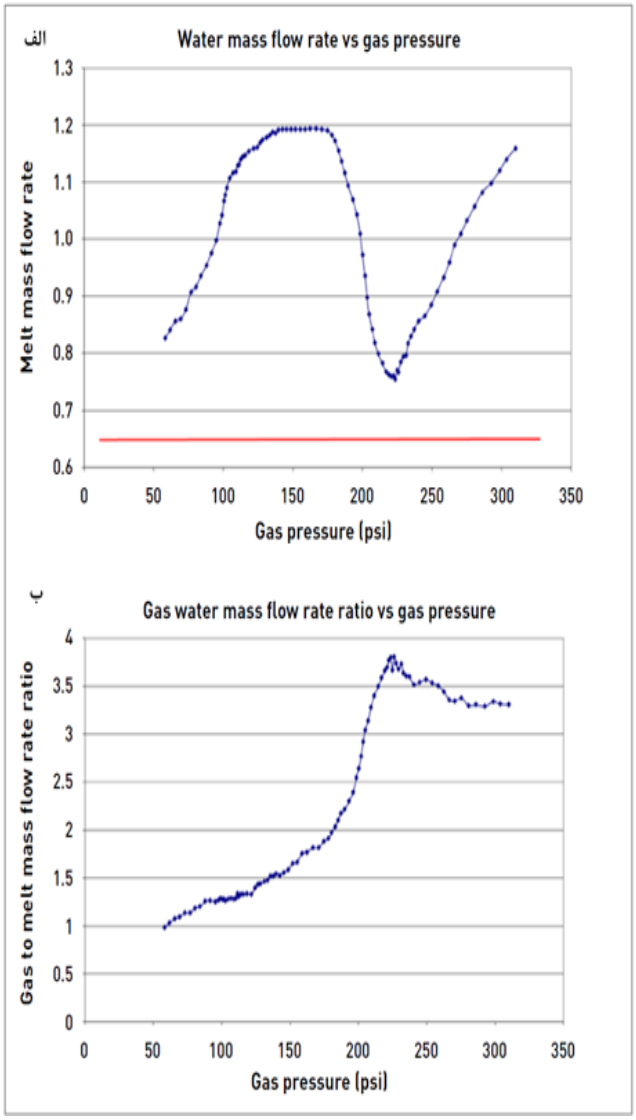
شکل ۵) مقطع خروج گاز و فلز مذاب در برخی نازل‌های گاز نزدیک به جت مذاب (با الحاق اجزای سرامیکی) [۱].

همان گونه که قبل تر عنوان شد، نرخ سیلان مذاب در یک نازل دوتایی- نزدیک، یک تابع ساده از گرانش نیست، اما از طریق فشار گاز کنترل می‌شود. شکل -۶الف، یک منحنی نرخ سیلان مذاب برحسب فشار گاز را در یک نازل اتمیزاسیون دوتایی- نزدیک در مقیاس کوچک ارائه می دهد. خط قرمز بیانگر نرخ سیلان مذاب تئوری از طریق جزء الحاقی نازل و صرفاً تحت تاثیر نیروی گرانش است.

واضح است که سیلان گاز نازل به تنهایی باعث افزایش نرخ سیلان مذاب نشده و اثر آن نیز به صورت یکنواخت نیست. بنابراین، به جهت بهبود راندمان عملکرد یک اتمایزر، استفاده از شاخص دیگری مانند نرخ دبی جرمی گاز به نرخ دبی جرمی مذاب، یا به عبارت دیگر نسبت گاز به فلز (GMR)، منطقی و صحیح به نظر می رسد. شکل۶-ب، منحنی شاخص GMR بر حسب فشار گاز را مطابق با گراف بالایی نشان می دهد که با توجه به آن می توان گفت شاخص GMR نیز به طور یکنواخت با فشار گاز تغییر نمی کند. در نتیجه، باید به این نکته توجه نمود که نازل های اتمیزاسیون دوتایی- نزدیک، باید بر مبنای ایجاد الگوهای مختلفی از این منحنی ها طراحی شوند تا در نهایت، حالت بهینه بین فشار منبع گاز و نرخ های سیلان و در ادامه، بازده مناسب پودر در محدوده اندازه ذرات مورد نظر ایجاد گردد.

در نازل دوتایی- نزدیک، گاز از طریق نازل های بسیار نزدیک به توده مذاب برخورد می کند و از نظر جنس مواد، نازل سرامیکی دارای کارایی بیشتری بوده و امکان تولید پودر فولاد ریزدانه با اندازه میانگین تا حدود ۲۰ µm را فراهم می سازد. از نقطه نظر چالش ها، بحث انسداد نازل خروجی مذاب و دیگری تغییرات زیاد فشار گاز (به میزان مثبت یا منفی) در منطقه زیر نازل مذاب مطرح می باشد که به میزان قابل توجهی روی نرخ سیلان مذاب تاثیر می گذارد. وجود ارتباط معین و شناخته شده بین اندازه میانگین ذرات با مجذور شاخص GMR، باعث ایجاد تغییرات چشمگیری بر توزیع نهایی ذرات (PSD) می گردد و باید به دقت در فرآیند کنترل شود.

دو عامل سیلان و فشار گاز به شکل قابل ملاحظه ای در سیستم های مختلف تغییر می کنند. اتمایزرهای گازی با هوا اغلب در فشار ۱۲-۷ بار (۰/۷-۷/۲MPa) تحت عملیات قرار می گیرند در حالیکه، دستگاه های سقوط آزاد مذاب با دمش گاز خنثی، در فشارهای خیلی بالاتر، از ۲۰-۱۲ بار تا سیستم های با نازل های دوتایی-نزدیک جهت تولید پودرهای ریز دانه با فشار بالا تا ۱۰۰ بار



شکل ۶) الف: چگونگی نرخ سیلان مذاب بر حسب فشار گاز نازل، ب: منحنی منطبق آن به شکل نسبت گاز به مذاب (GMR) بر حسب فشار گاز نازل

عمل می کنند. مزایای استفاده از فشارهای بالاتر از ۳۰ بار محل بحث است و چالش های مهندسی فرآیند، به ویژه هزینه های تولید را افزایش می دهد. در مورد انتخاب نرخ سیلان گاز مناسب نیز شرایط متغیر است. به طور کلی شاخص GMR به اندازه $1n.m^3/kg$ برای تولید پودرهای درشت تر و مقدار $10n.m^3/kg$ جهت تولید پودرهای ریز دانه تر مناسب اند. در برخی واحدهای خاص برای تولید پودر Ti، عدد شاخص GMR برای گاز آرگون نزدیک به $100n.m^3/kg$ گزارش شده است (n تعداد مول گاز).

با توجه به رویه فعلی در ساخت واحدهای تولید پودر برای روش های MIM ، AM و دیگر کاربردهایی که نیاز به پودر کروی با میزان اکسیژن کم دارند، طراحی نازل دوتایی- نزدیک پتانسیل زیادی را با انتشار صدها مقاله علمی در خصوص شبیه سازی سیلان گاز با روش های CFD نشان داده است. در حالیکه در این پژوهش ها بیشتر به بحث سیلان گاز پرداخته می شود، در حالت واقعی شرایط سیلان دو یا سه فاز به صورت همزمان رخ داده و با وجود انتقال حرارت شدید، خواص گاز را به سرعت تغییر می دهد و انتقال ممنتوم از گاز به مذاب را به میزان زیادی دستخوش نوسانات می نماید. لذا نتایج این تحقیقات، عملاً در طراحی نازل های واقعی چندان به کار نمی آیند. در نتیجه، باید اذعان نمود که این مهم تنها از طریق فرآیند سعی و خطا امکان پذیر است تا بتوان کمابیش با استفاده از آن به طراحی مناسب نازل دست یافت.

دو شاخص مهم و بحرانی در عملکرد نازل به قرار زیر است:

۱- کارکرد قابل اطمینان در بازه های زمانی طولانی مدت.

۲- تثبیت شاخص GMR و نرخ سیلان مذاب جهت تولید پایدار پودر و نکته دوم در تهیه پودر مناسب با راندمان بالا در توزیع اندازه ذرات مورد نیاز خلاصه می گردد [۱].

۵- متغیرهای فرآیند

مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر توزیع اندازه ذرات پودر نهایی (به غیر از فاکتورهای مربوط به طراحی نازل)، شامل موارد ذیل است:

- نسبت گاز به فلز
- دمای گاز
- دمای مذاب
- کشش سطحی آلیاژ
- نوع گاز اتمیزه (به ویژه از نظر چگالی)

بر اساس مطالب قبلی، فشار گاز به عنوان یک عامل مهم لحاظ می شود، اما با طراحی یک نازل ثابت، اگر سیلان مذاب نیز ثابت باشد، سیلان گاز و در نتیجه شاخص GMR مستقیماً با فشار افزایش می یابد. یافتن اطلاعات قابل اتکا برای نمایش میزان اهمیت عامل فشار، به طور جداگانه، کار دشواری است. یک عامل دشوار کننده برای آن در نازل های دوتایی- نزدیک، میزان مکش/ فشار در دهانه نازل است که اغلب با فشار گاز تغییر می نماید. این بدان معنا است که شاخص GMR توسط هر دو عامل سیلان گاز و سیلان مذاب دچار دگرگونی می شود. بر اساس یافته های ما، عدد D (میانگین اندازه ذرات) و شاخص GMR (بر اساس واحدهای حجم/جرم، جرم/جرم یا حجم/حجم) با رابطه زیر به هم مرتبط می شوند:

$$D=K(GMR)^{-0.5} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین معادله ذیل برای ارتباط بین D و دمای مطلق گاز (T) وجود دارد:

$$D= K'(T)^{-0.6} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه ها K و 'K ثابت هایی هستند که وابسته به طراحی نازل و نوع فلز می باشند.

تاثیر دمای گاز بسیار سودمند است، از آنجا که مصرف گاز یک نازل با مجذور دمای مطلق گاز افت می کند و باعث تولید پودر ریزتر می گردد. اثرات دمای ذوب در درجه دوم اهمیت قرار دارند و برای فولاد ها و سایر آلیاژهای دمای بالا، در عمل به ندرت مذاب در دمایی نزدیک به حداکثر دمای مجاز با در نظرگیری طول عمر دیرگداز در نازل های دوتایی- نزدیک، تحت عملیات اتمیزاسیون قرار می گیرد. برای آلیاژهای با نقطه ذوب کمتر، برخی تغییرات در اندازه دما ممکن است منجر به تشکیل مذاب داغ تر با کشش سطحی کمتر شود، اما با این کار میزان تلفات مذاب نیز بیشتر شده و هزینه فرآیند به واسطه استفاده از فوق گداز بالاتر افزایش می یابد.

کشش سطحی مذاب شاخص بسیار مهمی است و به شدت با نسبت عکس میانگین اندازه ذرات تغییر می کند. بنابراین، برخی موارد مانند افزودن گوگرد، که به میزان زیادی کشش سطحی را کاهش می دهد، یا حتی وجود اکسیژن در مس، می تواند در جهت ساخت پودر ریزتر به کار گرفته شود. البته در مورد فرآوری آلیاژهای مورد مصرف نهایی، باید مشخصات فیزیکی آنها به طور دقیق قبل از اعمال هرگونه تغییراتی مورد بررسی قرار گیرد.

از آنجا که کشش سطحی فلز ممکن است در طول فرآیند تغییر نکند، به آسانی قابل کنترل است و بالطبع به درک این موضوع کمک می نماید که به چه دلیل آلیاژهای مختلف با داشتن متغیرهای اتمیزاسیون کاملاً مشابه، دارای محصولات متفاوتی هستند. نوع گاز مورد استفاده، به ویژه از نظر چگالی آن، که عامل تاثیرگذار بر سرعت عبور گاز از نازل است، بسیار مهم به شمار می آید. نیتروژن، آرگون و هوا بسیار مشابه هم عمل می کنند، درحالیکه هلیم به طور قابل توجهی متفاوت است و ذرات پودر ریزتری تولید می نماید. از طرفی، هلیم به واسطه افزایش هزینه های تولید کمتر به کار گرفته می شود. استفاده از هیدروژن نیز مورد توجه است اما، در بسیاری موارد خطرناک و چالش برانگیز می باشد [۱].

۶- اجزای سیستم اتمیزاسیون گازی

۶-۱- محفظه های اتمیزاسیون

هدف از به کارگیری محفظه اتمیزاسیون، محدود سازی و جمع آوری پودر است. بسته به مورد، این موضوع می‌تواند شامل حفاظت از محیط کار فعال، پرسنل تولید و نیز مراقبت از پودر محصول گردد. در برخی ماشین آلات ساخته شده اولیه با روش اتمیزاسیون با هوا، به ویژه آنها که شکل تقاطع گاز با مذاب به صورت افقی دارند، محفظه ممکن است دارای تخلیه از پایین و انتهای اتمیزه به صورت باز باشد. اگر انتهای فرآیند در فاصله دورتری قرار داشته باشد، یک سیستم داکت وجود دارد که شامل سیکلون، پاکت جمع آوری و فن بوده و با ایجاد یک حالت پیوسته از سیلان هوا در کانال، باعث انتقال پودر از داخل داکت می شود. فن هوا را از محیط بیرون و با فاصله های بسیار دورتری از محل قرارگیری نازل ها می کشد و مزیت اصلی این کار آن است که تمام حرارت هوای داغ حذف شده و نیازی به خنک کاری محفظه با آب وجود ندارد.

در اتمیزاسیون گازی با گاز خنثی، محفظه به طور کامل بسته بوده و عمدتاً به صورت عمودی است. سیستم کاملاً درزگیری و عایق شده و پودرهای باقیمانده در آن به سمت مرحله عملیات نهایی، شامل غربالگری یا قوطی های فرآیندHIP ، هدایت می گردد. در برخی سیستم ها، پودر از طریق اجزای پنوماتیک کانوایر به یک منطقه قابل کنترل انتقال داده شده که در آن پودر از طریق سیکلون و پاکت جمع آوری از جت گاز جدا می شود. در واحدهای کوچکتر، بخش اعظم پودر در انتهای محفظه و داخل یک دریافت کننده (محفظه سیار) جمع آوری شده و ذرات ریزتر با استفاده از یک سیکلون از جت گاز تفکیک می شوند.

در همه موارد محفظه می بایست وظایف ذیل را انجام دهد:

۱- محفظه اتمیزاسیون باید دارای اندازه کافی باشد تا قطرات پودر پیش از برخورد با دیواره های آن منجمد گردند. استفاده از فشارهای گاز بالاتر، نرخ سیلان مذاب بیشتر و اندازه ذرات بزرگتر، مسیرهای حرکت طولانی تری برای قطرات ایجاد می کنند و در نتیجه نیاز به محفظه های بزرگتری دارند. ارتفاع برخی از اتمایزرهای بزرگ ممکن است از ۱۵ متر نیز تجاوز نماید. در برخی واحد های خیلی کوچک، از خنک کاری تحمیلی با آب یا انجام اتمیزاسیون مستقیماً به سمت گاز مایع استفاده می شود. واضح است که در استفاده از روش کوئنچ آب، آلیاژ اتمیزه نباید به مانند بسیاری از فلزات گرانبها، تحت تاثیر وجود آب قرار گیرد. در شکل ۷ یک اتمایزر بسیار کوچک که هم از آب و هم از گاز مایع (N_2 یا Ar) برای کوئنچ سازی استفاده می کند، نشان داده شده است [۱].

۲- محفظه می بایست خنک سازی لازم را برای پودر و جت گاز انجام دهد. پودر باید به میزان کافی خنک شود تا در قسمت دریافت کننده یا دیگر اجزای جمع کننده پودر زینتر نشده و در زمان حذف از سیستم، با اکسیژن محیط وارد واکنش اکسیداسیون نگردد. همچنین جت گاز هم باید به میزان کافی خنک کاری شود تا دما در هنگام فرآوری انتهایی (فیلترینگ)، از حد مجاز دمایی برای پاکت جمع آوری پودر فراتر نرود [۱].

شکل ۷) یک سیستم اتمیزاسیون کوچک گازی دارای کوئنچ با گاز مایع در محفظه آن [۱].

جهت دستیابی به این مطلب، اغلب محفظه های فرآیند اتمیزاسیون، یک کاور آبی در اطراف خود دارند که در صورت نبود آن، انبساط حرارتی محفظه عدد بزرگی خواهد بود.

۳- محفظه باید از آلوده شدن پودر جلوگیری نماید. بیشتر محفظه ها از جنس فولاد زنگ نزن هستند و بنابراین ممکن است بدون ایجاد اکسیداسیون، در معرض محیط برای انجام مراحل جمع آوری یا تمیزکاری قرار گیرند. از طرفی، فولاد کربنی هدایت حرارتی بهتری داشته و در برخی مواقع در سیستم های ارزانتر و بدون کاور آبی به کار برده می شود. اگرچه زمان درگیری محفظه فولاد کربنی با فرآیند کوتاه تر بوده و ممکن است به واسطه ایجاد اکسیداسیون داخلی، پودر به میزانی آلوده گردد.

۴- محفظه باید دارای سازه مهندسی و مقاوم باشد تا هرگونه اختلاف فشار بین داخل محفظه و فشار محیط بیرونی را تحمل نماید. اتمایزرهای گازی اغلب تا فشار داخلی تقریبا 1-200mbar کار می کنند و در برخی موارد این عدد به زیر فشار محیط نیز می رسد. در هر دو مورد، استحکام و نشتی ناپذیری محفظه (از نظر پودر و گاز)، چه به سمت بیرون و چه به سمت داخل محفظه حائز اهمیت است. این موضوع به ویژه برای فرآوری فلزات فعال مانند آلومینیم، منیزیم، تیتانیوم و... از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار می باشد.

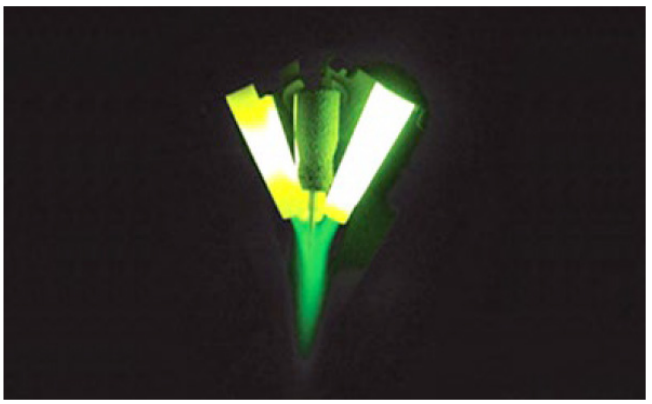
۶-۲-سیستم های ذوب

انتخاب سیستم های ذوب به طور قابل توجهی به مقیاس فرآیند و نوع آلیاژ انتخابی بستگی دارد. نمونه هایی از سیستم اتمیزاسیون گازی با ذوب القایی الکترود (EIGA)[۳] و اتمایزر غیر انتقالی قوس پلاسما با سیم به ترتیب در شکل های ۸ و ۹ نشان داده- شده اند. روش های ذوب گیری در اتمیزاسیون با استفاده از بوته ذوب انجام می گیرد که در آن ذوب داخل مواد سرامیکی بوته، جهت فرآوری آماده می شود. بهره گیری از شعله های گازی اغلب برای ذوب مواد با نقطه ذوب کم در هوا مانند قلع، روی، سرب و برخی آلیاژ های قرمز رنگ انجام می گردد. ذوب القایی نیز برای تمام فلزات مذکور و محدوده وسیعی از آلیاژها از میزان ۱kg تا ۵۰t به کار- برده می شود [۱].

اتمایزرهای تک مرحله ای کوچک، ممکن است فقط از یک منبع ذوب با ذوب ریزی از کف استفاده نمایند. در این حالت، آلیاژی که باید اتمایز شود، مستقیماً داخل تاندیش ذوب شده و از طریق یک میله نگهدارنده (پلاگر) در انتهای آن به نازل اتمیزاسیون ارتباط یافته و جریان مذاب کنترل می گردد. سیستم هایی در این مقیاس، معمولاً ظرفیتی تا حدود ۲۵kg دارند. سیستم های بزرگتر، از یک ذوب کننده اولیه مواد استفاده نموده و سپس مذاب به داخل تاندیش منتقل می شود که از انتهای آن، نازل اتمیزاسیون را تغذیه می نماید. تاندیش معمولاً حرارت داده شده و منبع حرارتی آن متفاوت از ذوب کننده اولیه است. حرارت دهی تاندیش به واسطه کاهش اتلاف حرارتی و سیلان مناسب مذاب به داخل نازل انجام می پذیرد. در واحدهای بزرگتر، تاندیش ممکن است به سادگی با یک برنر گازی پیش گرم شود، که بعد از شروع ذوب ریزی از فرآیند جدا می گردد. در اتمیزاسیون با نرخ بیشتر از ۲۵kg/min، تلفات حرارتی در تاندیش متعادل بوده و نیاز به حرارت دهی پیوسته

۳ - Electrode Induction melting Gas Atomization (EIGA)

شکل ۸) یک اتمایزر EIGA و سیستم تشکیل ذوب آن؛ شمش (بالا مرکز) از طریق کویل القایی مخروطی شکل از پایین ذوب شده و در ادامه جت مذاب به صورت قطره ای به داخل یک نازل دوتایی- غیر نزدیک وارد می گردد [۱].



شکل ۹) تصویر یک اتمایزر غیر انتقالی قوس پلاسما با سیم؛ سه مشعل پلاسما روی یک سیم متمرکز می‌شوند که از مسیر محور کانونی آنها عبور می نماید [۱].

وجود ندارد. جهت تولید با نرخ کمتر از این مقدار، تاندیش باید به طور مداوم در زمان انجام فرآیند اتمیزاسیون حرارت داده شود.

ذوب در هوا به عنوان یک فرآیند متداول که در آن ذوب گیری یا انتقال مذاب از ذوب کننده اولیه به تاندیش در معرض هوا صورت می گیرد، شناخته می شود. بسیاری از فلزات، حتی برخی از فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای Co-Cr که اتمیزاسیون آنها تحت اتمسفر گاز خنثی انجام می گیرد، ابتدا در هوا ذوب می گردند. ذوب کننده های با سیکل بسته (به صورت خلأ یا خنثی) دارای پیچیدگی بیشتری هستند و اغلب دارای ابعاد ذوب کننده اولیه کوچکتر و سیکل های عملیاتی آهسته تر می باشند. در برخی موارد خاص، محفظه ذوب به صورت بسته و تحت فشار قرار می‌گیرد تا با استفاده از آن، به کارگیری نازل هایی که در شرایط عادی از مذاب تخلیه نمی شوند، آسان تر گردد. ذوب قوسی و پلاسما نیز در اتمیزاسیون مورد استفاده قرار گرفته اند. ذوب پلاسما با دهانه سرد برای ذوب فلزات دیرگداز و ذوب قوسی برای سیستم های ذوب دیرگداز کوچک و یا سیستم های بزرگ برای تولید مذاب آهن جهت تشکیل ذوب اولیه و پالایش آن به کار برده شده اند. روش های مذکور، همگی دارای بوته هایی برای قرارگیری فلز مذاب می باشند. در مورد بوته های سرامیکی (شامل رس- گرافیت، SiC، گرافیت و جرم های کوبیدنی)، مواردی همچون واکنش فلز با بوته (مانندTi) یا وجود دمای ذوب بالاتر مذاب نسبت به نرخ دمای تغییرات فازی مواد بوته (مانند فرآوری فلزات دیرگداز) مشاهده می گردد. چندین روش ذوب گیری بدون بوته نیز در حال حاضر به کار گرفته می شوند که عبارتند از:

۱- روش EIGA (اتمیزاسیون گازی با ذوب القایی الکترود): در این روش یک بیلت یا شمش از مواد اولیه به آرامی حول محور عمودی در یک کویل القایی مخروطی می چرخد. توان القایی بیلت را از انتهای آن ذوب می کند و جت مذاب به صورت قطره ای به داخل نازل اتمیزاسیون می چکد. از نقطه نظر تئوریکی، این روش می تواند هر ماده ای را اتمایز نماید، زیرا این کار از طریق کویل القایی صورت می گیرد و هیچ گونه تماسی بین مذاب و سطوح دیگر وجود ندارد (شکل ۸) [۱].

۲- روش اتمیزاسیون با قوس پلاسما: این روش از یک سیم به عنوان لقمه اولیه ذوب استفاده می نماید. این سیم به داخل تقاطع کانونی چندین مشعل قوس پلاسما غیر انتقالی با فشار بالا (۳ تا ۴ عدد) تغذیه می شود. این مشعل ها پلاسمایی را ایجاد می کنند که قادر است سیم را ذوب کرده و توده مذاب را تجزیه نماید. این روش به خوبی برای تولید پودر تیتانیم و برخی فلزات و آلیاژهای دیرگداز به کار می رود (شکل ۹) [۱].

۳-۶-تامین گاز اتمایزینگ

منبع گاز انتخابی برای سیستم اتمایزینگ گازی، اولاً به عنوان تابعی از نرخ سیلان گاز و نسبت فشار/دما مورد نیاز در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال، سیستم های اتمیزه هوا به تنهایی روی کمپرسورهای هوا تکیه دارند.

کمپرسورهای هوا تقریباً برای هر میزان نرخ سیلان مورد نیاز، در دسترس هستند اما فشارها معمولاً محدود به مقادیر کمتر از (۲mpa , ۲۰ bar) (۳۰۰psi) می شوند. کمپرسورهای چرخشی اسکرو زمانی که در خروجی ۱۰۰ ٪ خود از نظر سیلان و فشار کار می کنند، دارای کارایی بیشتری می باشند اما، کمپرسورهای پیستونی چند مرحله ای می توانند به فشارهای بالاتری دست پیدا کنند. اگرچه این کار با وجود نیاز به نرخ های سیلان بالاتر، با بازده کمتر و هزینه بالاتری صورت می گیرد. در بسیاری از اتمایزرها با گاز هلیم، از کمپرسورها برای بازیابی گاز گران قیمت استفاده می شود. در واقع گاز یک بار برای انجام فرآیند اتمیزاسیون و یک بار دیگر هم برای انتقال به مخزن ذخیره (کیسه یا تانک) فشرده می گردد.

اتمیزاسیون با گاز خنثی (N_2، Ar، He) که معمولاً در فشارهایی بالاتر از فشار قابل دستیابی یک کمپرسور انجام می گیرد، می تواند مستقیماً از یک بطری گاز فشرده، ناشی از تبخیر مستقیم گاز مایع تغذیه شود و یا گازرسانی از طریق پمپ سرد گاز مایع از میان یک اواپراتور فشار بالا به سمت بطری ذخیره گاز، برای دستیابی به سیلان بالا در اتمایزرهای با کارکرد سریع، انجام پذیرد. انتخاب روش بستگی به فشار و دبی حجمی مورد نیاز در هر مرحله تولید دارد.

بطری های گاز منفرد در هر واحد تامین گاز، اغلب دارای قیمت بالایی هستند اما، در نهایت قابل حمل بوده و نیاز به تجهیزات اضافه و ویژه‌ای ندارند. کاربرد آنها بیشتر به سیستم های اتمیزاسیون کوچک (با ظرفیت ذوب کمتر از ۲۵kg) محدود شده که با تناوب کمتری مورد استفاده قرار می گیرند.

مکانیزم تبخیر از گاز مایع نیاز به مخازن ذخیره گاز مایع (دوجداره یا تانک سرد حجمی) و یک اواپراتور دارد. حداکثر فشار قابل دستیابی که محدود به واحد ذخیره مایع می شود، حدود

(۲/۳mpa , ۲۳ bar) (۳۵۰psi) است که در آن مخزن مستقیماً اواپراتور را تغذیه می کند. در این بین واحدهای ویژه نیز قابل طراحی هستند که امکان دسترسی به فشارهای بالاتر را با انتقال مایع به مخزن های ذخیره فشار بالاتر فراهم می کنند و در ادامه این سیکل، ارتباط مخزن ها با مخزن ذخیره اولیه بسته می شود. یک روش دیگر شامل گرم کردن گاز مایع است که برای افزایش فشار مورد نیاز فرآیند از آن استفاده می شود.

اگر فشارهای بالاتر (بیش از ۳۰ بار) مورد نیاز باشد، مایع می‌تواند به صورت برودتی به فشارهای بسیار بالا پمپ شده و پس از تبخیر در سیلندر های فشار بالا جهت به کارگیری های آتی ذخیره گردد. فشارهای تا میزان (۲۰mpa , ۲۰۰ bar) (۳۰۰۰psi) نیز به این روش قابل دستیابی است. برای سیستم های بزرگتر (بیش از ۵۰۰kg)، تغذیه مستقیم اتمایزر از پمپ برودتی و اوپراتور امکان پذیر است اما، نیاز به استفاده از پمپ های بزرگتر و ایستگاه های چندگانه دارد. در حالت متداول، از یک پمپ برودتی کوچک استفاده می شود که در فاصله بین ذوب ها، گاز مورد نیاز را برای فرآوری ذوب های کوچک تر در سیلندرهای ذخیره پر می نماید [۱].

مخزن ذخیره گاز، سازه تبخیر و افزایش فشار گاز و سیستم های انتقال موثر آن، جزء تجهیزات پیچیده و پرهزینه به شمار می آیند. معمولاً واحد تامین گاز، طراحی و نصب شده و از طریق سازنده طی یک قرارداد فروش در اختیار کاربر آن قرار می گیرد. در برخی موارد، اکسیژن نیز به گاز خنثی برای پسیو کردن پودر اضافه می شود. این عمل به عنوان یک فرآیند اکسیداسیون تعمدی سطح شناخته شده تا آن را پایدارتر و با خاصیت آتش زایی کمتر نماید. اکسیژن ممکن است به گاز اتمیزاسیون یا به گاز موجود در محفظه اتمایزر اضافه شود. این مورد، برای فرآوری فلزاتی چون آلومینیم، منیزیم و دیگر فلزات فعال با اکسیژن متداول است.

۱-۳-۶-کنترل گاز خروجی

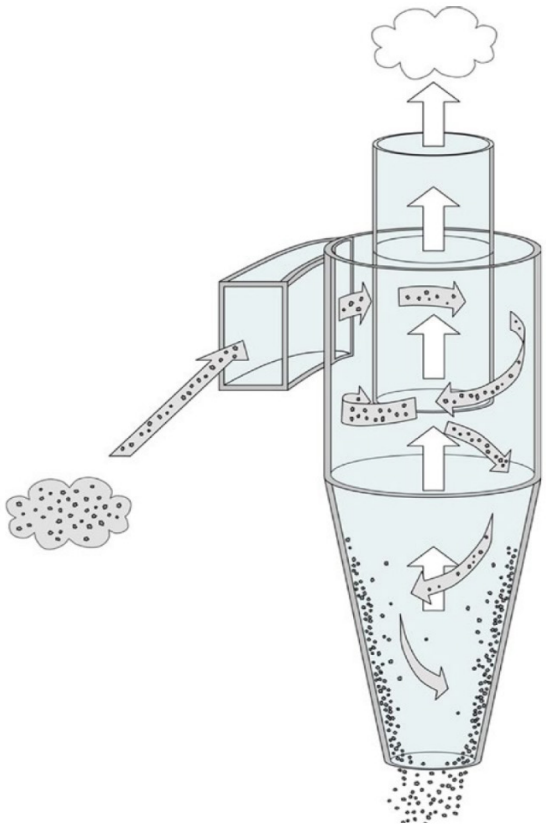
پس از انجام فرآیند اتمیزاسیون گازی، لازم است که ذرات محصول از جت گازی جدا شوند. به طور عمومی، یک سیکلون به عنوان اولین لایه دفاعی عمل کرده و در ادامه، فیلتراسیون از طریق کیسه جمع آوری به کار گرفته می شود. سیکلون ها به عنوان ادوات غیر فعال شناخته شده و هیچ گونه قطعات متحرکی ندارند و صرفاً مسیری برای عبور گاز تحت فشار پس از انجام اتمیزاسیون می باشند. سیکلون ها قادر به تحمل دماهایی تا میزان بیش از ۳۰۰°C هستند و در صورت وجود سیستم آبگرد، به طور مناسبی خنک کاری می گردند. در یک سیکلون، گاز به صورت مماسی به داخل یک سیلندر هدایت شده و با حرکت چرخشی، نیروهای گریز از مرکز ایجاد می کند و در نتیجه، باعث جدا شدن ذرات از جریان توده گاز می شود. تحت شرایط سرعت های گاز بالا و سیکلون های با قطر کوچکتر، نیروهای گریز از مرکز بزرگتری ایجاد شده و امکان حذف ذرات ریزتر را فراهم می سازد. روند منطقی آن است که فشار گاز بین عبور از سیکلون افت نماید و برای این منظور کنترل فشار در محفظه اتمیزاسیون ضروری است. بنابراین، سیکلون باید به طور ویژه بر اساس پارامترهای سیلان گاز در اتمیزاسیون طراحی و ساخته شود. در شکل ۱۰ تصویر شماتیکی از یک سیکلون گاز و فعل و انفعالات داخلی آن نشان داده شده است [۱].

در اغلب اوقات ذرات ریزی در سیکلون ها وجود دارند که حذف آنها با راندمان مناسبی انجام نمی گیرد و این موضوع برای مواد با چگالی کمتر تشدید می شود. به عنوان مثال، تلاش زیادی در سیکلون های بزرگ برای حذف ذرات فولاد با اندازه بسیار ریزتر از 5μm انجام می پذیرد.

انبار کیسه ها (شامل چندین فیلتر، کارتریج و کیسه جمع آوری) بدین منظور مورد استفاده قرار می گیرند که بر مبنای نوع طراحی آنها، قادر به تفکیک ذرات پودر زیر میکرون در صورت لزوم می باشند. انواع کیسه ها ممکن است فعال یا غیر فعال باشند. درنوع غیر فعال، فقط حجم نرخ سیلان گاز تغذیه شده به آنها از سیستم اتمیزاسیون اهمیت دارد. در نوع فعال، از یک فن دمنده رو به پایین جهت ایجاد سیلان به سمت انبار کیسه استفاده می شود. در برخی موارد، دمنده می تواند در نرخ سیلان گاز بالاتری نسبت به اتمایزر کار نماید. این امر به کنترل فشار در محفظه اتمایزر کمک می کند، به ویژه آنکه معمولاً سیکلون ها بر اساس افت فشار بالا طراحی می شوند. باید به این نکته توجه نمود که گاز باید قبل از رسیدن به انبار کیسه از طریق اجزای فیلتر که معمولاً پارچه ها یا الیاف دمای پایین هستند، تا میزان کمتر از ۱۰۰ °C خنک شود.

۲-۳-۶- بازیافت گاز

هزینه گاز مورد استفاده در فرآیند اتمیزاسیون می‌تواند سهم قابل توجهی از کل هزینه‌ها را در بر گیرد. بر اساس مطالب قبلی، هلیم و آرگون گران قیمت بوده و در اغلب موارد بازیابی و مجدداً



شکل ۱۰) تصویر شماتیک یک سیکلون گاز: جت گاز/ ذره به صورت مماسی به بالای سیکلون تغذیه می شود. ذرات به تدریج از جت گاز تفکیک شده و به سطوح داخلی جمع کننده در انتهای سیکلون می ریزند [۱].

استفاده می شوند. نیتروژن به نسبت ارزان تر بوده و به ندرت بازیافت می شود، مگر اینکه ماشین اتمیزه آن برای هزاران ساعت در سال تحت سرویس باشد. هوا به غیر از هزینه های عملیات آماده سازی آن (شامل فشرده کردن، فیلتراسیون و حذف رطوبت) به صورت رایگان در اختیار است. اگرچه امروزه به واسطه تغییرات قیمت انرژی، برآوردها دارای نوسانات زیادی می باشد. به عنوان مثال، اخیراً هزینه انرژی استفاده از هوای فشرده $۰/۰۳€/n.m^3$ برای نیتروژن $۰/۱۴€/n.m^3$ ، برای آرگون $۰/۸۸€/n.m^3$ و برای هلیم بیش از $۳۰€/n.m^3$ تخمین زده شده است.

اگر فشار گاز مورد نیاز اتمیزاسیون کم باشد، فشرده سازی مستقیم گاز خروجی اتمیزه قابل انجام است تا مجدداً در زمان کار، اتمایزر را تغذیه نماید و یا اینکه با فشار کم در مخازن ذخیره جمع آوری گردد. این کار بیشتر برای هلیم انجام می شود، اما برای گازهای نیتروژن و آرگون نیز اجرایی است [۱].

اگر فشار کاری گاز در اتمایزر با آرگون بالا باشد، گاز خروجی می تواند با عبور از یک مبدل حرارتی (با سیستم خنک کاری نیتروژن مایع) متراکم شود. آرگون در دمای ۱۰ درجه کلوین بالاتر از نیتروژن مایع می شود. بدین ترتیب، آرگون مایع ممکن است در تانک ذخیره جمع‌آوری شده یا از طریق پمپ های تبریدی مجدداً وارد سیکل فرآیند گردد. اگرچه در این روش، نیتروژن مورد استفاده در خنک سازی از بین می رود که هزینه آن به مراتب کمتر از آرگون است.

۷- فرآوری پودر ثانویه

تقریباً در تمام روش های تولید پودر، امکان انتقال مستقیم محصول از اتمایزر به منطقه بسته بندی نهایی وجود ندارد. در راستای بهره گیری از پودر در کاربردهای خاص (مانند MIM، پاشش حرارتی،AM وHIP)، پودر می بایست به محدوده ابعاد مورد نظر مشتری رسیده و تفکیک گردد. انجام کار بیشتر روی توزیع اندازه ذرات به خوبی از طریق مخلوط سازی انتخابی صورت می پذیرد.

۷-۱-غربالگری

غربالگری روش متداولی جهت جداسازی اندازه های مختلف پودر است. غربال های متداول چرخشی و لرزشی، در محدوده بسیار وسیعی از ظرفیت ها موجود و قابل استفاده هستند: از(۳-۶۴in)(۷۵-۱۶۰۰nm) در قطر که معمولاً برای غربال سازی ذرات از ۴۵μm (مش ۳۲۵) و بزرگتر به کار برده می شوند. میزان عملکرد این فرآیند به شدت و به طور معکوس با اندازه مش تغییر می کند و در ابعاد کمتر از ۴۵μm، نرخ غربالگری محدود می گردد. برای حل این چالش، روش های غربالگری التراسونیک و غربالگری انرژی بالا می تواند برای تسهیل فرآیند در مش های ریزتر گسترش یابد اما، همچنان نرخ مناسب غربالگری به عنوان یک گلوگاه مهم در این مرحله شناخته می شود.

۷-۲-طبقه بندی با هوا

روش طبقه بندی با هوا، برای تفکیک ذرات زیر ۴۵μm به کار می رود. برای استفاده پودر در روش MIM، طبقه بندی با هوا برای فراهم سازی حد بالای توزیع اندازه ذرات (به عنوان مثال ۹۰D به میزان ۲۵μm) استفاده می شود. در مورد AM، روش طبقه بندی با هوا جهت دستیابی به حد پایین توزیع ذرات (مثلاً ۱۰D به اندازه ۱۰-۲۰μm) به کار برده می شود [۱].

۳-۷- مخلوط سازی

مخلوط سازی معمولاً در محفظه های بسته در حال چرخش صورت می گیرد. ذرات با توزیع اندازه های گوناگون قابل مخلوط کردن می باشند تا ترکیب نهایی بهینه جهت استفاده حاصل گردد. در بیشتر موارد، مخلوط سازی جهت ترکیب محصولات چندین اتمیزاسیون با مذاب های کم به کار می رود تا در مجموع یک توده بزرگ با خواص یکنواخت به وجود آید.

۴-۷- مواد و موارد ایمنی آنها

همه تکنولوژی های تولید پودر، الزامات سخت گیرانه‌ای برای کاربر دارند. براین مبنا، دستورکارهای مهندسی شده برای تجهیزات و فرآیند تدوین می‌گردد و پرسنل تولید به طور کامل و در تمام مراحل، موظف و مسئول در قبال رعایت کلیه موارد آن می باشند.

۵-۷- آلودگی قابل تقاطع در تولید پودر

اتمایزرها، غربالگرها، کلاسیفایرها و... تجهیزات گران قیمتی هستند. طبیعتاً امکان برپایی سیستم و اتمایزینگ برای هر آلیاژ به طور جداگانه وجود ندارد و آلیاژهای مختلف در تجهیزات مشابهی فرآوری می شوند. در نتیجه، تمیزکاری دستگاه ها از پودر باقی مانده تولید در مرحله قبل، جهت ساخت پودر جدید ضروری به نظر می رسد. همه تجهیزات به کار رفته در تولید پودر، به نوعی در تماس با مجموعه ای از سطوح داخلی، لوله کشی ها و اتصالات می باشند. لذا، مکان های متعددی برای فرار پودر و تجمع و یا مخفی شدن آن وجود دارد. به این ترتیب انجام تمیزکاری کامل اتمایزر قطعاً کار دشواری است و نیاز به صرف هزینه قابل توجهی خواهد داشت.

به همین دلیل، سایت های تولید پودر تا حد امکان بزرگ و با چند دستگاه ساخته می شوند تا زمان مورد نیاز نظافت سیستم به حداقل برسد. این زمان در برخی واحدها با طراحی نادرست ممکن است تا ۵۰ درصد از کل زمان های تولید را به خود اختصاص دهد.

در برخی موارد، این امکان وجود دارد که حالت خاصی از آلودگی قابل تقاطع در تولید پودر پذیرفتنی باشد. به عنوان نمونه، یک سیستم که تولید پودر ۳۱۶L را انجام داده، اگر پودر بعدی جهت فرآوری از آلیاژ ۳۰۴ یا مشابه آن باشد، ممکن است دیگر نیازی به نظافت کامل و سخت گیرانه تجهیزات وجود نداشته باشد. اگرچه، در مورد سوپرآلیاژهای پایه نیکل جهت مصارف هوافضا یا آلیاژهای مورد نیاز در ساخت ایمپلنت های پزشکی، استفاده از آلودگی قابل تقاطع در تولید پودر مجاز نخواهد بود [۱].

۸- مباحث پودر و گرد و غبار

۸-۱-گرد و غبار سمی یا آزار دهنده

به طور کلی سیستم تنفسی انسان نسبت به هر نوع ذره پودر و گرد و غبار حساس است و پودرهای حاصل از اتمیزه نیز از این قاعده مستثنی نیستند. شدت ایجاد این مشکل بستگی به اندازه ذرات و نوع آلیاژ دارد. ذرات ریز تر، مستعد ایجاد مشکلات تنفسی بیشتری می باشند، زیرا حذف این نوع ذرات از محیط هوا دشوارتر بوده و نفوذ آنها به دستگاه تنفسی عمیق تر است. بسته به موقعیت، ممکن است استفاده از ماسک ها و دهان بندهای طبی و یا حتی به کارگیری دستگاه های کاملاً بسته در عملیات پودرسازی برخی فلزات ضروری باشد. تولید پودرهای شامل عناصر برلیم، نیکل، کبالت و مواد دیگری که ذاتاً دارای شرایط مسموم کننده برای انسان ها هستند، به طور قطع نیاز به مراقبت های جدی تری دارند.

۸-۲-پودر های آتش زا

در حالی که یک آلیاژ می تواند در محیط حالت کاملاً پایدار داشته باشد، با تبدیل به پودر مساحت سطح ویژه آن چندین برابر شده و باعث می شود تا پودر آلیاژ در حالت فعال نسبت به محیط قرار گیرد. در برخی موارد پودر به آسانی اکسید می شود و تحت شرایط افزایش نرخ اکسیداسیون، پودر مستعد آتش زایی می گردد.

اگر پودر در هوا به صورت گرد و غبار موجود باشد، با رسیدن به میزان غلظت بحرانی و وجود یک منبع احتراق (حتی یک جرقه از الکتریسیته ساکن)، امکان انفجار آن به شدت افزایش می یابد. این حالت به مراتب خطرناک‌تر از آتش زایی پودر است. اگرچه غالباً پودرهایTi ، Al و Mg به عنوان پودرهای پرخطر شناخته می شوند، اما پودر آهن ریزدانه هم می‌تواند پتانسیل ایجاد خطر را دارا باشد. به این ترتیب، حذف منابع ایجاد احتراق از محیط و کنترل مناسب در جابجایی پودر، خطرات ناشی از آتش زایی و انفجار را به حداقل می رساند.

۸-۳- کنترل حبس گاز

برای اتمیزاسیون با گاز خنثی، گاز در نهایت با محیط بیرون ممزوج می شود. بنابراین گاز خروجی باید به فضای باز یا به منطقه‌ای با تهویه هوای مناسب هدایت گردد. در این مورد، مانیتورهای اکسیژن

باید در منطقه خروجی گاز قرار داده شوند. به علاوه، هر زمان که محفظه اتمایزر در معرض یک فعالیت ورودی (مانند تمیزکاری) قرار می گیرد، میزان اکسیژن داخل اتمایزر هم باید به دقت چک شود تا از ایمنی مورد نظر اطمینان حاصل گردد [۱].

۹- پیشرفت های اخیر در اتمیزاسیون گازی

۹-۱- تکامل نازل

اگرچه از زمان به کارگیری اولیه اتمیزاسیون گازی بیش از ۱۰۰ سال می گذرد، همچنان بحث تکامل نازل ها در محیط های علمی مانند دانشگاه ها، آزمایشگاه ها و بخش های صنعتی پیگیری می شود. با وجود آنکه اغلب این تلاش ها به صورت مالکانه تنها در اختیار خود افراد قرار دارد، اما اهم نکات مورد توجه آنها به شرح ذیل می باشد:

۱- میزان سازی نازل اتمیزاسیون جهت دستیابی به توزیع اندازه ذرات کنترل شده که این مطلب تنها شامل اندازه های میانگین نبوده و انحراف استاندارد توزیع را نیز لحاظ می نماید. هدف اصلی رسیدن به حالت بهینه با عنوان "تولید پودر از اتمایزر به سمت کانتینر حمل" است اما در واقعیت، اجبارهایی جهت افزایش راندمان تولید پودر در محدوده ابعاد مورد نیاز بازار به سازنده تحمیل می گردد. در این مسیر استفاده ازCFD و آزمایشات متوالی در رسیدن به این هدف مهم کمک می نماید.

۱- افزایش اطمینان پذیری در استفاده از نازل های دوتایی- نزدیک با علم به اینکه این نوع نازل ها در معرض دو چالش اساسی قرار دارند: یکی حرکت فلز مذاب تا زمان برخورد آن با نازل فلزی و احتمال تخریب نازل و دیگری به حداقل رساندن اتلاف حرارتی و جلوگیری از بسته شدن نازل. این موارد با انجام کار بیشتر روی طراحی نازل، جزء الحاقی و مواد به کار رفته در اجزای آنها قابل بهبود هستند.

۹-۲- گاز گرم شده

در اولین استفاده ها از اتمیزاسیون گازی، به کارگیری گاز گرم شده، گاهی به شکل بخار فوق حرارت دیده، متداول بوده است. حتی در مورد هوا یا گاز خنثی، حرارت دهی به گاز به جهت جلوگیری از انسداد نازل و افزایش کارایی آن ضروری شناخته گردید. در بیشتر موارد گاز در دمای متوسط به کار گرفته شده و در پاره ای از شرایط به واسطه تغییرات فصلی، دمای گاز دچار نوساناتی می شده است. اخیراً، پژوهش ها نشان می دهد که استفاده از دماهای بالاتر، راندمان تولید ذرات ریز را بیشتر می کند و لذا، کار روی حرارت دهنده های گاز جهت عملکرد آن در دماهای بسیار بالا (>۵۰۰°C) همراه با ایجاد نرخ سیلان زیاد مورد توجه قرار گرفته است. اگر مواد مورد نیاز ساخت نازل در دسترس باشند، امکان اتمایزینگ همدما فراهم می گردد، به گونه‌ای که نازل، گاز و مذاب در دمای یکسانی قرار داشته باشند. این مطلب در حال حاضر برای آلیاژهای دمای پایین (به عنوان مثال قلع لحیم کاری و آلومینیم) قابل دستیابی است، اما همچنان اتمیزاسیون همدمای فلزاتی مانند مس به عنوان یک چالش اساسی شناخته می شود [۱].

۹-۳- ابزار ضد تشکیل پیرا ذرات

نیاز به تشکیل ذرات با کرویت بیشتر (به ویژه برای فرآیند های ساخت افزایشی)، باعث تکامل ابزاری در جهت جلوگیری از تشکیل پیرا ذرات (ذرات ریز چسبیده به ذره کروی اصلی) گردیده است.

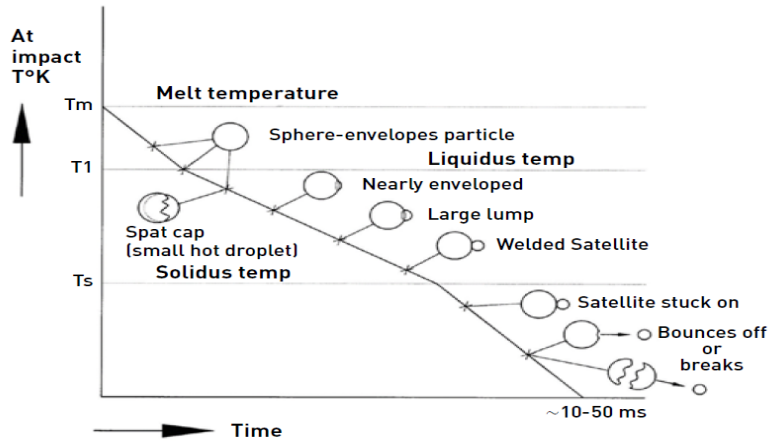
یکی از دلایل تشکیل پیرا ذرات، برخورد پودر اشباع از اتمسفر با ذره ریز تازه شکل یافته و همراه شدن آنها با یکدیگر است. در شکل ۱۱، سیر تشکیل پیرا ذرات و انواع دیگر شکل های نامطلوب پودر نشان داده شده است که در آن T_m دمای ذوب و T_l و T_s نیز به ترتیب دمای لیکوئیدوس و سالیدوس آلیاژ می باشند [۱].

زمان در این نمودار از جدا شدن قطره مذاب آغاز می شود. پیرا ذرات به میزان زیادی با فراهم نمودن منبع گازی تمیز به عنوان پوششی بر اجزای فرآیند اتمیزه کنترل می گردند. در واقع این کار با ورود حجم بیشتری از گاز تمیز و خالص قابل انجام است که در نوع خود کاری پرهزینه به شمار می آید.

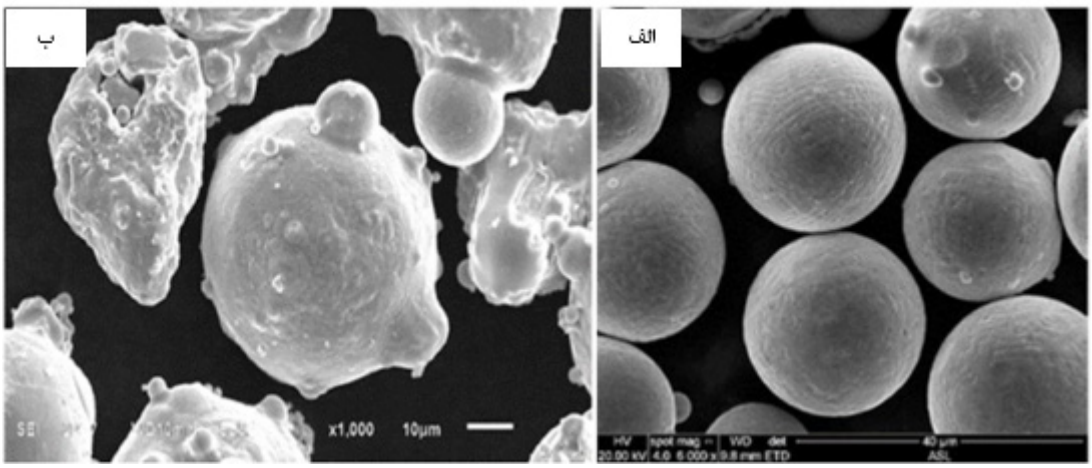
یک سیستم ضد تشکیل پیرا ذرات شامل فیلتراسیون، خنک سازی و فشرده سازی مجدد گاز خروجی است که مراحل طراحی و به کارگیری آن به سرانجام رسیده است. شکل ۱۲، مقایسه دو نوع پودر را در اتمایزرهای دارای ابزار ضد تشکیل پیرا ذرات و بدون آن نشان می دهد [۱]

۹-۴-گاز واکنش پذیر

در اغلب موارد فرض بر این است که هیچ نوع واکنش شیمیایی/ متالورژیکی بین گاز اتمیزه خنثی و ذره مذاب در حالت ایده آل صورت نپذیرد. اخیراً فعالیت هایی صورت گرفته که در آنها تعمداً ناخالصی هایی به گاز افزوده می شود تا با استفاده از آن متالورژی ذره یا مشخصات سطحی آن دچار تغییر یا اصلاح گردد. از جمله این اقدامات می‌توان به افزودن اکسیژن جهت ایجاد



شکل ۱۱) منحنی دمای نسبی بر حسب زمان برای یک ذره مذاب در حال پرواز داخل محفظه اتمیزاسیون [۱].



شکل ۱۲) الف: پودر محصول یک اتمایزر با سیستم ضد پیرا ذرات و ب: پودر نامطلوب دارای پیرا ذرات چسبیده [۱].

حالت پسیو، یا استفاده از نیتروژن به عنوان پایدار کننده فاز آستنیت و همچنین تشکیل دهنده نیتریدها با عناصر آلیاژی اصلی اشاره نمود. پیشرفت‌های بیشتر در اتمیزاسیون با گاز واکنش پذیر ممکن است از طریق اکسیداسیون ویژه به منظور ایجاد مکانیزم ODS[4] (استحکام بخشی با توزیع ذرات اکسید)، استفاده از گاز حاوی هیدروکربن ها به جهت افزایش میزان کربن یا مقدار کاربید پودر و یا حتی افزودن گازهای احیایی به منظور تولید پودر با اکسیژن بسیار کم ادامه یابد[۱].

۱۰- اتمیزاسیون گریز از مرکز

در برخی موارد به این روش، اتمیزاسیون چرخشی نیز گفته می شود و در اصل به مفهوم شکست جت مذاب به وسیله نیروهای گریز از مرکز است. یک تصویر کلی و روشن از این ویژگی در شکل ۱۳ نشان داده شده است[۲].

در این شکل یک جت مذاب از جنس فولاد با سرعت ۳۰t/h روی یک دیسک یا کاپ با قطر ۶۰۰mm سقوط می کند. در اثر چرخش با سرعت کم، ذرات نهایی بسیار درشت می گردد. مکانیزم فرآیند بدین صورت است که مذاب تا رسیدن به سرعت جانبی دیسک شتاب می گیرد و سپس قطرات یا لیگامنت ها شکل می گیرند و در ادامه، این لیگامنت ها مجدداً به قطرات ریزتر تبدیل می شوند. اگر سیلان فلز به میزان کافی بزرگ بوده و دیسک به اندازه لازم کوچک باشد، در برخی موارد مذاب به شکل ورقه هایی در آمده و سطح دیسک را ترک می نماید. در برخی حالت ها، مدل سازی فرآیند اتمیزه چرخشی نسبتاً آسان است. تعادل بین نیروهای گریز از مرکز و کشش سطحی از طریق رابطه زیر بیان می گردد:

$$D= k/\omega\times(\gamma/\rho d)^{0.5}$$ رابطه (۳)

که در آن:

٤ - Oxide Dispersion Strengthening (ODS)

d: قطر دیسک یا کاپ

ω: سرعت زاویه ای دیسک یا کاپ

ρ: چگالی مذاب

γ: کشش سطحی مذاب

D: اندازه ذرات پودر می باشد.

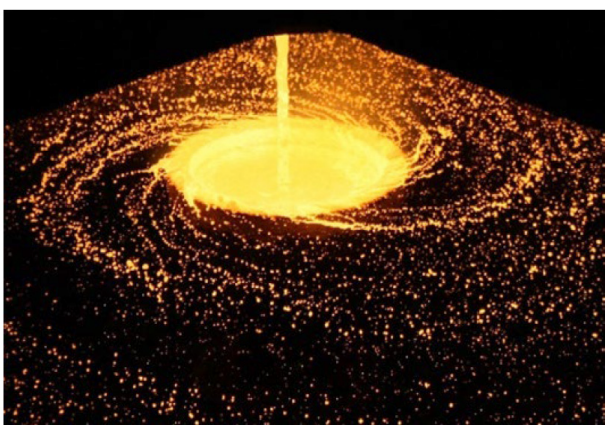
بنابراین بر اساس رابطه فوق می توان نتیجه گرفت که اندازه ذرات، به طور معکوس با سرعت چرخش دیسک، به طور مستقیم با مجذور کشش سطحی مذاب و به طور معکوس با مجذور چگالی مذاب و قطر کاپ ارتباط دارد. رابطه فوق می‌تواند برای آزمودن امکان سنجی عملی در ساخت اندازه ذرات پودر مورد نیاز به این روش به کار برده شود. واضح است که کشش سطحی بالا و چگالی کم (مانند فلزات Al، Mg، Ti) پودر های درشت تری تولید نموده و در عوض، کشش سطحی کم و چگالی زیاد (مانند Pb و Sn) منجر به تولید ذرات پودر ریزتری می گردد.

در به کارگیری اتمایزر گریز از مرکز، توجه به دو نکته زیر قابل تامل است:

۱- خواص ماده انتخابی برای کاپ یا دیسک (محدودیت های نسبت دما/ استحکام و واکنش پذیری)

۲- فاصله پرواز برای قطرات تا زمان انجماد آنها

به طور مشخص، اگر ماده مورد نیاز برای تهیه پودر، مانند Ti دارای نقطه ذوب بالا و واکنش پذیری زیاد باشد، طراحی و انتخاب ماده برای دیسک، بسیار چالش برانگیز خواهد بود. همچنین، اگر ذرات پودر بسیار درشت مدنظر باشد، نیاز به فاصله پرواز بسیار زیادی بوده تا انجماد قطرات کامل شود، به گونه‌ای که بر اساس آن قطر محفظه اتمایزینگ تا بیش از ۱۰m افزایش می یابد [۲].



شکل ۱۳) اتمیزاسیون گریز از مرکز در یک کاپ در حال چرخش

برخی واحدهای تولید با این شرایط و با دستگاه بزرگ کار می کنند، اما توجیه آن بر اساس حجم بالای پودر مورد نیاز و پیوستگی فرآیند ساخت برقرار می شود. سیستم های با این ابعاد، معمولاً برای تمیزکاری در زمان تغییر فلز/ آلیاژ دچار چالش می شوند، لذا اغلب از آن ها به طور اختصاصی برای تولید یک نوع پودر استفاده می گردد.

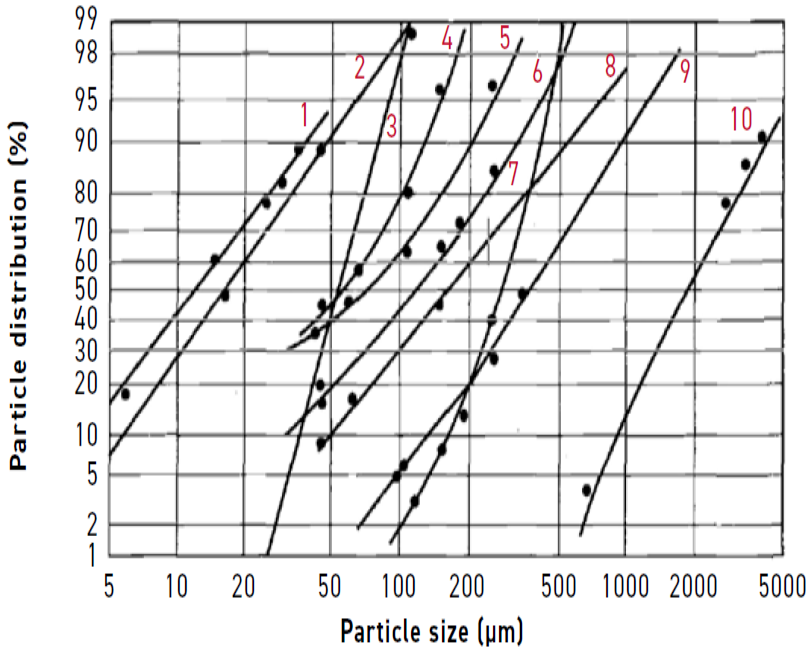
یکی از مزایای مهم این روش، قابلیت دستیابی به توزیع اندازه ذرات بسیار باریک است. انحراف استاندارد توزیع لگاریتمی ذرات ($d_{۸۴}/d_{۵۰}$) در این روش بسیار کمتر از فرآیندهای دو سیاله می باشد که در آنها رسیدن به مقادیر انحراف کمتر از ۲ بسیار دشوار است. (شکل ۱۴) [۲].

در بهترین حالت این نسبت در اتمیزاسیون گریز از مرکز بین ۴/۱-۳۱ قرار می گیرد. این بدان معناست که راندمان تولید پودر در یک محدوده باریک (مانند اندازه پودر بین(۵۰-۱۰۰μm) که در اتمیزه دو سیاله از ۴۰ ٪ فراتر نمی رود، با این روش به بیش از ۶۷ ٪ می رسد و میزان پودر باقیمانده با ابعاد ۴۰+۱۴۰μm- از میزان ۵۸ ٪ به ۹۰ ٪ افزایش پیدا می کند.

با در نظرگیری اصول فرآیند شامل حرکت ذرات با فاصله از یکدیگر، تشکیل پیرا ذرات به ندرت رخ داده و انجام عملیات تحت اتمسفر خنثی، منجر به تولید ذرات مناسب از لحاظ کرویت می گردد. مزیت دیگر این فرآیند نسبت به روش‌های دو سیاله آن است که انرژی لازم برای چرخش کاپ در حالت حداقل قرار دارد. این موضوع در حالتی اهمیت می یابد که نیروی محرکه لازم برای یک کمپرسور در روش اتمیزاسیون گازی، مقدار قابل توجهی انرژی مصرف می کند. اما در این روش، حتی در حالتی که نیاز به تزریق گاز خنثی وجود دارد، مصرف ویژه گاز بسیار پایین بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. زمینه اصلی کاربرد اتمیزاسیون گریز از مرکز در تولید پودر مورد نیاز لحیم کاری سرد با گرید تجهیزات الکترونیک است. ویژگی های این محصول شامل کرویت عالی و میزان اکسیژن کم (<۱۰۰ppm) و محدوده باریک اندازه ذرات برای آلیاژ لحیم نوع ۴ (۳۸+۲۰μm-) است.

به علاوه، این آلیاژها دارای نقطه ذوب کم و چگالی بالا بوده و کشش سطحی کمی دارند و به این ترتیب امکان تولید پودرهای ریز از آنها وجود دارد.

برای ساخت دیسک اغلب از فولادهای ساده کربنی استفاده می شود تا بتوانند در برابر حرارت و سایش آلیاژ



شکل ۱۴) منحنی های لگاریتم طبیعی توزیع اندازه ذرات برای پودرهای اتمیزه؛ شماره های ۳ و ۷ مربوط به محصولات گریز از مرکز و سایر منحنی ها شامل محصولات فرآیندهای اتمیزه آبی یا گازی [۲].

شکل ۱۵) الف: اتمایزر گریز از مرکز برای ساخت پودر لحیم کاری و ب: نمایی از دیسک در حال چرخش[۲].

مقاومت نمایند. شکل ۱۵ یک سیستم اتمیزاسیون گریز از مرکز با قطر محفظه ۵/۲m، قطر دیسک ۳۰mm، با قابلیت چرخش ۶۰۰۰۰rpm و ظرفیت تولید ۲۰۰Kg/h پودر لحیم SAC (Sn-Ag-Cu) را نشان می دهد. به طور کلی، مواد مورد نیاز برای ساخت دیسک قابل تهیه هستند، اما در مواردی، برخی از شاخص های ویژه آنها به آسانی یافت نمی شوند.

پودر روی هم به عنوان یک فلز متداول با استفاده از اتمیزه گریز از مرکز به میزان قابل توجهی تولید می شود و در ساخت باتری های آلکالین به کار می رود. در اینجا نیز توزیع اندازه ذرات باید بسیار باریک باشد و ابعاد ذرات تا حد امکان درشت در نظر گرفته شود. در حال حاضر، تولید پودر روی با ظرفیت بیشتر از ۱t/h قابل دستیابی بوده، اما جهت ساخت ذرات درشت تر نیاز به محفظه بزرگ با قطر ۱۰m وجود دارد.

استفاده از فرآیند ذوب پیوسته امری رایج بوده و انتقال پیوسته پودر تولیدی به بخش تفکیک و غربال به صورت نرمال انجام می پذیرد.

آلومینیم هم به عنوان یک فلز مناسب برای اتمایزینگ مطرح است، اما با توجه به چگالی کم و کشش سطحی زیاد آن، ملاحظات فیزیکی بیشتری روی چرخش کاپ اعمال می شود و اغلب برای تولید پودر های ریزتر، سرعت های چرخش بسیار بالایی مورد نیاز می باشد. بنابراین، به کارگیری روش گریز از مرکز معمولاً برای تولید پودر

آلومینیم درشت تر در محدوده ۷۰۰-۱۰۰μm انجام می پذیرد [۲]. منیزیم چالش های تولید در کاپ های فلزی به مانند آلومینیم را ندارد، اما از لحاظ ایمنی خطرات خاص خود را در تولید پودر دارد. اخیراً یک واحد سازنده پودر موفق به ساخت محصولی با اندازه میانگین ۱۰۰μm و با نرخ تولید ۲۰۰Kg/h گردیده است.

استفاده از روش اتمایزینگ گریز از مرکز برای آلیاژهای آهنی، به مقدار زیادی بستگی به جنس کاپ مورد استفاده دارد. فرآیند نرخ انجماد سریع (RSR)[۵]، توسعه یافته توسط شرکت Pratt & Whitney، از یک دیسک مسی آبگرد در دستگاه خود استفاده می نماید و با استفاده از آن مواد بسیار فعال مانند سوپر آلیاژها، تیتانیوم، FeNdB و فولاد ها را فرآوری می نماید. نکته قابل توجه در این روش خنک شدن اسپری مذاب با گاز هلیوم است که هزینه بالایی را به بهره بردار تحمیل می نماید در حالیکه، خنک کاری سریع دلیل اصلی استفاده از گاز هلیوم نیست. ضمن اینکه کل سیستم قابلیت ایجاد خلأ برای فرآوری سوپر آلیاژها را دارد که موجب افزایش هزینه جداگانه خواهد بود. جزئیاتی از چیدمان این ماشین مطابق شکل ۱۶ منتشر شده است و به نظر می رسد در آینده بخش مهمی از این موارد دستخوش تغییرات خواهد شد [۲].

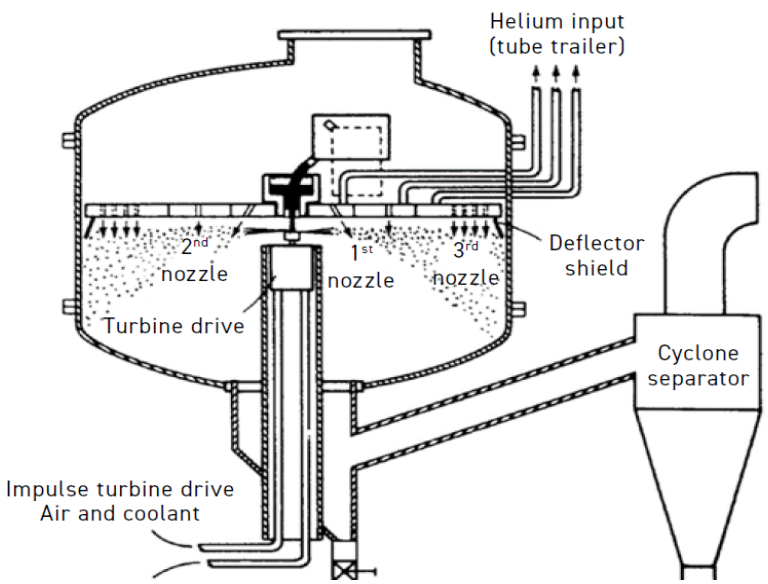
پس از معرفی فرآیند RSR، صنایع Ervin توانسته است تا اصلاحات و ارتقای لازم را برای این تکنولوژی از مقیاس آزمایشگاهی به تولید صنعتی انجام دهد و پودر مورد نیاز فرآیند MIM را با استفاده از آن تولید کند. در حال حاضر این شرکت قابلیت تولید انواع پودر از آلیاژهای متنوع را با شکل کروی کامل و پیراذرات کم در محدوده ۱۰۰۰-۱μm با این روش پیدا نموده است. اتمایزر گریز از مرکز استاندارد دارای قطر محفظه بسیار بزرگی است و پودر به طور مناسب در آن خنک کاری نمی شود. برای رفع این موانع چیدمانی از کوئنچ تجهیزات با آب اضافه شده تا با بهره گیری از آن امکان تولید پودر آهنی از یک کوره با ظرفیت ۱/۲تن فراهم گردد (شکل ۱۷). این اقدام باعث افزایش راندمان به بیش از ۹۹ ٪ در تولید ذرات پودر با اندازه مورد نیاز می شود. علاوه بر فلزات، این روش برای فرآوری سرباره ها، نمک های مذاب و برخی شیشه های با ویسکوزیته کم نیز قابل استفاده است[۲].

علاوه بر اتمایزرهای با تغذیه مذاب که تاکنون بحث شد، روش های نوینی مانند فرآیند الکترود چرخان (REP)[۶] یا الکترود چرخان با پلاسما (PREP)[۷] نیز توسعه یافته اند (شکل ۱۸). در اینجا یک میله چرخان با سرعت بالا (۱۰۰۰۰rpm یا بیشتر) به عنوان لقمه اولیه عمل نموده و نوک آن ذوب می شود. در روش REP، ذوب از طریق ضربه مستقیم قوس به میله و در روش PREP، ذوب با استفاده از قوس پلاسمای انتقال یافته از مشعل تشکیل می شود.

۵ - Rapid Solidification Rate (RSR)

۶ - Rotary Electrode Process (REP)

۷- Plasma Rotating Electrode Process (PREP)

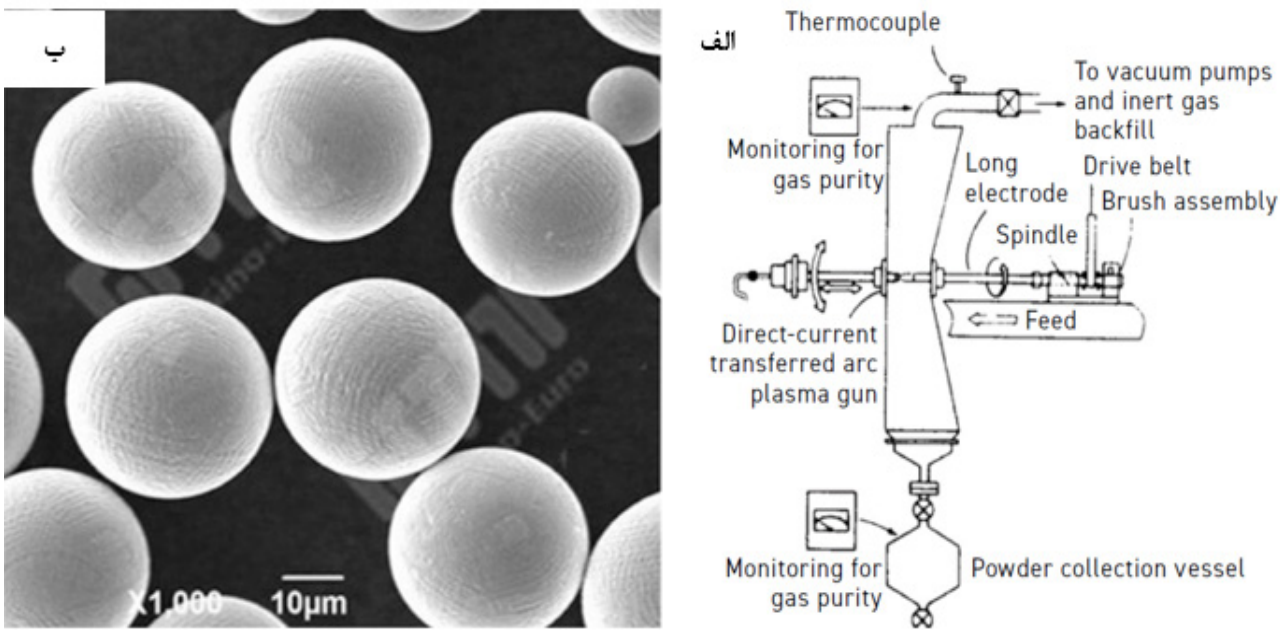


شکل ۱۶) تصویر شماتیک از فرآیند۲ [۲].

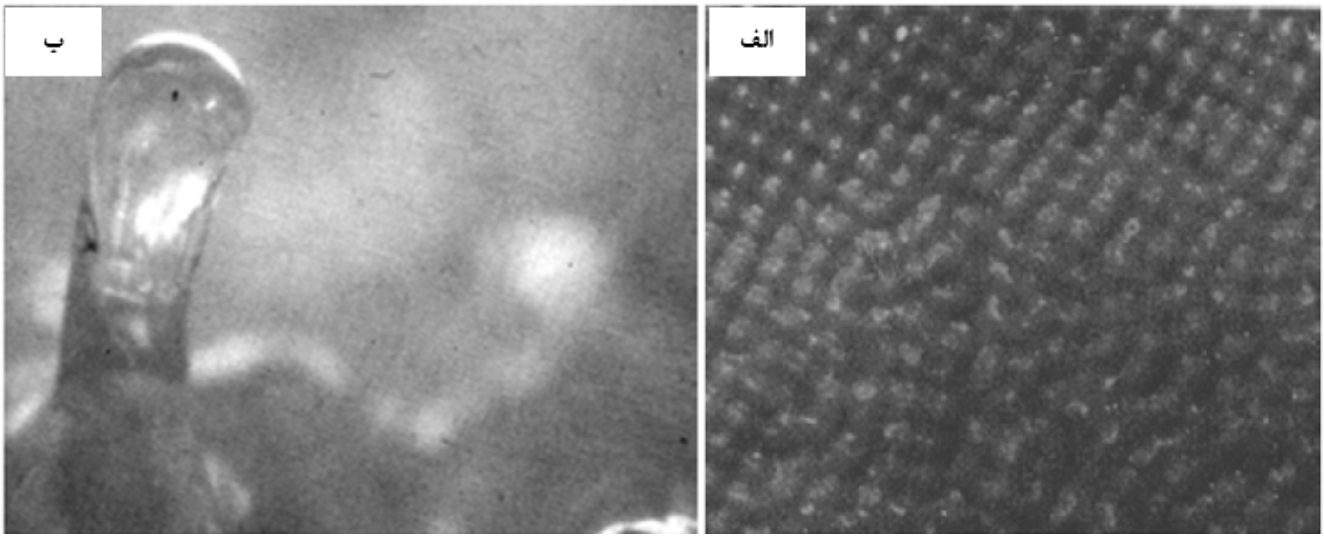
شکل ۱۷) الف: کوره ذوب ۲/۱ تن در حال تخلیه به اتمایزر با سیستم کوئنچ آب و ب: کاپ حین کار با ظرفیت تولید پودر ۵۰Kg/min

مورد دوم از تشکیل آخال های تنگستن (به ویژه در فرآوری تیتانیم) که به واسطه سایش معکوس الکترود ایجاد می گردند، جلوگیری به عمل می آورد. اگر چه در هر دو روش از میله چرخان به عنوان آند استفاده شده و باعث ایجاد توان الکتریکی بالایی در قطعه کار در حال گردش می شود و چالش هایی را ایجاد می کند. به همین منظور کارهایی در مورد استفاده از لیزر به عنوان منبع حرارتی ایجاد ذوب انجام شده که مشکلات انتقال توان الکتریکی به قطعه کار را مرتفع می سازد.

در مقایسه با دیگر روش های گریز از مرکز، توزیع اندازه ذرات در این روش ها بسیار باریک است در حالیکه، نرخ تولید در آنها متوسط بوده و در مقیاس چند ده کیلوگرم در ساعت قرار دارد. هزینه های بالا در ساخت میله های اولیه صاف و دقیق و همچنین نیاز به استفاده از نگهدارنده در انتهای میله، این روش ها را تا حدودی گران قیمت می کند. پیشرفت های اخیر در کشور چین نشان می دهد که امکان تولید پودرهای ریزتر با این روش نسبت به موارد مطرح شده قبلی



شکل ۱۸) الف: روش REP و ب: پودر فولاد زنگ نزن تولید شده به روش۲



شکل ۱۹) الف: امواج ایستاده روی سطح در حال لرزش و ب: شکل گیری قطره از موج ایستاده سطحی [۲].

(با میانگین اندازه تقریباً ۱۰۰µm) وجود دارد که این کار از طریق افزایش سرعت چرخش قطعه کار انجام پذیر است [۲].

۱۱- اتمیزاسیون التراسونیک

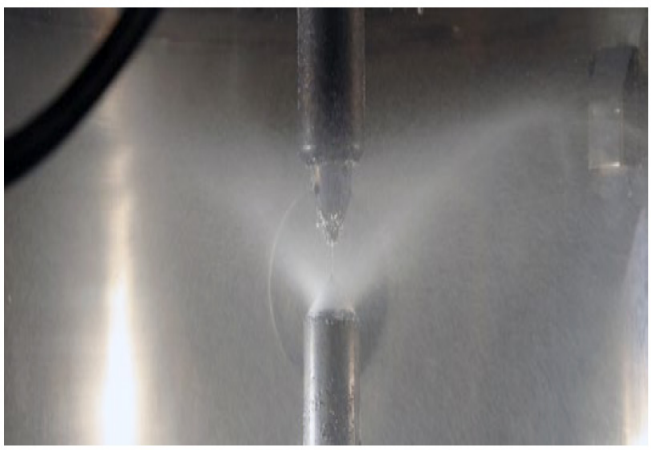
به خوبی مشخص شده است که ارتعاشات التراسونیک می‌تواند پاششی از قطرات مذاب را ایجاد نماید. در صورتی که این کار روی فلز مذاب صورت گیرد، پودر فلز قابل تولید است. با این وجود، چالش های مواد انتخابی از نظر میزان ترشوندگی سطح قابل تامل بوده و تا حدودی به کارگیری این روش را محدود به آلیاژهای لحیم سرد با نقطه ذوب کم نموده است. فرآیند اتمیزاسیون التراسونیک دارای مزیت های مهم ذیل است:

- قطرات اتمیزه شده بسیار آهسته حرکت می کنند و در نتیجه، نیازی به استفاده از محفظه بزرگ نمی باشد.
- توزیع اندازه ذرات به مانند اتمیزاسیون گریز از مرکز بسیار باریک و مناسب است.
- مصرف انرژی و گاز در طول فرآیند به اندازه متوسط است.

با این وجود محدودیت هایی هم در این روش وجود دارد:

- نرخ تولید بسیار پایین (در حدود ۳۰-۵۰Kg/h برای آلیاژهای لحیم سرد) است.
- با افزایش فرکانس به منظور ایجاد توزیع ذرات ریزتر، نرخ تولید باز هم افت می نماید.
- با قرار دادن اتمایزر روی یک فرکانس ثابت، بسته به نوع آلیاژ فقط امکان تولید یک توزیع مشخص از ذرات وجود دارد. ضمن اینکه محدوده فرکانس های قابل دسترس نیز چندان گسترده نیست.
- برخی از آلیاژ های لحیم سرد منجر به سایش سطح لرزاننده می شوند.

به طور کلی این روش شامل ایجاد یک فیلم از مذاب بوده که قادر است سطح را تر نماید و در ادامه، این سطح تحت عملیات لرزش قرار می گیرد. امواج ایجاد شده، بسته به فرکانس ارتعاش و خواص مذاب، دارای یک طول موج مشخص هستند (شکل های ۱۹ و ۲۰)[۲].



شکل ۲۰) اتمیزاسیون التراسونیک یک آلیاژ لحیم در فرکانس ۴۰khz، مذاب از بالا آزاد شده و به سطح لرزش (با حرکت توده امواج از پایین به بالا) برخورد می نماید[۲].

کاربردهای اولیه اتمیزاسیون التراسونیک از نظر محدودیت دمایی و واکنش پذیری با مذاب، به جنس صفحه لرزش و دمای کوری ترانسفورماتور التراسونیک (برای صفحات غیر خنک شونده) وابسته بوده و بر همین مبنا، استفاده از این فرآیند به آلیاژهای لحیم با نقطه ذوب پایین تقلیل می یافت. پیشرفت های اخیر با بهره گیری

از سیستم خنک کاری با آب برای صفحه لرزش، قابلیت دمایی آن را افزایش داده است. در یک حالت، سیستم شبیه به یک ذوب کننده متداول با قوس انتهایی است که در آن صفحه داغ با امواج التراسونیک ارتعاش می یابد. به علاوه، مطابق شکل ۲۱ تغذیه سیم به طور پیوسته، تامین مواد اولیه موردنیاز سیستم را انجام می دهد. اگرچه استفاده از سیم به عنوان لقمه اولیه فرآیند، توسعه آلیاژهای مورد استفاده را محدود می سازد زیرا، تولید سیم روشی هزینه‌بر بوده و برای تمام آلیاژها مقدور نیست[۲].

در حالت دیگر، ذوب متداول القایی با بوته کف ریز جهت تامین جت مذاب استفاده شده و سپس مذاب به سمت صفحه لرزشی هدایت می گردد (شکل ۲۲). نرخ اتمیزاسیون با این روش تا بیش از ۳Kg/h گزارش شده است. اگرچه بهره گیری از این روش محدوده آلیاژهای قابل فرآوری را وسعت می بخشد، اما ریختن پیوسته و پایدار مذاب در نرخ سیلان کم امری دشوار است. در هر دو صورت فوق، امکان افزایش نرخ تولید تا اعداد مربوط به روش های متداول اتمیزاسیون وجود ندارد و بنابراین، این سیستم ها عموماً جهت کاربردهای خاص معرفی می گردند و با وجود پیشرفت های اخیر، همچنان تولید پودر با روش التراسونیک در مقیاس کم و مطابق با نیاز و خواسته مشتری دارای توجیه اقتصادی است[۲].

۱۲- روش های اتمیزاسیون دو سیاله

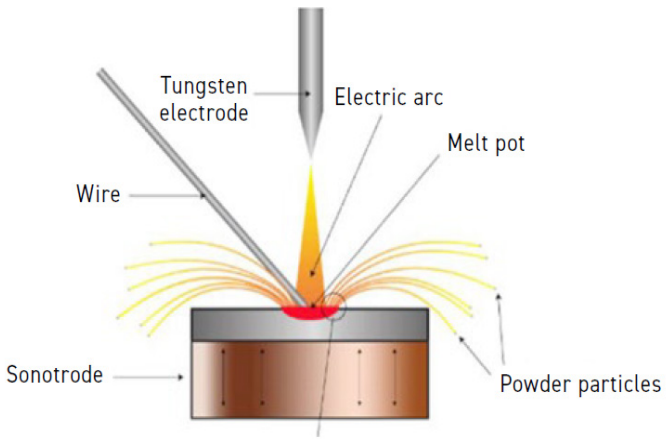
۱-۱۲- اتمیزاسیون با روغن/ هیدروکربن

یکی از چالش های اتمیزه آبی، اکسیداسیون پودر فلزات است. استفاده از یک هیدروکربن غیر فرار، ترجیحاً با نقطه اشتعال بالا به جای آب با تجهیزات تقریباً مشابه، امکان کاهش یا حذف کامل اکسیداسیون را فراهم می سازد. اگرچه، تفاوت های مهم ذیل می بایست مدنظر قرار گیرد:

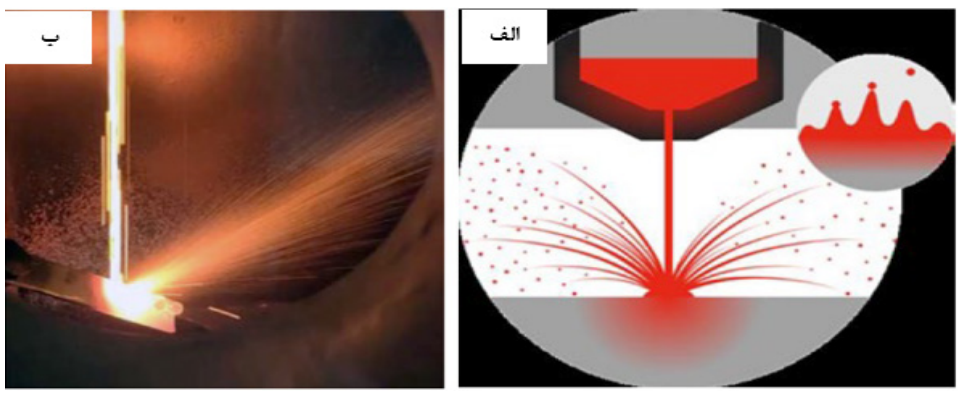
۱- حرارت ویژه کمتر هیدروکربن ها نسبت به آب، به مفهوم نسبت های بیشتر سیال/ فلز مورد نیاز به منظور جلوگیری از ایجاد دمای بالای مخلوط سیال و پودر خواهد بود.

۲- تزریق گاز نیتروژن به منظور جلوگیری از ایجاد احتراق توسط مذاب اجتناب ناپذیر می باشد.

۳- بازیابی حلال در حین خشک کردن به دلایل اقتصادی و محیط زیستی ضروری است.



شکل ۲۱) اتمایزر التراسونیک با تغذیه لقمه اولیه به شکل سیم [۲].



شکل ۲۲) الف: اتمایزر التراسونیک با سیستم بوته کف ریز در کوره القایی و ب: اتمایزر حین تولید پودر فلز [۲].

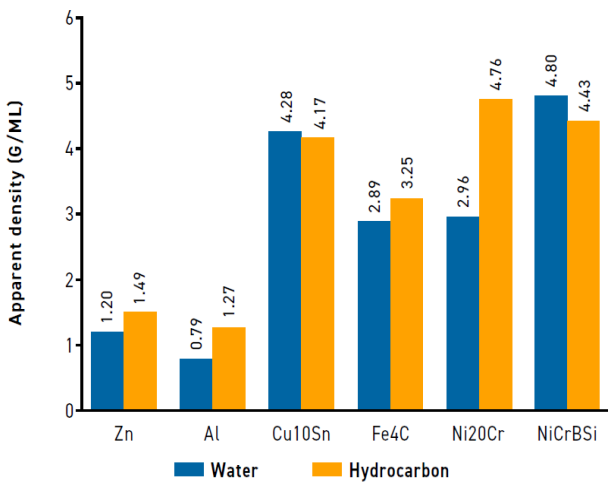
۴- به واسطه تولید مقداری هیدروژن، هیدروکربن باید به متان یا االتان شکسته شده و یا با عملیات پیرولیز به کربن و سایر مشتقات تبدیل گردد.

۵- ملاحظات ایمنی ویژه‌ای باید در نظر گرفته شود تا سایت تولید از هرگونه آتش سوزی در امان باشد.

پودر حاصل شده به این روش از لحاظ ابعاد مشابه با محصول اتمیزه آبی در فشار یکسان است، اما تفاوت هایی از چند منظر ذیل در اتمیزه با هیدروکربن وجود دارد:

- میزان اکسیژن کم یا بدون اکسیداسیون سطحی
- بی نظمی در پودر کمتر و تمایل بیشتر به حالت کروی
- وجود ریسک هایی از نظر جذب کربن توسط پودر

در شکل ۲۳ مقایسه ای بین دو روش فوق از نظر چگالی ظاهری پودر محصول برای چند آلیاژ مختلف و در جدول ۱ مقایسه محصولات آلیاژی از نظر میزان عناصر کربن و اکسیژن موجود در پودر ملاحظه می گردد [۲].



شکل ۲۳) مقایسه چگالی ظاهری پودرهای اتمیزه شده با آب و روغن [۲].

به طور مشخص، فلزات آلومینیم و روی با فیلم های اکسیدی بسیار پایدار، افزایش قابل توجهی در چگالی ظاهری را به واسطه اتمیزه با روغن نشان می دهند که رابطه مستقیمی با تشکیل ذرات کروی به میزان بیشتر دارد. در مورد برنز Cu۱۰Sn که واکنش کمی با آب دارد، اثر روغن کمتر محسوس است و این اثر برای آلیاژ Ni۲۰Cr بسیار قابل توجه می باشد. در آلیاژ NiCrBSi که در حین ذوب در دمای سالیدوس تشکیل لایه اکسید بروسیلیکات می دهد، تاثیر کمی از تغییر سیال مشاهده می شود. با در نظرگیری جدول ۱، میزان اکسیژن پودر Al اتمیزه شده با آب در ماکزیمم مقدار قرار دارد در حالیکه، با روغن این میزان به حدود چند ppm می رسد. آلیاژهای با نقطه ذوب بالاتر با هیدروکربن وارد واکنش می شوند. به عنوان مثال، در آلیاژ Ni۲۰Cr مقدار زیادی کاربید کروم پس از فرآوری ملاحظه شده است.

این تکنولوژی برای تولید تناژی پودر فولاد توسط Sumitomo و دیگران به کار گرفته شده است، اما به نظر می‌رسد چندان از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. از طرف دیگر، پودر آلومینیم تولید شده با استفاده از آسیا کاری تحت اتمسفر هیدروکربن، به میزان زیادی به شکل پولک برای رنگدانه ها و پوشش ها به کار-برده می شود. به این ترتیب، اگر آسیا کاری در اتمسفر هیدروکربن با روش اتمیزاسیون با سیال هیدروکربن از نظر محصول تولیدی قابل رقابت باشد، ممکن است هزینه خشک کردن و سیستم های بازیابی حلال در روش آسیاکاری به طور کامل حذف شود و جابجایی محصولات نیز به شکل ساده تری صورت پذیرد [۲].

۲-۱۲-اتمیزاسیون با سیال برودتی

با توجه به بحث هیدروکربن که در بالا مطرح شد، این تصور-محتمل است که از یک گاز خنثی مایع برای اتمیزاسیون استفاده-شود تا میزان جذب اکسیژن به حداقل رسیده و جذب کربن نیز حذف گردد. اگرچه گازهای مایع در مقایسه با آب (یا روغن) خیلی چگال نیستند و انرژی کمتری به مذاب منتقل می نمایند. از طرفی گازهای مایع همیشه در دمای جوش خود یا بالاتر از آن به کار می روند، در صورتی که در اتمیزاسیون آبی به واسطه دلایل عملیاتی، از جوشش زیاد آب جلوگیری به عمل می آید. همچنین، توان کوئنچ گازهای مایع به واسطه اثری موسوم به Leidenfrost به نسبت ضعیف است.

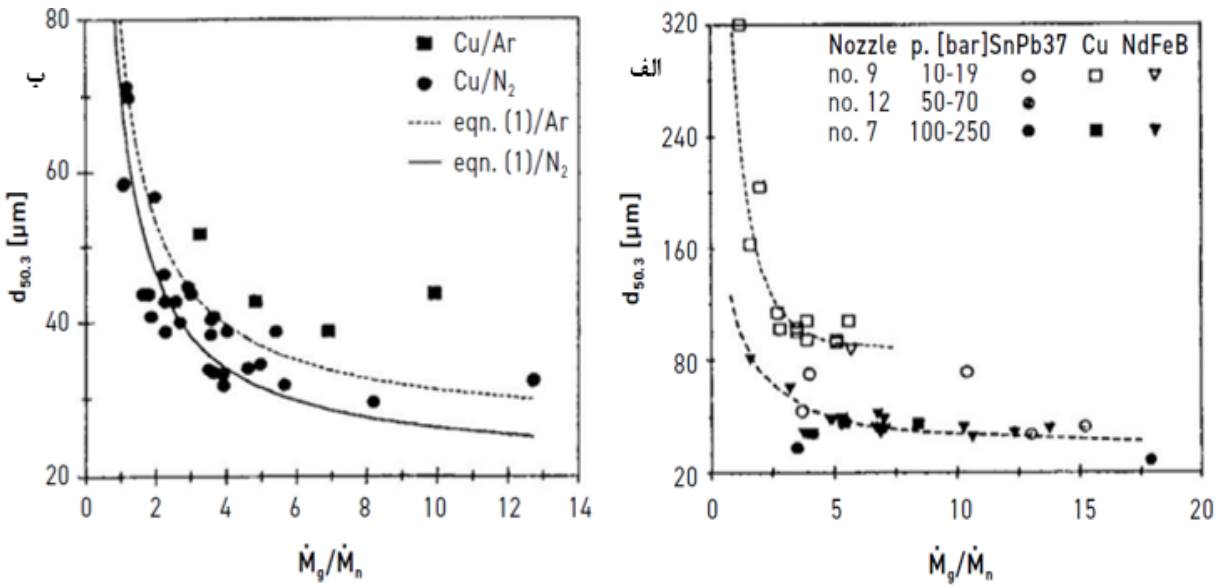
محققین آزمایشاتی را با نیتروژن مایع و آرگون در فشار چند صد بار انجام داده اند اما، نتایج چندان امیدوار کننده نبوده و هزینه‌های فرآیند بالا بوده است. به عنوان نمونه، نتایج در شکل ۲۴ نشان می دهد که نسبت های بزرگ گاز/ فلز بین ۱۵-۵ برای اتمایزینگ مس با گاز مایع استفاده شده در حالیکه، در اتمیزاسیون گازی متداول نسبت GMR تنها بین ۵-۲ قرار می گیرد [۲].

۱۳- اتمیزاسیون تک سیاله فشاری

فرآیندی که در آن مایع تحت فشار از میان یک نازل عبور می کند، قطعاً یک روش متداول برای شکل گیری اسپری قطرات برای

جدول ۱) میزان اکسیژن و کربن موجود در پودرهای اتمیزه شده با آب و روغن[۲].

Metal	Medium	Sample	O_2%	C%
Al	Hydrocarbon	Powder	0.026	-
	Water	Powder	6.0 (Approx.)	-
Fe3.8C	Hydrocarbon	Furnace	0.159	3.8
		Powder	0.045	4.02
	Water	Powder	0.090	3.83
NiCrBSi	Hydrocarbon	Furnace	0.007	0.16
		Powder	0.019	0.54
	Water	Furnace	0.006	0.07
		Powder	0.041	0.07
80Ni20Cr	Hydrocarbon	Furnace	0.041	-
		Powder	0.039	0.81
	Water	Furnace	0.025	0.07
		Powder	0.257	0.08



شکل ۲۴) الف: نتایج اتمیزاسیون با گاز مایع و ب: نتایج اتمیزاسیون گازی [۲].

سیال هایی مانند آب، بنزین و غیره است. در واقع، این مهم برای فلزات مذاب نیز قابل انجام می باشد اما، مهمترین چالش آن چگونگی قرارگیری مذاب تحت فشار و یافتن یک نازل با مقاومت بالا در برابر سایش ایجاد شده توسط مذاب است که تحت فشار دارای سرعت بالایی خواهد بود.

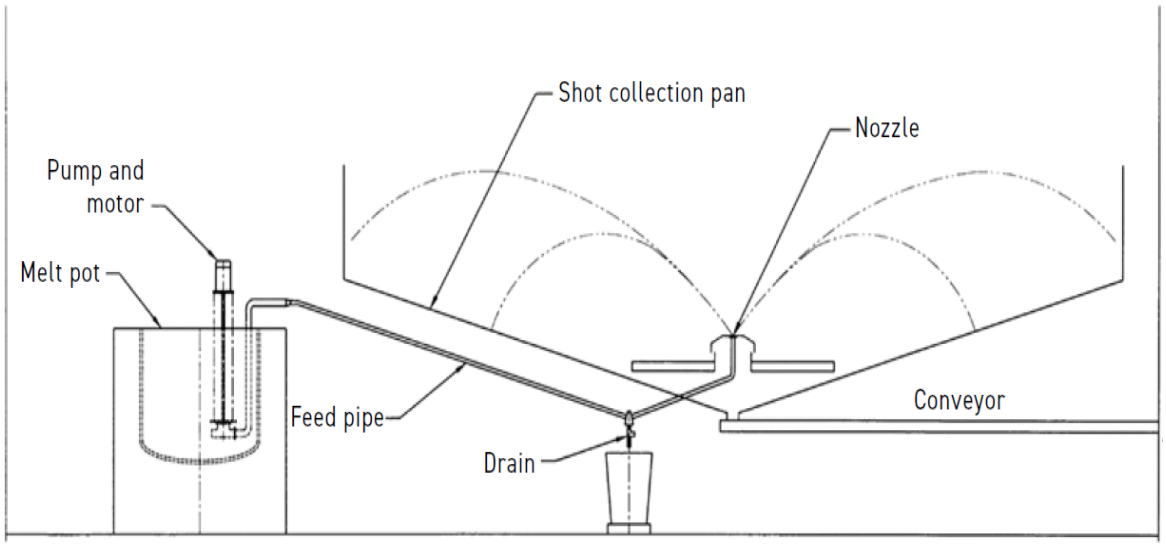
آزمایشاتی توسط Sheikhaliev روی گستره‌ای از آلیاژهای دمای پایین انجام شده و با انجام کارهای تکمیلی بر نتایج اولیه، تجهیزات بزرگی برای اتمایزینگ سرب با ظرفیت تقریبی ۲t/hبه این روش ساخته شده است (شکل ۲۵). برای این فلز، استفاده از پمپ سانتریفیوژ برای قرار دادن مذاب تحت فشار مناسب است و نازل فولادی نیز عمر کاری خوبی دارد. این دستگاه بالغ بر ۲۰ سال به طور مناسبی با حداقل هزینه کار کرده و شات های پودری با اندازه

۰/۵-۱/۳mm تولید نموده است. فرآیند به طور کامل اتوماتیک بوده و امکان آنالیز آنلاین شرایط تولید وجود دارد. یک مزیت مهم استفاده از نازل با جت چرخشی آن است که انحراف استاندارد محصول تقریباً مشابه با پودرهای اتمیزه شده با روش گریز از مرکز و در حدود ۴/۱-۵/۱ می باشد (شکل ۲۶). این بدان معناست که بازده فرآیند در تولید محدوده اندازه باریک پودر بسیار عالی بوده هر چند که، ابعاد دستگاه اتمیزه بزرگ (با قطر تقریبی ۱۰ متر) است و به صورت باز عمل می کند [۲].

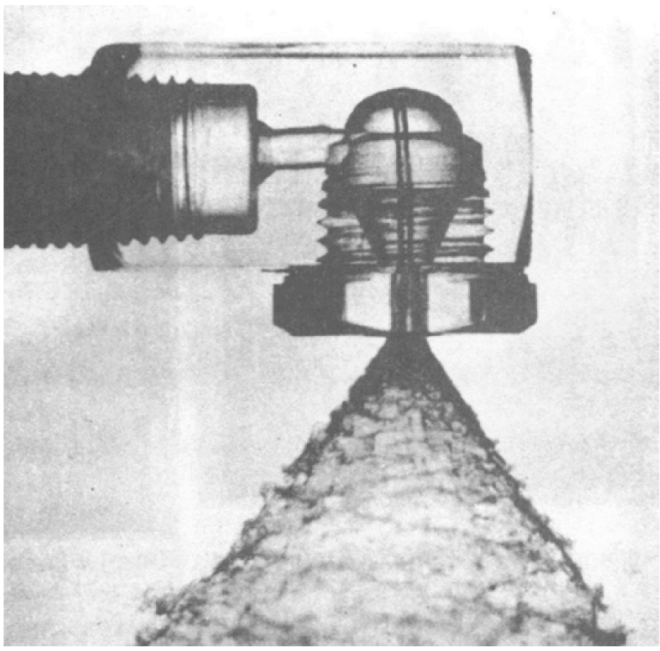
از طرفی، سرب یکی از معدود فلزاتی است که به آسانی در هوای آزاد خنک می شود. این مطلب نیز درست است که ساخت پودرهای ریزتر نیاز به اعمال فشارهای بالاتر و نازل های کوچکتر دارد و این موضوع، منجر به افزایش چالش‌ها در بحث سایش یا گرفتگی نازل می گردد.

۱۴-جمع بندی

در طی ۱۵۰ سال گذر از عمر فرآیند اتمیزاسیون گازی، این تکنولوژی به طور قابل توجهی رشد یافته است. در ماشین آلات اولیه آن از جت خام بخار یا هوا برای تجزیه باریکه فلز مذاب استفاده می شده تا در نهایت ذراتی با اشکال نامنظم به واسطه مساحت سطح ویژه



شکل ۲۵) اتمایزر تک سیاله با جت فشاری- چرخشی برای تولید پودر سرب با ظرفیت ۲t/h



شکل ۲۶) نازل با جت چرخشی در حال پاشش آب[۲].

آنها تولید و به کار گرفته شوند. شرایط کنونی این تکنولوژی شامل طراحی نازل های خاص در سیستم های محفظه بسته و استفاده از گاز خنثی گرم شده برای تولید پودرهای کروی ویژه با راندمان بالاتر می باشد. استفاده از اتمیزاسیون گازی برای تولید پودر مورد مصرف در فرآیند های متعددی مانند AM، MIM، HIP و پاشش حرارتی امری ضروری به حساب می آید. پودرهای اتمیزه گازی در کاربردهای متعدد و بحرانی مانند پزشکی، هوافضا، صنایع نظامی، و به همین نسبت در ساخت قطعات برای تجهیزات مصرفی، اجزای خودرو و حتی آیتم های لوکس و گران قیمت مورد استفاده قرار می گیرند.

در مجموع باید گفت با وجود آنکه اتمیزاسیون گازی در زمره تکنولوژی های تثبیت شده قرار دارد، اما همچنان چالش‌های زیادی در تولید پودر با کیفیت باقی مانده است که زمینه مناسبی را برای تلاش های آتی جهت بهبود و ارتقای آن، به خصوص در حوزه های کارایی، هزینه و اثرات عنصر کربن فراهم می نماید.

به طور کلی، روش های اصلی تولید پودر فلزات شامل اتمیزاسیون مذاب با گاز و آب هستند که به ویژه برای آلیاژهای با نقطه ذوب بالاتر به کار می روند. در حالیکه فلزات غیر آهنی مانند Pb، Sn، Zn، Al،... در برخی موارد با محدوده گسترده تری از روش ها شامل اتمیزاسیون التراسونیک و گریز از مرکز قابل فرآوری هستند.

شاخص های مورد نیاز برای مشخصه یابی پودر بسیار گسترده بوده و مواردی مانند شکل، اندازه، ترکیب (شامل سطح و توده پودر)، سیلان، چگالی حجمی، خواص مغناطیسی و ریزساختاری، رنگ، واکنش پذیری و فعالیت حین تفجوشی را شامل می شوند. با در نظرگیری گستردگی شاخص ها، انتخاب فرآیند اتمایزینگ و نیز عملیات نهایی پس از آن، شامل کنترل اندازه پودر از طریق غربالگری و تفکیک و عملیات حرارتی مانند احیاء یا آنیل، بسیار مهم بوده و نقش اساسی در خواص پودر محصول دارد.

۱۵-مراجع

[1] Joseph Tunick Strauss, PhD and John J Dunkley, PhD, The article of "How to make metal powders, part3: Understanding gas atomization and gas atomized powdres" published in Journal of Powder Metallurgy Review Magazine, Summer 2022, pages 71-82.

[2] Joseph Tunick Strauss, PhD and John J Dunkley, PhD, The article of "How to make metal powders, part4: Centrifugal and other special atomization methods" published in Journal of Powder Metallurgy Review Magazine, Autumn 2022, pages 71-78.

قالب هوشمند پرینت سه بعدی برای ریخته‌گری در ماسه (کنترل آنلاین گیرایی چسب)

ترجمه مهندس شیوا خاتمی زاده، انجمن علمی ریخته گری ایران
Khatamizadeshiva@gmail.com

3D Printing Smart Binder Curing(Monitoring Binder Curing)

Shiva Khatamizade, Iranian Foundrymen's Society

در این مقاله، از روش کنترل آنلاین با حسگر، جهت اندازه گیری زمان مناسب گیرایی و ایجاد استحکام کافی در قالب های ماسه ای پرینت شده، استفاده گردیده و نیز مدت زمان لازم به منظور نگهداری قالب پیش از آغاز جدایش و از دست رفتن خواص چسب موجود در ماسه تخمین زده شده است.

۱- مقدمه

فرایند ساخت افزایشی هم اکنون برای تولید مدل‌های ماسه‌ای و ماهیچه ها با شکل و هندسه پیچیده و با روش پاشش چسب که یکی از هفت فرایند فرعی در گروه فرایندهای ساخت افزایشی می‌باشد، استفاده می‌شود. از فواید مهم ساخت افزایشی به واسطه دسترسی به لایه‌های در حال پرینت تا اجزای الحاقی داخل قالب، امکان ایجاد استراتژی‌های جدید در طراحی، شامل تهویه (کانال‌ها برای بهبود نفوذپذیری)، سیستم راهگاهی (بارریزها و راهبارها برای کاهش سرعت مذاب، کاهش توربولانس و تخلخل) و تغذیه ها برای کنترل و هدایت انجماد می‌باشد. پرینت سه بعدی مدل ها و ماهیچه‌های فدا شونده، شامل پاشش چسب با چسبی که جوهر افشان به شکل انتخابی میان بستری از ماسه پیش مخلوط شده با یک اسید پخش می‌کند، می‌شود تا شرایط گیرایی دو قسمتی ماسه فوران فراهم گردد. پس از پاشش یک لایه از چسب، بستر به اندازه ضخامت یک لایه (معمولا ۲۵۰ میکرون) پایین رفته و لایه جدید ماسه بدون چسب روی بستر پخش گردیده و این فرایند به طور یکنواخت تکرار می‌شود.

قطع فرایند و ایجاد دسترسی به بستر (حتی به صورت دستی در این مورد، اما دارای پتانسیل زیاد جهت به کارگیری مجموعه ای از ربات‌ها) از طریق یک پرینتر Exone Smax امکان‌پذیر بوده و مواردی چون قابلیت تکمیل

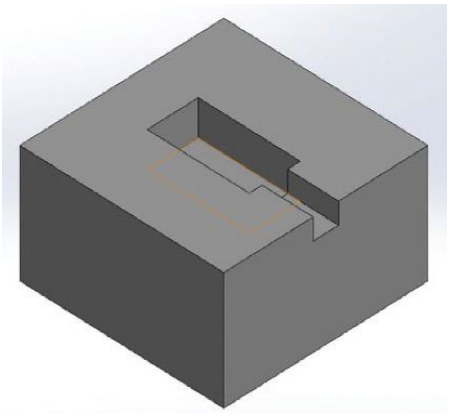
شکل ۱) دستگاه Exone پرینت ماسه در دانشگاه Northen lowa

اجزای قالب (مانند مبردها، لوله‌های حرارتی، حسگرهای الکتریکی، فعال سازی سیستم‌های راهگاهی دینامیک و غیره) و در ادامه، فرایند پیوسته ساخت قالب‌های هوشمند در حال بررسی و نسبتاً ناشناخته- می‌باشد. پرینت ماسه، در ابتدا با شناسایی نوع ماسه و مواد چسب، مشخصه یابی قطعات نهایی ریخته‌گری شده مانند تخلخل، کیفیت سطحی، قطعات ریختگی چند ماده‌ای، مدل سازی، ریخته‌گری اشکال پیچیده هندسی و حتی تعبیه حسگرها در قالب‌ها و ماهیچه‌ها برای کنترل آنلاین فرایندهای جدید مورد بررسی قرار گرفته است.

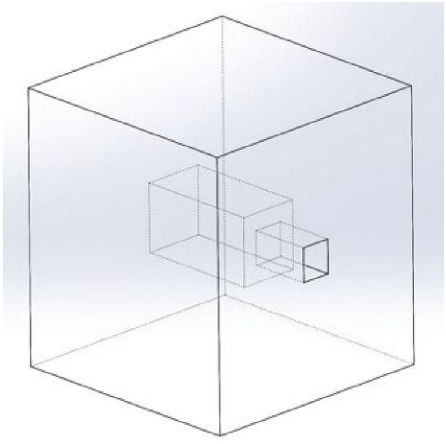
اخیراً یک بررسی بر روی تمامی سنسورهای تعبیه شده در ساختارهای ماسه ای پرینت شده در طول فرایند پاشش چسب در قالب‌های ماسه ای پایه فوران صورت گرفت. فرض بر این است که رطوبت و دما (متغیرهای ورودی مستقل) می‌تواند به تولید VOC(متغیر وابسته) و در نهایت به استحکام قالب در زمان پر شدن مذاب مرتبط باشد. آزمایش‌های بالقوه در آینده ممکن است مدت زمان جمع آوری اطلاعات و گزارش داده‌ها را به مدت یک سال یا بیشتر افزایش دهند. کامپیوترهای کوچک Linux که خارج از ساختار فرایند تعبیه شده‌اند، (به جهت عدم استفاده از باتری، به عنوان شرایط مورد نیاز در سیستم‌های ایزوله حسگرها) امکان جمع آوری اطلاعات نامحدود را به شکل مجازی فراهم می‌کنند. فشار، دما، رطوبت و VOC ها اندازه‌گیری شدند که دما و رطوبت متغیرهای قابل کنترل بودند و مستقیماً بر روی میزان اثربخشی گیرایی تاثیر گذاشتند. VOCها به عنوان یک محصول فرایند استحکام بخشی و شاخص گسترش گیرایی و پیش بینی استحکام نهایی قالب درنظر گرفته شدند. فشار بارومتریک که انتظار نمی‌رفت جزئی از امکان کنترل فرایند باشد، در ادامه به عنوان شاخص کنترل آب و هوای منطقه‌ای در نظر گرفته شد که بر روی متغیرهای مستقل و غیر قابل کنترل محیط اثرگذار بوده است.

هدف از کنترل آنلاین با حسگر اطمینان از دو مورد زیر بود:

۱- قالب‌ها زمان کافی برای گیرایی داشته باشند.(حداقل زمان قبل از



شکل ۲) طراحی بلوک های ماسه ای با انقطاع



شکل ۲) طراحی بلوک های ماسه ای شفاف بعد از پرینت

ذوب ریزی و بعد از پرینت)

۲- اندازه‌گیری و اطمینان از مدت زمان پابرجایی قالب در انبار قبل از فروپاشی و ازدست دادن استحکام چسب در شرایط محیطی معین.

۲- چیدمان آزمایش و عملیات اجرایی

نمونه های آزمایشی شامل ذرات گرد ماسه سیلیکا با چسب

جدول ۱) عملیات های تجربی

هدف	شرایط	گروه
محیط آزمایشگاه دانشگاه لاوا در آپریل ۲۰۲۲ با شرایط متفاوت	بررسی یک نمونه معمولی در شرایط محیط	(نمونه ۴)-۱
شرایط دمایی و رطوبت پایین (NOM2C/35.5°F)	محیط سردخانه	(نمونه ۴)-۲
شرایط دمایی و رطوبت پایین (NOM2C/35.5°F)	آون حرارتی با دمای ۳۵ درجه سانتی گراد	(نمونه ۴)-۳

شکل۴) قرارگیری سنسورها و کابل ها در میان بلوک ها، در طول زمان انقطاع پرینتر

فوران به صورت مکعب‌های ۷۵ میلیمتری در یک طرف فرایند با 80AFS-GFN (شماره اندازه دانه ۸۰) با دستگاه Exone Smax به عنوان پرینتر ماسه، تولید شدند. (شکل ۱). دستورالعمل ترکیب ها بر اساس وزن هر مرحله ساخت به صورت دوز فعال کننده (۰/۱۷ درصد) و مخلوط ماسه به شکل ماسه تازه (۶۵ درصد) و ماسه بازیافتی (۳۵ درصد) در نمونه ها تکرار شدند.

در مرکز مکعب یک فضای خالی با کانال کوچک برای هدایت سیم‌های بلند اتصال دهنده با قطر ۳۰۰ میلی‌متر به سمت خارج، تعبیه گردید. حسگر درون یک بلوک با در نظر گرفتن حداقل فاصله ۷۵ میلیمتری از همه جهات، به استثنای کابل کانال، قرار داده شد. به علاوه با هر بلوک از ۱۲ بلوک ماسه‌ای، چندین نمونه تست خمشی که شامل هر دو محور Y (جهت پاشش مجدد پودر) و محور X (جهت پاشش چسب)، براساس AFS شماره 3348-18-S آماده سازی و تست شدند. نمونه ها در جهت عکس جهت ساخت نیز با شیوه مشابه در طول دوره ۲۸ روزه با بلوک های دارای حسگر مورد عملیات قرار گرفتند.

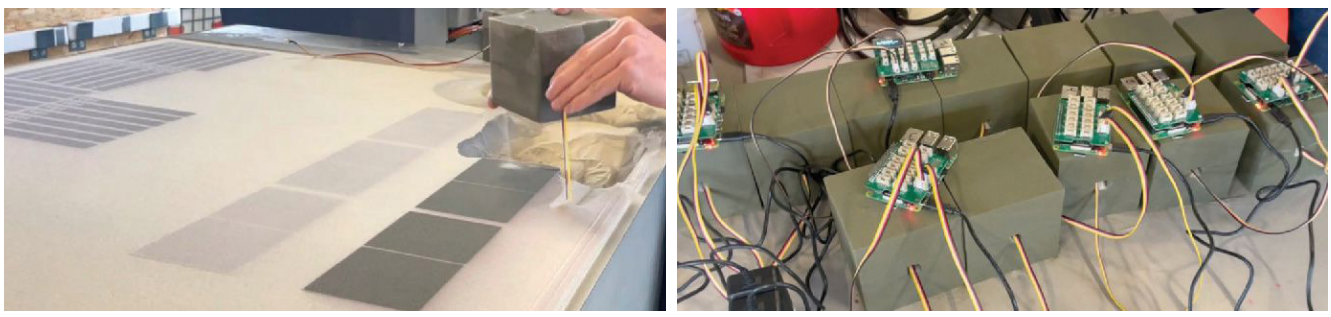
از ۱۲ تا بلوک، ۴ بلوک برای عملیات در شرایط مختلف گروه بندی شدند. جدول ۱ این شرایط را شرح می‌دهد.

فرضیه آزمایش این بوده که دما و رطوبت می‌تواند مانع گیرایی چسب و کاهش استحکام مکانیکی شود. محیط انجام عملیات، مشابه محیط ریخته گری با تغییر دما شبیه سازی گردید. علاوه بر این VOCها عامل مرتبط پخت کامل چسب در نتیجه واکنش شیمیایی درنظر گرفته شده بودند. ترکیبات مواد آلی فرار در این فرایند آزاد شدند و مجموع VOCهای اندازه گیری شده می‌تواند با استحکام نهایی چسب مرتبط باشد و برای اطمینان از مقاومت قالب‌ها و ماهیچه‌ها در برابر فشار هد مربوط به یک آلیاژ خاص، و نیز طراحی، کیفیت و بازده قطعات ریخته‌گری مورد استفاده قرار گیرد. این تلاش و ادامه کارها در آینده با آزمایشات طولانی مدت، دستورالعمل‌هایی برای انبارش قالب‌ها (در حداقل و حداکثر زمان) در شرایط تغییر دما و رطوبت صادر کرده است. این حسگرها گران قیمت نیستند، بنابراین امکان بهره گیری از آنها در محیط تولید فراهم بوده و می تواند به اطمینان پذیری از کیفیت و بازده قطعات ریختگی دارای ارزش زیاد کمک نماید.

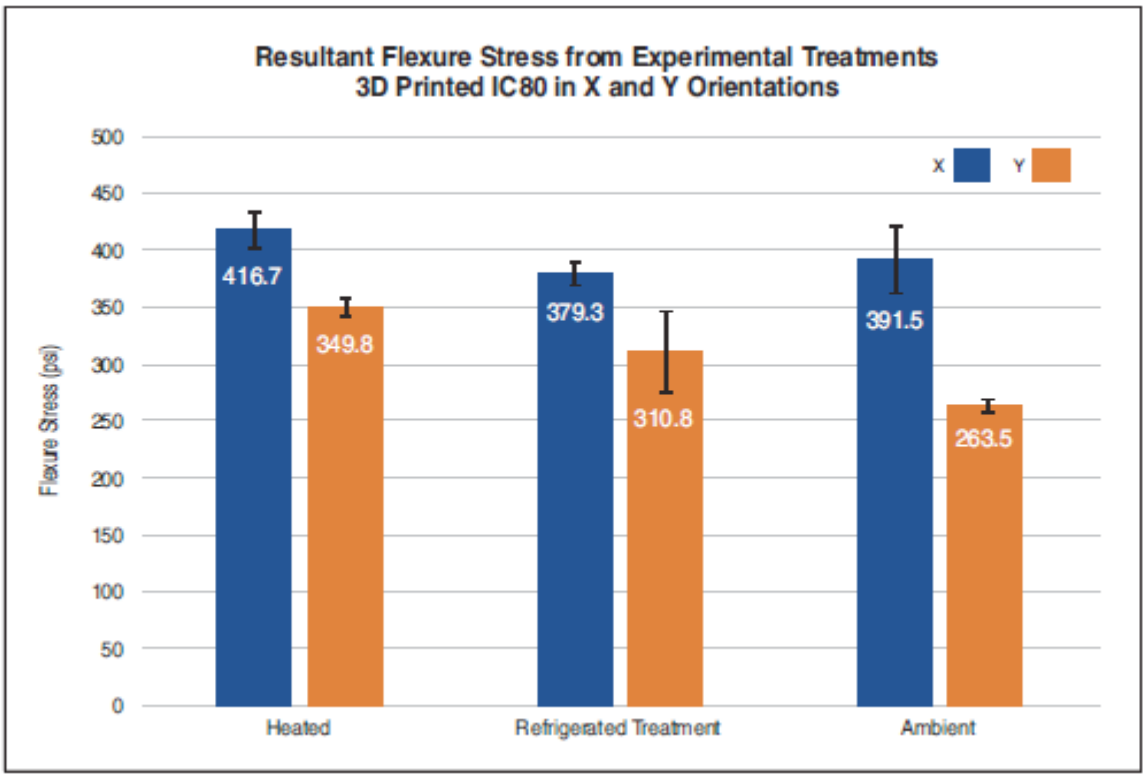
۳- قرارگیری حسگر

از ۱۲ بلوک، در یک بلوک یک بالابر حسگر در قسمت بالای بستر پودری قرار گرفته که در زمان پاشش مجدد پودر، انسداد ایجاد می‌کند. در نتیجه یک شکاف بزرگ باقی مانده و بلوک‌های نیمه ساخته را در معرض برخورد با پوششگر قرار می‌دهد. فضای خالی موجود در بستر ماسه به صورت دستی با ماسه پر می‌شود و به صورت جداگانه، منجر به پرینت نیمه بالایی بلوک می‌گردد. بعد از انجام عملیات، دو قسمت جدا از هم بلوک ها، بعد از تعبیه حسگر، به صورت دستی روی هم قرار می‌گیرند. این بازسازی بلوک به صورت دستی شامل عملیات در آون نیز می‌شود و انتظار نمی‌رود که تاثیر قابل توجهی در رفتار متغیر VOC داشته باشد.

شکل ۵ سمت چپ، عملیات ساخت بلوک با تعبیه حسگر و خروج



شکل ۵) برداشت بلوک های ماسه ای با کابل های سنسور(چپ) و نظارت نهایی سیستم(راست)



شکل ۶) نمودارهای استحکام خمشی X و Y رابرای هر سه عملیات: حرارتی، سردخانه و محیط نشان می‌دهد.

کابل‌ها از بلوک‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد. شکل ۵ سمت راست، همه ۶ عدد PI قابل خوانش از ۱۲ عدد حسگر را مستقیماً بعد از برداشت و قبل از قرار دادن بلوک‌های ماسه‌ای در هر یک از سه عملیات ذکر شده در جدول ۱ نشان می‌دهد.

شکل ۶، دما، رطوبت و ایجاد VOC را برای ۴ حسگر در عملیات آون (رطوبت کمتر و دمای بیشتر) نشان می‌دهد. طبق پیش بینی اندازه دما بین ۳۴ تا ۳۸ درجه سانتیگراد (معادل ۹۳/۲ الی ۱۰۰/۴ درجه فارنهایت) و رطوبت در تمام مدت زیر ۲۵ درصد نگه داشته شد و هر ۴ حسگر داده‌های منطقی را ارائه کردند. تولید VOC ها در مقداری بین ۲۰۰۰۰ الی ۴۰۰۰۰ اهم انجام شدند که به عنوان یک پروکسی برای مقادیر واقعی VOC بوده و ساخت نسبتاً پایدار آنها را در طول مدت زمان آزمایش ممکن نموده است. در هر ۴ حسگر، دو نوسان (پالس) تقریباً در روزهای ۵ و ۱۶ دیده شد، که با قطع غیرمنتظره برق مرتبط بود. PIها در صورت راه اندازی دوباره (ریبوت)، برای بارگذاری مجدد کلیه اطلاعات برنامه ریزی شدند و حسگر VOC، نیاز به گرم شدن با داده های اولیه داشته که از طریق پالس مصنوعی در ۳۰ ثانیه اول فرایند انجام شده است. این پالس ها اطلاعات بیشتری نسبت به پالس های واقعی برای تولید VOC ارائه می‌کنند زیرا، پالس های واقعی نسبت به نوع مصنوعی معمولاً طولانی تر بوده و پالس مصنوعی، کاربر را از قطع برق و یا راه‌اندازی مجدد آن مطلع می‌کند.

اندازه‌گیری VOC ها شاخصی برای ارائه میزان گیرایی فرض شد که قبلاً در قالب گیری ماسه با پرینت سه بعدی سنجیده نشده بود. این قابلیت حسگر، توانایی بالقوه‌ای برای تشخیص زمان رسیدن قالب به استحکام نهایی نشان می دهد. اگرچه، عدم وجود کالیبراسیون مطلق در این آزمایش، اندازه‌گیری گیرایی را به طور نسبی به دست می‌دهد به گونه ای که تحت شرایط دمای پایین و رطوبت بالا (هر دو با دقت بالای اندازه‌گیری شده) محدود می گردد. کالیبراسیون VOC نیاز به استاندارد بالا و تغییرات جزئی در الگوریتم‌ها از طریق تغییر شیب و اصلاح خطای خطی دارد که در مطالعات بعدی صورت می‌گیرد. از طرف دیگر مقادیر دما و رطوبت به صورت ترم های پایدار با مقادیر مطلق بودند و در صورت ترکیب این دو، امکان کنترل کمی و آنلاین فرایند تحت عنوان " ذوب ریزی/عدم ذوب ریزی" در مدت زمان بین پخت و پرینت ماسه فراهم می شود.

توسعه این الگوریتم با یک برنامه مشخص، قدم بعدی این پژوهش می‌باشد. برای ۲ حسگری که تحت عملیات تبریدی کنترل می‌شوند، دمای اولیه از حسگرهایی که مرتبط با آزمایشگاه هستند بالاتر است و به دلیل همین ایجاد دمای اولیه بالاتر، حسگرهای آزمایشگاهی

بعداً به فریزر منتقل می‌شوند. فقط دو عدد از این حسگرها تحت این عملیات بودند، در شرایطی که یکی از PIها بازخوانی دو حسگر فرعی را متوقف ساخته بود.

مشابه عملیات آون، شرایط ثابتی از نظر میزان سرما و رطوبت پایین، (کمی بالاتر از عملیات آون) برقرار گردید. به نظر می رسد در VOCها در هر دو مورد (تبریدی و آون)، روند کاهشی آهسته‌ای در مقادیر دارند که شکل نمودارهای آنها بسیار مشابه بوده و همچنین در آون قطع برق مشاهده گردیده است. در پایان آزمایش، بزرگنمایی کلی نمودارها اختلاف با ضریب ۳ را نشان داده و تصاویر بیشتر نشان می‌دهد که چگونه مقادیر مطلق این حسگرها معتبر نیست اما به نسبت، روند کلی برای هر حسگر قابل تامل و بررسی می باشد. در این مورد، با بررسی نتایج مختلف از عملیات آون به نظر می‌رسد، روند VOCها بعد از دوره ۲۸ روزه به آرامی کاهش یابد. آخرین عملیات محیطی که شامل دو حسگر است، به احتمال زیاد دچار همین مشکل می‌شود که در محیط تبریدی بر نوع عملکرد PI اثر می‌گذارد. دما و رطوبت به طور چشمگیری متفاوت‌تر از دمای فریزر و آون است. همانطور که در یک محیط کنترل شده انتظار می‌رود، به نظر می‌رسد که هر دو حسگر در طول این مدت زمان، نسبتا ثابت می‌مانند. این مقادیر به دلیل عدم وجود کالیبراسیون قابل اطمینان نیستند.

۴- نتایج تست خمشی

در هر ۸ حسگری که با موفقیت خوانده شدند، مقادیر دما و رطوبت در طول ۲۸ روز برای تعیین میزان گیرایی چسب تخمین زده شدند که با استحکام نهایی قالب مرتبط است. شکل ۱۰ نمودارهای استحکام خمشی X و Y را نشان می‌دهد که X جهت پاشش چسب و Y در جهت پاشش پودر می‌باشد. در هر دو محور، رطوبت (کم و داغ) باعث شده که استحکام بهبود پیدا کند. از این استحکام می‌توان به عنوان آستانه‌ای برای تعیین زمان گیرایی با استحکام مناسب فلز قبل از ذوب‌ریزی بهره برد. آزمایش‌های آینده برای بررسی و دایرکردن شرایطی با حداکثر پتانسیل به مدت چندین ماه، جهت نگهداری قالب‌ها، انجام می شوند.

۵-جمع بندی

این تکنیک بیشتر به یک نگاه دقیق برای ایجاد دستورالعمل‌هایی می‌پردازد که با لحاظ نمودن دما و رطوبت، کدام قالب ها می توانند استفاده شوند. حسگرها می‌توانند به طور موفقیت آمیزی در قالب‌ها در زمانی که فرایند پرینت قطع شده تعبیه گردند و زمان گیرایی قالب ماسه ای را تعیین کنند. برای حسگر مخصوص BME680، حسگر ترکیبات مواد آلی فرار نیاز به کالیبراسیون دارد تا از استحکام کافی چسب و تامین استحکام کافی قالب در زمان ذوب ریزی، اطمینان حاصل شود. ترکیب اولیه عوامل متریک دما و رطوبت، ارتباط عمیق بین محاسبات مقادیر آنها و استحکام خمشی قالب را نشان می‌دهد. با آزمایش های بیشتر می‌توان دستورالعمل‌هایی را ایجاد کرد تا امکان کنترل دما و رطوبت در تجهیزات ذخیره‌سازی قالب جهت محاسبه حداقل زمان گیرایی در شرایط خاص فراهم شود. تمرکز ما در آینده بر روی آزمایش‌های طولانی مدت و کاربردی در این مورد است که قالب‌های ماسه‌ای ساخته شده با پرینت سه بعدی تا چه مدت زمان استحکام لازم خود را حفظ می‌کنند و با در نظر گرفتن شرایط خاص محیطی که قالب‌ها در آن‌ها قرار دارند، چه مدت دوام می‌آورند و در انبار قابل ذخیره سازی هستند.

این پروژه با کمک بنیاد مورچیسون در دانشگاه تگزاس در آل پاسو و کمک هزینه تحقیقاتی انجمن ریخته‌گری آمریکا با شماره ۱۲*۲۰-۱۹ تامین شد.

* Modern Casting Issue, June ۲۰۲۳, Page۴۲-۴۵

تماشای پژوهش

فیلم کوتاهی از پروسه جاگذاری سنسورها که می توانید با اسکن کد روبه رو تماشا کنید.

اخبار ایران و جهان

اخبارایران

- جای خالی محسوس سرمایه‌گذاری در صنعت ریخته‌گری، به دنبال صادرات ظروف چدنی هستیم

ریخته‌گری به عنوان یک صنعت مادر، از اهمیت بالایی در تولید انواع قطعات مورد نیاز صنایع مختلف همچون خودروسازی، نفت، گاز و پتروشیمی، راهسازی و... برخودار است. صنعت ریخته‌گری در کشور ما همگام با توسعه صنایع فلزی اعم از آهنی و غیرآهنی، با پیشرفت قابل‌توجهی همراه شده است و برخی قطعات تولید شده با استفاده از روش‌های نوین ریخته‌گری، علاوه بر تامین نیاز داخل در بازارهای صادراتی نیز عرضه می‌شوند. با این وجود، به دنبال عدم حمایت‌های لازم از فعالان این صنعت و افزایش چالش‌های موجود همچون قطعی برق و گاز کارگاه‌های ریخته‌گری، نه تنها سرمایه‌گذاری جدید در راستای احداث و راه‌اندازی کارخانجات جدید انجام نمی‌شود بلکه شاهد تعطیلی روزافزون کارگاه‌های کوچک ریخته‌گری و حتی تغییر کاربری این واحدها هستیم. در همین راستا، خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی، مدیرعامل شرکت پاک برنز تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

در ابتدا توضیحاتی در خصوص تاریخچه و سبد محصولات شرکت پاک برنز ارائه بفرمایید.

شرکت پاک برنز فعالیت خود را در سال ۱۳۶۸ با نام تجاری ذوب فلزات پاکزاد در زمینی به وسعت ۵۰۰ متر در امین آباد شهرری آغاز کرد که در سال ۱۳۷۵، این کارخانه به شهرک صنعتی شمس‌آباد منتقل شد. تعداد نیروی انسانی شرکت در ابتدا هفت نفر شامل برادران پاکزاد بود و در حال حاضر بیش از ۳۷۰ نفر به طور مستقیم در مجموعه پاک برنز مشغول به‌کار هستند. ما فعالیت خود را با ریخته‌گری فلزات غیرآهنی شامل آلیاژهای پایه مس و آلومینیوم آغاز کردیم و پس از انتقال کارخانه به شمس‌آباد، ریخته‌گری چدن و فولاد را هم در برنامه خود قرار دادیم. در سال ۱۳۸۸، ریخته‌گری فولاد ضدزنگ و در سال ۱۳۹۵، ریخته‌گری سوپرآلیاژها در دستور کار شرکت قرار گرفت و در حال حاضر، ریخته‌گری کلیه فلزات اعم از آهنی و غیرآهنی در زمینی به وسعت ۲/۵ هکتار در شرکت پاک برنز انجام می‌شود. در ادامه به دلیل نبود فضای کافی و عدم تخصیص زمین جهت اجرای طرح‌های توسعه‌ای، ناچار به احداث چهار کارخانه دیگر در شهرک صنعتی شمس‌آباد تحت نظارت پاک برنز شدیم که شامل واحدهای ریخته‌گری دقیق، اتصالات، شیرآلات و قطعه‌سازی است. قطعات و شیرآلات تولیدی در بخش تاسیسات ساختمانی، دیگ بخارها و پالایشگاه‌های نفت، گاز و پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ ضمن اینکه در حال تولید انواع ولوها (Valve) و اتصالات گالوانیزه، استیل و فشار قوی هستیم. تمامی محصولات شرکت با برند پاک برنز در بازار داخلی به فروش می‌رسد و علی‌رغم مشکلاتی که در حوزه صادرات وجود دارد، اتصالات تولیدی خود را به کشورهای عراق و سوریه نیز صادر می‌کنیم. همچنین به دنبال افزایش تولید و صادرات انواع شیرآلات در آینده نزدیک هستیم. در حال حاضر تولید ظروف چدنی در قالب طرح توسعه در دستور کار مجموعه قرار دارد و امیدواریم پس از راه‌اندازی خط تولید، بتوانیم این محصول را به کشورهای اروپایی صادر کنیم.

ماده اولیه مورد نیاز خود را چگونه تامین می‌کنید و آیا با چالش خاصی در این زمینه مواجهید؟

در بخش ریخته‌گری فلزات غیرآهنی پایه آلومینیوم، شمش مورد نیاز خود را از شرکت‌هایی همچون ایرالکو و المهدی خریداری می‌کنیم. این دو شرکت، جزو بزرگ‌ترین تولیدکنندگان شمش آلومینیومی

کشور هستند و شمش خریداری شده از عیار و کیفیت مناسب برای استفاده در کوره‌های ریخته‌گری برخوردار است. همچنین قراضه آهنی، ماده اولیه مورد استفاده در واحد ریخته‌گری فولاد است که بخش عمده آن، از شرکت‌های تولیدکننده قطعات خودرو مانند شرکت صنعتی حدید مبتکران تامین می‌شود. در واقع یک تعامل و همکاری بین ما و تولیدکنندگان قطعات خودرو شکل گرفته است و قراضه مورد نیاز مجموعه، در ازای تولید و تحویل قطعات سفارشی به این شرکت‌ها تامین می‌شود. به همین دلیل خوشبختانه مشکل چندانی در تامین ماده اولیه نداریم و به دنبال افزایش تولید و اجرای طرح‌های توسعه‌ای جدید هستیم.

فرایند ریخته‌گری در شرکت پاک برنز با استفاده از چه کوره‌هایی صورت می‌پذیرد؟

ریخته‌گری فلزات آهنی و غیرآهنی با استفاده از کوره‌های القایی در شرکت پاک برنز انجام می‌شود. در حال حاضر انواع کوره‌های القایی خارجی اعم از چینی، هندی و آلمانی در سطح بازار وجود دارد اما ترجیح ما، استفاده ۱۰۰ درصدی از کوره‌های القایی ساخت داخل است که توسط متخصصان و شرکت‌های دانش‌بنیان کشور بومی‌سازی شده و چه بسا کارکرد بهتری نسبت به نمونه‌های مشابه خارجی دارند. لازم به ذکر است که طراحی و مدل‌سازی انواع مدل‌های چوبی، آلومینیومی، چدنی، آرالدیتی و ریژه با حضور کادر فنی و مجرب و استفاده از تجهیزات جدید و به‌روز در واحد مدل‌سازی شرکت انجام می‌شود. همچنین عملیات‌های ماشین‌کاری، برش‌کاری، تمیزکاری و عملیات حرارتی قطعات تولیدی در واحدهای ماشین‌کاری، شات بلاست و عملیات حرارتی مجموعه با رعایت دستورالعمل‌های فنی و استانداردهای موجود صورت می‌پذیرد.

در حال حاضر فعالان صنعت ریخته‌گری کشور با چه چالش‌های عمده‌ای روبه‌رو هستند؟

در سال ۱۳۷۵، گزارشی از عملکرد شرکت پاک برنز در یکی از روزنامه‌های دولتی با تیتر «انتقال صنایع مزاحم؛ رانده از شهر، مانده در بیابان» بدون هماهنگی و تایید مجموعه منتشر شد. این گزارش به هیچ وجه مورد تایید اینجانب نبود و ما اعتراض شدید خود را نسبت به این مسئله در حضور وزیر وقت صنعت کشور مطرح کردیم که البته با دخالت مستقیم شخص وزیر، سوءتفاهم‌های به وجود آمده رفع شد. ریخته‌گری، یک صنعت مادر است که بسیاری از قطعات مهم و پرکاربرد صنایع استراتژیکی مانند فولاد، خودروسازی، نفت، گاز و پتروشیمی، نظامی و... توسط فعالان این صنعت تولید می‌شود. یک مادر، هیچ‌گاه در حق فرزندان خود ظلم نمی‌کند و به عبارتی مزاحم آن‌ها نمی‌شود؛ بنابراین چطور ممکن است که ریخته‌گری به عنوان یک صنعت مادر، بخواهد مزاحمتی برای سایر صنایع ایجاد کند؟ در عین حال، یکی از مهم‌ترین چالش‌های فعالان این صنعت، مالیات بر ارزش افزوده است. عمده کارگاه‌های ریخته‌گری، ضایعات مورد نیاز خود را از انبارهای ضایعاتی و قراضه‌فروشان در سطح شهر خریداری کرده و هیچ فاکتور رسمی از آن‌ها دریافت نمی‌کنند؛ در حالی که تولیدکنندگان موظف به ارائه فاکتورهای رسمی در ازای هرگونه خرید و فروش مواد اولیه و محصول نهایی به سازمان امور مالیاتی کشور هستند. قطعی برق و گاز در روزهای مختلف سال، یکی دیگر از چالش‌های این صنعت است که البته حدود یک هفته پیش، قطعی برق کارگاه‌های ریخته‌گری در تابستان امسال به پایان رسید. با توجه به اینکه ما نیازمند برق کافی جهت استفاده از کوره‌های القایی و همچنین گاز فشار قوی برای پخت ماهیچه‌های ریخته‌گری هستیم، بنابراین معضل قطعی انرژی به شدت عملکرد مجموعه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین منظور از ژنراتور برق و کپسول گاز استفاده می‌کنیم که در این زمینه نیز با عدم تامین سوخت گازوئیل و همچنین نبود کپسول گاز طی دو تا سه ماه اخیر مواجه شده‌ایم.

واقعیت امر این است که یک ریخته‌گر باید تمام ذهنیت خود را متمرکز تولید قطعه باکیفیت کند؛ نه اینکه دائما به دنبال تامین برق و گاز و همچنین رفت‌وآمد در سازمان‌های امور مالیاتی، تامین اجتماعی و... باشد. در هیچ منطقه‌ای از جهان، قطعی برق و گاز واحدهای صنعتی را به بخش خانگی ترجیح نمی‌دهند؛ در حالی که متاسفانه در کشور ما به محض ناترازی برق و افزایش مصرف گاز، برق و گاز واحدهای صنعتی قطع می‌شود؛ اگرچه این معضل در دولت قبل کمتر بود و فشار کمتری به تولیدکنندگان وارد می‌شد اما متاسفانه دولت جدید، تامین انرژی مورد نیاز بخش خانگی را در اولویت قرار داده است. در این شرایط، تنها درخواست ما از دولت محترم این است که فعالان صنعت ریخته‌گری را به حال خود رها کند و چوب لای چرخ آن‌ها نگذارد. ما از سال ۱۳۸۱ به بعد، همواره به عنوان یکی از واحدهای برتر صنعتی کشور شناخته شده‌ایم و با کسب تجربیات لازم در این صنعت پس از گذشت ۳۸ سال و عشق و علاقه‌ای که به تولید پیدا کرده‌ایم، به خوبی می‌توانیم مسیر پیش روی خود را طی کنیم و نیازی به حمایت دولت و سازمان‌های ذی‌ربط نداریم.

رمز موفقیت شرکت پاک برنز در حدود چهار دهه فعالیت در صنعت ریخته‌گری کشور را چه می‌دانید؟

مدیریت هدفمند و دلسورانه و برنامه‌ریزی دقیق در راستای توسعه تولید در بلندمدت و همچنین به‌کارگیری نیروی انسانی متخصص، متعهد و باتجربه، از جمله عوامل موفقیت مجموعه طی این سال‌ها به شمار می‌آیند؛ ضمن اینکه ما تمام تلاش خود را برای افزایش تولید انواع محصولات باکیفیت و استاندارد به‌کار گرفته‌ایم و کیفیت بالا و قیمت مناسب، مهر تاییدی بر عملکرد موفق برند پاک برنز در بازارهای داخلی و صادراتی بوده است. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری و انجام انواع تست‌های لازم جهت بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات تولیدی، در آزمایشگاه مجهز شرکت انجام می‌شود. از طرفی، اقدامات قابل‌توجهی در راستای حفظ محیط زیست و کاهش آلایندگی انجام داده‌ایم که از جمله آن‌ها می‌توان به جایگزینی کوره‌های القایی با دوار و همچنین نصب فیلتر در تمامی واحدهای تولیدی شرکت اشاره کرد.

ارزیابی شما از وضعیت کنونی و آینده صنعت ریخته‌گری ایران در مقایسه با ترکیه و کشورهای حاشیه خلیج فارس چیست؟

توسعه بخش معدن و صنایع معدنی به ویژه فولاد در ایران، عقب‌ماندگی‌های موجود در سایر صنایع همچون ریخته‌گری را به خوبی جبران کرده و پیشرفت‌های قابل‌توجهی در صنعت ریخته‌گری کشور طی سالیان اخیر حاصل شده است. بنابراین می‌توان پیش‌بینی کرد که نیاز بخش‌های مختلف به این صنعت، در آینده به شدت افزایش پیدا خواهد کرد. با این وجود، نکته تاسف‌برانگیزی که در حال حاضر با آن مواجه هستیم، عدم سرمایه‌گذاری‌های جدید در صنعت ریخته‌گری است. به دلیل مشکلاتی که پیش‌تر اشاره شد، افراد انگیزه‌ای برای سرمایه‌گذاری در این صنعت ندارند و خود را درگیر موانع و معضلات موجود نمی‌کنند؛ در حالی که اگر این چالش‌ها و مشکلات با حمایت دولت و هم‌فکری و مشورت با فعالان بخش خصوصی رفع شود، به جرات می‌توان گفت ایران قابلیت قرار گرفتن در میان سه کشور برتر صنعت ریخته‌گری جهان را دارد. هم‌اکنون بسیاری از کارگاه‌های ریخته‌گری یا تعطیل شده و یا تغییر کاربری داده‌اند و متاسفانه نه تنها به شرکت‌های جدید در این بخش اضافه نمی‌شود بلکه شاهد کاهش روزافزون فعالان این صنعت هستیم. باز هم تکرار می‌کنم که ما هیچ انتظاری از دولت محترم نداریم و می‌توانیم بدون حمایت و دخالت سازمان‌های مربوطه به مسیر توسعه و پیشرفت خود ادامه دهیم.

پایگاه خبری تحلیلی فلزات آنلاین،مهر ۱۴۰۲

- فولاد اکسین؛ نگین درخشان تولید ورق‌های عریض فولادی در خاورمیانه/ رکوردشکنی در آماده‌به‌کاری خط تولید

صنعت فولاد در کشور با حضور شرکت‌های توانمند داخلی که از دانش و تکنولوژی منحصربه‌فردی در تولید انواع محصولات خاص بهره گرفته‌اند، توانسته است به موفقیت‌های قابل‌توجهی طی سال‌های اخیر دست یابد. یکی از این محصولات، ورق‌های عریض فولادی (API) جهت استفاده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است که تا حدود یک دهه قبل به کشور وارد می‌شد و پس از تشدید تحریم‌های ظالمانه، واردت آن نیز متوقف شد. با این وجود، تولید این محصول و سایر ورق‌های عریض خاص از سال ۱۳۸۸ در دستور کار شرکت فولاد اکسین خوزستان قرار گرفت و این شرکت بزرگ فولادی با به‌کارگیری نیروی انسانی متخصص و همچنین دستگاه‌ها و ماشین‌آلات روز تولید، کشور را از واردات ورق‌های عریض بی‌نیاز ساخت؛ اگرچه فولاد اکسین با تولید ۶۵۰ هزار تنی این محصول در سال گذشته، همچنان فاصله ۴۰۰ هزار تنی تا تحقق کامل ظرفیت اسمی تولید خود دارد اما رشد تولید در سال جاری را در دستور کار خود قرار داده و قرارداد فروش ۸۰۰ هزار تن انواع ورق‌های عریض فولادی را منعقد کرده است. با توجه به افزایش تولید در فولاد اکسین و دیگر شرکت بزرگ فولادی کشور یعنی فولاد خوزستان، می‌توان خوزستان را قطب صنعت فولاد کشور در آینده نامید. علاوه‌براین، شرکت فولاد اکسین خوزستان حضور چشمگیری در عرصه مسئولیت‌های اجتماعی داشته و با هدف پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، اقدامات گسترده‌ای در راستای محرومیت‌زدایی و اشتغال‌زایی پایدار در سطح استان خوزستان انجام داده است. در همین راستا، خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی با علی محمدی، مدیرعامل شرکت فولاد اکسین خوزستان تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

در خصوص اقدامات و رکوردشکنی‌های شرکت فولاد اکسین خوزستان در ۶ ماهه ابتدایی سال جاری توضیحاتی ارائه بفرمایید.

شرکت فولاد اکسین خوزستان، بزرگ‌ترین تولیدکننده ورق عریض فولادی در سطح خاورمیانه با ظرفیت تولید یک میلیون و ۵۰ هزار تن در سال به شمار می‌آید اما از آنجایی که مواد اولیه مورد نیاز توسط خود شرکت تامین نمی‌شود، در حال حاضر میزان تولید آن بالغ بر ۶۵۰ هزار تن است. با توجه به شعار سال ۱۴۰۲ مبنی بر رشد تولید و همچنین همکاری و هم‌دلی جهادی در فولاد اکسین، ما موفق به ثبت دو رکورد تولید در فروردین و اردیبهشت ماه امسال

شدیم؛ همچنین در۶ماهه ابتدایی سال جاری، با احتساب ۱۸ روز توقف ناشی از محدودیت برق خارج از سازمان، رکورد تناژ تولید واقعی اسلب در فولاد اکسین شکسته شد و تولید ۴۰۷ هزار و ۲۰۳ تن به ثبت رسید؛ در حالی که این میزان در مدت مشابه سال گذشته، ۳۳۸ هزار و ۹۸۹ تن بود که امسال بیش از ۶۸ هزار تن (۲۰/۱ درصد) افزایش یافت. در واقع ما با تولید بیش از ۴۰۷ هزار تن، موفق به ثبت بیشترین رکورد تولید طی دو سال اخیر شدیم. علاوه‌براین، بیشترین میزان تولید محصولات با ارزش افزوده بالا در پایان نیمه نخست سال جاری، ۱۶۹ هزار و ۵۵۰ تن بوده که در تاریخ شرکت فولاد اکسین بی‌سابقه است. همچنین ضمن به‌کارگیری نیروی انسانی متخصص و هم‌دلی و برنامه‌ریزی صحیح در سایر بخش‌های تولید، رکورد آماده‌به‌کاری خط تولید در مرداد ماه امسال شکسته شد و به ۹۷ درصد رسید؛ این در حالی است که میزان آماده‌به‌کاری عملیاتی بر اساس اسناد شرکت سازنده (دانیلی) ۷۹ درصد و بر اساس اهداف و استراتژی‌های تعیین شده شرکت در سال جاری، ۸۹.۷ درصد بوده که متخصصان جوان و پرتلاش فولاد اکسین توانستند با تلاش شبانه‌روزی و کنترل لحظه‌ای عملکرد تجهیزات، آماده‌به‌کاری عملیاتی را تا ۹۷ درصد افزایش دهند که این میزان بالاتر از استانداردهای جهانی است. یکی دیگر از اقدامات قابل توجه شرکت در این بازه زمانی، ثبت بهترین رکورد توقفات خط نورد در خرداد ماه به میزان ۳۴ ساعت و ۲۵ دقیقه بود که در این زمینه توانستیم بالاترین تعداد روز بدون توقف در شهریور ماه سال جاری که در تاریخ شرکت فولاد اکسین از زمان تاسیس تاکنون بی‌سابقه بوده است را ثبت و رکوردشکنی کنیم. همچنین در راستای سلامت خط تولید و به منظور نهایت بهره‌گیری از ساعات محدودیت مصرف انرژی، ۱۲ هزار و ۳۳۵ نفرساعت کار در سایر واحدهایی اجرایی در زمان اعمال محدودیت برق انجام شد. توسعه، عامل محرک و پیشرفت در شرکت‌های معدنی و فولادی و همچنین حضور موفق در بازارهای رقابتی محسوب می‌شود و در همین راستا، شرکت فولاد اکسین خوزستان اقدام به تکمیل زنجیره فولاد خود کرده است. عملیات احداث و راه‌اندازی پروژه فولادسازی که به دلیل عدم تامین بودجه لازم به تعویق افتاده بود، سرانجام با حمایت سهامداران مجموعه و هم‌زمان با سفر رئیس جمهور به استان خوزستان در اردیبهشت ماه سال جاری آغاز شد تا ضمن تکمیل زنجیره فولاد و اشتغال‌زایی مستقیم برای دو هزار نفر، زمینه تولید یک میلیون و ۲۰۰ هزار تن اسلب و یک میلیون و ۷۶۰ هزار تن آهن اسفنجی در یک بازه زمانی سه ساله فراهم شود. لازم به ذکر است که به دلیل انحصاری بودن محصولات فولاد اکسین، ما اولویت خود را تامین نیاز داخل قرار داده‌ایم و به همین علت ۹۰ درصد محصولات شرکت در داخل کشور عرضه شده و ۱۰ درصد باقیمانده به سه قاره مختلف صادر می‌شود. همچنین طی جلسات و رایزنی‌هایی که با سهامداران شرکت داشتیم، مقرر شد با نگاه توسعه‌ای و اشتغال‌زایی مستقیم یک هزار نفری در سایر شهرهای استان، کارخانه مخزن‌سازی در رامهرمز احداث شود که تا دو ماه آینده کلنگ این کارخانه به زمین زده خواهد شد و طی یک بازه زمانی دو ساله به بهره‌برداری خواهد رسید؛ ضمن اینکه در حاشیه بیست و هفتمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی که در اردیبهشت ماه امسال در تهران برگزار شد، بزرگ‌ترین قرارداد این نمایشگاه را با شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران به منظور تامین ۵۰۰ هزار تن ورق عریض به ارزش ۵۰۰ میلیون یورو منعقد کردیم تا با تکیه بر توان متخصصان داخلی و افزایش تولید این محصول، گام بلندی در راستای جلوگیری از خروج ارز از کشور برداریم. لازم به ذکر است که قرارداد پیشین ما با این شرکت، به میزان ۳۵۰ هزار تن ورق بود. در یک نگاه کلی، در تلاش هستیم تولید خود را به ۸۰۰ هزار تن در سال جاری (۱۵۰ هزار تن بیشتر از سال ۱۴۰۱) برسانیم و خوشبختانه قرارداد فروش این حجم از ورق عریض را نیز منعقد کرده‌ایم و امیدواریم رشد تولید و سودآوری مناسبی را در پایان امسال برای شرکت فولاد اکسین خوزستان و سهامداران خود به ثبت برسانیم.

در حال حاضر شرکت‌های بزرگ فولادی کشور با چه چالش‌های عمده‌ای مواجهند؟

تامین انرژی، مهم‌ترین چالش فعالان صنعت فولاد کشور به ویژه در استان خوزستان به شمار می‌آید و شرکت‌های فولادی با مشکل تامین برق در فصل تابستان و چالش تامین گاز در فصل زمستان روبه‌رو هستند. متاسفانه این معضل منجر به کاهش تولید و از دست رفتن فرصت‌های بسیاری شده است و میزان افت سالیانه تولید در فولاد اکسین خوزستان به دلیل عدم تامین انرژی، حدود ۱۰۰ هزار تن برآورد می‌شود. به منظور رفع این معضل، هماهنگی‌های لازم میان وزارتخانه‌های صمت و نیرو جهت احداث نیروگاه با کمک شرکت‌های بزرگ فولادی انجام شده است تا ضمن بهره‌برداری هرچه سریع‌تر از نیروگاه‌ها، میزان تولیدات از دست رفته در این شرکت‌ها نیز جبران شود. در حال حاضر مذاکرات اولیه جهت احداث دو نیروگاه ۵۰۰ مگاواتی برق توسط شرکت‌های فولاد خوزستان و فولاد اکسین

انجام شده که بلافاصله پس از تامین منابع مالی، وارد فاز مناقصه و اجرا خواهیم شد.

شرکت فولاد اکسین خوزستان چه اقداماتی در راستای حفظ و توسعه سرمایه‌های انسانی خود انجام داده است؟

ما معتقدیم که امروزه مزیت رقابتی شرکت‌ها نه در تجهیزات و ماشین‌آلات بلکه در نیروی انسانی باانگیزه و فعال آن‌هاست زیرا هرچقدر نیروی انسانی شاغل در یک شرکت فولادی توانمند و متعهد باشد، توان رقابت، میزان تولید و همچنین بهره‌وری به همان اندازه افزایش خواهد یافت. مزیت رقابتی شرکت فولاد اکسین خوزستان نسبت به سایر شرکت‌ها، همان سرمایه انسانی مجموعه بوده و نیروی انسانی فعال در کلیه واحدهای مجموعه جوان، خوش‌فکر، متخصص و خلاق هستند. خوشبختانه برنامه‌ریزی‌های مناسب و یک بازنگری اساسی در ساختار منابع انسانی فولاد اکسین انجام شده و تبدیل وضعیت پرسنل باسابقه و ایثارگران شرکت در دستور کار قرار گرفته است. تشکیل تعاونی مسکن کارکنان، اقدام دیگری است که در این حوزه انجام داده‌ایم تا از این طریق، تامین مسکن به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی نیروی انسانی شرکت را رفع کنیم. تامین مسکن کارگران و کارکنان، همواره مورد تاکید مقام معظم رهبری و همچنین ریاست جمهوری بوده است و در همین راستا، تفاهم‌نامه‌ای با وزارت راه و شهرسازی جهت ساخت یک هزار و ۵۰۰ واحد مسکونی منعقد کردیم تا برای تمامی پرسنل شرکت فولاد اکسین اعم از رسمی، قراردادی و پیمانی، در یک بازه زمانی مشخص شده مسکن ساخته شود. بومی‌گزینی، از دیگر اقدامات ما در این حوزه است و به دنبال جذب و استخدام نیروی انسانی شایسته و جوان بومی استان خوزستان جهت اشتغال در پروژه‌های توسعه‌ای شرکت هستیم. آثار و نتایج حاصل از شایسته‌گزینی و جانشین‌پروری در آینده مشخص می‌شود و بی‌شک این مسئله اشتغال پایدار و رونق معیشت جامعه کارگری در سطح شرکت و همچنین استان خوزستان را به همراه خواهد داشت.

دیدگاه شما نسبت به پیوند بین دانشگاه و صنعت و همچنین حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان چیست؟

ارتباط موثر و پایدار صنعت و دانشگاه، یکی از برنامه‌های شرکت فولاد اکسین خورستان است و به جرات می‌توان گفت که ما نخستین شرکت فولادی هستیم که در سال ۱۴۰۱، مجوز دانش‌بنیان شدن را از معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری دریافت کردیم و ارتباط بسیار مناسبی با دانشگاه‌ها، شرکت‌های دانش‌بنیان، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی داریم. بومی‌سازی، یکی از اهداف مهم در فولاد اکسین به شمار می‌آید و قرارداد بومی‌سازی برخی قطعات و تجهیزات مورد نیاز صنعت فولاد، با تعدادی از شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی منعقد شده است. در راستای تعامل بیشتر و باکیفیت‌تر با اساتید و دانشجویان علاقه‌مند به صنعت فولاد و همچنین به‌کارگیری دانشجویان نخبه و با استعداد در شرکت، یک پایگاه فولاد در دانشگاه شهید چمران اهواز افتتاح کرده‌ایم و به دنبال آن هستیم که این اقدام را در آینده نزدیک در سطح ملی گسترش دهیم.

شرکت فولاد اکسین خوزستان چه اقداماتی در راستای ایفای مسئولیت‌های اجتماعی انجام داده است؟

خوزستان سرزمین فرصت‌هاست اما باید این واقعیت را بپذیریم که ما فرصت‌های بسیاری را در صنایع مختلف اعم از نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد و... در سطح استان از دست داده‌ایم؛ شان و جایگاه استان خوزستان با حضور شرکت‌های بزرگی همچون فولاد اکسین ، بسیار بالاتر از آن چیزی است که هم‌اکنون شاهد آن هستیم. بنابراین شرکت‌ها باید نسبت به وظایف خود در حوزه مسئولیت‌های اجتماعی عمل کنند و فولاد اکسین نیز با هدف پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سطح استان شهیدپرور خوزستان، همواره اجرای این مهم را در دستور کار خود قرار داده است. از جمله اقدامات شرکت در حوزه مسئولیت‌های اجتماعی، می‌توان به تامین و تحویل دو هزار تن ورق برای ساخت پل عنافچه در شهرستان باوی به عنوان یکی از مطالبات اصلی مردم منطقه، اجرای برنامه‌های فرهنگی و توزیع بسته‌های معیشتی در مناطق محروم، اعزام تیم‌های پزشکی در چهار نوبت به مناطق کم‌برخوردار و ویزیت و درمان بیش از دو هزار نفر به همراه تامین داروهای مورد نیاز در سطح استان اشاره کرد. یکی دیگر از اقداماتی که در راستای ایفای مسئولیت‌های اجتماعی از ابتدای امسال آغاز کرده‌ایم، راه‌اندازی قرارگاه محرومیت‌زدایی در سطح استان بوده که در سه حوزه عمران و آبادانی، فرهنگی و پزشکی فعالیت می‌کند و اقدامات مثبتی نیز تا به امروز انجام شده است. در ارتباط با گمانه‌زنی‌ها پیرامون واگذاری فولاد اکسین به شرکت فولاد خوزستان توضیحاتی ارائه بفرمایید.

اگرچه فولاد اکسین به نوعی فرزند فولاد خوزستان محسوب می‌شود اما شکل فعالیت و سودآوری فولاد اکسین به حدی رسیده و آنقدر بزرگ و مستقل شده است که بتواند مدیریت بسیاری از شرکت‌ها و حتی افرادی که مدعی تصاحب شرکت هستند را بر عهده بگیرد. در حال حاضر خوشبختانه تعامل بسیار خوبی میان دو شرکت فولاد

اکسین و فولاد خوزستان که بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده شمش فولادی در کشور است، حاصل شده که جای بسی تشکر و قدردانی از مدیرعامل شرکت فولاد خوزستان دارد اما باید تاکید کنم که با توجه به سازوکارهای موجود، شرکت فولاد اکسین به هیچ شرکتی واگذار نخواهد شد و شرکت‌های فولاد خوزستان و فولاد اکسین، تابع دستورات نهادهای بالادستی با هدف حفظ منافع ملی هستند. در حال حاضر منافع ملی در این است که این دو شرکت بزرگ فولادی، به صورت مستقل فعالیت کنند و شاید ادغام آن‌ها در آینده در راستای حفظ و توسعه منافع ملی صورت پذیرد. با این اوضاف، شرکت فولاد اکسین با تمام توان و با نگاه خدمت‌رسانی به مردم شریف و محترم استان خوزستان به تولید خود ادامه می‌دهد. ما معتقدیم که استان خوزستان، مستعد تبدیل شدن به قطب بزرگ فولادی در کشور است و مردم خوزستان اطمینان داشته باشند که نه تنها فولاد اکسین بلکه هیچ شرکت فولادی از این استان خارج نخواهد شد.

چه چشم‌اندازی برای شرکت فولاد اکسین خوزستان و همچنین آینده صنعت فولاد کشور متصور هستید؟

وزارت صنعت، معدن و تجارت به عنوان سیاست‌گذار صنعت فولاد در کشور، تولید ۵۵ میلیون تن فولاد در افق ۱۴۰۴ را پیش‌بینی کرده است. در همین راستا، ضرورت دارد چالش‌های موجود در صنعت فولاد به ویژه تامین انرژی و تامین مواد اولیه رفع شود و تمامی بخش‌ها و شرکت‌های فولادی ۱۰۰ درصد تلاش خود را در راستای رشد تولید و تحقق این مهم به‌کار گیرند. شرکت فولاد اکسین خوزستان نیز به نوبه خود، همواره در تعامل سازنده با وزارت صمت بوده است و از کلیه امکانات موجود در راستای رشد تولید و اشتغال‌زایی پایدار در سطح استان خوزستان استفاده خواهد کرد.

- تامین انرژی و بخشنامه‌های خلق‌الساعه؛ دو ابرچالش صنعت فولاد

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل‌توجهی که در صنعت فولاد کشور طی سالیان اخیر حاصل شده است، تولیدکنندگان فولاد با چالش‌ها و موانع مختلفی مواجه بوده‌اند که ادامه روند روبه‌رشد آن‌ها در راستای تحقق تولید ۵۵ میلیون تن فولاد در افق ۱۴۰۴ را با اما و اگرهایی همراه کرده است. در حالی که فعالان این صنعت طی برگزاری جلسات و نشست‌های گوناگون با مسئولان دولتی، دائما بر لزوم رفع این معضلات تاکید کرده‌اند اما تا به امروز نه تنها نتیجه مطلوب حاصل نشده بلکه بر مشکلات صنعت فولاد نیز اضافه شده است. افزایش بی‌رویه قیمت حامل‌های انرژی، وضع بخشنامه‌ها و دستورالعمل‌های خلق‌الساعه، عدم توازن در زنجیره فولاد و قیمت‌گذاری دستوری در بورس، از جمله چالش‌هایی به شمار می‌آیند که مسیر توسعه و پیشرفت صنعت فولاد کشور را ناهموار ساخته و فعالان این صنعت، متفق‌القول بر ضرورت حمایت دولت و همکاری بیشتر با فعالان بخش خصوصی در راستای رفع این معضلات تاکید دارند. در همین راستا، خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی با مدیرعامل گروه فولادی البرز غرب تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

توضیحاتی در خصوص تاریخچه و زمینه فعالیت گروه فولادی البرز غرب ارائه بفرمایید.

گروه فولادی البرز غرب پیش از ورود به عرصه تولید، فعالیت خود را تحت عنوان شرکت مهندسی نیرو سیستم سترگان در زمینه احداث و راه‌اندازی پروژه‌های عمرانی، صنعتی، برق فشار قوی و نیروگاه‌ها در سال ۱۳۷۴ آغاز کرد. این شرکت هم‌اکنون با بهره‌گیری از کامل‌ترین تجهیزات ساختمانی مانند بچینگ بتون، سیلو سیمان، ماشین‌آلات ساختمانی و... به عنوان بازوی اجرایی و عمرانی پروژه‌های گروه فولادی البرز غرب در حال فعالیت است و یک سری پروژه‌های عمرانی و ساختمانی در برخی شهرهای کشور از جمله تهران در دست اجرا دارد. در سال ۱۳۸۲، این گروه فولادی با عنوان ذوب آهن البرز غرب و مجتمع فولاد البرز غرب، پای در عرصه تولید نهاد و در سال ۱۳۸۷، واحد فولادسازی ذوب آهن البرز غرب و در سال ۱۳۸۹، واحد نورد مجتمع فولاد البرز غرب راه‌اندازی شدند. در سال ۱۳۹۸، مجتمع فولاد البرز ناب آرش در قالب یک طرح توسعه‌ای با هدف تولید یک میلیون تن شمش فولادی احداث و راه‌اندازی شد. با توجه به استراتژی گروه در راستای تکمیل زنجیره فولاد، در سال ۱۳۹۴ معدن سنگ‌آهن ذاکر در استان زنجان، خریداری و شرکت آذر سنگ رستگار با هدف استخراج و تولید سنگ‌آهن دانه‌بندی مگنتیتی راه‌اندازی شد. همچنین طرح تولید ۲۰۰ هزار تن انواع فروآلیاژها در فاز نخست شرکت گروه فولادی پاک البرز ایرانیان در دستور کار قرار دارد و در فاز دوم، واحدهای تولید کنسانتره، گندله و آهن اسفنجی در زمینی به وسعت ۵۰۰ هکتار در استان زنجان راه‌اندازی خواهند شد. اولویت ما در این بخش، راه‌اندازی واحد احیا مستقیم است و در تلاش هستیم هرچه زودتر تولید آهن اسفنجی با هدف تامین نیاز مجموعه و همچنین سایر تولیدکنندگان استان

را آغاز کنیم. در حال حاضر ظرفیت تولید انواع شمش فولادی گروه فولادی البرز غرب و مجتمع فولاد البرز ناب آرش، به یک میلیون و ۵۰۰ هزار تن و ظرفیت تولید انواع مقاطع فولادی، به حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ هزار تن در سال رسیده است. هم‌اکنون حدود دو هزار نفر به طور مستقیم در گروه فولادی البرز غرب مشغول فعالیت هستند و اشتغال‌زایی پایدار و به‌کارگیری کارشناسان و متخصصان جوان و باتجربه در تمامی کارخانجات مجموعه و همچنین معدن را در دستور کار قرار داده‌ایم.

گروه فولادی البرز غرب چه تمهیداتی در راستای تامین پایدار انرژی و آب مورد نیاز کارخانجات خود اندیشیده است؟

با توجه به اینکه شرکت مهندسی نیرو سیستم سترگان از سال‌ها قبل در تعامل و همکاری مستمر با وزارت نیرو بوده و شناخت کافی از مجموعه و همچنین مدیران آن طی این مدت حاصل شده است، مجوز احداث نیروگاه برق با ظرفیت تولید ۵۰۰ مگاوات برای گروه فولادی البرز غرب صادر شده و اقدامات زیرساختی آن در حال انجام است. همچنین به منظور تسریع در عملیات‌های اجرایی، مذاکراتی با شرکت‌های مطرح کشور در این حوزه همچون مپنا انجام داده‌ایم و امیدواریم هرچه زودتر این نیروگاه را احداث و راه‌اندازی کنیم. همچنین به دنبال احداث نیروگاه خورشیدی در زمینی به وسعت ۲۰۰ هکتار در غرب استان زنجان هستیم که در فاز نخست آن، تولید ۷۰ مگاوات برق هدف‌گذاری شده است. در راستای تامین پایدار آب، نسبت به خرید کل فاضلاب شهرستان ابهر اقدام کرده‌ایم و امیدواریم طی یک سال آینده، علاوه بر تامین ۱۰۰ درصدی آب مورد نیاز گروه فولادی البرز غرب، بخشی از آب مورد نیاز سایر کارخانجات منطقه نیز از این طریق تامین شود.

در حال حاضر فعالان صنعت فولاد کشور با چه چالش‌ها و موانعی مواجهند و راهکارهای پیشنهادی شما جهت رفع آن‌ها چیست؟

نبود برنامه‌ریزی هدفمند و همچنین عدم تصمیم‌گیری‌های صحیح و کارشناسانه، مهم‌ترین معضلی است که در بخش معدن و صنایع معدنی کشور به ویژه فولاد با آن روبه‌رو هستیم. وضع دستورالعمل‌ها و بخشنامه‌های خلق‌الساعه، از دیگر معضلاتی است که بارها توسط فعالان صنعت فولاد کشور نسبت به آن هشدار داده شده اما متاسفانه همچنان این معضل به ویژه در حوزه صادرات ادامه یافته است. متاسفانه دولت ما آینده‌نگر نیست و عدم برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری در بلندمدت، امکان رقابت در بازارهای صادراتی را از تولیدکنندگان داخلی سلب کرده است. در حال حاضر به طور متوسط ۱۸ تا ۲۰ میلیون تن فولاد در کشور، مصرف و حدود ۳۰ میلیون تن فولاد خام توسط فعالان این صنعت تولید می‌شود. در این شرایط، چاره‌ای جز صادرات مازاد نیاز داخل وجود ندارد و دولت باید ضمن حمایت از تولیدکنندگان، شرایط صادرات انواع محصولات فولادی و رقابت در بازارهای منطقه‌ای و جهانی را فراهم کند اما متاسفانه وضع بخشنامه‌های خلق‌الساعه و غیرکارشناسی در این حوزه، منجر به از دست دادن بازارهای صادراتی طی ماه‌های اخیر شده است. برای مثال، قیمت فولاد هم‌زمان با آغاز جنگ روسیه و اوکراین در بازارهای جهانی، حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ دلار به ازای هر تن افزایش یافت و این فرصت مناسبی بود تا تولیدکنندگان داخلی بتوانند ضمن عرضه محصولات خود در بازارهای صادراتی، به سود و ارزآوری قابل‌توجهی دست پیدا کنند اما وضع عوارض صادراتی توسط دولت در آن زمان، نه تنها منجر به افت صادرات بلکه از دست دادن بازار کشورهایی همچون عراق شد. حال این سوال مطرح می‌شود که مگر سود حاصل از فروش شمش فولادی چقدر است که دولت در آن مقطع زمانی، عوارض ۱۷ درصدی برای صادرات آن در نظر گرفت؟ دولت در اوایل تیر ماه سال جاری نیز عوارض صادراتی شمش فولادی را از ۰/۵ به ۲ درصد (چهار برابر) افزایش داد و پس از گذشت کمتر از یک ماه آن را لغو کرد. واقعا مشخص نیست که دولت بر اساس چه منطق و اصولی، نسبت به وضع و لغو چنین بخشنامه‌هایی اقدام می‌کند و باز هم تاکید می‌کنم که متاسفانه دولت ما، دولت پاسخگویی نیست.

افزایش ۹ برابری قیمت برق و بیش از ۳۰ برابری قیمت گاز صنایع فولادی طی دو تا سه سال گذشته، به همراه قطعی سه تا چهار ماهه برق در فصل تابستان و دو تا سه ماهه گاز در فصل زمستان، نفس فعالان این صنعت را به شماره انداخته است. تولید ما عملا در حدود ۶ ماه از سال به دلیل قطعی برق و گاز متوقف می‌شود و در حالی که میزان مصرف برق و گاز در بخش خانگی و سایر صنایع به مراتب بیشتر از فولاد است، دولت باز هم به دنبال قطع کردن برق و گاز واحدهای فولادی در روزهای مختلف سال است. می‌توان گفت که اگر دولت چاره‌ای در خصوص رفع این معضل نیاندیشد، بدون شک صنعت فولاد در آینده با مشکلات بیشتری روبه‌رو خواهد شد. حدود دو سال قبل، دولت در حالی اقدام به افزایش قیمت برق صنایع فولادی کرد که تا پایان شهریور ماه ۱۴۰۰، هیچ بخشنامه و یا دستورالعملی در این زمینه ابلاغ نشده بود و هزینه برق مصرفی کارخانجات با همان تعرفه سال ۱۳۹۹ محاسبه می‌شد اما در پایان نیمه نخست سال ۱۴۰۰، قیمت برق به یک‌باره حدود

پنج تا ۶ برابر افزایش یافت و اعلام شد که این افزایش هزینه، از ابتدای سال ۱۴۰۰ در قبوض برق واحدهای فولادی محاسبه خواهد شد؛ این در حالی بود که ما هزینه برق مصرفی ۶ ماهه خود را پرداخت کرده بودیم! از سوی دیگر، متاسفانه دولت و وزارتخانه‌های مرتبط با صنعت مانند نیرو، پای‌بند به توافقات صورت گرفته با تولیدکنندگان نیستند. برای مثال، یک تولیدکننده اقدام به خرید دیماند (انشعاب برق) در چهار تا پنج سال گذشته کرده است. در همین راستا، دولت به تازگی قانونی را وضع کرده مبنی بر اینکه علاوه بر دیماند خریداری شده، تولیدکننده موظف به اخذ گواهی ظرفیت انرژی از تالار بورس انرژی است. از طرفی، هزینه اخذ گواهی ظرفیت یک مگاوات برق، در حدود هشت میلیارد تومان است. حال یک تولیدکننده در شرایط دشوار تحریمی و رکود شدید اقتصادی، چگونه می‌تواند چنین هزینه هنگفتی را بابت خرید دیماند بپردازد؟

مجوز ساخت نیروگاه گروه فولادی البرز غرب حدود یک سال و نیم قبل صادر شده اما کماکان کمیته سوخت، تضمین تامین سوخت مورد نیاز ما را صادر نکرده است. این موضوع تقریبا در تمامی جلسات مشترک با وزارتخانه‌های نیرو و نفت توسط تولیدکنندگان اعلام شده اما متاسفانه در کمال خونسردی مسئولان ذی‌ربط، شاهد عدم همکاری و نبود برنامه مشخص در این زمینه هستیم. باید توجه داشت شرکت‌های بزرگ فولادی که عمدتا نیز خصولتی بوده و از زنجیره کامل تولید فولاد برخوردارند، دغدغه و نگرانی چندانی برای تولید و فروش انواع محصولات خود اعم از گندله، آهن اسفنجی و ... ندارند اما شرکت‌های کوچک‌مقیاس فولادی که کاملا با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی راه‌اندازی شده‌اند و در یک یا نهایتا دو

بخش از زنجیره فولاد در حال فعالیت هستند، با انبوهی از مشکلات مواجهند که افزایش قیمت حامل‌های انرژی، یکی از آن‌هاست و به هیچ وجه نمی‌توان شرایط تولید در این واحدها را با شرکت‌های خصولتی مقایسه کرد.

به عنوان یکی از بزرگ‌ترین گروه‌های فولادی در کشور، نحوه قیمت‌گذاری در زنجیره فولاد را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

یکی دیگر از چالش‌های فعالان این صنعت، عدم توازن در زنجیره فولاد و قیمت‌گذاری دستوری در بورس کالای ایران است. دولت بارها و بارها طی سه تا چهار سال اخیر، در قیمت‌گذاری محصولات فولادی دخالت کرده و شرکت‌ها را موظف به عرضه تمامی محصولات خود در این تالار صنعتی کرده است. عرضه محصولات فولادی در بورس، در عمل اقدام مناسبی است اما باید توجه داشت که بورس، محل کشف قیمت است؛ نه محل دستور و تحکم! در سراسر جهان، ۵ تا ۱۰ درصد انواع محصولات جهت کشف کیفیت در بورس عرضه می‌شوند اما تولیدکنندگان داخلی، موظف به عرضه ۱۰۰ درصدی محصولات خود در این تالار صنعتی هستند. اگر ما کل تولیدات خود را در بورس عرضه می‌کنیم، در مقابل باید بتوانیم بخش عمده‌ای از مواد اولیه مورد نیاز خود را هم از این محل تامین کنیم که این مسئله نیز در حال حاضر به یکی دیگر از چالش‌های بزرگ تولیدکنندگان تبدیل شده است! باید توجه داشت که قیمت‌گذاری دستوری، آسیب جدی به شرکت‌های کوچک‌مقیاس فولادی و به ویژه تولیدکنندگان مقاطع نوردی وارد کرده و منجر به زیان‌دهی و تعطیلی بسیاری از این واحدها شده است. این در حالی است که صنعت فولاد، یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی در کشورها به شمار می‌آید و حمایت از فعالان این صنعت باید بیش از پیش در دستور کار دولت قرار بگیرد و زیرساخت‌های مورد نیاز راه‌اندازی واحدهای جدید فولادی فراهم شود. در دنیای امروز، سرانه مصرف فولاد به عنوان یکی از فاکتورهای صنعتی شدن کشورها محسوب می‌شود؛ برای مثال، سرانه سالیانه مصرف فولاد در ایران، حدود ۲۰۰ کیلوگرم و در کره‌جنوبی، حدود یک هزار و ۱۰۰ کیلوگرم است. در عین حال، کره‌جنوبی به پیشرفت صنعتی قابل‌توجهی طی سالیان اخیر دست یافته و به یکی از قطب‌های صنعت خودروسازی (به عنوان یکی از صنایع اصلی مصرف‌کننده فولاد) در دنیا تبدیل شده است. بنابراین می‌توان گفت علی‌رغم ارزآوری قابل‌توجه صنعت فولاد برای کشور و همچنین قرار گرفتن ایران در میان ۱۰ تولیدکننده برتر فولاد جهان، اگر چالش‌های موجود در این صنعت توسط دولت و سازمان‌های ذی‌ربط رفع نشود، در آینده مشکلات فراوانی پیش روی تولیدکنندگان فولاد کشور قرار خواهد گرفت.

چه چشم‌اندازی برای گروه فولادی البرز غرب متصور هستید و آیا طرح توسعه خاصی در دست اقدام دارید؟

سایه سنگین تحریم بر صنعت کشور، شرایط اجرای طرح‌های توسعه‌ای در شرکت‌های فولادی را بیش از پیش دشوار کرده و هزینه‌های تولید را به شدت افزایش داده است. از طرفی، متاسفانه بانک‌ها و موسسات مالی نیز همکاری‌های لازم با تولیدکنندگان در راستای اعطای تسهیلات حمایتی جهت اجرای طرح‌های توسعه‌ای را به عمل نمی‌آورند و تامین سرمایه در گردش، به یکی دیگر از معضلات کنونی شرکت‌های فولادی تبدیل شده است. ما باید این واقعیت را بپذیریم که تحریم، ادامه فعالیت در تمامی بخش‌ها به ویژه

معدن و صنایع معدنی را سخت کرده است و در این شرایط، دولت باید حمایت خود از فعالان این بخش را افزایش دهد. توسعه و رشد تولید ملی، فاکتور اصلی اقتدار در یک کشور است اما در حال حاضر شرایط تولید در کشور ما به سمتی پیش رفته که نقش واسطه‌ها، پررنگ‌تر از تولیدکنندگان واقعی شده است. در پایان باید تاکید کرد که تحقق تولید ۵۵ میلیون تن فولاد در افق ۱۴۰۴، با توجه به تولید حدود ۳۰ میلیون تنی و همچنین ظرفیت نصب شده ۴۵ میلیون تنی فولاد دور از دسترس نیست؛ به شرط آنکه دولت در زمینه قیمت‌گذاری زنجیره فولاد و همچنین وضع بخشنامه‌ها و دستورالعمل‌های مختلف به ویژه در حوزه صادرات، مشورت‌های لازم و سازنده با تولیدکنندگان بخش خصوصی و همچنین انجمن‌ها و تشکل‌های تخصصی در این حوزه را داشته باشد و از تصمیم‌گیری‌های آنی، زودگذر و غیرکارشناسانه بپرهیزد؛ ضمن اینکه دولت و وزارتخانه‌های مختلف به ویژه نیرو باید از سختگیری‌های خود در زمینه قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی بکاهند. در حال حاضر اگر پرداخت قبوض انرژی با تاخیر مواجه شود، نزدیک به ۴۰ درصد جریمه دیرکرد (سود مرکب) برای تولیدکنندگان در نظر گرفته می‌شود؛ ما شکایت خود را در دیوان عدالت اداری نسبت به این معضل ثبت کرده‌ایم و امیدواریم به نتیجه مطلوب دست پیدا کنیم.

پایگاه خبری تحلیلی فلزات آنلاین،مهر ۱۴۰۲

همایش ها و نمایشگاه های داخلی در سال ۱۴۰۲		
ردیف	عنوان	تاریخ و محل برگزاری
۱	نمایشگاه بین المللی ایران متافو	۳ الی ۶ آذر ۱۴۰۲
۲	دوازدهمین سمینار مشترک بین المللی انجمن علمی ریخته گری ایران و انجمن مواد و متالورژی ایران با همکاری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی(Imat2023)	۷ الی ۸ آذر ۱۴۰۲

جهت کسب اطلاعات بیشتر به سایت irfs.ir مراجعه نمایید.

اخبار جهان

- توسعه صادرات لوله و پروفیل فولادی به قاره سیاه/ به‌کارگیری انرژی‌های پاک در سپنتا

با توجه به قدمت بالای صنعت لوله و پروفیل فولادی در کشور و همچنین به‌کارگیری تکنولوژی روز و ماشین‌آلات جدید در برخی کارخانجات، این صنعت با پیشرفت قابل‌توجهی طی سالیان اخیر همراه بوده است و انواع لوله و پروفیل باکیفیت و استاندارد ساختمانی، صنعتی و... در اشکال و ابعاد مختلف تولید شده و در بازارهای داخلی و صادراتی عرضه می‌شود. با این وجود، فعالان این صنعت با برخی چالش‌ها و موانع همچون عدم توازن در عرضه و تقاضای مواد اولیه و وضع دستورالعمل‌ها و بخشنامه‌های خلق‌الساعه صادراتی مواجهند که منجر به کاهش شتاب توسعه و پیشرفت در مسیر روبه‌رشد آن‌ها شده است؛ در حالی که مدیریت عرضه مواد اولیه در تالار صنعتی بورس و همچنین وضع قوانین کارشناسانه در حوزه صادرات، می‌تواند منجر به رشد تولید و در ادامه توسعه صادرات و ارزآوری بیشتر برای کشور شود. در همین راستا، خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی با افشین فرشیدفر، مدیرعامل گروه صنعتی سپنتا تدارک دیده است که متن کامل آن را در ادامه خواهید خواند:

در ابتدا توضیحاتی در خصوص تاریخچه و محصولات گروه صنعتی سپنتا ارائه بفرمایید.

گروه صنعتی سپنتا همگام با نخستین پیشگامان صنعت کشور در سال ۱۳۳۷ تاسیس شد و با احداث کارخانه تهران تا قبل از رسیدن به دهه ۴۰، خود را به عنوان اولین تولیدکننده لوله و پروفیل فولادی در سطح کشور مطرح کرد. این گروه صنعتی در ادامه با توجه به شرایط و نیاز بازار، اقدام به توسعه و احداث سایر کارخانه‌های مجموعه در شهرهای اهواز و مرند کرد تا با افزایش ظرفیت تولید تا سقف ۵۰۰ هزار تن در سال، خود را در راس هرم صنایع تبدیلی فولاد کشور قرار دهد. سبد محصولات متنوع گروه صنعتی سپنتا شامل انواع لوله‌های گالوانیزه (لوله گالوانیزه با استاندارد ۳۷۶۵، کاندوئیت و قوطی گالوانیزه گلخانه‌ای)، لوله‌های گازی (لوله گاز خانگی با استانداردهای ۳۳۶۰ و ۳۵۷۴، لوله گاز شبکه با استاندارد (IGS)، لوله‌های سیاه (لوله مبلی و لوله سیاه با استاندارد ۳۵۶۵)، لوله آتش‌نشانی، لوله و اتصالات پلیمری و قوطی و پروفیل‌های سفارشی است که با به‌کارگیری نیروی انسانی جوان و متخصص و بر اساس استانداردهای روز ملی و بین‌المللی تولید می‌شوند. همچنین ساخت انواع ماشین‌آلات مورد نیاز در صنعت لوله و پروفیل فولادی، از دیگر اقدامات گروه صنعتی سپنتا طی سالیان اخیر بوده است.

مشتریان محصولات شما چه صنایعی هستند و چه خدماتی در حوزه فروش و پس از فروش در نظر گرفته‌اید؟

با توجه به تنوع فوق‌العاده سبد محصولات گروه صنعتی سپنتا، صنایع مختلفی جزو مشتریان دائمی ما قرار دارند که از جمله می‌توان به ساختمان‌سازی، صنایع بالادستی و پایین‌دستی نفت و گاز و همچنین تولیدکنندگان داخلی و خارجی لوله و پروفیل اشاره کرد؛ ضمن اینکه خدمات پس از فروش محصولات گروه صنعتی سپنتا مطابق با قوانین حاکم بر تجارت و استانداردهای سفارش و خرید، شامل کلیه مشتریان مجموعه می‌شود. ما همواره به دنبال افزایش روزافزون کیفیت محصولات خود طی ۶۰ سال فعالیت در این عرصه بوده‌ایم و رضایت مشتریان و ارائه خدمات مطلوب فروش و پس از فروش را جزو برنامه‌های همیشگی خود در نظر گرفته‌ایم.

وجه تمایز گروه صنعتی سپنتا نسبت به سایر شرکت‌های فعال در صنعت لوله و پروفیل فولادی کشور چیست؟

آنچه گروه صنعتی سپنتا را به عنوان پیشکسوت صنعت لوله و پروفیل فولادی کشور از سایر فعالان این حوزه متمایز کرده، بهره‌مندی از پشتوانه ۶۰ سال اعتماد ارزشمند مشتریان است. ما معتقدیم آن چیزی که به نشان تجاری «SEPANTA» شخصیت و هویت می‌دهد، اعتمادی است که در گذر زمان و زیر سایه اولویت‌بخشی

به کیفیت محصولات به دست آمده و همچنان بخش جدایی‌ناپذیر برنامه‌ها و استراتژی‌های مجموعه است. در همین راستا، انواع محصولات بر پایه استانداردهای مختلف اعم از استاندارد مدیریت زیست‌محیطی (IS۰۱۴۰۰۱:۲۰۱۵)، استاندارد الزامات کیفی جوشکاری (ISO۳۸۳۴-۲:۲۰۰۵) و استاندارد بین‌المللی سیستم‌های مدیریت کیفیت تولید می‌شوند.

در حال حاضر فعالان صنعت لوله و پروفیل فولادی در کشور با چه چالش‌هایی مواجهند و راهکارهای پیشنهادی شما جهت رفع این معضلات چیست؟

مهم‌ترین چالش فعالان صنعت لوله و پروفیل فولادی و پلیمری کشور، تامین مواد اولیه است؛ معضلی که تا پیش از آغاز فعالیت بورس کالا و عرضه مواد اولیه در این تالار صنعتی کمتر دیده می‌شد اما در حال حاضر عدم توازن میان عرضه و تقاضا، منجر به اخلال در تخمین قیمت فروش محصولات به ویژه محصولاتی که به صورت اعتباری و شرکت در مناقصه‌ها به فروش می‌رسند، شده است. در همین راستا و به منظور رفع این چالش، راهکارهای فراوانی از سوی فعالان صنعت لوله و پروفیل ارائه شده که متاسفانه هیچ گاه جامه عمل به آن‌ها پوشانده نشده است؛ در حالی که اگر توازن میان عرضه و تقاضای مواد اولیه در تالار صنعتی بورس برقرار شود، بدون شک تولید محصولات نهایی همچون لوله و پروفیل و فروش آن در بازارهای داخلی و صادراتی، با سودآوری قابل‌توجهی برای کشور همراه خواهد بود. واقعیت امر این است که تولیدکنندگان بخش خصوصی انتظار چندانی از دولت ندارند و همین که قانون‌گذار چوب لای چرخ تولیدکنندگان نگذارد، بهترین حمایتی است که می‌توان از تولید کرد.

استراتژی گروه صنعتی سپنتا جهت حضور در بازارهای منطقه‌ای و بین‌المللی چیست؟

با توجه به مشکلات موجود در حوزه صادرات کشور که از جمله آن‌ها می‌توان به رفع تعهد ارزی اشاره کرد، حدود ۸۰ درصد محصولات گروه صنعتی سپنتا در بازار داخلی و ۲۰ درصد باقی‌مانده در بازارهای صادراتی عرضه می‌شود؛ در حالی که اگر این موانع صادراتی رفع شوند، ما می‌توانیم حداقل ۴۰ درصد محصولات تولیدی خود را روانه بازارهای خارجی کنیم. عراق، افغانستان، ارمنستان و کشورهای آسیای میانه، جزو بازارهای هدف صادراتی مجموعه هستند؛ ضمن اینکه پس از زلزله مخرب ترکیه و نیاز مبرم به لوله و پروفیل فولادی در صنعت ساختمان‌سازی، این کشور نیز به بازارهای هدف ما اضافه شده است. همچنین به دنبال سرمایه‌گذاری کشورهای آفریقایی همچون کنیا، توسعه صادرات به این قاره نیز در دستور کار قرار دارد. البته باید توجه داشت که توسعه تجارت خارجی، در گرو روابط سیاسی موجود بین کشورهای مختلف است و ما فرصت‌های طلایی بسیاری را در این حوزه طی سالیان اخیر از دست داده‌ایم؛ اگرچه خوشبختانه طی ماه‌های اخیر، ضمن از سرگیری ارتباط با برخی کشورهای منطقه همچون عربستان سعودی و امارات متحده عربی، گشایش‌های خوبی در این عرصه حاصل شده است و در همین راستا، ما به دنبال صادرات تولیدات خود به امارات متحده عربی و ارزآوری سالیانه ۴۰ میلیون دلار برای کشور هستیم.

گروه صنعتی سپنتا چه اقداماتی در راستای حفظ محیط زیست و بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام داده است؟

کلیه فرایندهای تولید در گروه صنعتی سپنتا، بر پایه استاندارد زیست‌محیطی (ISO۱۴۰۰۱:۲۰۱۵) طراحی و اجرا می‌شوند. همچنین در راستای ارتقای فرهنگ سازمان در این حوزه، کارگاه‌های آموزشی مختلفی را با محوریت محیط زیست در مجموعه برگزار کرده‌ایم. در زمینه بازیافت، همواره دستورالعمل مدیریت پسماند گروه با مشارکت کلیه واحدها به‌روزرسانی شده و به‌کارگیری پیشرفته‌ترین روش‌ها و تجهیزات موجود جهت بازیافت انواع پسماند را در دستور کار قرار داده‌ایم. همچنین با احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از پساب خروجی جهت آبیاری فضای سبز کارخانه که بیش از ۱۵ درصد کل مساحت مجموعه را پوشش داده است، استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که با اجرای فاز نخست طرح زیست‌محیطی استفاده از انرژی‌های پاک، بیش از ۴ درصد انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را از طریق پنل‌های خورشیدی تامین می‌کنیم و توسعه استفاده از انرژی‌های پاک، از جمله اهداف راهبردی و استراتژیم ما در میان‌مدت و بلندمدت به شمار می‌آید.

پایگاه خبری تحلیلی فلزات آنلاین،مهر ۱۴۰۲

همایش ها و نمایشگاه های خارجی در سال ۲۰۲۳		
ردیف	عنوان	تاریخ و محل برگزاری
۱	چهاردهمین کنفرانس بین المللی تحقیقات مواد پیشرفته (ICAMR 2024)	۲۵ تا ۲۷ ژانویه ۲۰۲۴، جزیره پوکت، تایلند
۲	سومین نمایشگاه بین المللی فناوری ها، ماشین آلات و ابزارهای پردازش فلز - ورشو متال تک 2024	۲۳ تا ۲۵ ژانویه ۲۰۲۴، ورشو، لهستان
۳	پانزدهمین نمایشگاه بین المللی ریخته گری قالب: فناوری، فرآیندها و محصولات - EuroGuss 2024	۱۶تا ۱۸ ژانویه ۲۰۲۴، نورنبرگ، آلمان
۴	پانزدهمین کنفرانس بین المللی سالانه - شورای ریخته گری 2023 موضوعات: قالب. کمال قالب - مسیر موفقیت، و ریخته گری - مسیر تبدیل شدن به یک محصول.	۷تا۸ دسامبر ۲۰۲۳، چلیابینسک، روسیه
۵	نشست جهانی مواد ASM یک رویداد اختصاصی برای مدیران صنعت مواد.	۵تا ۷ دسامبر ۲۰۲۳، ناپل، فلوریدا، ایالات متحده آمریکا
۶	چهارمین کنفرانس و نمایشگاه سالانه فولاد Gulf Steel Show 2024	۲۷ تا ۲۹ فوریه ۲۰۲۴، دبی، امارات متحده عربی
۷	بیست و سومین نمایشگاه بین المللی فناوری های فلزکاری METAV-2024	۲۰ تا ۲۳ فوریه ۲۰۲۴، دوسلدورف، آلمان
۸	بیست و دومین نمایشگاه ماشین آلات، فناوری ها و ابزارهای فلزکاری SamuExpo - SamuMetal 2024	۱-۳ فوریه ۲۰۲۴، پوردنونه، ایتالیا

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

پرسش و پاسخ

مهندس شیوا خاتمی زاده
Irfs.edu@gmail.com

۱)پرینت سه بعدی چیست و چه مزیتی نسبت به روش های سنتی ساخت و تولید دارد؟

پرینت سه بعدی (یا چیزی که در ادبیات علمی بیشتر به عنوان ساخت افزایشی شناخته می شود) یک روش ساخت دیجیتالی قطعات است که برخلاف روش های سنتی که با جایجایی مواد یا براده برداری و تراشیدن مواد به هندسه قطعه شکل داده می شد، با افزودن مواد به همدیگر به صورت ساخت لایه لایه به تولید قطعه کار می پردازد، که مزیت های آن قابلیت ساخت اشکال پیچیده، ساخت سریع قطعات در تیراژ کم و عدم نیاز به قالب و ابزار است.

۲)آیا از فناوری پرینت سه بعدی می شود برای تولید قطعات هم استفاده کرد یا فقط برای نمونه سازی و مدلسازی؟

بسته به عملکردی که از قطعه انتظار دارید دارد، خیلی از قطعات رو می شود در تیراژ کم با پرینتر سه بعدی تولید کرد و پاسخگوی نیاز تولید هم هست. البته به عنوان یک اصل کلی قطعات پرینت سه بعدی شده استحکام کمتری از قطعات ترزیق پلاستیک شده دارند، ولی عدم نیاز به قالب سازی که زمان و هزینه رو به شدت کاهش می دهد باعث می شود خیلی از قطعات که تیراژ کمی دارند با پرینتر سه بعدی تولید شوند.

۳)ضخامت لایه در پرینت سه بعدی چیست؟ ضخامت لایه استاندارد پرینت سه بعدی چقدر است؟ضخامت لایه در پرینت سه بعدی چیست؟ ضخامت لایه د پرینت سه بعدی چقدر است؟

در پرینت سه بعدی، قطعات به صورت لایه به لایه ساخته می شوند. روند کار به این شکل است که ابتدا فایل مدل سه بعدی قطعه در یک نرم افزار اسلایس (برش) مانند Cura، Slic3r و ... به لایه هایی با ضخامت مساوی و مشخص تقسیم می شوند، خروجی این نرم افزار فایلی با فرمت STL می باشد. سپس پرینتر سه بعدی هر لایه را بر روی لایه قبلی می سازد و این فرایند تا پایان عملیات پرینت سه بعدی و تولید قطعه ادامه می یابد. ضخامت لایه، ارتفاع لایه هایی است که بر روی هم قرار می گیرند. استانداردی برای تعیین ضخامت لایه وجود ندارد، ولی معمولاً براساس روش پرینت سه بعدی مورد استفاده و محدودیت های ساخت در آن تکنیک، ضخامت لایه می تواند از ۱۰ میکرون تا ۱ میلیمتر و شاید هم بیشتر در نظر گرفته شود.

۴)آیا ضخامت لایه و دقت ابعادی قطعه دو مفهوم متفاوت از یکدیگر هستند؟

بله ضخامت لایه ارتفاع لایه های ساختی می باشد که در نرم افزار مشخص می شود، ولی دقت ابعادی به روش پرینت سه بعدی، محدودیت های آن، مواد مصرفی و شرایط محیطی بستگی دارد.

۵)بزرگترین ابعاد قابل ساخت با استفاده از تکنولوژی پرینت سه بعدی چقدر است؟

ابعاد یک متر مکعب در پرینت سه بعدی یک سایز بسیار بزرگ محسوب می شود که بعضی از دستگاه های پرینتر سه بعدی که بیشتر جزو پرینتر های سه بعدی FDM هستند این امکان را ارائه می دهند. پرینت سه بعدی یک تکنولوژی نسبتاً نو می باشد که همواره رو به رشد است و این باعث می شود سرعت پیشرفت

قابلیت های آن بالا باشد. شاید امروزه بتوان در روش های مختلف پرینت سه بعدی دستگاه هایی با ابعاد ساخت ۴ تا ۶ متر مکعب هم یافت. حتی دستگاه هایی هستند که در صنعت ساختمان سازی مورد استفاده قرار می گیرند و حجم ساختی بسیار بزرگ را ارائه می دهند. اما بصورت کلی یک پرینتر سه بعدی با ابعاد تقریبی ۵۰سانتی‌متر مکعب پاسخ‌گوی اکثر نیازهای نمونه‌سازی در صنایع مختلف می باشد.

۶)کاربرد پرینت سه بعدی در چه صنایعی می باشد؟

پرینت سه بعدی یک روش ساخت جدید با سرعت و دقت بالا می باشد که مانند دیگر ابزارهای ساخت موجود در بازار در طیف گسترده ای کاربرد دارد. امروزه صنایع مختلفی مانند ریخته گری، خودروسازی، پزشکی، دندانپزشکی، صنایع پلاستیک، رباتیک، نفت و گاز، الکترونیک، صنایع غذایی، صنایع لوازم خانگی، صنایع هوایی و هوافضا، مجسمه سازی، جواهرسازی و غیره به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم به پرینت سه بعدی وابسته هستند.

۷)آیا تکنولوژی پرینت سه بعدی یک روش سریع برای تولید قطعات است؟

در صنعت، ساخت یک نمونه از طرحی که صنعتگر در ذهن خود دارد معمولاً بسیار پر هزینه و زمان بر است، مخصوصاً در مواردی که قطعه پیچیدگی های ساخت بالایی داشته باشد و نیاز به ساخت چندین نمونه برای رسیدن به قطعه نهایی و شروع ساخت در تیراژ انبوه باشد. پرینت سه بعدی نسبت به روش های سنتی، سرعت تولید این نمونه ها را بسیار افزایش داده، و در اکثر موارد قیمت را به میزان زیادی کاهش می دهد.

۸)فایل سه بعدی ندارم، چگونه می توانم از خدمات پرینت سه بعدی استفاده کنم؟

مراحل تولید یک قطعه به روش پرینت سه بعدی به این شکل است: ۱.طراحی فایل سه بعدی قطعه. ۲.انتخاب روش ساخت. ۳. تولید با پرینت سه بعدی. ۴.عملیات پس پردازش و پرداخت کاری قطعه در صورت نیاز یا درخواست مشتری. بدون فایل سه بعدی نمی توان کار را شروع کرد. شما با در دست داشتن نمونه قطعه و یا طراحی دو بعدی و اتود اولیه قطعه می توانید از خدمات طراحی سه بعدی و مهندسی معکوس استفاده نمایید و در نهایت با استفاده از یک فایل مدل سه بعدی، دیگر مراحل ساخت را شروع کنید.

۹)آیا پرینت سه بعدی دارای روش های مختلفی است یا فقط یک تکنیک دارد؟

پرینت سه بعدی روش های بسیار متفاوتی دارد که وجه مشترک همه آن ها ساخت قطعات به صورت لایه لایه است. این روش ها بر اساس ماده مصرفی به سه دسته اصلی فیلامنتی، رزینی و پودری تقسیم می شوند. از جمله تکنیک های فیلامنتی، می توان روش پرینت سه بعدی FDM را نام برد. تکنیک های پرینت سه بعدی DLP، SLA، و Polyjet جزو روش های رزینی محسوب می شوند. هم چنین برای استفاده از مواد پودری می توان از روش های SLS، SLM یا 3DP استفاده کرد. تکنیک پرینت سه بعدی FDM نسبت به سایر روش ها در ایران محبوبیت بیشتری دارد و معمولاً از ماده پرینت سه بعدی PLA در این روش بیشتر استفاده می شود.

۱۰)قطعه پرینت سه بعدی شده من دارای سطح ناصافی است، راهکار های اصلاح این مشکل چیست؟

اغلب برای حل این مسأله، پولیش و رنگ قطعه را پیشنهاد می دهند که بسیار می تواند سطح قطعه را به سطح قطعه تولید شده به روش تزریقی و محصول نهایی نزدیک کند. البته در این کار محدودیت هایی وجود دارد که باعث می شود هر قطعه ای را نتوان رنگ و پولیش کرد.

۱۱)آیا تولید انبوه قطعه با پرینت سه بعدی امکان پذیر است؟

بله، با وجود این امر که تکنولوژی پرینت سه بعدی بیشتر برای تولید در تیراژ پایین و یا قطعه تک مناسب می باشد، اما تولید انبوه با استفاده از این فناوری امکان پذیر است. معمولاً برای ساخت قطعات در مقیاس بالا، بیشتر از یک تعداد مشخص، استفاده از روش های سنتی مقرون به صرفه تر و شاید حتی سریع تر باشند. این تعداد مشخص را ابعاد قطعه،میزان پیچیدگی و ماده مصرفی مشخص می کنند.

۱۲)مدت زمان ساخت یک قطعه با استفاده از تکنولوژی پرینت سه بعدی چقدر است؟

مدت زمان تولید یک قطعه کاملاً به روش ساخت، ابعاد قطعه و ویژگی های قطعه بستگی دارد. این زمان می تواند از یک دقیقه

تا چند هفته متغیر باشد. هر چه ابعاد قطعه بزرگتر، ماده مصرفی بیشتر و یا ضخامت لایه ها کمتر باشد، زمان تولید بیشتر می شود. همچنین زمان تولید یک قطعه با استفاده از روش های مختلف پرینت سه بعدی متفاوت است.

۱۳)آیا پرینت سه بعدی با مواد ضد الکتریسیته ساکن نیز امکان پذیر است؟آیا پرینت سه بعدی با مواد ضد الکتریسیته ساکن نیز امکان پذیر است؟

بله، ماده پرینت سه بعدی ABS دارای خاصیت ضد الکتریسیته ساکن می باشد که برای ساخت بدنه بورد های الکترونیکی به کار می رود.

۱۴)کدام ماده پرینت سه بعدی را برای استفاده طولانی مدت در محیط های شیمیایی پیشنهاد می کنید؟کدام ماده پرینت سه بعدی را برای اده طولانی مدت در محیط های شیمیایی پیشنهاد می کنید؟

ماده پرینت سه بعدی پلی آمید برای استفاده در محیط های شیمیایی گزینه ای مناسب است.

۱۵)قطعات تولید شده به روش پرینت سه بعدی و تزریق پلاستیک، از نظر خواص مکانیکی چه تفاوت هایی با یکدیگر دارند؟

در فناوری پرینت سه بعدی، قطعات به صورت لایه لایه تولید می شوند. در قطعات تولید شده به این روش، عموماً استحکام در محل اتصال ۲ لایه به یکدیگر از استحکام در سطح یک لایه کمتر است. این در حالی است که در روش تزریق پلاستیک، استحکام در تمامی جهات قطعه یکسان است. با توجه به این موضوع که در روش تزریق مواد تحت فشار به یکدیگر جوش می خورند، خواص مکانیکی در قطعات تولید شده به این روش در مقایسه با قطعات پرینت سه بعدی شده بهتر است. البته این یک اصل کلی نیست و ممکن است در قطعات خاص متفاوت باشد.می خواهم قطعه ای ترکیبی از جنس پلیمر و فلز داشته باشم، راه حل شما چیست؟

۱۶)می خواهم قطعه ای ترکیبی از جنس پلیمر و فلز داشته باشم، راه حل شما چیست؟

شما می توانید قسمت های پلاستیکی قطعه را با استفاده از تکنولوژی پرینت سه بعدی و قسمت های فلزی آن را با استفاده از روش های سنتی بسازید و در نهایت به وسیله پیچ، فیت کردن فشاری یا حرارتی آن ها را به هم متصل کنید.

۱۷)چه موادی را برای استفاده طولانی مدت در محیط های بیرونی و در مقابل نور خورشید (UV) پیشنهاد می کنید؟

مواد پرینت سه بعدی پلی آمید و ASA برای استفاده طولانی مدت در محیط های بیرونی و در مقابل نور خورشید مناسب هستند.

مرجع: https://idesign3d.ir/faq

واژه نامه

مهندس شیوا خاتمی زاده
irfs.edu@gmail.com

۱) بریم Brim

یک لایه با سطح صاف که معمولا برای جلوگیری از تاب خوردگی و پیچش قطعه، اطراف پایه مدل پرینت می شود. ضخامت بریم می تواند در نرم افزار اسلایسر تعیین شود.

بریج (پل): پدیده ای است که معمولا هنگامی رخ می دهد که پرینتر سه بعدی قصد پرینت قسمتی از مدل را دارد که روی هوا است و ساپورت ندارد. امکان استفاده از این قابلیت صرفا در قسمت هایی ممکن است که دو طرف مدل به زیرساخت متصل بوده و فاصله بین آنها نسبتا کم باشد.(مانند یک پل)

۲) بایندرجت Binder jet

فرآیند بایندرجت از لایه های نازک پودر برای ساخت مدل سه بعدی استفاده می کند. یک عنصر اتصال دهنده (بایندر) از نازل خارج شده و قسمت های موردنظر پودر را به هم متصل کرده و مستحکم می سازد. پس از پروسه پرینت سه بعدی، قطعات در معرض نور UV یا حرارت به صورت نهایی مقاوم می شوند.

۳) بیرون زدگی یا Overhang

اورهنگ یا بیرون زدگی به قسمت هایی از مدل سه بعدی گفته می شود که هنگام اکسترود لایه جدید، فقط بخشی از لایه جدید توسط لایه زیرین ساپورت شده باشد. دیواره های زاویه دار (معمولا زاویه بالای ۴۵ درجه) Overhang محسوب شده و بسته به نوع تکنولوژی، معمولا برای پرینت موفق نیازمند سازه ساپورت هستند.

۴)پرینت سه بعدی فلز ۳D Printing Metal

فرآیند پرینت سه بعدی با ماده اولیه فلز. قطعات از لایه های نازک متریال پودری تشکیل می شود که در نقاط معین توسط لیزر ذوب می شود. طیف گسترده ای از تکنولوژی های پرینت سه بعدی فلز وجود دارند.

۵)پروتوتایپ Proto type

یک قطعه یا مدل اولیه از یک طرح که برای آزمایش فرم، عملکرد و زیبایی آن پیش از تولید انبوه با هزینه معمولا پایین ساخته می-شود. پروتوتایپ ها برای اصلاح و یافتن ایرادهای یک طرح و همچنین پیدا کردن راه های بهبود عملکرد قطعه استفاده می شوند.

پودر فلز: نوعی از شکل فلز با دانه بندی مشخص که برای پرینت سه بعدی هم استفاده می شود.

۶)پوسته یا Shell

در پرینت سه بعدی FDM منظور از پوسته یا shell بیرونی ترین بخش دیواره های قطعه است که با خارج مدل ارتباط دارد. پرینتر سه بعدی FDM ابتدا مرزهای دیواره های قطعه را به صورت پوسته با ضخامت معین پرینت کرده و سپس درون این پوسته ها را بر اساس

تراکم داخلی مشخصی پر می کند.

۷) تاب برداشتن یا Warping

بیشتر فرآیندهای پرینت سه بعدی تحت دمای بالایی انجام می شوند، این مسئله گاهی موجب اختلاف دمای بالا بین قسمت های مختلف قطعه می شود که در نهایت می تواند باعث دفورم شدن و تاب برداشتن قطعه شود.

۸) توخالی Hollow

یک قطعه پرینت سه بعدی که یکپارچه نبوده و فاقد تراکم داخلی است. مدل های سه بعدی توخالی بسیار به صرفه تر و ارزان تر هستند، اما استحکام کمی دارند.

۹) حجم پرینت Print Volume

بزرگترین ابعاد قطعه قابل ساخت توسط یک پرینتر سه بعدی. این مقدار در تکنولوژی های مختلف پرینت سه بعدی می تواند بسیار متفاوت باشد. همچنین یکی از تفاوت های اصلی بین پرینتر های سه بعدی خانگی و صنعتی در حجم پرینت است.

۱۰) رافت Raft

یک سازه جدولی ضخیم با یک سقف که در پروسه پرینت در کف قطعه پرینت می شود. وجود سازه Raft احتمال تاب برداشتن قطعه را کاهش می دهد. Raft با Brim و Skirt ساختار متفاوتی دارد.
ساخت افزایشی: پروسه ساخت یک قطعه با افزودن لایه های متریال روی یکدیگر.(پرینت سه بعدی)

۱۱) ساخت کاهشی Subtractive Manufacturing

هر فرآیند ساخت که با کاستن متریال از یک قطعه بزرگ به هندسه قطعه مورد نظر می رسد. این مفهوم در مقابل ساخت افزایشی (پرینت سه بعدی) قرار دارد. برش لیزر، فرزکاری، تراشکاری و... از جمله فرآیندهای ساخت کاهشی هستند.

۱۲) فینیش Surface finish

در پرینت سه بعدی به میزان نرمی و خشن بودن سطوح یک قطعه پرینت شده می گویند که با عدد رافنس اندازه گیری می شود.
قطعه(محصول) نهایی: قطعه ای که به منظور استفاده مستقیم در یک موقعیت کاربردی ساخته شده است.

۱۳)محور (X Axis)

اگر پرینتر سه بعدی روبروی شما باشد محور چپ به راست سینی پرینتر محور X آن نامگذاری می شود.

۱۴)محور (Y Axis)

اگر پرینتر سه بعدی روبروی شما باشد محوری که از پشت و جلوی پرینتر عبور می کند محور Y آن نامیده می شود.

۱۵) محور(Z Axis)

محور عمودی پرینتر که خط جهت آن از بالا و پایین پرینتر عبور می کند.

۱۶) نازل Nozzle

قسمتی از پرینتر سه بعدی که متریال ساخت از آن خارج می شود.

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

فولادریزان الماس شمال
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 ۲۱۷۲۵۰۰-۱/۰۸۶۱
فاکس: ۳۱۳۲۰۵۹ ـ ۰۸۶۳-۳۱۳۹۰۲۳/۰۸۶۳
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

شرکت بازرگانی کارامیس
اهواز، کوی زیتون کارمندی، خیابان فتاح، پلاک ۹، طبقه همکف
کدپستی: ۶۱۶۳۳۹۹۳۱۷۳
تلفن: ۰۶۱-۳۴۴۳۴۵۵۲

الماس فولاد ایرانیان(حامی آلیاژ)
تهران ، میدان شیر پاستوریزه ، ۴۵ متری زرند مجتمع تجاری پارسه ، پلاک, ۱۵
کد پستی: ۱۳۸۶۷۵۳۳۷۵
۰۲۱-۶۲۸۴۶۰۰۰
info@hamiransteel.com

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.134-43th Year, Atumn2023

contents:

Production of metal powders using melt atomization methods (Part-2)
Dr. Farshid Rikhtegar.....3

3D Printing Smart Binder Curing(Monitoring Binder Curing)
Eng.Shiva khatamizade.....28

Iran & World News…...…….....33

Question and answer
Shiva khatamizade.....45

Lexicon
Shiva khatamizade.....48

ISSN 1028-3897

Rikhtegary

Journal Of Iranian Foundrymen's Society, No.134-43th Year, Atumn2023

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.134-43th Year, Atumn2023

contents:

Production of metal powders using melt atomization methods (Part-2)
Dr. Farshid Rikhtegar.....3

3D Printing smart mold sand casting
Eng.Shiva Khatamizade.....28

Iran & World News.....33

Question and answer
Shiva Khatamizade.....45

Lexicon
Shiva Khatamizade.....48