



فصل نامه تخصصی دیرگذاها شرکت فرآورده‌های نسوز ایران
 • سال هفتم • شماره بیست و پنجم

فهرست

پیام مدیر عامل.....	۲
مصاحبه با پیشکسوتان	
مصاحبه با حسین امامی فعال و کارآفرین حوزه سیمان‌های نسوز.....	۴
دانستنی‌های فنی نسوز	
خدمات پایش آنلاین وضعیت کوره‌های دوار.....	۶
بررسی تجربی کیفیت سطح و فرسایش ابزار در تراشکاری فولاد ۱/۱۱۹۱.....	۸
دانستنی‌های تکنولوژی نسوز	
جدید ترین دستاوردهای فناوری در عرصه دیرگذاها.....	۱۲
نانو کامپوزیت سیمانی رنگین.....	۱۷
خواص ترموفیزیکی مواد نسوز عایق.....	۲۰
نگاهی نو در جهت توسعه و ارتقاء قطعات ویژه دیرگذاها سرامیکی.....	۲۴
دیرگذاهای ریختنی فوق کم‌سیمان.....	۲۸
تأثیر کسرحجمی فاز تقویت کننده بر استحکام فشاری کامپوزیت Al6061-SiC تولید شده با روش آلیاژسازی مکانیکی.....	۳۲
بررسی رفتار سایشی فولاد Mo40 پوشش داده شده با آلیاژ استلایت ۶ و کاربرد تنگستن - کبالت به روش رسوبدهی الکترواسپارک.....	۳۹
کاغذهای سرامیکی و کاربردهای آن.....	۴۶
گزارش فنی پروژه‌ها	
پروژه: اورهال کامل پرس هورن ۸۰۰ تنی.....	۵۰
سایت دوم شرکت فرآورده‌های نسوز ایران گزارش پیشرفت پروژه جمیزه.....	۵۱
پروژه طراحی، اجرا و نظارت نسوز چینی کوره دوار سایت دوم ایرفکو (جمیزه).....	۵۳
بازار صنعت نسوز	
کوره قوس الکتریکی (EAF).....	۵۴
فناوری بازیافت مواد نسوز در صنعت فولاد (دستاوردها و چالش‌ها).....	۵۷
مهم‌ترین رویدادها در عرصه مواد دیرگذاها و صنایع مرتبط.....	۶۲
آموزش مدیریتی	
آشنایی با مفاهیم هوش تجاری BI و نرم افزار POWER BI.....	۶۶
اخبار و رویدادها	
گزارش صادرات انواع محصولات دیرگذاها در شش ماهه ابتدایی سال ۱۴۰۱.....	۶۹
بازدید مدیرعامل شرکت‌های شستا و صدرتامین از ایرفکو.....	۷۰
کسب عنوان جام اخلاق تیم فوتسال در مسابقات فوتسال کارگران کشور.....	۷۱
بهره برداری از معدن دولومیت دوچشمه نهاوند آغاز شد.....	۷۱
گزارش حضور شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در سمپوزیوم فولاد ۱۴۰۱.....	۷۲
فرهنگ سازمانی	
دقیقه‌ای برای تامل: بحران آب در ایران.....	۷۴
کیفیت از نگاه سعدی شیرین سخن.....	۷۶
مفاهیم و اصطلاحات تخصصی دیرگذاها	
آشنائی با مفاهیم پایه دیرگذاها.....	۷۸
معرفی کتاب	
سیمان‌های کلسیم آلومینی.....	۸۰



مدیر مسئول: علی تدین

سردبیر: زهرا باقری

اعضای هیئت تحریریه

بهزاد امین پور

ایمان کفعمی

فرشته مرادی

سجاد رنجبر

همکاران این شماره: مهندس حسین امامی، سجاد رنجبر، غلامرضا قاسمیان، بهزاد امین پور، حامد فتحی، نسیرین شاه‌محمدی، محسن اسدزاده، سیدامین میرهاشمی، سعادت سلطانی، فرزانه خضری، فرشته مرادی، علی یزدانی، مرتضی کریمی، حسین علیان، آزاده محمدی، حمید تاج‌الدین

راه‌های ارتباطی با شرکت فرآورده‌های نسوز ایران

پست الکترونیک فصلنامه: faslnameh@irefco.ir
 پست الکترونیک شرکت: irefco@yahoo.com
 آدرس کارخانه: اصفهان، کیلومتر ۵۲ جاده مبارکه
 تلفن: ۰۳۱۵۲۵۴۳۷۴۰ - ۶ فکس: ۰۳۱۵۲۵۴۴۷۱۸
 آدرس دفتر تهران: خیابان هفت تیر، خیابان بهار شیراز
 خیابان سلیمان خاطر، پلاک ۵۱، واحد ۳
 تلفن: ۰۲۱۸۸۳۴۳۴۰۸ - ۹

www.irefco.ir

25 سال هفتم شماره بیست و پنجم فصل نامه تخصصی دیرگذاها، شرکت فرآورده‌های نسوز ایران

فرآور مواد اولیه صنایع توسعه صنعت دیرگذاها



www.irefco.ir



بسمه تعالی

با عنایت خداوند و کمک همکاران زحمتکش شرکت فرآورده‌های نسوز ایران خوشبختانه توانستیم نیمه اول سال ۱۴۰۱ را با موفقیت پشت سر بگذاریم.

چالش‌های اصلی در راه صنعت نسوز همانند سایر صنایع کشور مشابه مشکلاتی است که در کلان اقتصاد مطرح بوده و برای همه صنایع کشور مطرح می‌باشند و تنها مختص یک صنعت و یا یک کارخانه نیست. مسائلی مانند قیمت ارز و تحریم‌های ناجوانمردانه علیه کشور همگی معضلاتی هستند که همواره اقتصاد و صنعت کشور را آزار داده‌اند و می‌بایست صنایع کشور با این مشکلات خود را تطبیق دهند.

پیام مدیر عامل

لذا تطبیق‌پذیری یک شرکت در درجه اول ناشی از عملکرد هوشمندانه کارکنان آن می‌باشد که در شرایط فعلی نقش مهمی در سودآوری و مهمتر از آن ادامه حیات شرکت بازی خواهد کرد. بر این اساس امیدواریم همچنان کارکنان شرکت با اعتقاد و علاقه کامل به پیشرفت و ماندگاری شرکت خود با علاقه و پشتکار در خدمت مجموعه باشند و آینده بهتری را برای مجموعه رقم بزنند.

علی‌تدین



همچنین در خصوص پروژه‌های شرکت فرآورده‌های نسوز ایران چنین بیان کردند:

پروژه سه‌گانه‌ای در این کارخانه سرمایه‌گذاری و تعریف شده که شامل پروژه «ن‌هاوند» در زمینه دولومیت کلسینه با ظرفیت ۳۳ هزار تن، پروژه «دهاقان» در شهرک صنعتی جنبزه برای تولید دولومیت زینتر و تعدادی طرح زیرسقفی برای افزایش تولید کارخانه مادر است. پروژه‌های مرتبط با زیباشهر (زیرسقفی) شامل هفت پروژه است که خوشبختانه تا پایان اردیبهشت ماه سال جاری، موفق به تکمیل تمام آن‌ها شدیم. این پروژه‌ها شامل یک خط ۱۰ هزار تنی آماده‌سازی مواد اولیه است که از سال‌های گذشته در قسمت‌های پایین‌دست کارخانه از جمله پرس و کوره، توسعه آن انجام شده اما در قسمت آماده‌سازی مواد اولیه انجام نشده بود که بهمن ماه سال گذشته به تولید رسید. برنامه‌ریزی، مدیریت و طراحی‌های این پروژه در کارخانه و ساخت تجهیزات و ماشین‌آلات با استفاده از پیمانکاران داخلی انجام شده است. سه طرح زیر سقفی دیگر کارخانه شامل راه‌اندازی، نوسازی و ساخت پرس‌های جدید اعم از دستگاه پرس یک هزار و ۶۰۰ تنی و یک هزار و ۲۵۰ تنی و ۹۰۰ تنی است که در سال‌های گذشته از کارافتاده و قرار بود به صورت ضایعات و آهن‌آلات فروخته شود اما با کمک یک شرکت دانش‌بنیان داخلی و با عرضه سیستم جدید راه‌اندازی شد و در حال حاضر نیز عامل افزایش قابل توجه توان تولید کارخانه محسوب می‌شود.

بهره‌برداری از دو کوره از جمله پروژه‌های زیرسقفی این کارخانه محسوب می‌شود که یکی از این کوره‌ها پس از توقف هفت ساله، با ظرفیت سه هزار تن راه‌اندازی و کوره دیگر با ظرفیت سه هزار تن در سال جاری طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی شد که در حال حاضر نیز فعال است. ساخت این کوره‌ها در کارخانه نسوز ایران بومی‌سازی و با دانش و توان پرسنل مجموعه و با استفاده از پیمانکاران مختلف انجام شده است. بر همین اساس تمام پروژه‌های این مجموعه صنعتی که به دلایل مختلف در سال‌های گذشته انجام نشده بود و این در حالی است که اجرای آن‌ها را در انتهای سال ۱۳۹۹ شروع کرده بودیم، خوشبختانه تا پایان نیمه نخست سال جاری به نتیجه رسید که در نوع خود یک رکورد به شمار می‌آید. لازم به ذکر است که کارخانه‌های ن‌هاوند و جنبزه به عنوان صنعت بالادستی ما محسوب می‌شوند و بخش مهمی از مواد اولیه‌ای را که در اثر تحریم با سختی و هزینه زیاد به دست می‌آوردیم، تامین می‌کنند و خوشبختانه با راه‌اندازی آن‌ها بخش مهمی از مواد اولیه مصرفی کارخانه‌های نسوز داخلی فراهم شده است.

در پایان ایشان اشاره می‌کنند که همچنین در تلاش هستیم با فعال کردن ظرفیت‌های نهفته شرکت و با توجه به شعار سال یعنی «تولید، دانش‌بنیان و اشتغال‌آفرین»، یک سری از محصولات دانش‌بنیان جدید که اقداماتی را روی آن‌ها آغاز کرده‌ایم، به نتیجه برسانیم و بتوانیم خبرهای مسرت‌بخشی را در این زمینه تا پایان امسال ارائه کنیم.



خبرنگار پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» گفت‌وگویی را با علی‌تدین، مدیرعامل شرکت فرآورده‌های نسوز ایران انجام داده است که بخش‌های از آن را در ادامه خواهید خواند:

سرمایه‌گذاری و توسعه تحقیقات در راستای تامین نیاز داخلی مواد دیرگداز به عنوان عامل حیاتی در چرخه تولید مطرح هستند؛ به طوری که تمام صنایعی که با دماهای بالا و فرآیندهای پخت یا ذوب سر و کار دارند، مصرف‌کننده مواد دیرگداز به شمار می‌آیند. بنابراین مواد دیرگداز به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های اصلی سرمایه‌ها، دارای اهمیت فراوانی برای صنایع مادر به ویژه فولاد هستند و با توجه به طرح‌های توسعه جدید در صنایع معدنی و فولادی، کشور نیازمند انواع نسوزها به ویژه نسوزهای با کیفیت بسیار زیاد خواهد بود. شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در مقام بزرگ‌ترین و قدیمی‌ترین تولیدکننده انواع نسوز کشور، به خوبی توانسته است با بهره‌برداری از واحدهای جدید تولیدی و همچنین توسعه تولید و به‌کارگیری از تحقیقات و دانش روز، نیاز فولادسازان برجسته کشور را به انواع نسوز رفع کند؛ اگرچه این مجموعه عظیم صنعتی نیز با چالش‌های مختلفی از جمله تامین مواد اولیه وارداتی و همچنین حمل‌ونقل مواد اولیه داخلی و کمبود نقدینگی دست و پنجه نرم می‌کند.

اظهارات ایشان در خصوص عملکرد شرکت طی دو سال اخیر: تولید محصولات نسوز و دیرگداز مجموعه در سال ۱۴۰۰، به حدود ۵۴ هزار تن رسید که نسبت به سال ۱۳۹۸، ۳۳ درصد افزایش یافته است. ضمن اینکه بالاترین رکورد تولید در طول عمر کارخانه در سال گذشته به ثبت رسید و همچنین شاهد رشد ۶۶ درصدی فروش تولیدات این کارخانه در این مدت نسبت به سال قبل از آن معادل ۸۱۵ میلیارد تومان بوده‌ایم. فروش محصولات کارخانه در سال ۱۳۹۹ به حدود ۵۰۰ میلیارد تومان رسید که در مقایسه با سال قبل از آن که ۳۱۷ میلیارد تومان بود، ۵۴ درصد رشد داشته است. لازم به ذکر است که فروش محصولات نسوز و دیرگداز کارخانه در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۸، رشد ۲۵۷ درصدی داشته است. همچنین ایشان بیان می‌کنند که خوشبختانه صادرات ما در سال جاری، در حالی که دو میلیون دلار رسیده است که شاهد عدم صادرات محصولات شرکت در سال‌های ۱۳۹۸ و همچنین ۱۳۹۹ بودیم و امیدوار هستیم بتوانیم ضمن راه‌اندازی صنایع بالادستی خود، حضور موافقی در بازارهای صادراتی داشته باشیم.



۱- ضمن تشکر صمیمانه از جنابعالی جهت پذیرش دعوت ما به این گفتگو، ابتدا درباره خودتان مطالبی را برای خوانندگان مایمان بفرمائید.

من هم از دعوت شما تشکر می‌کنم و امیدوارم بیان تجربیاتم عمدتاً به عنوان یک کارآفرین برای جوان‌ترها مفید باشد. بنده دانش آموخته مهندسی صنایع، سطح کارشناسی در دانشگاه صنعتی شریف هستم. در سال ۱۳۵۴ از دانشگاه فارغ‌التحصیل شدم و پس از طی دوران سربازی از اواسط سال ۱۳۵۶ در کارخانه فرآورده‌های نسوز ایران مشغول به کار شدم. مدت ۸ سال تماماً در قسمت تولید آن کارخانه، دو سال به عنوان سرپرست در بخش‌های مختلف، چهار سال در بخش برنامه‌ریزی تولید و دو سال به عنوان مدیرتولید کار کردم. زمانیکه مسئولیت برنامه‌ریزی تولید را برعهده داشتم به اقتضای شغل و همچنین کنجکاوی که داشتم با انواع مواد اولیه و محصولات نسوز سروکار داشتم و در حد مقدور از آن‌ها اطلاعات جمع‌آوری می‌کردم. آن زمان عمده مواد اولیه نسوز مصرفی در آن کارخانه وارداتی بود. از جمله انواع سیمان نسوز، صحبت از سال‌های اول انقلاب (سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۲) است. با توجه به حال و هوای آن روزها، من هم در خیالات خود داخلی‌سازی حداقل یکی از این مواد اولیه را می‌پرواندم. عجیب اینکه از میان آن همه مواد اولیه، سیمان‌نسوز توجهم را جلب کرد و شروع به مطالعه در مورد آن کردم. در آن روزها پیدا کردن مطلب در هر مورد بسیار سخت بود، اینترنت در دسترس امثال من نبود و مطلب مکتوب هم خصوصاً در اینگونه موارد نامتعارف، کمیاب بود. به هر حال سال‌ها طول کشید تا به هر کیفیتی بود یک نمونه آزمایشگاهی سیمان فوندو تولید کردم و براساس آن موافقت اصولی ایجاد یک کارخانه تولید سیمان‌های نسوز در یکی از شهرک‌های صنعتی اصفهان را بدست آوردم. کارخانه با تمام مصائبی که داشت احداث شد و اکنون ۲۵ سال است که بی وقفه در حال تولید هستیم.

در سال ۱۳۶۴ از شرکت فرآورده‌های نسوز جدا شدم و به مرکز تحقیقات نسوز اصفهان پیوستم. این مرکز در آن زمان یک پروژه بود که با پیشنهاد دست اندرکاران کارخانجات نسوز موافقت شده بود که با بودجه دولتی برپا شود. مسئولیت من در آنجا به عنوان کارشناس نسوز، نظارت بر طراحی و انتخاب تجهیزات آزمایشگاه‌ها و پایلوت فرآورده بود. طبعاً در آنجا وقت آزاد

مصاحبه با مهندس حسین امامی (فعال و کارآفرین حوزه سیمان‌های نسوز)

تهیه و تنظیم: بهزاد امین‌پور - مشاور بازاریابی و خدمات مهندسی فروش

بیشتری داشتم و از این فرصت استفاده کرده و با جمع‌آوری مدارک علمی و فنی به مطالعاتم در همی زمینه‌های مواد نسوز و مخصوصاً سیمان نسوز ادامه دادم که ضمن آن کتابخانه معقولی هم برای مرکز فراهم شد. در سال ۱۳۷۰ با فراهم شدن مقدمات ایجاد کارخانه تولید سیمان نسوز از مرکز تحقیقات نسوز جدا شدم و برای اینکه فرصت بیشتری برای پیگیری کارهای ایجاد کارخانه داشته باشم بطور نیمه وقت (سه روز در هفته) و برای امرار معاش به توکانسوز که دفترش در مجتمع فولاد مبارکه بود پیوستم، در آنجا از من خواسته شد یک طرح توجیه فنی اقتصادی برای تولید مواد نسوز مصرفی در مجتمع فولاد مبارکه تهیه کنم. صحبت از این بود که با شرکت فرآورده‌های نسوز ایران مشارکت کنند ولی پس از مدتی این طرح به نتیجه نرسید و به ایجاد یک واحد تولید جرم‌های نسوز ختم شد. با شروع بهره‌برداری واحد تولید سیمان نسوز از آنجا هم جدا شدم و تمام وقت در خدمت تولید سیمان نسوز قرار گرفتم که تاکنون ادامه داشته است. در تمام این سال‌ها سعی کردم از مطالعه در زمینه سیمان‌های نسوز غفلت نکنم و حاصل اینکار با استفاده از مدارک با ارزش علمی که در اختیار دارم گردآوری و ترجمه مطالب در زمینه «سیمان‌های کلسیم آلومینی» است که اخیراً تحت همین عنوان به صورت کتابی وزین منتشر شده است.

۲- باتوجه به اینکه جنابعالی از کارشناسان قدیمی ایرفکو و در حال حاضر از فعالان و کارآفرینان حوزه دیرگدازها هستید؛ چشم انداز و آینده صنعت نسوز را در ارتباط با سایر صنایع چگونه می‌بینید؟

آینده صنعت نسوز در ایران عمدتاً به خود دست اندرکاران این صنعت بستگی دارد. سایر صنایع ناگزیر از مصرف نسوز هستند. اگر صنعت نسوز ایران از لحاظ کمی و کیفی بتواند آن‌ها را تأمین کند چشم‌انداز روشن است و گرنه کمافی‌السابق از خارج وارد خواهند کرد. به نظر من شرایط تحریمی پیش آمده یک فرصت است تا به تحقیقات و کیفیت توجه ویژه شود و از این راه به تثبیت و تحکیم پایه‌های این صنعت بپردازیم. در این شرایط غفلت اصلاً جایز نیست.

۳- اهمیت و نقش فعالیت‌های تحقیقاتی در تعالی شرکت‌ها چیست؟

در تمام دنیا R&D، تحقیق و توسعه، مورد توجه ویژه است و بسیاری شرکت‌ها بخش جداگانه‌ای به این مهم اختصاص می‌دهند و هزینه‌های هنگفتی صرف آن می‌کنند، چون احساس می‌کنند بدون تحقیق و بدنبال آن توسعه دیر یا زود از گردونه رقابت با دیگران خارج می‌شوند.

۴- بنظر جنابعالی فعالیت‌های تحقیقاتی روی کدام گروه از محصولات باید متمرکز باشد؟

من زمانیکه در مرکز تحقیقات نسوز بودم روی این موضوع مطالعات زیادی داشتم و به این نتیجه رسیدم که بایستی روی مواد اولیه نسوز کار شود و در این راستا جزوهای تهیه کردم تحت عنوان «از ماده خام تا ماده اولیه مناسب برای تولید فرآورده‌های نسوز» که در آن روش‌های ... و ساخت مواد اولیه نسوز چه طبیعی و چه مصنوعی با توجه به تجربیات جهانی توضیح داده شده بود. در همان سال‌ها مقاله‌ای هم تهیه کردم تحت عنوان «دولومیت، ماده اولیه‌ای که در صنعت نسوز مورد بی‌مهری واقع شده است» که در آن کاربرد آجرها و جرم‌های دولومیتی در صنایع سیمان و فولادسازی‌ها در کشورهای مختلف در مقایسه با فرآورده‌های نسوز دیگر توضیح داده شده بود. این مقاله در یکی از شماره‌های مجله علمی و فنی وزارت معادن و فلزات آن زمان در سال ۱۳۶۷ به چاپ رسید. خوشبختانه در سال‌های اخیر قدم‌های خوبی در جهت برپائی واحدهای تولید محصولات دولومیتی برداشته شده که امیدوار کننده است.

۵- پیشنهاد شما برای ورود صنایع دیرگداز به حوزه دانش بنیان‌ها چیست؟

من مایلم برای ورود صنایع دیرگداز به حوزه دانش بنیان‌ها یک "سوژه" معرفی کنم. ماده‌ای که در صورتی که روی آن کار شود و مشکلاتش برتر شود، می‌توان به عنوان یک ماده اولیه جایگزین یا هم ردیف مثلاً بوکسیت که در ایران کمیاب است. این ماده، سرباره آلومینیوم یا Al dross است. سرباره آلومینیوم از فرایند تولید فلز آلومینیوم چه فرایند تولید اولیه این فلز و چه در جریان تولید شمش از قراضه آلومینیوم به دست می‌آید. عمدتاً حاوی آلومینا (AL2O3) است و البته ناخالصی‌هایی هم دارد که اگر قرار باشد در صنایع دیرگداز مصرف شود، این ناخالصی‌ها بایستی از آن بیرون کشیده شود. در وضعیت خام، یعنی بدون اینکه کاری روی آن انجام شده باشد از نظر محیط‌زیست ماده‌ای مضر تشخیص داده شده و در بسیاری از کشورهای صنعتی انباشت و دفن آن ممنوع اعلام شده است و قابل استفاده کردن آن برای کاربردهای مختلف تشویق یا تکلیف می‌شود. مقالات تحقیقاتی در زمینه قابل استفاده کردن آن برای کاربرد در دیرگدازها را دیده‌ام. در ایران هم به صورت پراکنده کارهایی

انجام گرفته است اما هنوز به نتیجه مطلوب حاصل نشده است، به هر حال به نظر من این کار دانش بنیان است که در صورت حصول نتیجه مطلوب دارای ارزش افزوده بالایی خواهد بود.

۶- اگر خاطره‌ای شنیدنی و آموزنده در طول فعالیت خود داشته‌اید برای مخاطبین نشریه بیان فرمائید.

در سال دوم شروع بهره‌برداری از کارخانه سیمان نسوز، سیمان‌های تولیدی آنطور که باید فروش نمی‌رفت. مصرف کنندگان هنوز اعتماد کافی پیدا نکرده بودند و محتاطانه عمل می‌کردند. خلاصه، درآمد کفاف هزینه‌ها را نمی‌داد. اقساط وام دریافتی سررسید شده بود و بانک مرتب فشار می‌آورد. من هم مستأصل نمی‌دانستم چه باید کرد. در یکی از روزها یکی از مشتریان سیمان مراجعه کرد و گفت گروه مینا برای مصرف در دودکش‌های در حال ساخت نیروگاه سازند اراک ملات ضد اسید می‌خواهد. شنیده‌ام سیمان فوندو خواص ضد اسیدی هم دارد. نمونه بده ببرم آزمایش کنند. نمونه را برد اما مشاور چینی پروژه آن را تأیید نکرد. به یادم آمد زمانیکه در مرکز تحقیقات نسوز بودم در یکی از نشریات یونیدو که برای آنجا فرستاده می‌شد روش ساخت ملات ضد اسید مقاوم در برابر حرارت را آموزش داده بودند. یک نمونه با آن روش ساختم و برایشان فرستادم. خوشبختانه نمونه تأیید شد و براساس آن هفتصد تن ملات ضد اسید سفارش دادند. چیزی که تا آن موقع اصلاً به آن توجه نکرده بودم و تصور نمی‌کردم حتی یک کیلو از آن را هم بتوانم به فروش برسانم. با این قرارداد یک دفعه ورق برگشت، با پیش پرداخت دریافتی اقساط بانک پرداخت شد و کارها روی غلتک افتاد. بعد از این یک سفارش عمده دیگر هم برای همین ملات از ذوب مس خاتون آباد که آن هم پروژه بود دریافت کردم. سیمان فوندو هم یواش یواش خواهان پیدا کرد و من عمدتاً روی آن متمرکز شدم و ملات ضد اسید را بطور جدی ادامه ندادم. این خاطره هیچ‌گاه از یادم نمی‌رود و همواره به خودم یادآوری می‌کنم که این لطف خدا بود که شامل حالم شد و از راه بی‌گمان گشایش ایجاد کرد.

۷- برای مهندسین جوان در صنعت چه توصیه‌هایی دارید؟

هر انسانی یک سری خصوصیات ذاتی دارد که در طول زندگی با اوست و مشکل می‌توان در آن تغییر ایجاد کرد. چنانچه هرکس از همان اوایل جوانی بتواند نقاط قوت و نقاط ضعف خود را خوب بشناسد و سعی کند با توجه به آنها مسیر زندگی خود را انتخاب کند در دوران پیری افسوس گذشته را نمی‌خورد و به آنچه برایش رقم خورده راضی است. اگر انسان در مسیر درست قرار گیرد، انجام کار مفید انتها ندارد و لازمه‌اش انتخاب صحیح در ابتدای مسیر و تمرکز روی آن و از این شاخه به آن شاخه نپریدن است.



خدمات پایش آنلاین وضعیت کوره‌های دوار

تألیف و گردآوری: سجاد رنجبر- سرپرست دفتر فنی



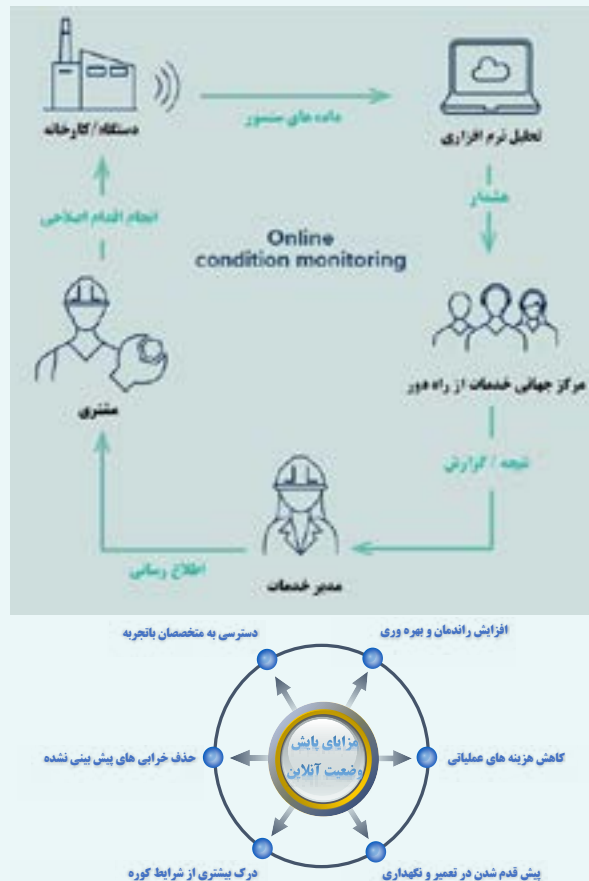
کوره‌های دوار از اصلی‌ترین واحدهای عملیاتی در صنعت پخت و فرآوری هستند. از آنها می‌توان برای سه منظور استفاده کرد: گرم‌کردن، واکنش‌دادن و خشک‌کردن مواد جامد، و در بسیاری از موارد، برای دستیابی به ترکیبی از این اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بیشتر کاربردهای صنعتی، هدف از کوره دوار کمک به انجام واکنش‌هایی خاص در بستر کوره است که به دلایل سنتیکی و یا ترمودینامیکی غالباً به دماهای بالا در بستر نیاز دارند. کوره دوار به عنوان یک راکتور و با توجه به ماهیت پیچیده‌ی واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در آن و نیز پارامترهای متعدد مربوط به کیفیت، معادلات دینامیکی پیچیده‌ای دارد که درک آنها نیاز به شناخت دقیق پدیده‌های انتقال، به ویژه انتقال اندازه حرکت و انتقال حرارت دارد. عملکرد بهینه‌ی کوره امکان نگهداشت بخشی از انرژی حرارتی را که به طورعادی در فرآیند تلف می‌گردد را فراهم می‌سازد.

کوره‌های دوار توسط مجموعه‌ای به نام شافت و غلتک، تجهیزات پینیون، گیربکس و موتورکمی در شرایط کاری سنگین در معرض فشارهای زیاد قرار دارد. سیستم چرخاننده کوره کمی به موقعیت افقی متمایل است، متشکل از یک دنده بزرگ دو تکه که دور کوره سوار شده و یک عدد پینیون می‌باشند. دنده بزرگ به وسیله پینیون چرخانده می‌شود که از طریق سیستم کوپلینگ، به گیربکس‌های اصلی و موتور کوره متصل می‌گردند. همچنین برای مواقع اضطراری گرم‌کردن و با سردکردن کوره که نیاز به چرخاندن کوره با دور کم است، امکان اتصال این پینیون به گیربکس و موتور کمی وجود دارد. مواد از یک سر وارد کوره می‌شود و به انتهای پایین هدایت می‌شود. با

مخلوط کردن مداوم و تأمین هوای گرم، واکنش شیمیایی مورد نظر در انتهای پایین تکمیل می‌شود. کوره دارای یک لایه نسوز برای محافظت از پوسته آهنی بیرونی در برابر درجه حرارت‌های بالا است. رینگ یک حلقه استوانه‌ای است که از پوسته کوره پشتیبانی می‌کند. معیوب شدن مجموعه غلتک باعث ایجاد مشکلات فراوانی از جمله نوسانات فشاری و حرارتی که باعث عدم پایداری حرارت درون کوره و در نتیجه منجر به پایین رفتن تناژ تولیدی و در بسیاری موارد باعث گرفتگی و توقف کلی خط می‌گردد. با توجه به اینکه غلتک پشتیبان در معرض دوران و تنش خستگی و حرارتی است در بسیاری از موارد دچار دفورمگی می‌شود و عملکرد خود را از دست می‌دهد. عملکرد فنی تا حد زیادی کیفیت، خروجی و هزینه محصول را تعیین می‌کند.

اخیراً شرکت‌های معتبر سازنده کوره‌های دوار در دنیا رویکرد استراتژیک‌تری نسبت به تعمیر و نگهداری و کاهش زمان خرابی در پیش گرفته‌اند و متناسب با انتخاب و نیاز مشتری خدمات جدیدی ارائه می‌کنند. از آنجایی که بهره‌وری و کیفیت محصول به عملکرد بهینه کوره متکی هستند، در نتیجه توقف برنامه‌ریزی نشده فاجعه بار خواهد بود. بازرسی‌های برنامه‌ریزی شده با پربودهای مشخص، اطلاعات کافی برای بهینه‌سازی عملکرد و پیشروی در تعمیر و نگهداری کوره را به شما نمی‌دهد. در صورتیکه بخواهید در این زمینه حرکت رو به جلو داشته باشید نیاز است که وضعیت کوره را بصورت پیوسته تحت کنترل داشته باشید.

خدمات آنلاین نظارت بر وضعیت کوره‌ها از چندین سنسور



استفاده می‌کند که داده‌های پیوسته‌ای را از وضعیت سلامت قسمت‌های مختلف کوره ارائه می‌دهند که به طور خودکار به مرکز خدمات جهانی از راه دور ارسال می‌شود، جایی که مجموعه‌ای از متخصصان آن را تجزیه و تحلیل می‌کنند و بلافاصله پس از ایجاد کوچکترین خرابی اعم از عدم بالانس نیروهای محوری، بیضی شکل شدن نامناسب، تراز نبودن محور کوره یا لنگی غیر مجاز و سایر مشکلات دیگر توصیه‌هایی برای کمک به شما ارائه می‌کنند.

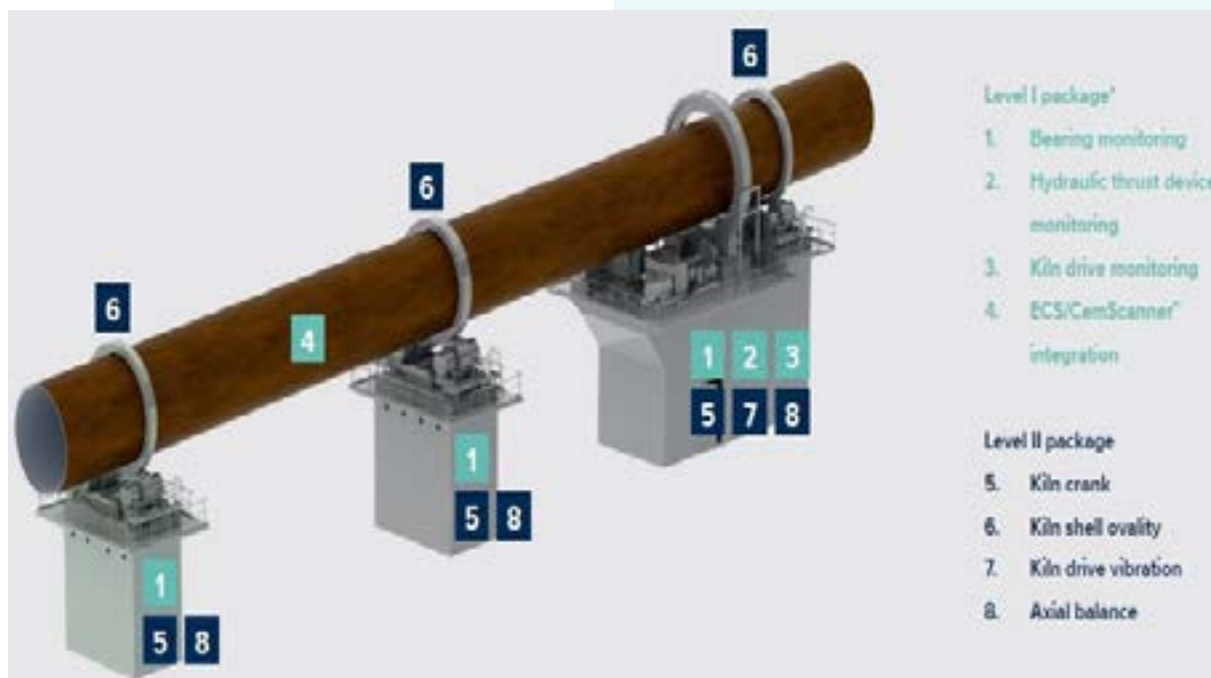
Evality

این خدمات معمولاً در دو سطح ارائه می‌شوند. سطح یک نظارت و کنترل قسمت‌های محرک و متحرک را بر اساس سیگنال‌های دریافتی از سنسورها انجام می‌دهد و به شما کمک می‌کند عمر مفید قطعات را بهبود ببخشید و علت اصلی بسیاری از مشکلات کوره را شناسایی کنید که بتوانید سریع واکنش نشان دهید. در سطح دوم از یک سری سنسورهای اضافی برای نظارت و کنترل مسائلی نظیر لنگی کوره، بیضی شدن پوسته‌ی کوره، لرزش و بالانس محوری استفاده می‌شود که این امکان را می‌دهد تا پارامترهایی که قبلاً قابل کنترل پیوسته نبودند را بصورت لحظه‌ای تحت کنترل قرار دهید. با این وجود کوچکترین مشکلات شناسایی شده و علت به وجود آمدن آنها به صورت ریشه‌ای تجزیه و تحلیل شده و فرصتی برای تبدیل مشکلات کوچک به خرابی‌های بزرگتر وجود نخواهد داشت. همچنین گزارش‌های منظمی نیز در مورد شرایط کاری کوره در حالت عادی ارسال می‌شود که در آن تمامی رویدادها همراه با خلاصه‌ای از اقدامات توصیه شده برای بهبود سلامت کوره وجود دارد که برای هر مقطع زمانی، توصیه‌های قابل اجرا برای بهبود شرایط در زمان کار را شامل می‌شود.



www.flsmidth.com

مرجع:





چکیده:

از جمله مهمترین مسائلی که در زمینه ماشین‌کاری با آن روبرو خواهیم شد، مسأله عمر ابزار و عوامل تأثیرگذار بر روی آن است. اکثر فرآیندهای ماشین‌کاری، به طور ذاتی همراه با فرسایش ابزار هستند. این فرسایش منجر به معیوب شدن ابزار برشی می‌گردد. همچنین این فرسایش فاکتوری مهم و تأثیرگذار بر روی کیفیت سطح قطعه کار، نیروها و اقتصاد ماشین‌کاری است. در ماشین‌کاری برخی از مواد به روش سنتی محدودیت‌هایی مثل فرسایش سریع‌تر ابزار برشی و نیروهای زیاد ماشین‌کاری وجود دارد.

در فرآیند ماشین‌کاری، فرسایش نسبی ابزار و کیفیت سطح، به عنوان پارامترهای مهم خروجی ماشین‌کاری مطرح هستند. در این فرآیند حفظ کیفیت سطح، مستقیماً به ویژگی ابزار و حفظ آن در روند ماشین‌کاری بستگی دارد. در این تحقیق، با نگرش به نقش سرعت برشی در فرآیند تراشکاری، فرسایش ابزار بر روی قطعه‌کار ۱/۱۹۱ مورد بررسی قرار گرفته و ماشین‌کاری در دو مرحله خشک و با استفاده از مواد خنک‌کننده (روانکار) انجام شده است. با استفاده از نتایج حاصل از ماشین‌کاری، کیفیت سطح و عمر ابزار اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد که عمر ابزار در ماشین‌کاری خشک برای سرعت برشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه با آهنگ زیادی کاهش می‌یابد و برای ماشین‌کاری با روانکار، آهنگ افزایش آن کمتر می‌باشد و این امر باعث افزایش عمر ابزار در ماشین‌کاری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گودال فرسایش _ آستانه فرسایش _ تراشکاری _ مواد روانکار

مقدمه:

پیش‌بینی عمر ابزار و تعیین موقعیت آن در فرآیند ماشین‌کاری، از مباحث مهم در طراحی یک ابزار برشی مناسب محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که با شناسایی دقیق پارامترهای مؤثر بر فرسایش ابزار، می‌توان طول عمر آن را افزایش و در نتیجه هزینه ماشین‌کاری را تقلیل داد. ژانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مکانیزم سایش ابزار را برای سه جنس متفاوت مورد بررسی قرار دادند [۱]. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مکانیزم سایش برای ابزار سماتنه‌کار باید و قطعه‌کار از جنس استیل بر مبنای فرسایش اصطکاک بوده. باری و همکارانش در سال ۲۰۰۱ مکانیزم سایش ابزار CBN/TiC را در ماشین‌کاری AISI ۴۳۴۰ بررسی کرده و تغییرات چهارگانه‌ای در نرخ سایش برشی CBN/TiC در سه حالت مختلف مشاهده نمودند. [۲]. یکی

بررسی تجربی کیفیت سطح و فرسایش ابزار در تراشکاری فولاد ۱،۱۹۱

تألیف و گردآوری: غلامرضا قاسمیان طالخونچه - کارشناس دفتر فنی
سعید امینی - استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

از روش‌های نمایش و مشاهده سایش، استفاده از یک مدل ریاضی می‌باشد. در این روش، سیگنال‌های نیرو که دارای اطلاعات درباره فرآیند می‌باشند، بهترین گزینه برای نمایش سایش ابزار هستند. [۳]. در سال ۲۰۰۸، ماییتی، معادله عمر ابزار را در ماشین‌کاری با حرارت بالا برای فولاد منگنزدار سخت شده به‌دست آورد. این معادله با استفاده از آنالیز رگرسیون به‌دست آمده است [۴]. چودهاری در سال ۲۰۰۴ با استفاده از یک مدل ریاضی و مقایسه آن با نتایج آزمایشی، آستانه سایش را در ابزار برشی فولاد تندبر اندازه‌گیری نمود.

بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در این پژوهش، آزمایش‌های عملی به‌گونه‌ای صورت گرفته است که در ابتدا بررسی کیفیت سطح در ماشین‌کاری خشک و با روانکار در فرآیند تراشکاری انجام شده است. در این مرحله سه سرعت برشی، پیش‌روی و عمق برش مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از آن برای پارامترهای ماشین‌کاری که بهترین کیفیت سطح را در ماشین‌کاری خشک و با روانکار داشته‌اند، آزمایش عمر ابزار انجام شده است.

روش تحقیق

تحقیق عمر ابزار را با پارامترهای ماشین‌کار که در آن به بهترین کیفیت سطح رسیده و انجام می‌دهند، سرعت برشی ۱۰۰۰ m/min و سرعت پیش‌روی ۰/۰۸ mm/rev را بر روی دستگاه تنظیم کرده و با ماشین‌کاری قطعه تا جایی که ابزار دچار سایش می‌شود، عمر ابزار را برحسب طول ماشین‌کاری به‌دست می‌آورند. در این آزمایش، عمر ابزار بدون پوشش در دو حالت بدون روانکار و با روانکار مورد بررسی قرار گرفته است.

ارائه نتایج و بحث

در جدول ۱ پارامترهای ماشین‌کاری شامل سه سرعت برشی، سه سرعت پیش‌روی و یک عمق بار ثابت می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر آزمایش‌ها به همراه پارامترهای ماشین‌کاری

شماره آزمایش	سرعت برشی (m/min)	سرعت پیش‌روی (mm/rev)	عمق بار (mm)	زاویه براده γ	زاویه آزاد α
1	500	0/08	0/6	14°	8°
2	500	0/14	0/6	14°	8°
3	500	0/2	0/6	14°	8°
4	710	0/08	0/6	14°	8°
5	710	0/14	0/6	14°	8°
6	710	0/2	0/6	14°	8°
7	1000	0/08	0/6	14°	8°
8	1000	0/14	0/6	14°	8°
9	1000	0/2	0/6	14°	8°

در شکل ۱، هندسه ابزار برشی از نمای پشت ابزار و بالای ابزار مشاهده می‌شود که در آن زاویه‌ی آزاد و زاویه‌ی براده مشخص است.



شکل ۱: هندسه ابزار برشی

در شکل ۱، زاویه تنظیم اصلی همان زاویه لبه برنده اصلی به محور طولی قطعه‌کار و همچنین زاویه‌ی تنظیم فرعی همان زاویه بین لبه برنده فرعی با امتداد طولی قطعه‌کار می‌باشد. پس از تنظیم پارامترهای مشخص روی ماشین، تأثیر سرعت‌های برشی و سرعت پیش‌روی، باتوجه به تعداد پارامترهای ماشین‌کاری، نه آزمایش برای بررسی کیفیت سطح انجام شد. این آزمایش‌ها یک‌بار برای ابزار پوشش‌دار و بدون پوشش و همچنین یک‌بار طی ماشین‌کاری خشک و یک‌بار برای ماشین‌کاری همراه با روانکار انجام شد. قطعه‌کار به طول‌های ۳ سانتی‌متر مانند شکل زیر تقسیم‌بندی و برای پارامترهای ماشین‌کاری که در جدول ۱ آورده و کیفیت سطح پس از انجام آزمایش اندازه‌گیری و تصویربرداری کیفیت سطح به‌دست آمده از آن توسط دستگاه (VMM) انجام شده است. ماشین‌های اندازه‌گیری تصویری، دستگاه‌هایی هستند که با استفاده از دوربین‌های دقیق و سه‌محور حرکتی امکان اندازه‌گیری، کنترل و بازرسی قطعات پیچیده و مسطح را مهیا می‌کنند. این نوع دستگاه‌ها بیشتر در جهت تصویربرداری قطعات کم‌ارتفاع یا قطعات تک‌ارتفاع استفاده می‌شوند.



شکل ۲: تقسیم‌بندی قطعه کار

باتوجه به پارامترهای ماشین‌کاری و داده‌های جدول ۱، نه آزمایش برای اندازه‌گیری کیفیت سطح انجام شد که طبق شکل ۲ قطعه‌کار به نه قسمت سه‌سانتی‌متری تقسیم و پس از ماشین‌کاری هر قسمت با پارامترهای مورد نظر، کیفیت سطح اندازه‌گیری شده است.

ماشین‌کاری بدون استفاده از مواد روانکار:

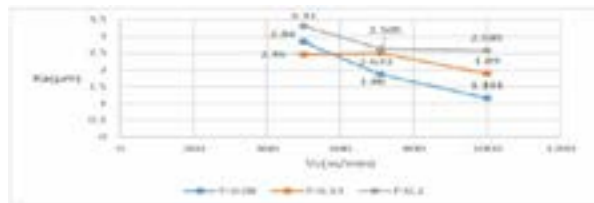
پارامترهای کیفیت سطح و میانگین آن‌ها برای آزمایش‌های نه‌گانه‌ی ابزار با پوشش و بدون روانکار در جدول زیر آمده است.

جدول ۲: پارامترهای مختلف برای زبری

سرعت برشی (m/min)	سرعت پیش‌روی (mm/rev)	Ra (بدون پوشش با روانکار)	Ra (با پوشش با روانکار)	Ra (بدون پوشش بدون روانکار)
500	0/8	2/71	2/99	3/78
500	0/14	3/205	3/19	3/55
500	0/2	4/35	4/24	3/58
710	0/08	1/575	2/33	2/75
710	0/14	2/00	2/325	4/075
710	0/2	4/035	3/675	2/97
1000	0/08	0/865	1/33	1/18
1000	0/14	1/6	2/435	1/58
1000	0/2	3/45	3/6	3/05

در جدول ۲ پارامترهای زبری سطح را نشان می‌دهد.

در شکل ۳ نمودار تغییرات زبری برحسب سرعت برشی برای ابزار پوشش‌دار، بدون روانکار رسم شده است. نکته: در تمام نمودارها، رنگ نارنجی بیان‌گر کیفیت سطح و رنگ آبی بیان‌گر زبری می‌باشند.



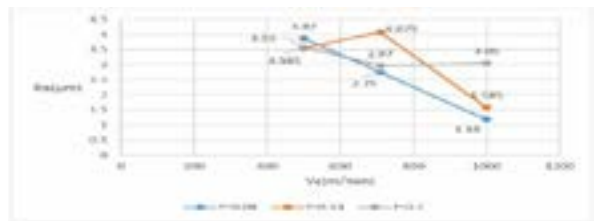
شکل ۳: نمودار تغییرات زبری برحسب سرعت برشی و عمق برش‌های مختلف

در شکل ۳ رفتار زبری برای سرعت پیش‌روی‌های مختلف را برحسب سرعت برشی نشان می‌دهد که، در سرعت پیش‌روی ۰/۰۸، بهبود کیفیت سطح با افزایش سرعت برشی، بهبود بیشتری داشته است که در دو سرعت پیش‌روی دیگر این آهنگ پیشرفت مشاهده نمی‌شود. در شکل ۳ تصویر برداری از کیفیت سطح قطعه‌کار با استفاده از دستگاه (VMM) را مشاهده می‌کنید. تصویر میکروسکوپی (VMM) مربوط به سطح قطعه‌کار برای ماشین‌کاری بدون روانکار و ابزار پوشش‌دار می‌باشد.



شکل ۴: تصویر VMM برای سرعت برشی ۱۰۰۰ و سرعت پیش‌روی ۰/۰۸

پارامترهای کیفیت سطح و میانگین آن‌ها برای آزمایش‌های نه‌گانه‌ی ابزار بدون پوشش و بدون روانکار در جدول ۲ آمده است. در جدول ۲ پارامترهای زبری سطح را نشان می‌دهد که بهترین کیفیت سطح در سرعت برشی (m/min) ۱۰۰۰ و سرعت برشی (mm/rev) ۰/۰۸ و بی‌کیفیت‌ترین سطح در پایین‌ترین سرعت برشی و بالاترین سرعت پیش‌روی به‌دست آمده است. در شکل ۴ نمودار تغییرات زبری برحسب سرعت برشی برای ابزار بدون پوشش، بدون روانکار رسم شده است.



شکل ۵: نمودار تغییرات زبری برحسب سرعت برشی و عمق برش‌های مختلف.

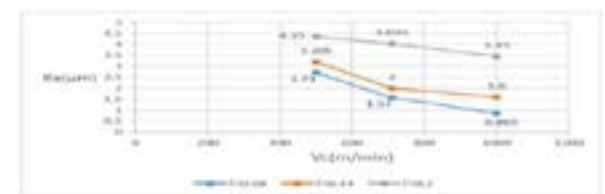
در شکل ۵ رفتار زبری برای سرعت پیش‌روی‌های مختلف را برحسب سرعت برشی نشان می‌دهد که، در سرعت پیش‌روی ۰/۰۸، بهبود کیفیت سطح با افزایش سرعت برشی بهبود بیشتری داشته است که در سرعت پیش‌روی ۰/۲ از این آهنگ پیش‌رفت مشاهده نمی‌شود. در سرعت برشی ۰/۱۴ ابتدا زبری افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد، که می‌تواند حاصل افزایش حرارت و یا آزاد شدن تنش‌های پسماند در سطح قطعه‌کار باشد.





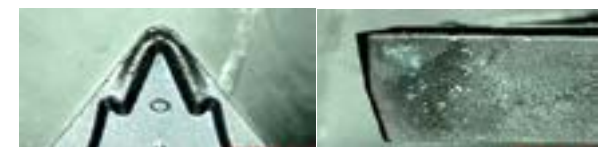
ماشین کاری با استفاده از مواد روانکار:

در این مرحله، عملیات ماشین کاری مشابه حالت قبل اما با حضور مواد روانکار انجام شده است. ویژگی‌های مواد روانکار که مخلوط آب و صابون یا همان آب با روغن است، در قسمت شرح آزمایش آمده است. سرعت‌های برشی، 1000 mm/min - $710 - 500$ بوده و طریقه‌ی انجام آزمایش‌ها مانند ماشین کاری خشک است. پس از تنظیم پارامترهای ثابت روی ماشین، تأثیر سرعت‌های برشی بررسی شده است. در این حالت طول عمر ابزار را می‌توان بر مبنای اثرات مکانیکی (سایش و حرارتی) بررسی کرد. معیار پایان عمر ابزار در اثر سایش با توجه به مقادیر استاندارد هستند که در مراجع ذکر شده وجود دارد. در جدول ۲ پارامترهای کیفیت سطح و میانگین آن‌ها برای آزمایش‌های نه‌گانه‌ی ابزار پوشش‌دار با روانکار آمده است. در جدول ۲ پارامترهای زبری سطح را نشان می‌دهد که بهترین کیفیت سطح در سرعت برشی 1000 m/min و سرعت پیش‌روی 8 mm/rev و بی‌کیفیت‌ترین سطح در پایین‌ترین سرعت برشی و بالاترین سرعت پیش‌روی به‌دست آمده است. بدترین کیفیت سطح در بیش‌ترین سرعت پیش‌روی برای هر سرعت برشی به‌دست آمده است. شکل ۶ نمودار تغییرات زبری بر حسب سرعت برشی برای ابزار با پوشش با روانکار رسم شده است.



شکل ۶: نمودار تغییرات زبری بر حسب سرعت برشی و عمق برش‌های مختلف.

در شکل ۶ نشان می‌دهد که در هر سه سرعت پیش‌روی، با افزایش سرعت برشی کیفیت سطح بهبود می‌یابد اما بهترین کیفیت سطح در سرعت پیش‌روی 8 mm/rev است که در هر سه سرعت برشی بهتر از سایر سرعت‌های برشی می‌باشد. با استفاده میکروسکوپ VMM از سطح ابزار قبل از ماشین کاری در شکل (۷) تصویربرداری شده است.



شکل ۷: سطح ابزار قبل از ماشین کاری.

برای محاسبه‌ی طول ماشین کاری می‌توان از روش زیر استفاده کرد: باتوجه به فرمول (۵) ابتدا تعداد دور روی قطعه کار را بدست می‌آورده و سپس با استفاده از فرمول (۶)، طول ماشین کاری را محاسبه می‌شود. بعد از هر بار ماشین کاری به دلیل کاهش قطر باید بار دیگر طول ماشین کاری را به‌دست آورد.

$$N = L / V_f \quad 1$$

$$L_m = \pi D N \quad 2$$

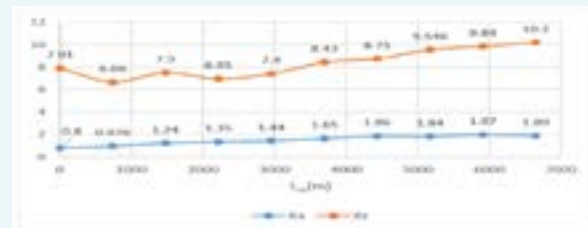
محاسبه‌ی عمر ابزار در ماشین کاری با روانکار:

جدول (۳): مشخصات قطعه کار برای ماشین کاری و محاسبه‌ی طول ماشین کاری.

L(mm)	N	D(cm)
400	5000	47

باتوجه به فرمول (۱) و باتوجه به داده‌های جدول (۳)، ابتدا تعداد دور روی قطعه‌ی کار را به دست آورده و پس از آن با استفاده از فرمول (۲)، طول ماشین کاری محاسبه شد. این مقادیر در جدول (۲) آورده شده‌اند.

شکل ۸ نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح را بر حسب طول ماشین کاری نشان می‌دهد.

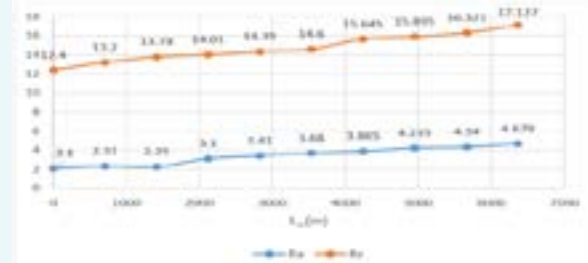


شکل ۸: نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب طول ماشین کاری.

در شکل (۸) نشان می‌دهد که افزایش طول ماشین کاری سبب کاهش کیفیت سطح می‌شود و این موضوع به دلیل فرسایش ابزار رخ می‌دهد. این موضوع بیانگر این است که ابزار به پایان عمر خود نزدیک شده است.

جدول (۲) مقادیر اندازه‌گیری شده کیفیت سطح است که بر حسب طول ماشین کاری آورده شده است.

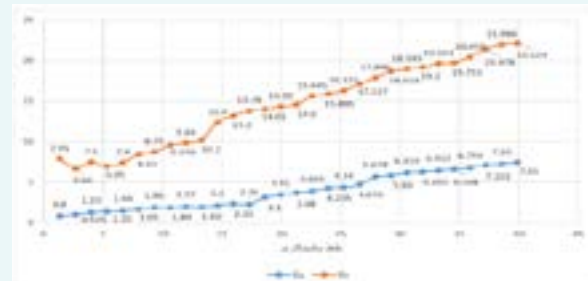
در شکل (۹) نمودار تغییرات کیفیت سطح بر حسب طول ماشین کاری رسم شده است.



شکل ۹: نمودار تغییرات کیفیت سطح و زبری بر حسب طول ماشین کاری.

شکل (۹) نشان می‌دهد با افزایش طول ماشین، کیفیت سطح کاهش می‌یابد. این مقادیر از مقادیر شکل (۸) بیش‌تر هستند که نشان می‌دهد ابزار به پایان عمر خود نزدیک می‌شود.

در شکل (۱۰) نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب نقاط ماشین کاری رسم شده است.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب نقاط ماشین کاری.

در شکل (۱۰)، کلیه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده بر روی قطعه کار، بر حسب نقاط ماشین کاری آورده شده، که افزایش مقادیر زبری و کیفیت سطح به دلیل آسیب دیدگی ابزار در طول فرآیند ماشین کاری به وجود آمده است. در شکل (۱۱) سطح ابزار بعد از ماشین کاری را نشان می‌دهد.



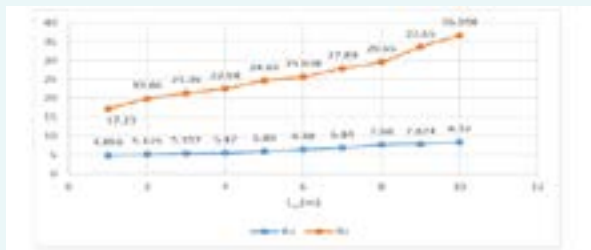
شکل ۱۱: سطح ابزار بعد از ماشین کاری با روان کار

باتوجه به شکل‌های (۷) که سطح ابزار را قبل از ماشین کاری نشان می‌دهد و با مقایسه با شکل‌های (۱۱) می‌توان مشخص کرد که، ابزار در طول ماشین کاری آسیب دیده و به این شکل درآمده است. این فرم برای نوک ابزار باعث کاهش تolerانس‌های ابعادی و کاهش کیفیت سطح می‌شود.

محاسبه‌ی عمر ابزار در ماشین کاری خشک

در ماشین کاری خشک همانند ماشین کاری با روانکار، محاسبات مربوط به طول ماشین کاری را انجام داده و پس از هر مرحله ماشین کاری، کیفیت سطح اندازه‌گیری شده است. در جدول (۲) مشخصات قطعه کار برای ماشین کاری خشک نشان داده شد. با افزایش طول ماشین کاری در ماشین کاری بدون روانکار، کیفیت سطح با آهنگ بیش‌تری افزایش می‌یابد که نشان از آسیب سریع‌تر ابزار نسبت به ماشین کاری با روانکار است.

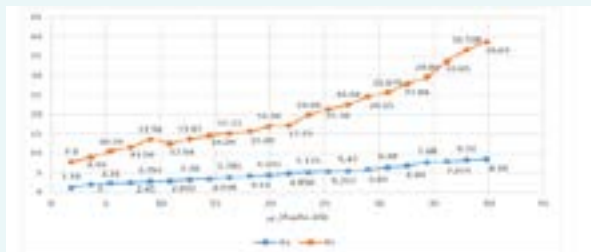
در شکل (۱۲) نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب طول ماشین کاری رسم شده است.



شکل ۱۲: نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب طول ماشین کاری.

در شکل (۱۲) کاهش کیفیت سطح به دلیل آسیب ابزار در ماشین کاری خشک، کاملاً مشخص است و این نشان از پایان عمر ابزار دارد.

در شکل (۱۳) نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح را بر حسب نقاط ماشین کاری رسم شده است.



شکل ۱۳: نمودار تغییرات زبری و کیفیت سطح بر حسب نقاط ماشین کاری.

شکل (۱۳) نشان می‌دهد که ابزار به پایان عمر خود رسیده و کاهش کیفیت سطح در ماشین کاری خشک سریع‌تر اتفاق می‌افتد. در شکل (۱۴) سطح ابزار را بعد از ماشین کاری خشک نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: سطح ابزار بعد از ماشین کاری با روان کار.

نتیجه‌گیری

باتوجه به شکل‌های (۷) که ابزار را قبل از ماشین کاری نشان می‌دهد و مقایسه‌ی آن با شکل‌های (۱۴)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ابزار دچار سایش شده است و عمر آن روبه پایان است. با مقایسه‌ی شکل‌های (۱۱) می‌توان فهمید که ابزار در ماشین کاری با روانکار کمتر آسیب و در ماشین کاری خشک بیش‌تر آسیب را می‌بیند که این به دلیل سایش و آسیب حرارتی است. در تحقیق حاضر ماشین کاری فولاد $1/1119$ در دو روش با روانکار و بدون استفاده از روانکار صورت گرفته است. باتوجه به نمودارها و جداول، عمر ابزار در سرعت‌های برشی بالا کاهش یافته است که علت این امر این است که با افزایش سرعت برشی تمرکز حرارت در نوک ابزار بیش‌تر شده و فرسایش آن شدت می‌یابد. اگرچه عامل اصلی فرسایش در سرعت‌های بالا تمرکز انرژی حرارتی است اما این عمل به علت سست شدن مرزدهانه‌ها و رهایی توده‌هایی از ماده صورت می‌گیرد. شکل (۱۴) نشان می‌دهد که با استفاده از مواد روانکار به میزان قابل توجه‌ی می‌توان طول عمر ابزار را افزایش داد. زیرا در این حالت حرارت متمرکز در جبهه‌ی پیشانی ابزار از طریق انتقال حرارت با مایع روان کار دفع شده و توده‌های مادی ابزار استحکام خود را تا حدودی حفظ می‌کنند؛ به طوری که پایداری عمر ابزار تا سرعت برشی بالاتر افزایش می‌یابد.

در این آزمایش وضعیت فرسایش نوک ابزار در ماشین کاری با استفاده از ماشین‌های تراش و در حضور و عدم حضور مایع روانکار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از ماشین کاری نشان می‌دهد که ابزار در سرعت‌های برشی بالا در اثر حرارت و گرمای زیاد از بین رفته و در سرعت‌های برشی پایین نیز در اثر فرسایش، از بین می‌رود. همان‌طور که ملاحظه شد، ابزاری که در اثر فرسایش از بین می‌رود، عمر بیشتری دارد. بنابراین با انتخاب یک سرعت برشی مشخص می‌توان از ابزار سرمت استفاده‌ی بهینه را برد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که عمر ابزار برای سرعت برشی کمتر از 1000 m/min به شدت افزایش می‌یابد اما نرخ براده‌برداری و سرعت ماشین کاری به همان نسبت کاهش می‌یابد. بنابراین بهترین سرعت برشی در محدوده $710 - 500 \text{ (m/min)}$ به‌دست آمده است.

مراجع:

- [1] Arsecularatne, J. A., Zhang, L. C. and Montross, C. (2006). "Wear and tool life of tungsten carbide, PCBN [2] and PCD cutting tools." International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 46, PP. 482-491.
- [3] Barry, J. and Byrne, G. (20001). "Cutting tool wear in the machining of hardened steels. Part II: cubic boron [4] nitride cutting tool wear." Wear 247, PP. 152-160.





محاسبات ترمودینامیکی و تعیین ریزساختار تشکیل اسپینل در دیرگدازهای $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$

YaochenSi, FanZhang, XinLi, HailongWang, Guoqiliu, HongxiaLi, BingbingFan, LimengSong, YongqiangChen

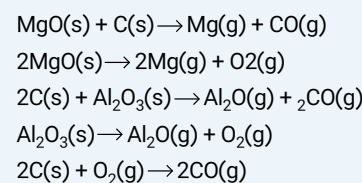
کاربرد دیرگدازهایی با عملکرد بالا در فرآیند ریخته‌گری مداوم؛ برای بهبود کیفیت و کارایی فولاد، حائز اهمیت هستند. دیرگدازهای مورد استفاده برای ریخته‌گری پیوسته عمدتاً شامل نازل طول بلند، استوپرهای یکپارچه، نازل‌های غوطه‌ور و سایر مواد نسوز کاربردی است. این دیرگدازها بر همگن شدن ترکیب و دمای فولاد مذاب، کنترل جریان و توزیع آن، جلوگیری از تماس با اکسیژن و تسهیل شناور شدن مواد زائد تأثیر گذاشته و تا حد زیادی بر عملکرد و راندمان فرآیند تصفیه و ریخته‌گری مداوم و حتی کیفیت بیلت فولاد تأثیر می‌گذارد. در طول فرآیند ریخته‌گری؛ دیرگدازها در معرض شوک حرارتی شدید، خوردگی بالا و فرسایش توسط فولاد مذاب با دمای بالا و سرباره هستند و به همین دلیل باید دارای مقاومت عالی در برابر شوک حرارتی و پوسته شدن باشند.

در این تحقیق، با شبیه‌سازی شرایط فاز گاز در داخل دیرگدازهای $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ و جمع‌بندی نتایج آن با آنالیز ترمودینامیکی و همچنین آنالیز SEM، تأثیر تشکیل فازهای گاز - گاز و گاز - جامد اسپینل MA در دیرگدازهای حاوی کربن در طی فرآیند ریخته‌گری پیوسته تشریح گردید. محاسبات ترمودینامیکی نشان داد که فشار جزئی گاز CO ، O_2 و Mg می‌تواند شرایط تشکیل و پایداری اسپینل MA را در دیرگدازهای $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ در محیط کاری فراهم کند، و نیتروژن طی شرایط ترمودینامیکی محیط کاری و در دمای 1550°C درجه سانتی‌گراد نمی‌تواند بر تشکیل اسپینل MA تأثیر بگذارد.

فرآیندهای تشکیل MA اسپینل به صورت تجربی در اتمسفر کربن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین پودرهای آلومینا با کربن پوشش داده شده تا از تماس مستقیم بین منیزیا و آلومینا جلوگیری شود. گاز منیزیم با واکنش حرارتی کربن تشکیل شد، سپس با آلومینا (گاز-جامد) و گاز حاوی آلومینیوم (گاز-گاز) واکنش داد تا اسپینل MA تشکیل شود.

جدیدترین دستاوردهای فناوری در عرصه دیرگدازها

گردآورنده: بهزاد امین پور؛ مشاور بازاریابی و خدمات مهندسی فروش



از طریق واکنش گاز-گاز یا گاز-جامد، تشکیل اسپینل MA به طور موثر کنترل شد. تجزیه و تحلیل SEM، حاکی از تشکیل یک ساختار دو لایه اسپینل شامل لایه بیرونی متراکم و لایه داخلی کمتر متراکم در دیرگداز $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ می‌باشد. از طریق شبیه‌سازی شرایط گاز در دیرگدازهای $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ در طی فرآیند ریخته‌گری مداوم و جمع‌بندی محاسبات ترمودینامیکی و تجزیه و تحلیل نمودار فاز، و همچنین SEM نتایج زیر را می‌توان از این مطالعه استخراج کرد:

۱) فشار جزئی هر گاز برای تشکیل اسپینل منیزیا آلومینای پایدار در سیستم $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ در شرایط کاری کافی بوده است.

۲) شرایط تعادل ترمودینامیکی؛ N_2 هیچ تأثیری بر تشکیل اسپینل در دمای 1550°C درجه سانتیگراد ندارد. اسپینل می‌تواند طی واکنش گاز-گاز و یا گاز-جامد تشکیل و به فاز متراکم تبدیل شود. تشکیل اسپینل درجا در شرایط محیط کاری، روشی مؤثر برای تنظیم ساختار و خواص دیرگداز $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ ارزیابی می‌شود.

۳) از طریق واکنش گاز-گاز و یا گاز-جامد، سرعت تشکیل اسپینل به طور موثر کنترل شد. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و نحوه توزیع اسپینل MA که در محل تشکیل شده بود اصلاح شد. ایجاد پوشش کربن روی پودر آلومینا در مخلوط MgO-C منجر به ایجاد ساختار متخلخل در هنگام تشکیل لایه اسپینل متراکم شد. بنابراین از انبساط شدید ناشی از تشکیل اسپینل درجا MA جلوگیری و ثبات حجمی محصول تضمین شد.

ارتباط بین مقدار سیمان در جرم‌های ریختنی نسوز پر آلومین و عملکرد آن‌ها در دماهای بالا

LeiXu, YangLiu, MinChen, NanWang

در این تحقیق؛ ارتباط بین عملکرد دیرگداز ریختنی در دمای بالا و محتوای سیمان و شناخت دقیق‌تر طراحی ترکیب مواد جرم‌های ریختنی کم سیمان آلومینا بالا در شرایط کاری خاص، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در محدوده 0°C تا 2°C

درصد وزنی سیمان؛ هم دانه‌های زمینه و هم منافذ، پس از پخت دارای توزیع عالی و همگنی خواهند بود. در این محدوده، توزیع آب بسیار پراکنده و ماتریس عمدتاً توسط مولیت درجا به هم متصل می‌شود. مطابق نتایج بدست آمده در این تحقیق؛ حداکثر دمای کاربرد (TO.5) و پارامترهای خزش، با محتوای سیمان طبق یک نسبت خطی بطور آهسته تغییر می‌کند. مقدار آب نیز با افزایش بیشتر محتوای سیمان؛ بطور خطی افزایش یافته و گرچه توزیع پیوسته‌ای را در اطراف دانه‌های ماتریس ایجاد می‌کند، لیکن این تغییر، پیوندهای مستقیم مولایت را از میان برده و منافذ درشت زیادی ایجاد می‌کند که منجر به از هم گسیختگی سریع دیرگداز، تحت بارهای حرارتی مکانیکی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مقدار بحرانی سیمان در این دیرگدازها؛ ۲ درصد وزنی، (معادل 10°C درصد وزنی آب در ماتریس) است و در مقادیر کمتر از ۲ درصد؛ می‌توان عملکرد جرم در دمای بالا را پیش‌بینی و تحت کنترل نگاه داشت.

تأثیر ذرات آلومینای پوشش داده شده با کربن بر خواص دیرگدازهای منیزیت‌گرافیتی

XianHao, QiangGu, YaochenSi, WeikuiMa, FanQian, GuoqiLiu, HongxiaLi

در این تحقیق؛ پودر آلفا- Al_2O_3 پوشش داده شده با کربن به دو روش فیزیکی و روش شیمیایی تهیه شد. پودرهای آلفا- Al_2O_3 با پوشش کربن به دست آمده برای تهیه مواد نسوز MgO-C به منظور کنترل ایجاد اسپینل درجا (MgAl_2O_4) به کار گرفته شدند. سپس اثر افزودن پودر آلفا- Al_2O_3 با پوشش کربن بر کارکرد دیرگدازهای MgO-C مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که هر دو روش فیزیکی و شیمیایی برای پوشش ذرات آلفا آلومینا می‌توانند تشکیل فاز جامد اسپینل را در دیرگداز منیزیا کربن تنظیم کنند، بگونه‌ای که واکنش فاز جامد اسپینل در دیرگداز را کند نموده و در نتیجه باعث کاهش انبساط ثانویه گردید، لیکن نمونه‌های حاوی میکروپودر آلفا- Al_2O_3 پوشش داده‌شده، تهیه شده به روش شیمیایی، بیشترین وزن حجمی، حداقل تخلخل ظاهری و بالاترین مدول شکست سرد و گرم و بهترین مقاومت در برابر شوک حرارتی و خوردگی را نشان دادند.

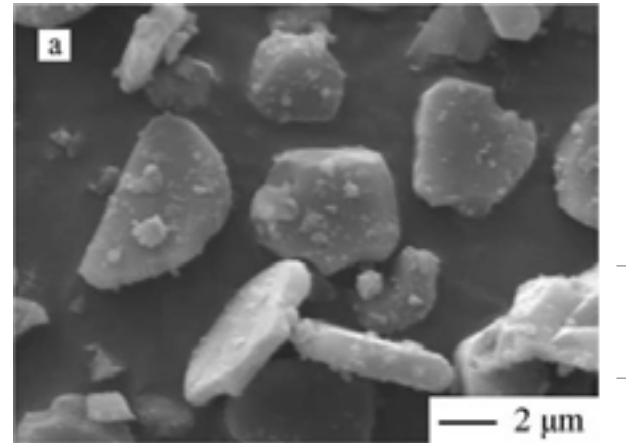
تأثیر پودر Al_2O_3 با پوشش کربنی بر ساختار و خواص کامپوزیت‌های نسوز MgO-C کم کربن

Xiangyu Tian, Guoqi Liu, Xinlian Shang, Hongxia Li, Xinfu Wang, Wengang Yang, Yongqiang Chen

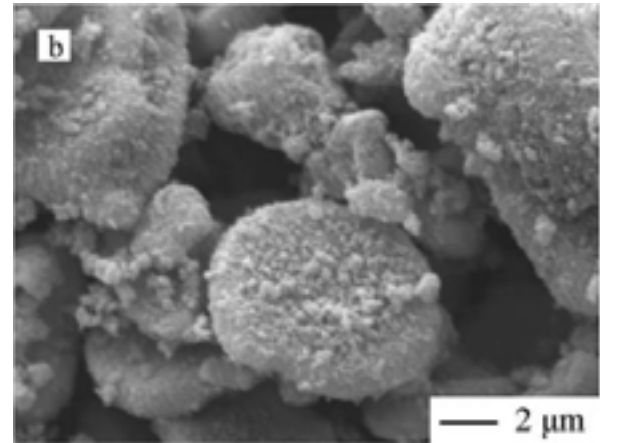
گرافیت؛ با هدایت حرارتی بالا، انبساط حرارتی و مدول الاستیسیته و ترشوندگی کم توسط سرباره، یکی از مواد اصلی و مهم برای تولید دیرگدازهای حاوی کربن است. هنگامی که

محتوای کربن بیش از حد زیاد باشد؛ دیرگدازها کربن بیشتری وارد فلز مذاب می‌کنند و همچنین اتلاف انرژی حرارتی از طریق دیواره‌های کوره بیشتر و مقاومت در برابر اکسیداسیون کاهش می‌یابد. دیرگدازهای MgO-C به دلیل مقاومت عالی در برابر خوردگی و مقاومت در برابر شوک حرارتی به طور گسترده در کورتورها، کوره‌های قوس الکتریکی، پاتیل‌ها و تجهیزات گاز زدائی در خلاء (RH) استفاده می‌شوند. وجود $18-12^\circ\text{C}$ درصد کربن؛ نسبتاً زیاد و مشکل‌ساز است. کاهش مقدار کربن با اصلاح پیوندهای دیرگداز به سادگی انجام پذیر است لیکن مقاومت شوک حرارتی و مقاومت در برابر خوردگی و ترشوندگی بسیار کاهش می‌یابد. اخیراً محققان توجه بیشتری به افزایش خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت‌های MgO-C کم کربن با تکیه بر فناوری نانو، استفاده از افزودنی‌های کارآمدتر، اتصال دهنده‌های ویژه و نوع کربن معمول کرده‌اند. تشکیل اسپینل درجا در دیرگدازهای MgO-C کم کربن با انبساط حجمی همراه است، که این خود به کاهش قابل توجه منافذ و مقاومت در برابر اکسیداسیون و مقاومت شوک حرارتی منجر می‌شود. تنظیم جریان واکنش اسپینل معمولاً از طریق افزودن فلز یا اکسید فلز، تغییر مقدار و اندازه ذرات MgO و Al_2O_3 و یا کنترل اتمسفر واکنش انجام می‌شود. Zhu و همکاران بر اساس مشاهدات ریزساختاری و تجزیه و تحلیل ترکیبی دریافتند که افزودن Al فلزی و مقدار کم گرافیت؛ نقش اساسی در تشکیل حفره‌های غنی از اسپینل MgO ایفا می‌کند. گزارش Zhang حاوی مطالبی درباره تکنیک رشد کاتالیز شده درجا برای تشکیل مقادیر زیادی نانو الیاف اکسیدی و یا نانو تیوب‌های کربنی در دیرگدازهای حاوی کربن با یک کاتالیزور فلز واسطه از طریق فرآیند رسوب بخار کاتالیز شده است. Zhang و همکاران همچنین دریافتند که Al با کربن اطراف و یا N_2 واکنش داده و Al_4C_3 و یا AIN در دماهای بالا تشکیل می‌شود. میل ترکیبی Al_4C_3 بیشتر با N_2 برای تشکیل رشته‌های AIN، و یا با CO برای تشکیل Al_2O_3 ، و نهایتاً تشکیل ذرات MgAl_2O_4 از طریق واکنش با MgO می‌باشد. تحقیقات باوند وندچالی و همکاران نشان داد که تشکیل اسپینل درجا از طریق واکنش دانه ریزدانه‌های Al_2O_3 و MgO در دمای 1000°C درجه سانتیگراد شروع و در 1300°C درجه سانتیگراد به انجام می‌رسد. Al_2O_3 و MgO معمولاً MA-spinel را با انتشار فاز جامد تولید می‌کنند، اما وجود کربن مانع تماس MgO و Al_2O_3 می‌شود. همچنین مکانیسم تشکیل MA-spinel تحت تأثیر تغییرات زیاد اتمسفر احیا می‌باشد. MgO و Al_2O_3 می‌توانند با C جامد واکنش داده و منجر به تشکیل Mg(g) و $\text{Al}_2\text{O(g)}$ و Al(g) و Al(l) گردند. همچنین Al(l) طی واکنش گاز-جامد و یا گاز-مایع-جامد تشکیل اسپینل فیبری یا حلقوی داده که اسپینل تشکیل شده

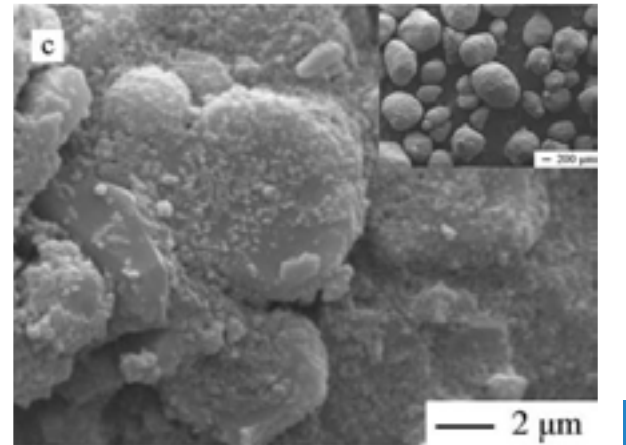
روی سطح ذرات MgO یا Al_2O_3 رسوب می‌کند. در هر صورت خواص مکانیکی ترکیبات با افزایش محتوای اسپینل به دلیل عدم یکنواختی انبساط حرارتی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این واکنش همچنین به دلیل انبساط حرارتی سریع؛ باعث ایجاد ریزترک‌ها و تشدید نفوذ سرباره می‌شود.



(a) پودر کلسایند آلومینا



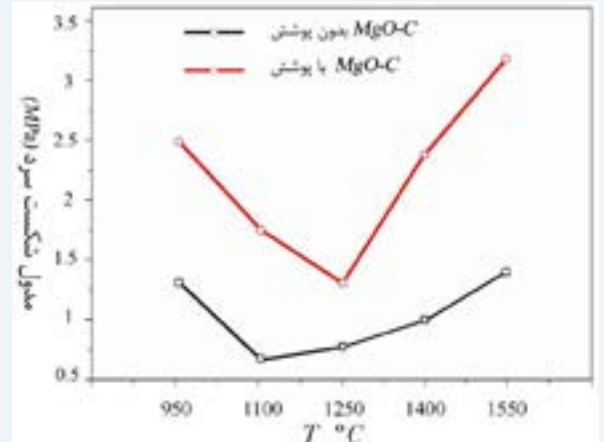
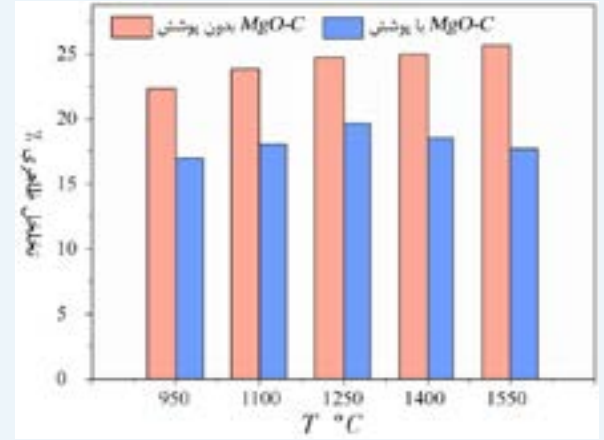
(b) پودر کلسایند آلومینا قبل از افزودن رزین



(c) پودر کلسایند آلومینا بعد از افزودن رزین

دیرگدازهای مبتنی بر ساختار کامپوزیت MgO-C و Al_2O_3 -C مورد مصرف ریخته‌گری؛ در سطح مشترک بین دو ماده تحت تاثیر واکنش اسپینل قرار می‌گیرند. این مسئله می‌تواند منجر به مشکلات انبساط حجمی و ناپایداری حجمی شود. به عنوان مثال، ممکن است باعث حادثه و شکستگی سر میله استوپر شود. بنابراین تنظیم واکنش اسپینل درجا یک فناوری مهم

است که بر رفتار و کارایی دیرگدازهای حاوی کربن تأثیر بگذارد. در این مقاله برای اولین بار در تولید دیرگدازهای MgO-C پودر Al_2O_3 با پوشش کربنی؛ بمنظور جداسازی تماس بین MgO و Al_2O_3 استفاده شد. در جمع‌بندی نهائی می‌توان گفت تنها با واکنش فاز گازی می‌توان به طور موثری سرعت واکنش اسپینل را کنترل و ثبات حجمی مواد را تضمین نمود. همچنین در این تحقیق؛ تأثیر اسپینل درجا بر ریزساختار، ترکیب فاز، خواص مکانیکی و حرارتی، تشریح شده است.



تغییرات تخلخل ظاهری و مدول شکست سرد دیرگدازهای $MgO-Al_2O_3$ -C در دو حالت باپوشش و بدون پوشش کربن

بهبود خواص دیرگدازهای MgO-C کم کربن از طریق افزودن میکرو کامپوزیت گرافیت SiC-Mula Raju, Sarath ChandraK, Tapas Mahata, Debasish Sarkar, Himadri Sekhar Maiti

میکروکامپوزیت‌های گرافیت - SiC قبلاً با فرآیند احیای کربوترمال تهیه شده‌اند. کنترل پارامترهای فرآیند شامل نسبت وزن SiO_2 به گرافیت و همچنین دمای احیای کربوترمال در طول آماده‌سازی میکروکامپوزیت؛ جهت تسهیل تشکیل همگن SiC با مورفولوژی‌های ترجیحاً ورقه‌ای و الیافی است. دیرگدازهای MgO-C کم کربن اصلاح شده با میکروکامپوزیت؛ خواص توده‌ای بهبود یافته قابل توجهی نسبت به ترکیب استاندارد نشان داده‌اند. محققان برای درک نقش مفید تقویت دیرگداز با SiC بر عملکرد مقاومت گرم تحت شرایط اکسید کننده هوا؛ یک پارامتر پوسته پوسته شدن به نام ضریب قدرت

(fs) را بر اساس نسبت مقاومت گرم (HMOR) به مقاومت سرد (CCS) پیشنهاد می‌نمایند. ارتباط داده‌های ضریب قدرت (fs) با آسیب ناشی از اکسیداسیون؛ دیدگاه‌های جدیدی را در مورد اثرات تقویت‌کننده SiC در این گروه جدید از نسوز تقویت شده نسبت به ترکیبات استاندارد ارائه می‌دهد.

نکات برجسته:

- میکروکامپوزیت‌های گرافیت-SiC از طریق احیای کربوترمال سنتز شدند.
- دیرگدازهای تقویت شده SiC خواص کاربردی بهتری نسبت به استاندارد نشان دادند.
- در دیرگدازهای مبتنی بر SiC نرخ اکسیداسیون پایین $(1.58 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{S}^{-1})$ مشاهده شد.
- در دیرگدازهای تقویت‌شده با SiC استحکام گرم از 42.3 به 57.4 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش یافت.
- با SiC یک ریزساختار مقاوم به عیب؛ با طراحی ضریب قدرت بالای $1/13$ تشکیل می‌شود.

سنتز، خصوصیات، شکل و مکانیسم رشد بلورهای درشت MgO لوله‌ای؛ بصورت درجا، حاصل از منیزیای نسوز با آلومینیوم

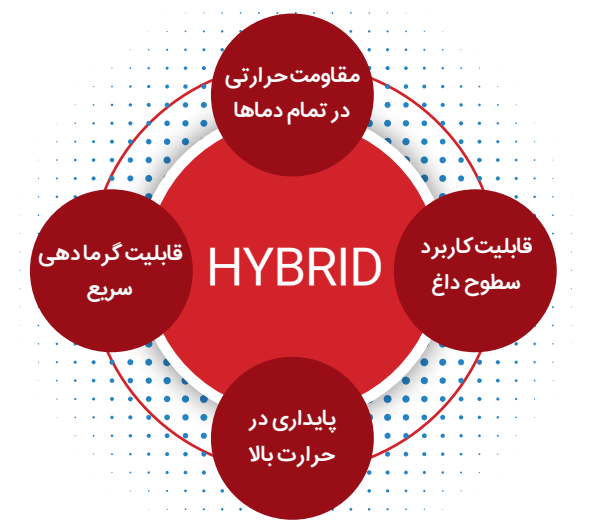
Muhan Wu, Ao Huang, Yanzhu Huo, Huazhi Gu, Lyping Fu

در بسیاری از صنایع برای مقاومت در برابر حرارت و مقاومت در برابر خوردگی از کریستال‌های MgO به طور گسترده استفاده می‌شود. بلورهای MgO لوله‌ای در اندازه ماکرو با ساختارهای متخلخل از طریق متراکم کردن منیزیا و پودر آلومینیوم در دمای بالاتر از 1400°C درجه سانتیگراد در اتمسفر هوا با موفقیت تولید شدند. مورفولوژی و تراکم MgO را می‌توان به راحتی با شکل سوراخ روی درب بوته Al_2O_3 و دمای عملیات حرارتی کنترل کرد. شکل سوراخ بوته Al_2O_3 برای رشد لوله MgO حیاتی بود. واکنش ترمیم مقدار زیادی بخار منیزیم تولید کرده و اکسیژن موجود در بوته از طریق سوراخ خارج شد. به دلیل فشار اتمسفر هوا، بخار MgO طی اکسیداسیون بخار منیزیم ایجاد و از بوته خارج می‌شود. این بخارات ترجیحاً در اطراف سوراخ رسوب و لایه‌ای از MgO تشکیل می‌دهند. بتدریج بلورهای درشت MgO روی دیواره رشد می‌نمایند. برای مشاهده فرآیند رشد لوله MgO از سیستم دید مستقیم مبتنی بر نور تک رنگ، در دمای بالا استفاده و مکانیسم رشد بلورها تأیید شد. انتظار می‌رود این یافته‌ها دیرگدازهای مبتنی بر منیزیای حاوی آلومینیوم را توسعه داده و یک استراتژی امیدوارکننده برای تولید اقتصادی MgO با خلوص بالا ارائه دهند.

فناوری پیشرفته HYBRID در زمینه اتصال سل-ژل برای بتن‌های نسوز

J. Neese, B. Kesselheim, S. Rollmann, S. Scheffler
در فرآیندهای صنعتی؛ مانند تولید فولاد، آهن خام و فلزات غیرآهنی همچنین کاربردهای حرارتی پیچیده مانند سوزاندن

زباله یا تولید انرژی، استفاده از مواد نسوز ضروری است. استفاده از مواد نسوز بدون شکل در مقایسه با مواد نسوز شکل دار دارای مزایای اساسی از قبیل نصب ساده در اشکال پیچیده با اشکال هندسی پیچیده و سرعت نسوزکاری است. به طور کلی آسترهای نسوز باید در دماهای بالا ضربه‌های حرارتی و تنش‌های شیمیایی و مکانیکی را تحمل کنند. از یک طرف، نباید هیچ آسیبی اعم از سایش و خوردگی پوشش نسوز در هنگام استفاده، و یا در دماهای بالا وجود داشته باشد. از سوی دیگر، پوشش دیرگداز باید اقتصادی باشد. هر سیستمی مزایا و معایب متفاوتی را ارائه می‌دهد.



پیشرفت‌های بیشتر در تولید فولاد تمیز و افزایش تقاضا برای آن منجر به نیاز بیشتر به مواد نسوز ویژه می‌شود. به دلیل وجود اکسید کلسیم، خطر تشکیل فازهای گدازآور وجود دارد. یکی از راه حل‌ها؛ استفاده از یک جایگزین دیگر از قبیل، پیوند سلیسی بدون سیمان است. در این سیستم؛ مشکل خاصی در رابطه با گرمادهی (heating up) مشاهده نشده است. همچنین بعلت فقدان CaO خطر تشکیل فازهای گدازآور منتفی است. احتمالاً تنها ایراد این سیستم مقاومت مکانیکی در دماهای کمتر از 1000°C درجه سانتیگراد است؛ که می‌تواند منجر به افزایش آسیب‌پذیری مقاطع بی‌شکل و قطعات پیش ساخته شود. با توجه به ضعف‌های موجود در بایندهای پرکاربرد؛ هدف از این پروژه ابداع یک سیستم اتصال نوآورانه با خواص بهبود یافته است. تمرکز بر افزایش استحکام در تمام محدوده‌های دمایی، امکان گرمادهی سریع و دوام حرارتی استوار بوده است. در تحقیق ارائه شده؛ این سیستم پیوند HYBRID جدید، به طور مستقیم با هر دو سیستم استفاده شده معمول (سیلیکا سل / CAC) مقایسه می‌شود.



بررسی مزایا و معایب سیستم‌های اتصال متداول؛ هدف این مطالعه است. الزام افزایش استحکام در دمای اتاق تا حداکثر دمای کاربرد؛ منجر به ابداع یک سیستم پیوند HYBRID جدید شده است. که در آن مزایای اتصال سل سیلیس با استحکام بالا در کل محدوده‌های دمائی وجود دارد. ترکیب سل سیلیس و اجزای افزودنی راکتیو منجر به بهبود پیشرفت قابل توجه در عملکرد می‌شود. پیوند HYBRID افزایش استحکام مکانیکی تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و امکان اعمال گرمایش سریع و افزایش دوام در دمای بالا را تضمین می‌کند. این امر در آزمایشگاه و در مقیاس تولید در این پروژه تأیید شد و می‌توانست با موفقیت به شرایط عملی منتقل شود. علاوه بر این، باید یک نمای کلی از کاربردهای احتمالی و چشم انداز پیشرفت‌های بیشتر ارائه شود.

ارائه فناوری جدید در تعمیرات پاتیل توسط شرکت نسوز Trent

شرکت Trent Refractories با اتکا به فناوری جدید موفق به کسب طول عمر و کارایی بیشتر آستر نسوز پاتیل‌ها در برابر خوردگی سرباره گردیده است. این فناوری با پخت همزمان $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ ، ریزساختارهای خلاقانه‌ای ایجاد می‌کند که طی آن یک بایندر هیدرولیک مرکب شامل فاز میکرو کریستالی اسپینل تشکیل می‌شود. تصویر زیر پاتیل پوشش داده شده با این جرم در بریتانیا را نشان می‌دهد.



سقف یکپارچه ریخته شده با جرم‌های مبتنی بر سیستم هیبریدی؛ این سقف تنها با چهار قلاب فولادی جابجا می‌شود.



منابع:

- 1- REFRACTORIES WINDOW
- 2- SCIENCE DIRECT
- 3- RESEARCH GATE
- 4- TECHNOLOGY TRENDS



چکیده:

بتن سخت شده به عنوان یک سنگ مصنوعی در نظر گرفته می‌شود که در آن فضای خالی بین ذرات بزرگتر (سنگدانه درشت‌تر) با ذرات ریزتر (سنگدانه ریزتر) و فضای خالی بین ذرات با سیمان پر می‌شود. در این پژوهش نانو کامپوزیت‌های سیمانی رنگین با استفاده از نانو پیگمنت ساخته شده است.

در ابتدا نانو پیگمنت‌ها در درصدی از ۰ تا ۴ درصد به کامپوزیت‌های سیمانی اضافه شده است که در بررسی‌های انجام گرفته بر روی خواص مکانیکی که در راس این خواص، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی قرار دارند نتایج حاکی از افزایش استحکام خمشی و فشاری و همچنین افزایش زمان گیرش در درصدی بین ۲ تا ۴ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانو، کامپوزیت سیمانی، پیگمنت، خواص مکانیکی.

۱- مقدمه

سیمان و بتن به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی نزدیک به دو قرن است که در صنعت استفاده می‌گردد [۱]. بتن سخت شده به عنوان یک سنگ مصنوعی در نظر گرفته می‌شود که در آن فضای خالی بین ذرات بزرگتر (سنگدانه درشت‌تر) با ذرات ریزتر (سنگدانه ریزتر) و فضای خالی بین ذرات با سیمان پر می‌شود. در مخلوط بتن، سیمان و آب تشکیل خمیر سیمان را می‌دهند که علاوه بر پر کردن حفرات سنگدانه‌های ریز، به عنوان یک بایندر برای چسباندن و نگهداری ذرات سنگدانه کنار هم در قالب یک جرم فشرده عمل می‌کند [۲].

ساخت بتن و سیمان رنگی نیز در دهه اخیر از طرح‌های نوین تحقیقاتی در سطح جهان به شمار می‌آید. ساخت آسان و کاربردهای متنوع این ماده رنگی برای استفاده کنندگان بسیار حائز اهمیت بوده و وسعت بکارگیری آن را روشن می‌سازد [۳]. از نظر شیمیایی پیگمنت‌ها به دو دسته معدنی و آلی دسته‌بندی می‌شوند. خواص عمومی این دو گروه را با توجه به کاربرد آن‌ها می‌توان بیان کرد. پیگمنت‌های معدنی عموماً مقاومت بیشتری نسبت در مقابل حرارت، نور، هوا، حلال و مواد شیمیایی دارند و بدین لحاظ از پیگمنت‌های آلی برترند ضمن اینکه ارزانتر نیز هستند. پیگمنت‌های معدنی عموماً دارای ضریب انکسار بالا و پوشش‌دار هستند اما پیگمنت‌های آلی دارای ضریب انکسار پایین و ترانسپرنس هستند. در فرآیند رنگ کردن با استفاده از رنگدانه‌ها، میلیون‌ها ذره ریز پیگمنت رنگی لازم است تا به طور



نانو کامپوزیت سیمانی رنگین

تالیف و گردآوری: محسن اسد زاده - سرپرست تولید (آماده سازی)

یکنواخت و به طور هموزن توسط مخلوط کردن در سرتاسر خمیر سیمان پخش گردند. در این حالت چشم انسان قادر به تشخیص دانه‌های پیگمنت رنگی نمی‌باشد و تنها نتیجه فرآیند را به صورت یک رنگ خاص یکنواخت سفید یا سبز، آبی، زرد، سیاه، قرمز و یا غیره می‌بیند [۴،۵]

بهترین پیگمنت‌ها، پیگمنت‌های خانواده آهن هستند که به طور طبیعی و مصنوعی قابل دسترس می‌باشند. با استفاده از این پیگمنت‌ها می‌توان رنگ‌های اصلی قرمز، نارنجی، قهوه‌ای، زرد و سیاه را تولید کرد. پیگمنت‌های معدنی دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند دامنه رنگ‌های بتن رنگی را گسترده‌تر کنند، این پیگمنت‌ها عبارتند از: اکسیدهای کروم، کبالت، اکسید تیتانیوم، کربن بلک و غیره که رنگ‌های مختلف سبز، آبی، سفید و سیاه را تولید می‌کنند. پیگمنت‌های مصرفی در رنگ کردن سیمان و بتن از نظر شیمیایی پایدارند و تحت تأثیر تابش‌های معمولی محیط نیز تغییر نخواهند داد که این امر به طور واضح در تصاویر و رنگ‌های غارها که با اکسید آهن و از خاک و کربن حاصل شده از زغال تولید شده‌اند، قابل مشاهده است. این رنگ‌ها برای هزاران سال است که تغییر نکرده‌اند [۷].

همچنین دره‌های بزرگ و ژرف با ظاهری رنگی که فکر می‌شود حدود بیست میلیون سال عمر داشته باشند، گواه بر پایداری رنگ‌های اکسید فلزی است زیرا این رنگ دانه‌ها توسط تابش اشعه فرابنفش تحت تأثیر قرار نگرفته و هرگز کم رنگ نخواهد شد [۶].

از آنجایی که سیمان‌ها و بتن‌های رنگی امروزی باید در محیط‌هایی تا اندازه‌ای حاد و سخت مثل محیط‌های آلوده شهری، مکان‌های پر رفت و آمد سواره‌روها و در حاشیه سواحل دریایی سالم بماند لذا باید دارای خواص مکانیکی و فیزیکی و شیمیایی مطلوبی باشند. دو ضابطه کلی در رابطه با بتن خوب وجود دارد: روانی بتن باید در حالت سخت شده و همچنین در حالت‌تر یعنی در حال انتقال از دستگاه مخلوط کن به داخل قالب، رضایت بخش باشد. الزامات خواص بتن تر عبارتند از: روانی مخلوط، که باید در حدی باشد که بتوان آن را با وسائل موجود و حداقل مقدار کار متراکم نمود و همچنین مخلوط از چسبندگی کافی برخوردار باشد تا با روشی که برای در جا ریختن بتن به کار گرفته می‌شود، جداشدگی رخ ندهد و سبب ناهمگنی محصول نهایی نگردد. معمولاً لازمه یک بتن سخت، داشتن مقاومت فشاری رضایت بخش است. مقاومت فشاری فقط بدین منظور انتخاب نمی‌شود که سیمان و بتن رنگی بتواند یک تنش فشاری معین را تحمل کند بلکه بدین دلیل است که بسیاری از دیگر خواص مطلوب بتن متناسب با مقاومت فشاری آن می‌باشد و در کل، مقاومت فشاری را به عنوان یک شاخص از کیفیت کلی بتن بکار می‌برد. خواص مختلف بتن



از جمله وزن مخصوص، دوام، مقاومت کششی، نفوذپذیری، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها و بسیاری دیگر نیز حائز اهمیت است و اخیراً علاقه به خواص سیمان و بتن رنگی زیاد شده است، زیرا در آیین نامه‌های جدید تمایل به تعیین ملزومات برای خواص ویژه‌ای از بتن به جای تعیین ساده کیفیت و کمیت مواد متشکله آن وجود دارد. لذا علم و آگاهی به خواص بتن امکان انتخاب مخلوط‌های مناسب‌تر و اقتصادی‌تر را فراهم می‌آورد. علاقه به ساخت بتن همچنین با توسعه دستگاه‌هایی که سبب اصلاح یکنواختی بتن، همراه مزایای فنی و اقتصادی آن می‌گردند، گسترش یافته است [۷]. هدف از این پروژه بررسی ساخت سیمان رنگی و نانو کامپوزیت سیمانی رنگی با رنگ سرامیکی و بررسی خواص مکانیکی بتن رنگی می‌باشد که در راس این خواص، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی قرار دارند. برای رسیدن به این هدف از آزمایشات فشاری و خمشی بر نمونه‌های کنترل شده و نمونه‌های رنگی (در دو رنگ سبز، قهوه‌ای و با درصد‌های متفاوت رنگ‌های سرامیکی بر حسب وزن سیمان مصرفی) و مقایسه نتایج استفاده گردیده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

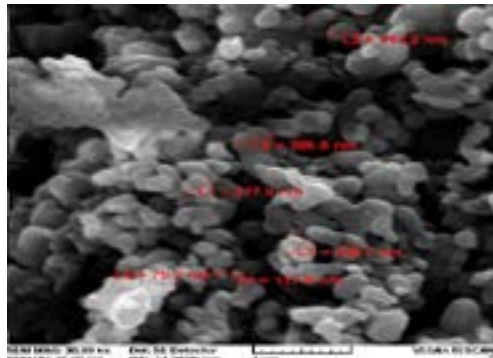
۱-۲ مواد اولیه

مواد اولیه شامل سیمان پرتلند، نانو پیگمنت و ماسه استاندارد می‌باشد که مشخصات شیمیایی آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

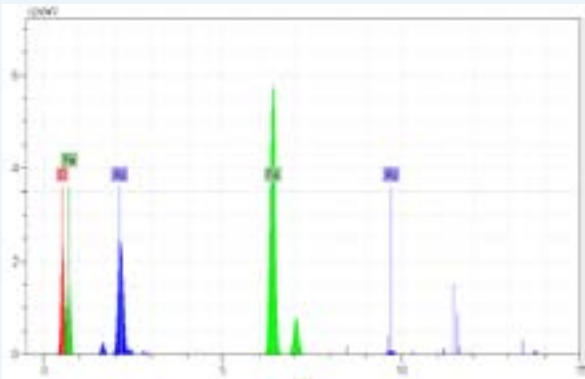
جدول ۱: مشخصات شیمیایی مواد اولیه

Items	Chemical composition (%)	OPC Nano- pigment
Al ₂ O ₃	5.21	-
SiO ₂	21.43	-
Fe ₂ O ₃	4.05	-
CaO	65.08	-
MgO	1.16	-
SO ₃	1.36	-
L.O.I	0.95	-
Fe ₂ O ₃	-	75
SiO ₂	-	15
Na ₂ O+K ₂ O	-	5
CaO+MgO	-	5

همچنین در شکل‌های ۲و۱ آنالیز XRD و تصویر SEM از نانو پیگمنت ارائه شده است.



شکل ۱: تصویر SEM از نانو پیگمنت



شکل ۲: آنالیز XRD از نانو پیگمنت

۲-۲ روش آزمایش

با توجه به هدف طرح که ساخت سیمان رنگی و پی‌بردن به نقش پیگمنت سرامیکی ساخته شده و اندازه‌گیری خواص بتن رنگی طبق استاندارد ASTM C979 است. نیاز به نمونه‌هایی از بتن رنگی و غیر رنگی است که تحت شرایط یکسان (مواد اولیه، ساخت و عمل‌آوری) تهیه شده باشند.

با تهیه نمونه‌های غیر رنگی که به عنوان نمونه‌های شاهد در نظر گرفته می‌شوند و نمونه‌های رنگی با درصد‌های مختلف پیگمنت (معمولاً ۰-۴ درصد) سعی شد که تحت یکسری از آزمایشات بر روی آن‌ها (نمونه‌های رنگی و غیر رنگی) و مقایسه بین نتایج، اثر پیگمنت‌های ساخته شده را بر روی خواص مکانیکی بتن رنگی طبق استاندارد ASTM نشان داد. با توجه به آنکه از مهمترین خواص مکانیکی کاربردی برای بتن، مقاومت فشاری و مقاومت سایشی است از این رو آزمایش بر روی نمونه‌ها به ترتیب زیر انجام گردید.

برای آزمایش مقاومت فشاری از نمونه‌های شاهد ۳ عدد و از نمونه‌های رنگی برای هر درصد پیگمنت نیز ۳ نمونه تحت فشار در دستگاه قرار گرفتند و با بدست آمدن نتایج میانگین مقاومت برای هر ۳ نمونه محاسبه گردید. با جمع‌آوری نتایج و جدول‌بندی آن‌ها و رسم نمودارها امکان مقایسه بین مقاومت فشاری نمونه شاهد و نمونه‌های رنگی (با درصد‌های مختلف پیگمنت) حاصل گردیده و به این طریق می‌توان به اثر هر پیگمنت بر مقاومت فشاری در بتن رنگی پی‌برد. و برای آزمایش مقاومت خمشی نیز از نمونه‌های شاهد ۳ عدد و از نمونه‌های رنگی نیز ۳ عدد تحت سایش در دستگاه دیسک دوار قرار گرفت. با بدست آوردن میزان کاهش وزن نمونه‌ها و محاسبه میانگین آن برای هر نمونه، نتایج ثبت گردید و سپس با مقایسه و بررسی نتایج، به اثر پیگمنت بر مقاومت سایشی بتن رنگی نیز می‌توان پی‌برد.

۳- نتایج و بحث

بتن بدلیل دارا بودن مزایای مهم، یکی از پر مصرف‌ترین مواد ساختمانی است. از اینرو امروزه با توجه به تنوع کاربرد بتن، توجه خاصی به بتن رنگی که علاوه بر مزایای بتن، ظاهر و نمایی زیبا نیز ارائه می‌کند، شده است.

در سال‌های اخیر کارهای بسیاری بر روی روش‌های مختلف تولید بتن رنگی با کیفیت ظاهری مطلوب انجام شده است، اما

علاوه بر ظاهر و زیبایی بتن باید خواص مطلوبی را با توجه به شرایط کاربردها دارا باشد.

از آنجا که پارامترهای موثر بر خواص بتن غیر رنگی نیز تاثیر ندارند، تنها پارامتری که در بتن غیر رنگی باید بررسی کرد تاثیر عامل رنگ کننده بتن غیر رنگی بر خواص آن می‌باشد.

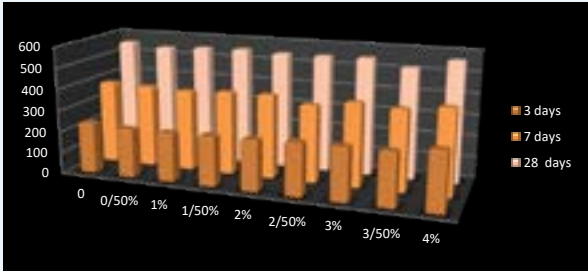
برای بررسی تاثیر پیگمنت سرامیکی بر خواص مکانیکی بتن رنگی از درصد‌های وزنی متفاوتی پیگمنت بر حسب وزن سیمان مصرفی جهت رنگی‌کردن بتن استفاده گردید. بدین ترتیب امکان تعیین میزان مورد نیاز پیگمنت جهت رنگی‌کردن بتن و همچنین میزان مجاز پیگمنت با توجه به خواص مکانیکی بتن از طریق تهیه نمونه‌های بدون رنگ (شاهد) و نمونه‌های رنگی و انجام آزمایشات بر روی آن‌ها بدست آمد. نتایج بدست آمده با ارائه جدول، نمودارها نشان داده شده است تا بتوان مقایسه و نتیجه‌گیری مناسبی صورت گیرد.

اثر نانو پیگمنت‌های سرامیکی بر مقاومت فشاری بتن رنگی
نتایج حاصله برای عمر ۷ روزه در جدول ۲ و در شکل ۱ به صورت نمودار نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود، مقاومت فشاری نمونه شاهد ۳۹۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد. در نمونه‌های نانو کامپوزیت رنگی نیز مقاومت فشاری در ۲ درصد نانو پیگمنت ۳۹۲/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع باشد که این مقدار ۴۰۱/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع رای ۴ درصد پیگمنت افزایش می‌یابد.

پس در کل مقاومت فشاری نمونه‌های رنگی با مقادیر ۲ و ۴ درصد نانو پیگمنت نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته.

جدول ۲: نتایج حاصل شده از آزمایش فشار (N/mm²)

	3days	7 days	28 days
0 %	241	392	558.5
0.5%	228.5	385.5	542.5
1%	228	379.5	552
1.5 %	234	389.5	556.5
2%	237	392.5	547.5
2.5 %	244	362	548.5
3 %	247	389	552
3.5 %	247.5	377.5	520.5
4 %	274.5	401.5	566



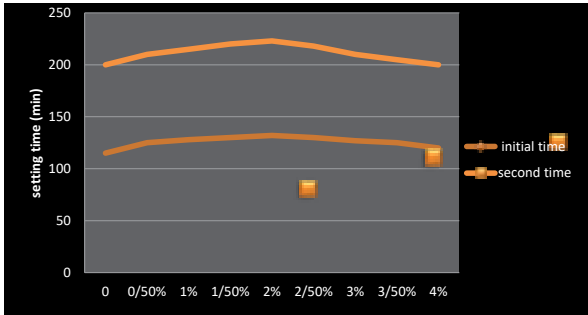
نمودار ۱: نتایج مقاومت فشاری

اثر نانو پیگمنت‌های سرامیکی بر مقاومت زمان گیرش بتن رنگی

نتایج حاصله برای تست گیرش در جدول ۳ و در نمودار ۲ نشان می‌دهد که زمان گیرش اولیه و ثانویه نمونه شاهد به ترتیب ۱۱۵ و ۲۰۰ دقیقه می‌باشد. در نمونه‌های نانو کامپوزیت رنگی نیز زمان گیرش اولیه در ۲ درصد نانو پیگمنت ۱۳۲ دقیقه می‌باشد که این مقدار به ۱۲۰ دقیقه برای ۴ درصد نانو پیگمنت کاهش می‌یابد.

جدول ۳: نتایج حاصل شده از آزمایش تست گیرش (min)

item	second	Initial
0%	200	115
0.5%	210	125
1%	215	128
1.5%	220	130
2%	223	132
2.5%	218	130
3%	210	127
3.5%	205	1250
4%	200	120



نمودار ۲: نتایج تست گیرش

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشات صورت گرفته و مقایسه بین نتایج نمونه‌های کنترل شده و نمونه‌های رنگی، ذیلاً نتایج نهایی و پیشنهاداتی در جهت بررسی و بهبود خواص بتن رنگی به طور اختصار ارائه می‌گردد.

۱- افزودن پیگمنت‌های سرامیکی روشی ساده و مطلوب جهت رنگی نمودن بتن می‌باشد.

۲- دستیابی به ساخت رنگ‌های سنتزی برای ساخت سیمان رنگی با دامنه طیف رنگی مشخص.

۳- ساخت نانو پیگمان و نانو کامپوزیت سیمانی رنگی با استفاده از مواد اولیه داخلی و بومی.

۴- اندازه دانه رنگ‌های ساخته شده ۲۵۰ تا ۳۵۰ نانومتر برای قهوه‌ای است.

۵- پیگمنت‌های سرامیکی در ابتدا باعث افزایش مقاومت فشاری بتن رنگی می‌گردند و میزان کاهش برای مقادیر کم پیگمنت در بتن جزئی است اما با زیاد شدن مقدار پیگمنت خارج از حد اپتیمم کاهش می‌یابد.

منابع:

- ۱- رضانیپور، علی اکبر؛ دوام و نقش سیمان‌های پوزولانی؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ایران، تهران، ۱۳۷۶.
- 2- Gambhir, M.L., Concrete Technology"; Newdelhi TATA McGraw- Hill publishing company limited; 1986
- 3- Thhomas, clyn: " colourd concrete"; concrete", Vol 34, No 10, Nov/ Dec 1000, p46-47. 1993
- 4- paris. Nick and chusid, Michael; " Coloring in concrete: Beauty and Durability"; "concrete International"; Vol 31; Vol 12; Jun 1999; p60- 63.
- 5- Barber, R.F; " colour oxide pigments"; Ability Building chemical Co; NOV 1000; [on line]: available: WWW/ability products. Comm. Au/color- pigments/hm- cop- htm1- 10k
- 6- Nasvik, Joe; "Coloring concreete Intrgrally"; "concrete construction"; Addison; Vol 45, No 12, Dec 1000; p 45- 51
- ۷- نویل، آدام؛ بتن‌شناسی (خواص بتن)، ترجمه فامیلی، هرمز؛ انتشار جهاد دانشگاهی علم و صنعت؛ ایران، تهران؛ ۱۳۶۸





چکیده

با استفاده از مطالعات مدل‌سازی برای پیش بینی خواص ترمومکانیکی آستر پاتیل فولاد، امکان تعیین ماده نسوز برای کاربرد خاص و با تضمین ایمنی در حین استفاده وجود دارد. برای این منظور لازم است اطلاعات دقیق و صحیحی که خود تابع دما و حالت میکروساختار است از خواص حرارتی در شرایط کاری داشته باشیم. بنابراین در این مقاله این کار به سه بخش اصلی تقسیم‌بندی شده است. بخش اول به مقایسه متدهای مختلف اندازه‌گیری برای ارزیابی مقادیر هدایت حرارتی اختصاص داده شده است. هدف اصلی تلاش برای پیدا کردن پاسخ به سوال "بهترین روش چیست" می‌باشد. بخش دوم به توضیح اصطلاحات آنالیزی در رابطه با ارتباط بین ریزساختار و هدایت حرارتی مواد اختصاص داده شده است. و سرانجام در قسمت آخر سه نمونه صنعتی جهت بررسی ارتباط بین خواص حرارتی و شرایط کاری تحت آزمایش قرار گرفته‌اند.

۱-مقدمه

پاتیل فولاد وسیله‌ای جهت نگهداری و انتقال فولاد مذاب است و در آن تمام فرآیندهای متالورژیکی ثانویه اتفاق می‌افتد. هدف از این فرآیندها عبارتند از:

- ۱- کاهش غلظت گازهایی مانند اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن در فلز
- ۲- کاهش غلظت سولفور و فسفر
- ۳- کاهش مقدار ترکیبات غیر فلزی
- ۴- اضافه کردن عناصر برای تنظیم ترکیب فولاد متناسب با نوع آلیاژ یا فولاد مورد نیاز.

تمامی این فرآیندها نیازمند انرژی متمرکز بالا جهت حفظ دمای بالای ریخته‌گری برای فولاد مذاب می‌باشد. بنابراین آستر پاتیل فولاد نقش مهمی را ایفا می‌کند. به طور کلی جداره داخلی پاتیل از ۳ لایه مواد نسوز جهت حفظ دیواره فولادی خارجی از مذاب فولاد، تشکیل شده است.

داخلی‌ترین لایه آستر نامیده می‌شود و هدف از آن ایجاد مقاومت در برابر:

- ۱- شوک حرارتی به خاطر دمای بالای فرآیند
- ۲- خوردگی به خاطر محیط با خورندگی بالا (ناحیه سرباره)
- ۳- فشار ریزش مذاب در کف پاتیل می‌باشد.

مواد نسوز مورد استفاده در این بخش دارای هدایت حرارتی

خواص ترموفیزیکی مواد نسوز عایق

ترجمه و گردآوری: حامد فتحی، مدیر مرکز تحقیقات مریم‌بختیاری

بالا و انبساط حرارتی کم می‌باشند.

لایه میانی، لایه ایمنی نامیده می‌شود که یک لایه محافظ در صورت خرابی لایه‌کاری است. بنابراین مواد نسوز مورد استفاده در این لایه باید دارای مقاومت به شوک حرارتی و خوردگی خوبی در برابر فولاد مذاب و سرباره داشته باشند.

لایه عایق آخرین لایه قبل از دیواره خارجی پاتیل می‌باشد که هدف اصلی آن عبارت است از:

- ۱- کاهش افت حرارت در آستر
 - ۲- نگهداری آسترها در حالت فشرده پایدار
- بنابراین مواد نسوز این لایه معمولاً هدایت حرارتی پایین و استحکام فشاری کافی دارند.

مشخص است که خواص حرارتی شامل هدایت حرارتی (λ)، انبساط حرارتی (α) و گرمای ویژه (C_p) فاکتورهای مهمی برای تمام موادی که در فرآیندهای دمای بالا کار می‌کنند می‌باشند. و همین امر باعث شد که در این مقاله به این خواص به عنوان تابعی از دما و همچنین ریزساختار پرداخته شود. اطلاع بهتر از این پارامترها می‌تواند کارایی فرآیندهای صنعتی را بهبود بخشد.

۲-آزمایش‌ها

۲-۱- مواد بررسی شده:

مواد نسوز متنوع که توسط شرکت صنعتی ATHOR تهیه شدند، بررسی گردیدند. جدول ۱ خواص فیزیکی اصلی هرکدام را شرح می‌دهد. انتخاب این مواد با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف صورت گرفته است، مانند: ۱- هادی یا عایق بودن مواد ۲- ایزوتروپیک یا غیر ایزوتروپیک و ۳- مواد با ریزساختار همگن و غیرهمگن.

جدول (۱) خصوصیات فیزیکی مواد نسوز بررسی شده

Reference Name	Materials	Density[g/cm ³]	Porosity[%]
Low Density Insulating Boards (IB-LD)	Vermiculite	1±7%	55-65
Medium Density Insulating Boards (IB-MD)	Vermiculite	1.2±7%	45-55
High Density Insulating Boards (IB-HD)	Vermiculite	1.5±7%	35-45
Insulating Fireclay Bricks (IFB)	Alumina-Silica	0.9±7%	70-75
Alumina Spinel Bricks (ASB)	Alumina-Magnesia	2.6±7%	15-20

مواد (LB-HD، LB-MD، LB-LD) Insulating Boards

تا بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت و پایداری ابعادی بسیار خوبی دارند. آن‌ها اکثراً به دلیل ساختار لایه‌ای ورمیکولایت و جهت آن غیر ایزوتروپیک و هتروژن هستند.

ماده (IFB) Insulating Fire-Clay Bricks ساختارریزی داشته و در مقیاس میکرو به صورت همگن توزیع شده است و معمولاً در دمای حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شوند. و نهایتاً آجر اسپینل آلومینا (ASB) اکثراً موادی با هدایت حرارتی بیشتر و با ریزساختار هتروژن، که ناشی از تفاوت اندازه دانه است می‌باشند و در دمای بالای ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شوند.

۲-۲- روش‌های آزمایش:

بسته به نوع روش مورد استفاده برای ارزیابی مقادیر هدایت حرارتی و ضریب انبساط حرارتی، نمونه‌هایی با اندازه سایز متفاوت برش داده شده‌اند.

• در روش فلومتر حرارتی ۴ تا ۶ شمش مربعی با ابعاد ۳۰*۳۰ میلیمتر و ضخامت ۱۵-۲۰ میلیمتر

• در روش Dr. Klasse نمونه‌های دیسکی با قطر ۱۰۰ میلیمتر و ضخامت ۲۵ میلیمتر

• در روش سیم داغ سه آجر با ابعاد ۲۵۰*۱۱۴*۵۰ میلیمتر

• در روش دیسک داغ دو نمونه مکعبی با ابعاد سطح ۷۰*۷۰ و ضخامت ۳۵-۲۵ میلیمتر

• در روش فلش لیزر دیسک‌های کوچک با قطر ۱۰ میلیمتر و ضخامت ۲ میلیمتر

• در روش دیلاتومتري نمونه‌هایی با ابعاد ۵*۵ میلیمتر و طول ۱۵-۱۳ میلیمتر

۳- بحث و نتایج

مقایسه روش‌ها برای تخمین مقدار هدایت حرارتی

پنج روش مختلف باهم مقایسه شدند. دو روش در حالت پایدار و شامل فلومتر حرارتی و روش Dr. Klasse و سه روش در حالت ناپایدار به نام‌های فلش لیزر، دیسک داغ و سیم داغ که به طور ایده آل همه این روش‌ها باید مقادیر یکسانی برای هدایت حرارتی به دست آورند.

با این وجود، روش‌های مختلف، مواد را در جهت جریان حرارتی یکسانی بررسی نمی‌کنند. متعاقباً روش انتخابی برای مشخصه یابی مواد نسوز، اطلاعاتی فراهم می‌کند که اگرچه به هم مربوطند ولی همواره مستقیماً با اطلاعات بدست آمده توسط روش‌های دیگر مقایسه نمی‌شوند.

جدول ۲ نتایج به دست آمده با سه روش در دمای اتاق که در جهت موازی با جهت پرس آجر بررسی شده است را نشان می‌دهد. در مورد فلومتر حرارتی مهم است که تأثیر از دست دادن حرارت جانبی نیز در نظر گرفته شود و می‌توان آن‌ها را به عنوان مقاومت‌های حرارتی موازی در نظر گرفت که منجر به کاهش مقاومت حرارتی کلی مواد شده و متعاقباً منجر به افزایش ظاهری مقدار هدایت حرارتی می‌گردد.

همچنین در روش‌های فلومتر حرارتی و دیسک داغ، مهم است که در هنگام اندازه‌گیری‌ها در شرایط آزمایشگاهی و جواتمسفر رطوبت نیز در نظر گرفته شود (رطوبت نسبی ۵۰-۴۰ درصد).

با افزایش مقدار آب مقدار هدایت حرارتی نیز افزایش پیدا می‌کند به گونه‌ای که هدایت حرارتی در دمای اتاق، زمانیکه هوا داخل تخلخل هاست $26W.m^{-1}.K^{-1}$ و زمانیکه آب درون تخلخل هاست $6W.m^{-1}.K^{-1}$ می‌باشد.

این پدیده مخصوصاً در موادی که نسبت به رطوبت حساس هستند مانند (بردهای عایق Insulating Boards) که رطوبت آن‌ها ۵-۴ درصد جرمی تخمین زده می‌شود، مربوط می‌باشد.

مقادیر اصلاح شده با در نظر گرفتن تأثیر از دست رفتن حرارت و رطوبت در جدول ۲ نشان داده شده است.

می‌توان مشاهده کرد که در متد فلش لیزر و فلومتر حرارتی، مقادیر به هم نزدیک‌اند (ماکزیمم اختلاف ۱۰ درصد) در حالیکه اختلاف بین این دو روش و روش دیسک داغ ۲۶ درصد است. این اختلاف را می‌توان به وسیله اینکه در روش دیسک داغ نمونه‌های آنالیز، نسبت به روش‌های قبلی دارای ابعاد بزرگتری هستند و اینکه جریان حرارتی در این روش به صورت کروی است، در صورتیکه جریان حرارتی در روش فلومتر حرارتی و فلش لیزر به صورت خطی است، توجیه کرد.

برای روش‌های Dr. Klasse و سیم داغ، اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق انجام نمی‌شود چون برای توزیع متعادل دما درون مواد، زمان بسیار زیادی لازم می‌باشد.

اندازه‌گیری با شروع از دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد آغاز گردیده است. مقادیر به دست آمده با روش سیم داغ نسبت به مقادیر به دست آمده با روش فلش لیزر و دیسک داغ بیشتر بود.

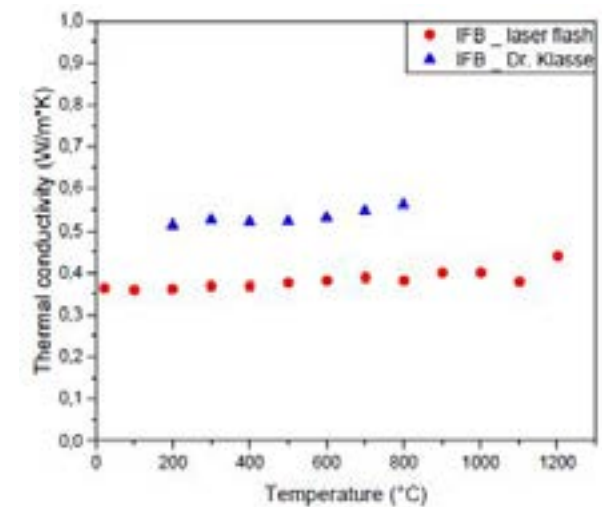
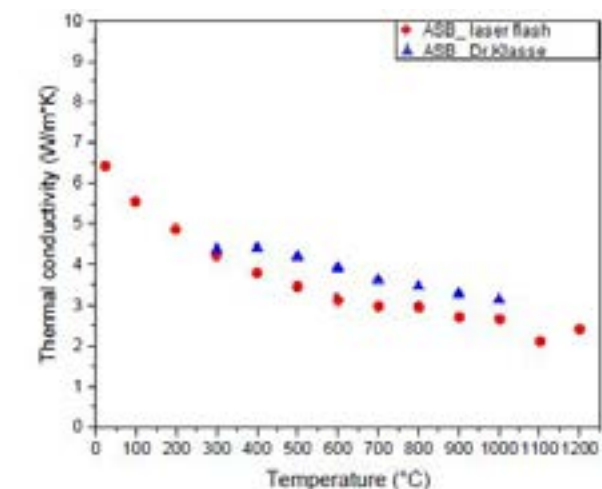
بنابراین در خصوص مواد ایزوتروپیک، این تکنیک مقدار میانگینی را در جهت جریان حرارتی متفاوت در نمونه‌ها ارائه می‌کند.



Materials	Heat Flowmeter λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Hot Disk Method λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Laser Flash Method λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	
	Before	After	Before	After	Before	After
IB-LD	0.26±3%	0.18±3%	0.29±2.6%	0.23±2.6%	0.19±1%	0.19±1%
IB-MD	0.36±3%	0.22±3%	0.35±1.5%	0.28±1.5%	0.22±1.7%	0.22±1.7%
IB-HD	0.36±3%	0.26±3%	0.43±1%	0.34±1%	0.27±1.5%	0.27±1.5%
IFB	0.45±3%	0.40±3%	0.38±3.9%	0.38±3.9%	0.36±3.5%	0.36±3.5%
ASB	-	-	5.3±1%	5.3±1%	6.5±1.7%	6.5±1.7%

جدول ۲) مقادیر هدایت حرارتی بدست آمده با روش‌های فلومتر حرارتی، دیسک داغ و فلش لیزر در دمای اتاق در جهت صفحه‌ای. مقادیر به دو دسته نتایج آزمایشگاهی (Before) و اصلاح شده (After) تقسیم‌بندی شده‌اند و همچنین درصد انحراف استاندارد برای هر روش مشخص شده است.

از طرف دیگر در تکنیک Dr.Klasse مقادیر بزرگتر از روش فلش لیزر می‌باشد، با این تفاوت که این افزایش در مواد عایق اتفاق نیفتاده است (شکل ۱). برای توجیه آن باید در نظر بگیریم که این روش، هدایت حرارتی را با استفاده از به کارگیری قانون فوریه برای نمونه آزمایش و نمونه مرجع ارزیابی می‌کند.



شکل ۱) مقایسه بین نتایج هدایت حرارتی بدست آمده با روش لیزر فلش و تکنیک Dr. Klasse در آجر عایق فایر کلی و آجر اسپینل آلومینا

Materials	Heat Flowmeter λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Hot Disk Method λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Laser Flash Method λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	
	Before	After	Before	After	Before	After
IB-LD	0.26±3%	0.18±3%	0.29±2.6%	0.23±2.6%	0.19±1%	0.19±1%
IB-MD	0.36±3%	0.22±3%	0.35±1.5%	0.28±1.5%	0.22±1.7%	0.22±1.7%
IB-HD	0.36±3%	0.26±3%	0.43±1%	0.34±1%	0.27±1.5%	0.27±1.5%
IFB	0.45±3%	0.40±3%	0.38±3.9%	0.38±3.9%	0.36±3.5%	0.36±3.5%
ASB	-	-	5.3±1%	5.3±1%	6.5±1.7%	6.5±1.7%

هدر رفت حرارت جانبی، بخاطر اختلاف زیاد در λ بین نمونه آزمایشی و نمونه مرجع، افزایش پیدا کرده است. بنابراین در تکنیک فلومتر حرارتی، این امر منجر به کاهش مقاومت حرارتی و متعاقبا افزایش مقدار ظاهری هدایت حرارتی می‌شود.

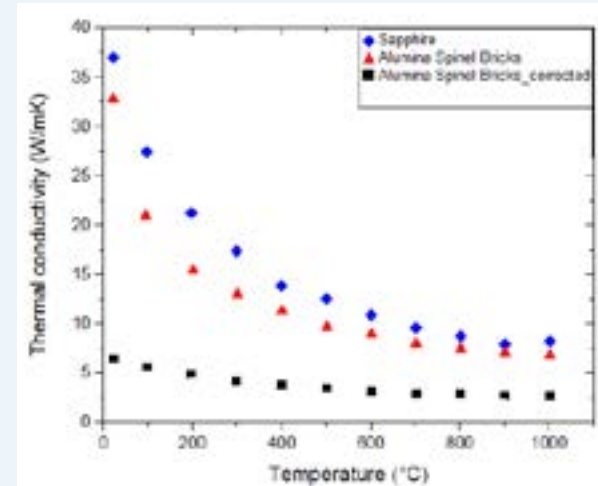
۲-۳- رابطه بین ریز ساختار و هدایت حرارتی

هدف از این بخش شفاف‌سازی تاثیر هرکدام از فاکتورهای ریز ساختار مانند تخلخل، مرزدانه، اندازه دانه و فاز ثانویه بر هدایت حرارتی کل ماده نسوز می‌باشد. آنالیزها روی آجرهای اسپینل آلومینا (ASB) انجام شده است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش دما، λ هم در ASB و هم در یاقوت کاهش می‌یابد که این به خاطر افزایش مکانیزم تفرق فونون- فونون می‌باشد. در حقیقت افزایش دما منجر به افزایش دانسیته فونون‌ها شده و متعاقبا افزایش احتمال برخورد های فونونی را به دنبال دارد که این مسئله سبب کاهش راه‌های اصلی آزاد فونون‌ها و به دنبال آن کاهش هدایت حرارتی می‌شود.

مورد دیگری که در شکل ۲ قابل مشاهده است این است که هدایت حرارتی ASB نسبت به یاقوت متفاوت است، اگرچه هر دوی آن‌ها مواد پایه آلومینا هستند.

برای مثال در دمای اتاق λ برای ASB، $6/5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ بوده درحالی‌که برای یاقوت $36 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ می‌باشد و علت آن این است که یاقوت تک کریستالی است درحالی‌که نسوز پلی کریستال می‌باشد. بنابراین فونون‌ها علاوه بر برخورد به یکدیگر به ریزساختار نیز برخورد می‌کنند.



شکل ۲) مقادیر هدایت حرارتی آجرهای اسپینل آلومینا (ASB) به عنوان تابعی از دما در مقایسه با یاقوت. همچنین نمودار، مقادیر ASB بعد از در نظر گرفتن اثر ریزساختار را نیز نشان می‌دهد (اصلاح شده)

برای بررسی اثر تخلخل از رابطه لاندروز استفاده شده است. این معادله نشان می‌دهد که با افزایش کسر حجمی تخلخل (V_p) هدایت حرارتی موثر (λ_{eff}) مواد بخاطر هدایت حرارتی پایین گازها کاهش یافته است.

برای ساده‌سازی رابطه لاندروز، هدایت حرارتی فاز گازی تقریباً صفر در نظر گرفته شده و سپس هدایت حرارتی سرامیک‌های ۱۰۰ درصد متراکم (λ_s) توسط رابطه زیر محاسبه گردیده است:

$$\lambda_s = \lambda_{eff} / (1 - 3/2 V_p)$$

برای بررسی تاثیر مرزدانه‌ها، آن‌ها را به عنوان مقاومت‌هایی که در فصل مشترک ۲ دانه است در نظر گرفته‌ایم.

$$1/\lambda_{poly} = 1/\lambda_{grain} + nR_{int}$$

که λ_{grain} هدایت حرارتی دانه‌ها، n تعداد مرزدانه‌ها در طول واحد و R_{int} میانگین مقاومت حرارتی مرزدانه می‌باشد.

برای هر مرز دانه‌ای که در مسیر حرارت وجود دارد یک مقاومت فصل مشترک (R_{int}) نسبت داده شده است. اگر تعداد مرزدانه‌ها افزایش یابد، قسمت سوم در معادله دوم افزایش یافته و متعاقبا مقاومت حرارتی مواد پلی کریستال نیز افزایش و هدایت حرارتی کاهش می‌یابد.

آخرین موردی که باید بررسی شود حضور فازهای ثانویه می‌باشد. می‌توان در نظر گرفت که ASB یک کامپوزیت از دو فاز جامد با دانه‌های آلومینا و زمینه اسپینل است. برای بررسی تاثیر فاز ثانویه می‌توان از رابطه لاندروز استفاده کرد به گونه‌ای که به جای هدایت حرارتی و کسر حجمی تخلخل‌ها، از هدایت حرارتی و کسر حجمی فاز ثانویه استفاده کنیم. شکل ۲ مقدار هدایت حرارتی تخمین زده شده برای دانه‌های آلومینا بعد از بررسی کلیه فاکتورهای ریزساختاری را نشان می‌دهد.

برای مثال در دمای اتاق، λ از $6/5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (نتیجه آزمایشات) به $33 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (نتیجه اصلاحی) تغییر کرده است. حضور ناخالصی‌ها باعث می‌شود که مقادیر به طور دقیق با مقادیر یاقوت مطابقت نداشته باشد.

۳-۳- ارتباط بین خواص حرارتی و شرایط کاری در لایه عایق

آستر پاتیل یک ساختار سنگ کاری دارد به این معنی که از واحدهای آجر بدون سیمان که روی هم قرار گرفته اند تشکیل شده است. بنابراین حضور اتصالات نقش مهمی را در مطالعات ترمومکانیکی ایفا می‌کند. دو روش برای محاسبه مقاومت حرارتی فصل مشترک (R_{int}) که در تضاد با هدایت حرارتی بوده و یک پارامتر مهم جهت مطالعات مدل‌سازی است استفاده گردیده است.

هر دو روش فلومتر حرارتی و فلش لیزر، مقدار R_{int} برای اتصالات

خشک را به ترتیب 10^{-4} - $10^{-3} \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ بدست آوردند.

تاثیر بارهای فشاری دومین عاملی بود که بررسی شد. زمانیکه فولاد مذاب داخل راهگاه‌ها ریخته می‌شود، با توجه به انبساط حجمی لایه های داخلی پاتیل، معمولاً ماکزیمم بار فشاری که به لایه عایق وارد می شود حدود ۱۰-۵ مگاپاسکال است. بنابراین مواد نسوز باید استحکام فشاری کافی داشته باشند، در غیر اینصورت لایه عایق نازک و متراکم خواهد شد و کارایی خود را از دست می‌دهد.

در طول اولین سیکل حرارتی، انبساط حرارتی (IB) و (IFB) نشان می‌دهد که ماکزیمم انقباض^(۱) باقی مانده کمتر از ۵٪ درصد می‌باشد.

علاوه بر این در طول سیکل دوم، IB روی نمودار، انبساط حرارتی برگشت پذیری را نشان می‌دهد و افزایش بیشتر فشار هیچ اثری بر این پارامتر ندارد.

در نهایت، آخرین موردی که بررسی گردید ، تاثیر ماندگاری^(۲) مواد عایق در شرایط کاری بوده است. شرایط کاری می تواند باعث تغییر خصوصیات مواد شود. بنابراین دانستن تحولات خواص حرارتی در شرایط کاری، برای تضمین ایمنی و شرایط عملکرد، برای صنایع شرط اساسی است.

نمونه‌های IB-MD بعد از استفاده در شرایط کاری آنالیز شده و نتایج مقادیر هدایت حرارتی نشان می‌دهند که بعد از ۱۶-۱۴ ماه مقدار λ تنها در یک سوم آجرها حدود ۲۶٪ افزایش یافته و تغییرات مهم دیگری در بقیه آجرها اتفاق نیفتاده است. بنابراین اینگونه می‌توان ثبات شرایط مواد در حین کار نسبت به ابتدای کار را بررسی کرد.

منابع:

- 1- Vitiello, D.: Thermophysical properties of insulating refractory materials. Thesis, University of Limoges, 2021.
- 2- Ghosh, A.: Chatterjee, A.: Ironmaking and steelmaking: Theory and practice. PHI learning Private Limited, 2008.
- 3- Vitiello, D. ,Nait-Ali, B. , Tessier-Doyen, N. ,Tonnesen, T. , Laím, L. , Rebouillat, L. , S. Smith, D. : Thermal conductivity of insulating refractory materials: Comparison of steady-state and transient measurement method, Open Ceramics 6, 2021.

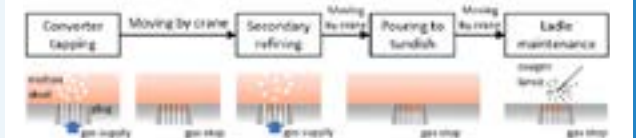




مقدمه

پرچینگ پلاگ^(۱) قطعه‌ای سرامیکی است که به منظور تزریق گازهای خنثی و تولید حباب در مذاب فلز انتهایی پاتیل فولادسازی قرار می‌گیرد. هدف فرآیند حباب‌سازی، همگن‌سازی خواص حرارتی و شیمیایی فلز مذاب و همچنین به دام انداختن ناخالصی‌ها است. پرچ پلاگها به صورت عمده به شکل متخلخل^(۲)، شیار دار^(۳) و هیبریدی موجود هستند. در ساختار هیبریدی تخلخلو شیار در کنار یکدیگر وجود دارند. شیارها برای تامین شار گاز بیشتر برای همگن‌سازی بهتر و تخلخل‌های ریز جهت به دام انداختن ناخالصی‌های ریزتر مناسب هستند؛ که متناسب با محل مصرف و هدف باید انتخاب گردد. با توجه به تولید فولاد تمیز، این مقاله به بررسی ساختار متخلخل موجود در پلاگ هیبریدی تمرکز کرده است.

پاتیل فولادسازی شامل لایه‌ها و قطعات مختلف دیرگداز می‌شود، اگرچه پرچینگ پلاگها تنها یک نوع از این ادوات را تشکیل می‌دهد. اما عمر مفید کوتاه این قطعه موجب توقف و افزایش زمان تعمیرات می‌شود. بنابراین یک راه حل کارآمد برای افزایش زمان کار مفید پاتیل، کم کردن مکانیزم فرسایش پلاگ مانند خوردگی شیمیایی و سایش و پوسته‌شدن حرارتی است. اوچی^(۴) نفوذ مذاب فلز با داخل منافذ پلاگ سرامیکی و تمیز کردن این منافذ را دلیل اصلی آسیب و کاهش عمر مفید می‌داند. مادامی که تزریق گاز به صورت مقطعی انجام می‌شود، نفوذ مذاب مایع درون تخلخل‌های باز پلاگ؛ در دوره‌ای که حباب ایجاد نمی‌شود، رخ می‌دهد که موجب آسیب‌های جدی به ساختار می‌گردد. این نفوذ باعث بسته‌شدن حفرات می‌شود که باید پس از انتقال مذاب به تاندیش تمیز شود. (شکل ۱) فرآیند تمیز کردن حفرات به این شکل است که سطح پروس پلاگ با لنس اکسیژن تحت دمای بالاتر از ۲۱۰۰°C حرارت داده می‌شود تا فلز نفوذ کرده به حفرات ذوب شود به موازات حرارت دادن، فشار گاز از انتهای پلاگ موجب خروج مذاب باقی مانده می‌شود. درک این فرآیند اتفاق جدیدی نیست و قبلا به آن پرداخته شده است.



شکل ۱: شماتیک ارائه شده از چرخه نفوذ و پاک‌سازی در پلاگ متخلخل

نگاهی نو در جهت توسعه و ارتقاء قطعات ویژه دیرگداز سرامیکی

ترجمه و تنظیم: نسرين شاه محمدی - کارشناس مرکز تحقیقات

کپتای^(۵) و همکاران ساختارهای متفات را برای پیش‌بینی عمق نفوذ به عنوان تابعی از فشار گاز خارجی اعمال شده بررسی کردند که در نتیجه آن آنالیز تاثیر قطر تخلخل برای شروع و پیشروی نفوذ درون تخلخل‌های باز در پلاگ متخلخل اهمیت خود را بیش از پیش نشان داد. علاوه بر این، منابع دیگری در خصوص پلاگ‌های شکاف‌دار دار آزمایش‌هایی ارائه کرده‌اند که در آنها تاثیر دمای مذاب فولاد، عرض شکاف و تفاوت فشار بر نفوذ بررسی شده است. عمق نفوذ در این شرایط با انجماد فولاد در نواحی سردتر پلاگ (کمتر از دمای ۱۵۱۴°C) محدود می‌شود. آزمایش مشابه دیگری نیز انجام شده است که در آن نفوذ سرباره مذاب درون شکاف پلاگ سرامیکی تحت پروفایل دمایی ثابت بررسی شد. از آنجایی که ناحیه‌ای با دمای پایین‌تر در طول شکاف وجود نداشت عمق نفوذ بر اساس عرض اشکاف و دمای مذاب تغییر کرد. بنابراین، محدود کردن عمق نفوذ به ناحیه بالای دمای ذوب فولاد فرصت تمیز کردن مذاب قبل از جوانه‌زنی و انجماد را درون ساختار متخلخل پلاگ سرامیکی فراهم می‌کند.

نیرو محرکه شروع و پیشروی نفوذ، فشاری است که در سطح مشترک گاز-مایع هر تخلخل اعمال می‌شود. بنابراین رابطه ۱ فشار کلی را با $P_T = P_C + P_G + \Delta P_0$ نشان می‌دهد، در این رابطه P_C موئینگی فاز مایع، P_G ستون مایع و ΔP_0 تفاوت فشار خارجی است.

$$P_T = P_C + P_G + \Delta P_0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

از آنجایی که این رابطه معمولا مورد استفاده آزمون تخلخل سنجی مرکوری است لازم است که تغییراتی در رابطه فوق اعمال شود تا برای استفاده در پلاگها عملی گردد. بنابراین فشار حاصل از موئینگی مایع در رابطه ۲ می‌تواند به عنوان پارامتر تنش سطحی مایع-گاز نقش بازی کند (σ_{lg})، زاویه تماس (θ)، قطر حفره (D)، فشار حاصل از گرانش در رابطه ۳ برابر است با نیروی فرواستاتیک (P_{Fe}) که به ارتفاع ستون مایع (H) و دانسیته آن (ρ) و ثابت گرانش (g) بستگی دارد. ΔP_0 در رابطه ۴ به دست آمده از تفاوت بین فشار اتمسفر و فشار معکوس گاز خالص یا صرفا فشار معکوس گاز نسبی (P_{gas})، بر اساس روابط ۲ تا ۴ می‌توان نتیجه گرفت P_G

- 1-Purging plugs
- 2-Porous plugs
- 3-Slot plugs
- 4-Ouchi
- 5-Kaptay

همیشه نفوذ مایع را تشویق می‌کند، درحالی که P_C و ΔP_0 در جهت عکس عمل می‌کنند، هنگامی که θ بزرگتر از ۹۰ درجه و P_{gas} کمتر از صفر باشد.

$$P_C = (4\sigma_{lg} \cos \theta) / D \quad (\text{رابطه 2})$$

$$P_G = P_{Fe} = \rho l g H \quad (\text{رابطه 3})$$

$$\Delta P_0 = P_{atm} - P_{gas,abs} = -P_{gas} \quad (\text{رابطه 4})$$

بنابراین هدف کار فعلی، ارزیابی نفوذ در پلاگ‌های متخلخل بر اساس یک نسبت بنیادی است. انجام این کار با مرور اطلاعات موجود در منابع برای نقش هر پارامتر در شروع نفوذ است.

مواد و روش مورد استفاده

بر اساس نتایج کپتای و همکاران، P_T بزرگتر و مساوی صفر به عنوان معیاری برای شروع نفوذ مطرح می‌شود. همان گونه که در شکل ۲ آورده شده است؛ بنابراین برای جلوگیری از نفوذ فلز مذاب درون تخلخل‌های پروس پلاگ شرایط مخالف در نظر گرفته می‌شود. با جایگزینی رابطه‌های ۲ تا ۴ در رابطه ۵ و چینش مجدد آنها رابطه ۶ به دست می‌آید که بیشینه قطر تخلخل را توضیح می‌دهد برای جلوگیری از نفوذ فولاد مذاب.

$$0 > P_C + P_G + \Delta P_0 \quad (\text{رابطه 5})$$

$$D < \frac{(-4\sigma_{lg} \cos \theta)}{(\rho l g H - P_{gas})} \quad (\text{رابطه 6})$$

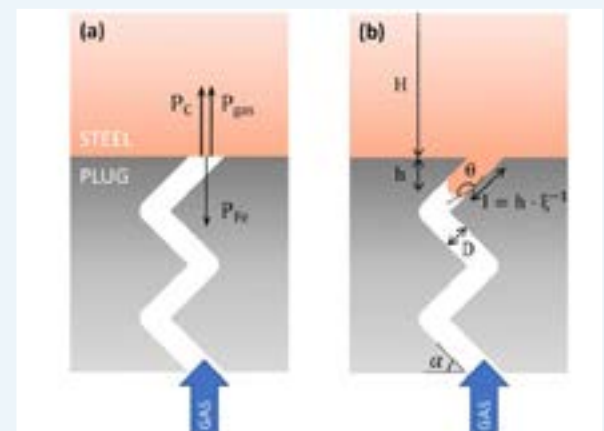
در واقع رابطه ۶ معیارهای شروع نفوذ به هر حفره را نشان می‌دهد. بنابراین تاثیر پارامترهای زیر بررسی خواهد شد.

D_{max} : بیشینه قطر تخلخل به منظور جلوگیری از شروع نفوذ مایع

θ : زاویه تماس مشخص شده با مواد پلاگ چراکه زاویه تماس مایع و گاز قبلا بحث شد

D_{min} : حداقل قطر موئینگی

P_{gas} : فشار معکوس گاز اعمال شده درون پلاگ



شکل ۲: شماتیک فشارهای اعمالی و فاکتورهای موثر بر فرآیند نفوذ

برای دستیابی به نتایجی که به جدیدترین تکنولوژی روز در فرآیند فولادسازی نزدیک باشد، پلاگ هیبریدی RHI به عنوان

سیستم‌کاری انتخاب شد. ترکیب شیمیایی آن عمدتا شامل Al_2O_3 می‌شود (با زاویه تماس ۱۲۵° بین دیرگداز، آهن مذاب و گاز آرگون). ریزساختار متخلخل متداول شامل حدود ۲۷٪ حجمی تخلخل باز و قطر حفرات ۵۰ میکرون است.

Refractory	Al_2O_3	Mgo	SiO_2
Contact angle(0)	125°	130°	130°

جدول ۱: زاویه تماس بین فاز مذاب فولادی، دیرگداز و گاز آرگون در دمای ۱۶۰۰°C

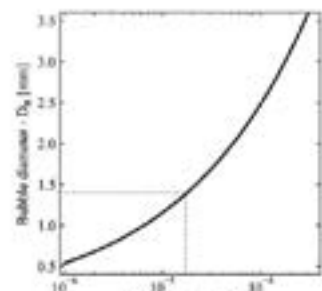
Property(unit)	$\sigma_{lg}(Nm^{-1})$	$\rho 1(kg m^{-3})$	$\mu 1(Pa s)$
Value	1/82	7020	$5/5 \cdot 10^{-3}$

جدول ۲: خواص فیزیکی مرتبط به فولاد مذاب و گاز آرگون

نتایج و بحث

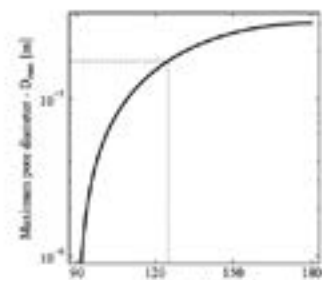
۱-ساختار پلاگ

بر اساس رابطه ۶، محاسبه قطر بیشینه حفره تخلخل به منظور جلوگیری از شروع نفوذ مذاب، بستگی به زاویه تماس در فازهای گاز و مایع و جامد دارد. بنابراین قطر حفرات تخلخل در تماس با فولاد مذاب باید به ۱۷ میکرومتر محدود شود، که تحت فشار گاز آرگون حباب‌های ۱/۴ میلیمتری ایجاد می‌کند (شکل ۳). این قطر حباب در بازه به دام انداختن ناخالصی‌های SiO_2 با قطر ۵-۱ میلیمتر و Al_2O_3 ۲۰/۵ میلیمتر بوده و از طرف دیگر، چنین حفرات باریکی در دنیای واقعی غیرممکن است. و همچنین تراوایی به شکل قابل توجهی با این ابعاد کاهش می‌یابد که موجب کاهش کارایی پلاگ می‌شود. روش دیگر برای جلوگیری از نفوذ طراحی حفرات بزرگتر با افزایش زاویه تتا (θ) است.



شکل ۳: قطر حباب ایجاد شده بر حسب قطر حفره

شکل ۵ نتایج زاویه‌های تماس ۹۰ تا ۱۸۰ درجه را برای یک ستون با ارتفاع ۳/۵ متر و بدون اعمال فشار معکوس گاز، نشان می‌دهد.

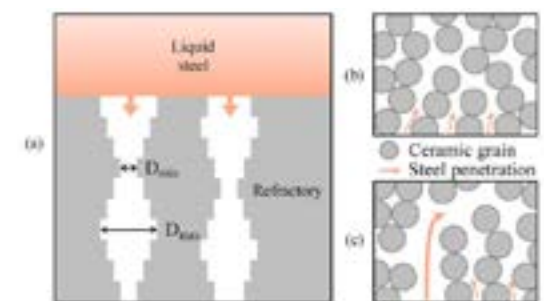


شکل ۴: بیشینه قطر حفره به عنوان تابعی از زاویه تماس

از آنجایی که ترکیب شیمیایی فولاد به فرآیند تولید و گاز خنثی به گاز آرگون محدود است، با تغییر جزئی در ترکیب شیمیایی می‌توان زاویه تماس را تغییر داد. اما باید توجه کرد که بر اساس جدول ۱، با تغییر مواد اولیه پلاگ زاویه تماس به ۱۲۵ کاهش می‌یابد. از طرفی زاویه تماس در میان اتمسفر گازی، فلز مذاب و دیرگداز سرامیکی از تعادل تنش سطحی تاثیر می‌پذیرد که ای پارامتر خود به تنهایی تابعی از دما، فشار جزئی اکسیژن و حضور دیگر ناخالصی‌ها است. حتی با فرض پلاگ ترنشونده (تتا=۱۸۰) بیشینه قطر تخلخل همچنان به ۳۰ میکرون برای ستون با ارتفاع ۳/۵ متری محدود خواهد بود. بنابراین بهبود زاویه تماس بر اساس تغییر مواد اولیه پلاگ روش مناسبی برای رفع مشکل نفوذ نخواهد بود.

اگرچه که تغییر مواد اولیه پلاگ به تنهایی برای جلوگیری از نفوذ فولاد مذاب کافی نیست، اما توجه به ترکیب شیمیایی مناسب با زاویه ترشوندگی بالا باعث ایجاد یک فشار موئینگی می‌شود که در راستای جلوگیری از ورود نفوذ مذاب تاثیر گذار خواهد بود. به منظور انتخاب صحیح ماده اولیه پلاگ، خواص دیگر همچون مقاومت در برابر شوک حرارتی و خوردگی نیز باید در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن تمام عوامل ذکر شده در این مطالعه از پلاگ هایی با ترکیب شیمیایی MgO و Al_2O_3 استفاده شده است.

اشاره به این موضوع حائز اهمیت است که سرباره معمولاً یک زاویه تماس کم با دیرگداز دارد، برای مثال یک پلاگ MgO در تماس با یک سرباره حاوی CaO ۴۰٪، SiO_2 ۴۰٪ و Al_2O_3 ۲۰٪ در دمای $1400^{\circ}C$ مقدار تتا کمتر از 32° درجه است. برای تنه‌های کمتر از 90° ، نیروی موئینگی در جهت نفوذ سرباره به درون ساختار متخلخل عمل می‌کند و نفوذ مستقل از تاثیر ارتفاع ستون مذاب، اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، دمای بالای پاتیل فولاد می‌تواند منتج به واکنش شیمیایی بین سرباره و پلاگ گردد، بنابراین از تماس بین این فازها باید جلوگیری شود. نکته قابل توجه دیگر؛ ساختار متخلخل شامل حفراتی با یک قطر ثابت (مطابق شکل ۵) است D_{min} در تئوری می‌تواند از نفوذ فلز مذاب در عمق پلاگ سرامیکی جلوگیری کند. اگرچه این رویکرد در نگاه اول منطقی به نظر می‌رسد اما، اتصال (ترویج) در میان حفرات موجود در ساختار متخلخل این عمل را غیرممکن می‌کند، چرا که مذاب همچنان از طریق مسیرهای موازی می‌تواند نفوذ کند.



شکل ۵: شماتیک تغییر قطر حفره در دیرگداز و نفوذ مذاب در ساختار متخلخل یکنواخت و غیر یکنواخت

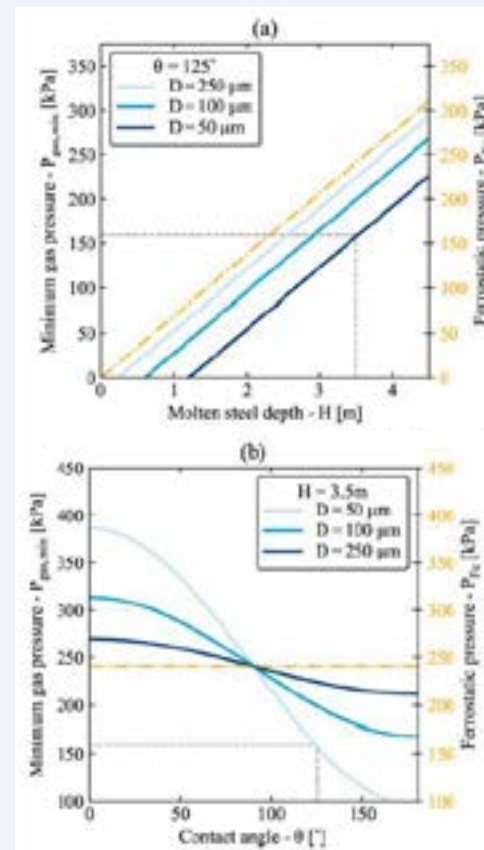
این اثر به صورت تجربی و آزمایشگاهی توسط یامادا^(۶) و همکاران ارزیابی شد، همان طور که شکل ۶ قسمت b می‌توان دید، در صورت یکنواخت بودن توزیع حفرات، نفوذ نیز به صورت همگن در ساختار متخلخل پلاگ رخ خواهد داد، در حالی که توزیع غیریکنواخت‌تر منجر به بسته شدن حفرات نیز می‌گردد (شکل ۶ قسمت c)

۲- فشار معکوس گاز

اعمال یک فشار معکوس گاز راه حل مناسبی به منظور جلوگیری از نفوذ فولاد مذاب در ساختار متخلخل پلاگ می‌باشد، در صورتی که مقدار نهایی آن باید به مقدار کافی بالا باشد تا بتواند به فشار فرواستاتیک غلبه کند. رابطه ۶ را می‌توان به شکلی نوشت تا فشار مورد نیاز برای جلوگیری از نفوذ فولاد مذاب در ساختار داده شده را پیش‌بینی کرد (رابطه ۷).

$$P_{gas} > P_{Fe} + (4\sigma_g \cos\theta) / D \quad (7)$$

شکل ۶ کمینه فشار معکوس گاز برای جلوگیری از نفوذ اولیه برای ستون مایع تا ۴/۵ متر و مقادیر مختلف قطر حفره را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، یک برای یک پلاگ متخلخل با ۳/۵ متر ارتفاع مایع و قطر حفره ۵۰ میکرون، P_{gas} حداقل ۱۶۰ کیلوپاسکال باید اعمال شود.



شکل ۶: حداقل فشار معکوس گاز به عنوان تابعی از ارتفاع فولاد مذاب و زاویه تماس برای قطر حفرات متفاوت

عنوان کردن این موضوع حائز اهمیت است که این فشار شامل ایجاد فرآیند حباب‌سازی نمی‌شود، چرا که این مقدار گاز با فشار فرواستاتیک در تعادل است (خط چین زرد در شکل ۶). اگرچه برای همان شرایط، با فشار معکوس بالای ۲۵۰ کیلوپاسکال نه تنها می‌توان از نفوذ جلوگیری کند بلکه فشار مورد نیاز حباب‌سازی فراهم می‌شود. شکل ۶ کمینه فشار معکوس گازی مورد نیاز برای جلوگیری از نفوذ مذاب در پلاگ بر اساس زاویه تماس و قطر حفره را نشان می‌دهد. برای زاویه تماس بالای ۹۰ درجه، فشار گاز ۲۵۰ کیلوپاسکال بیشتر از فشار فرواستاتیک اعمالی توسط ستون فولاد مذاب است. بنابراین در این فشار؛ (برای حفرات با قطر مشخص) بدون نفوذ مذاب، حباب زایی هم رخ می‌دهد. اگر این فشار تا مقادیر کمتر از P_{Fe} (۲۴۰ کیلوپاسکال) افت کند، فرآیند نفوذ در بزرگترین حفرات ساختار آغاز خواهد شد. در صورتی که زاویه تماس کمتر از ۹۰ درجه باشد، در این فشار نفوذ در کوچک‌ترین حفرات نیز رخ خواهد داد. این اتفاق از ترشدن ساختار حاصل می‌شود، چراکه فشار موئینگی می‌تواند در راستا و یا برخلاف نفوذ عمل کند، این عملکرد بستگی به θ و بزرگی P_c دارد. برای مثال، SiC که زاویه تماس ۳۷ درجه با آهن مذاب دارد، برای هسته پلاگ سرامیکی در جهت کنترل نفوذ انتخاب مناسبی نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش بر ارزیابی نفوذ فولاد مذاب در حفرات ساختار پلاگ، بر اساس پارامترهای موثر و کنترل کننده آن مانند ترکیب شیمیایی پلاگ (زاویه تماس)، قطر حفره و اعمال فشار گاز بر نفوذ اولیه تمرکز کرده است. نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات شیمیایی با زاویه تماس بالاتر برای کاهش سایش ساختار پلاگها مناسب است، چرا که فشار موئینگی برخلاف نفوذ فولاد مذاب عمل می‌کند. پلاگهای تجاری موجود عمدتاً از آلومینا تشکیل شده اند که زاویه تماسی برابر با ۱۲۵ درجه دارد، این ساختار در تماس با فولاد مذاب، به منظور جلوگیری از نفوذ باید بیشینه قطر ۱۷ میکرون داشته باشد. تغییر جنس به دیگر مواد همچون MgO و SiO_2 در کنار تضعیف جنبه-های شوک حرارتی و خوردگی بیشینه قطر را تنها به ۱۹ میکرون می‌رساند که عملاً مزیت قابل توجهی نیست. کاربرد گاز با فشار معکوس بر پروس پلاگ آلومینا؛ به عنوان یک ابزار عالی برای کنترل نفوذ درون ساختار به نظر می‌رسد، چراکه اعمال یک فشار ۱۶۰ کیلوپاسکال برای جلوگیری از نفوذ مذاب درون حفرات ۵۰ میکرون یا کوچکتر کافی است.

منبع:

«Advanced Thoughts on the Infiltration of Ceramic Porous Plugs by Liquid Steel» L. O. Z. Falsetti, D. N. Ferreira Muc, V. C. Pandolfelli, refractories WORLDFORUM (2022) [3]



Iran Refractory Company





چکیده:

در سال‌های اخیر، تقاضای فزاینده‌ای برای دیرگدازهای ریختنی که با مصرف انرژی و تجهیزات کم تولید می‌شوند افزایش یافته است. جرم‌های ریختنی دیرگداز دسته‌ای از دیرگدازهای مونولیتیک هستند که در دهه‌های گذشته کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف به دست آورده‌اند. در ابتدا جرم‌های ریختنی دیرگداز سنتی از اگریت و سیمان آلومینات کلسیمی (%۴۰-۱۵) تشکیل شده بودند. با گذشت زمان و به منظور بهبود خواص دما بالای آن‌ها، جرم‌های ریختنی سیمان متوسط (%۹-۱۵)، کم‌سیمان (%۴-۸)، فوق کم‌سیمان (%۱-۳) و بدون سیمان (کمتر از ۱٪) جایگزین آن‌ها شدند. در جرم‌های ریختنی فوق کم سیمان با کاهش سیمان، که به عنوان بایندر هیدرولیکی در دیرگدازهای ریختنی استفاده می‌شود و بنابراین کاهش مقدار CaO در مخلوط، خواص ترمومکانیکی بهبود یافته‌اند. در واقع با کاهش نسبت CaO در ترکیب دیرگداز می‌توان حداکثر عمر کاری در دماهای بالا را افزایش داد. هدف اصلی، تشکیل یک ساختار با تخلخل کم از طریق متراکم شدن مواد در حین زینترینگ است. با این حال، تشکیل فازهای مذاب ویسکوز در دمای بالا در جرم‌های ریختنی فوق کم سیمان منجر به افزایش تخلخل ساختار دیرگداز و بنابراین، کاهش استحکام می‌شوند. با استفاده از افزودنی‌ها و ذرات فوق ریزدانه، جلوگیری از کاهش استحکام در دماهای بالا امکان‌پذیر است. در این مقاله، دیرگدازهای ریختنی فوق کم سیمان معرفی و بررسی خواهند شد.

کلمات کلیدی: دیرگدازهای ریختنی، فوق کم‌سیمان، سیمان آلومینات کلسیم، مواد افزودنی.

دیرگدازهای ریختنی

تحت تاثیر رقابت‌های منطقه‌ای و جهانی در راستای کاهش هزینه تمام‌شده تولید، در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در ساخت دیرگدازهای مصرفی در صنایع مختلف به دست آمده است که اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش مصرف دیرگدازها داشته است. در طول چند دهه گذشته، مهم‌ترین تحول در فناوری تولید دیرگداز، افزایش مصرف دیرگدازهای بی‌شکل است. تولید سریع، نصب آسان و ارزان و نیز حساسیت

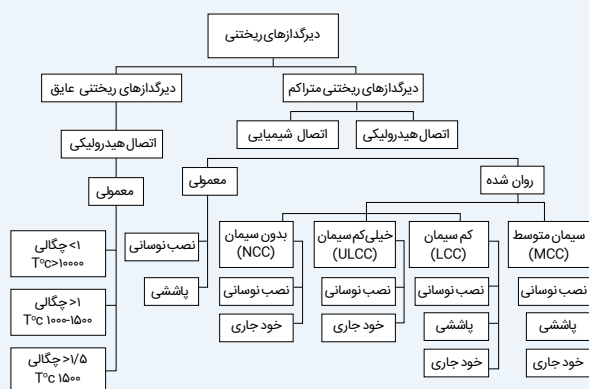
دیرگدازهای ریختنی فوق کم‌سیمان

تألیف و گردآوری: کارشناس مرکز تحقیقات

کمتر به خوردگی در درزها در مقایسه با آجرهای دیرگداز، دلایل رشد سریع تولید نسوزهای بی‌شکل است. یکی از مهم‌ترین انواع دیرگدازهای بی‌شکل، دیرگدازهای ریختنی است. مواد اولیه مصرفی این نوع دیرگدازها معمولاً شامل مخلوط دانه‌بندی شده‌ای از مواد اولیه دیرگداز با توزیع دانه‌بندی مشخص و تعریف شده و سیستم اتصال دهنده هیدرولیکی است. به طور معمول از سیستم اتصال دهنده همانند سیمان آلومینات کلسیم استفاده می‌شود که در اثر واکنش با آب در دماهای معمولی سخت می‌شود. روش نصب دیرگدازهای ریختنی با توجه به شرایط محیط مصرف طراحی و ساخته می‌شود مانند روش ریختن و نصب به کمک ویبراسیون (نوسانی). در حال حاضر جرم‌های ریختنی، بالاترین میزان مصرف را در بین انواع دیرگدازهای بی‌شکل به خود اختصاص داده‌اند.

توسعه جرم‌های ریختنی بر پایه سیمان آلومینات کلسیم، مهم‌ترین تحول در فناوری دیرگدازهای بی‌شکل بود. دیرگدازهای ریختنی دارای آلومینات کلسیم برای اولین بار در سال ۱۸۶۵ میلادی ابداع شدند، زمانی که دوپل (Deville) برای اولین بار بوته‌های دیرگدازی را با استفاده از سنگدانه‌های آلومینا و سیمان نسوز تهیه کرد. اما تولید صنعتی این نوع دیرگدازها همزمان با تولید صنعتی سیمان آلومینات کلسیم در سال ۱۹۲۹ میلادی در ایالات متحده و در سال ۱۹۳۹ میلادی نیز در ژاپن شروع شد. دیرگدازهای ریختنی دارای اتصال سیمان آلومینات کلسیم با تاریخچه تقریباً هفتاد ساله به مرور زمان از ترکیب‌های معمولی دارای سیمان زیاد تا کم سیمان و فوق کم سیمان توسعه یافته‌اند. سیمان آلومینات کلسیم پرکاربردترین چسب در جرم‌های ریختنی دیرگداز است. چون می‌تواند ترکیب‌هایی با ویژگی‌های رئولوژیکی مناسب و استحکام خام مکانیکی بالا ایجاد کند. برای کاهش کاستی‌ها و بهبود ویژگی‌های جرم‌های ریختنی دیرگداز، مقدار سیمان کاهش داده شد که منجر به توسعه جرم‌های ریختنی سیمانی به جرم‌های ریختنی کم سیمان و سپس جرم‌های ریختنی فوق کم سیمان شده است.

یکی از روش‌های تقسیم‌بندی دیرگدازهای ریختنی دارای سیستم اتصال سیمان آلومینات کلسیم بر اساس مقدار کلی سیمان یا میزان آهک (CaO) به کاررفته در سیستم اتصال است. تقسیم‌بندی انجام شده بر اساس استاندارد ASTM C401-91 انجام شده است (شکل ۱). تقسیم‌بندی دیرگدازهای ریختنی بر حسب مقدار آهک نیز در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. تقسیم‌بندی دیرگدازهای ریختنی

جدول ۱. طبقه‌بندی دیرگدازهای ریختنی بر حسب مقدار آهک

طبقه‌بندی دیرگداز ریختنی	مقدار آهک
دیرگدازهای ریختنی معمولی (RCC) یا دارای سیمان متوسط (MCC)	$CaO > 2/5\%$
دیرگدازهای ریختنی دارای سیمان کم (LCC)	$1/0\% < CaO < 2/5\%$
دیرگدازهای ریختنی دارای سیمان خیلی کم (ULCC)	$0/2\% < CaO < 1/0\%$
دیرگدازهای ریختنی بدون سیمان (NCC)	$CaO < 0/2$

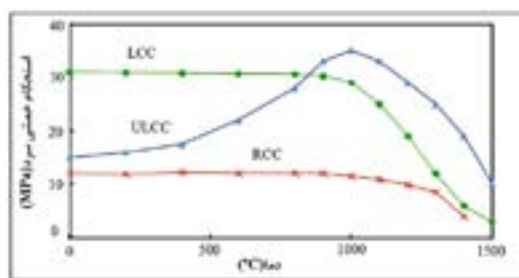
دیرگدازهای ریختنی فوق کم‌سیمان

(ULCC) (Ultra-Low Cement Castable)

جرم‌های ریختنی دیرگداز با اتصال سیمانی (CA) به طور گسترده‌ای در دیرگدازهای بی‌شکل استفاده می‌شوند. جرم‌های ریختنی با مقدار سیمان بالا حاوی مقادیر زیادی سیمان (بالا تر از ۳۰ درصد وزنی) هستند که مشکلات فراوانی را از قبیل نیاز به آب زیاد برای نصب، استحکام مکانیکی کمتر در دمای بالا، تشکیل فازهایی با نقطه ذوب پایین و در نتیجه استحکام گرم و مقاومت به خوردگی ضعیف موجب خواهند شد. حضور CaO در ترکیب شیمیایی سیمان منجر به تشکیل فازهای زودگداز شامل سه جزء $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ در جرم‌های ریختنی آلومینایی می‌شود. با کاهش نسبت CaO در ترکیب دیرگدازها می‌توان حداکثر عمر کاری در دماهای بالا را افزایش داد. برای حل این مشکل باید درصد سیمان در جرم‌های ریختنی پرسیمان کاهش یابد و برای جبران مشکل دانه‌بندی و مواد اولیه ریزدانه نیز باید از موادی با دانه‌بندی ریز که واکنش‌پذیری زیادی در دمای بالا دارند استفاده شود. جهت بهبود بیشتر خواص ترمومکانیکی، کاهش بیشتر میزان سیمان در دیرگدازهای ریختنی معمولی و کم‌سیمان مدنظر قرار گرفته است که باعث توسعه دیرگدازهای ریختنی فوق کم سیمان شده است. این نوع دیرگدازها که در آن‌ها مقدار سیمان به کمتر از ۳ درصد و در نتیجه مقدار CaO به کمتر از ۱ درصد کاهش یافته است، خواص مناسبی در دماهای بالا از خود نشان می‌دهند. وجود میکروسیلیس و آلومینای فعال شده به عنوان مواد اولیه ریزدانه در ترکیب شیمیایی دیرگدازهای ULCC باعث تشکیل فاز مولایت در دماهای بالاتر از ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد و در نتیجه افزایش قابل ملاحظه استحکام گرم می‌شود. کاهش سیمان در جرم‌های ریختنی باعث پدید آمدن بعضی عیوب مانند نفوذپذیری کم، زمان خشک شدن طولانی و استحکام خام پایین در جرم‌های ریختنی



فوق کم سیمان می‌شود. اگر قبل از حذف آب از جرم ریختنی یک شبکه سه‌بعدی نسبتاً پایدار از ذرات تشکیل شود، شاید بتوان بر این عیوب غلبه کرد. در شکل ۲ استحکام خمشی گرم (HMOR) دیرگدازهای ریختنی معمولی (RCC)، کم سیمان (LCC) و فوق کم سیمان (ULCC) در دماهای مختلف به طور مقایسه‌ای نشان داده شده است. دیرگدازهای ریختنی معمولی و کم‌سیمان به خاطر ذوب شدن فازهای موجود در ترکیب آن‌ها مانند CAS_2 و C_2AS در دماهای بالای ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد، استحکام خمشی گرم پایینی از خود نشان می‌دهند. ولی در دیرگدازهای ریختنی فوق کم‌سیمان، تشکیل فاز مولایت As_2S_3 به جاز فازهای با نقطه ذوب پایین، باعث افزایش استحکام خمشی گرم می‌شود. به طور کلی وجود CaO زیاد از تشکیل فاز مولایت جلوگیری می‌کند بنابراین در دیرگدازهای ریختنی فوق کم‌سیمان به دلیل مقدار CaO کم (۵٪ درصد) فاز مولایت بیشتری تشکیل می‌شود که این امر دلیل اصلی استحکام خمشی گرم بالای این نوع دیرگدازها است.



شکل ۲. استحکام خمشی گرم دیرگدازهای ریختنی معمولی (RCC)، کم‌سیمان (LCC) و فوق کم‌سیمان (ULCC) در دماهای مختلف

توسعه دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان (LCC) و فوق کم‌سیمان (ULCC) در دهه ۱۹۷۰ با جایگزینی بخشی از سیمان با ذرات ریز ($1-100 \mu m$) و خیلی ریز ($1 \mu m$) مانند میکروسیلیس و آلومینای فعال شده آغاز شد. عملکرد خوب و اجرای موفقیت‌آمیز این نوع دیرگدازها به هنگام نصب و همچنین خواص دمابالا به توانایی پرکردن حفرات بین سنگدانه‌ها ($>100 \mu m$) توسط ذرات ریز و خیلی ریزدانه ترکیب نسبت داده می‌شود. پر شدن حفرات ترکیب باعث افزایش ترکیب و کاهش قابل ملاحظه آب مصرفی می‌شود. بنابراین دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان و فوق کم‌سیمان خواص فیزیکی بهتری را در مقایسه با دیرگدازهای ریختنی با مقدار سیمان معمولی (RCC) نشان می‌دهند. به طور کلی مزیت‌های LCC و ULCC خواص فیزیکی خوب آن‌ها مثل دانسیته بالا، تخلخل کم، مقاومت به سایش بالا و خوردگی هستند. دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان معمولاً دارای توزیع اندازه خلل و فرج ریزتر از دیرگدازهای ریختنی سیمان بالای مرسوم هستند. این افزایش مقاومت به خوردگی به وسیله نفوذ کردن فلزات و سرباره کمک می‌کند. دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان مقادیر گسیختگی بالاتر و خزش پایین‌تر از دیرگدازهای ریختنی سیمان بالا متداول دارند. همه این مشخصات کارایی بیش از دیرگدازهای ریختنی متداول و دیگر مواد مونولیتیک مثل دیرگدازهای کوبیدنی، دیرگدازهای پلاستیک و دیرگدازهای پاشیدنی مهیا می‌کنند. دیرگدازهای



ریختنی سیمان بالا در نصب و فرآیند ریخته‌گری بهتر عمل می‌کنند، در حالی که LCC و ULCC ها به پارامترهای نصب و شرایط ریخته‌گری حساس‌تر هستند. یک دیرگداز ریختنی متداول مقداری تخلخل باز در حدود ۱۷-۹ درصد تخلخل بعد از خشک شدن و در حدود ۳۰-۲۰ درصد بعد از گرم شدن دارند. بیشتر LCC به ترتیب دارای تخلخل باز کمتر از ۱۰٪ و ۱۶٪ بعد از خشک شدن و پخت دارند. همراه با کاهش در مقدار سیمان و یک تطابق کاهش در مقدار CaO در یک ترکیب خواص ترمودینامیکی بهبود یافته، به علاوه کاهش آب برای رسیدن به ریخته‌گری پایدار LCC و ULCC مورد استفاده‌اند که باعث عملکردهای عالی مثل بهبود استحکام گرم و سرد، کاهش تخلخل، دانسیته بالاتر و مقاومت به خوردگی می‌شود. به همین دلیل دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان و فوق کم‌سیمان جایگزین بخشی از دیرگدازهای ریختنی دیگر مثل نوع معمولی آن شدند.

مواد افزودنی

مواد افزودنی طبق تعریف ASTM C125-88 عبارت است از موادی به جز سنگدانه‌ها، سیمان، مواد پرکننده و الیاف و همچنین آب مورد استفاده در ترکیب دیرگدازهای ریختنی و یا ملات‌ها که به هنگام مخلوط کردن یا قبل از آن به ترکیب اضافه می‌شود. جرم‌های ریختنی فوق‌العاده کم‌سیمان کمتر از ۱/۵٪ CaO دارند. یکی از نکات مهم در دیرگدازهای ریختنی فوق‌العاده کم‌سیمان حضور ترکیبات فوق‌العاده ریز در راستای ایجاد فاز اتصال است. این مواد ریز جایگزین قسمتی از سیمان می‌شوند و در حضور پراکنده‌ساز مناسب، این ذرات حفرات بین ذرات بزرگتر را که در غیر این صورت با آب پر می‌شوند را پر می‌کنند، پس در نتیجه کاهش میزان آب می‌تواند باعث افزایش استحکام شود. هدف از استفاده از این مواد، کسب خواص بهتر در دیرگداز ریختنی است. مقدار مورد استفاده از این مواد افزودنی به قدری کم است که در محاسبات مربوط به ترکیب دیرگدازهای ریختنی، علاوه بر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شوند. به طور کلی مواد افزودنی در ایجاد یا افزایش خواص خودجاری بودن در دیرگدازهای ریختنی اهمیت زیادی دارند و به دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند که شامل مواد افزودنی ضدانقباض یا پراکنده‌سازها و کنترل‌کننده‌های زمان گیرش سیمان است.

مواد افزودنی ضدانقباض

سیستم زمینه دیرگداز ریختنی کم‌سیمان و فوق کم‌سیمان به طور معمول شامل سیمان آلومینات کلسیم، میکروسیلیس و آلومینای کلسینه‌شده یا فعال‌شده است. میکروسیلیس معمولاً کوچک‌ترین ذره موجود در این سیستم است که دارای طبیعت کلوییدی است. در سوسپانسیون‌های آبی به ذرات باردار $(\text{SiO}_3)_2^2-$ تبدیل می‌شود که دارای مقدار بار سطحی منفی برابر ۲۰- تا ۳۰- میلی ولت است و نقطه صفر بار (zpc) آن در حدود ۳-۲ pH است. ذرات سیمان و آلومینا بسته به pH دیرگداز ریختنی (معمولاً ۱۰-۸) ممکن است مقدار بار سطحی مثبت کمی را نشان می‌دهد. برای مثال، آلومینای هیدراته‌شده (AlO.OH) در سوسپانسیون‌های آبی به صورت

ذرات باردار $^+ (\text{AlO})$ تبدیل می‌شود که دارای بار سطحی مثبت هستند. بنابراین مخلوط میکروسیلیس به همراه آلومینا و سیمان در یک سوسپانسیون باعث عدم پایداری آن می‌شود. زیرا جاذبه الکترواستاتیکی بین ذرات میکروسیلیس دارای بار سطحی منفی و ذرات سیمان و آلومینا دارای بار سطحی مثبت باعث چسبیدن آن‌ها به یکدیگر و ایجاد آگلومراسیون و انعقاد سیستم و سوسپانسیون می‌شود. مشخص شده است که حتی مقادیر کمی یون Ca^{+2} در سوسپانسیون‌های حاوی میکروسیلیس باعث انعقاد آن می‌شود. بنابراین در دیرگدازهای ریختنی کم‌سیمان و فوق کم‌سیمان به دلیل وجود میکروسیلیس و آلومینا به عنوان اجزاء پرکننده و سیمان در ترکیب، خواص جریان‌یابی بسیار ضعیف خواهد بود و در صورتی که مقدار آب زیادی به ترکیب اضافه نشود، مشابه دیرگدازهای یکپارچه دارای سیستم نصب به صورت کوبیدنی در خواهد آمد. بهترین راه برای جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات و ممانعت از انعقاد سیستم، استفاده از مقدار مناسب یک ماده پلی‌الکترولیت یا یک عامل فعال‌کننده سطحی است. مواد افزودنی ضدانعقاد (دفلوکولانت) بر روی سطح ذرات سیستم (مثل آلومینا و سیمان) جذب می‌شوند و به این ترتیب باعث هم‌بارشدن بار سطحی آن‌ها و در نتیجه دفع آن‌ها در سیستم می‌شود. همچنین آگلومره‌های تشکیل‌شده در سیستم، شکسته می‌شوند و آب حبس‌شده در داخل آن‌ها آزاد می‌شود و به این ترتیب آب بیشتری در این نوع دیرگدازها جهت افزایش جریان‌یابی فراهم می‌شود. با در نظر گرفتن مقدار جریان‌یابی ثابت، استفاده از این مواد می‌تواند مصرف آب لازم را جهت مخلوط کردن کاهش دهد و بنابراین به عنوان کاهش‌دهنده میزان آب نیز شناخته می‌شود.

مواد افزودنی کنترل‌کننده زمان گیرش

کنترل زمان گیرش و سخت شدن دیرگدازهای ریختنی یکی از جنبه‌های خیلی مهم در طراحی دیرگدازهای ریختنی است. دیرگدازهای ریختنی خودجاری باید زمان کافی جهت نصب و پر کردن قالب قبل از گیرش و سخت شدن را داشته باشند. زمان گیرش توسط ویژگی مواد اولیه و همچنین برهمکنش بین اجزاء سیستم می‌تواند تحت تاثیر قرار گیرد. بنابراین پیش‌بینی رفتار گیرش در هر سیستم بدون انجام آزمایش تقریباً غیرممکن است. تغییر و کنترل زمان گیرش معمولاً توسط استفاده از مواد افزودنی تسریع‌کننده یا کندکننده گیرش و یا ترکیبی از آن‌ها انجام می‌شود. همچنین مواد افزودنی ضدانعقاد و مواد پراکنده‌ساز نیز می‌توانند زمان گیرش را تا حدی تحت تاثیر قرار دهند. مواد افزودنی کندکننده گیرش معمولاً شامل اسیدها و مواد افزودنی تسریع‌کننده معمول شامل قلیایی‌ها است.

توسعه دیرگدازهای فوق کم‌سیمان در اواخر دهه ۸۰ میلادی با جایگزینی بخشی از سیمان با ذرات بسیار ریز مانند میکروسیلیس و آلومینای فعال‌شده آغاز شد. وجود میکروسیلیس و آلومینای فعال‌شده به عنوان مواد اولیه ریزدانه در ترکیب شیمیایی دیرگدازهای فوق کم‌سیمان باعث تشکیل فاز مولایت در دمای بالای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد به جای فازهای با

نقطه ذوب پایین مانند آنورتیت ($\text{Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) و لنیت ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) در جرم‌های پرسیمان و سبب افزایش قابل ملاحظه استحکام گرم می‌شود. تاکنون از مواد ریزدانه از قبیل آلومینای راکتیو و میکروسیلیس که خواص جرم ریختنی را از لحاظ درصد آب موردنیاز، کارپذیری و در نتیجه خواص مکانیکی گرم و سرد بهبود می‌بخشد در تحقیقات و تولیدات زیادی استفاده شده است. استفاده از نسبت مناسب آلومینای راکتیو و میکروسیلیس در جرم‌های ریختنی فوق کم‌سیمان و بدون سیمان خواص مناسبی را از قبیل جریان‌پذیری و ایجاد فاز مطلوب مولایت در دمای بالا به جرم‌های مذکور می‌دهد. اما تعیین نسبت بهینه این دو ماده و استفاده از آن در جرم همیشه از مشکلاتی بوده که محققان با آن مواجه بوده‌اند. با استفاده از اکسید کروم فوق ریزدانه یا کلسایند آلومینای فوق ریزدانه به جای میکروسیلیکا که در ساختار یافت می‌شود نیز جلوگیری از کاهش استحکام در دماهای بالا امکان‌پذیر است. اما استفاده از اکسید کروم به دلیل مسائل زیست محیطی در اغلب کشورها مناسب نیست. همچنین افزودنی‌های روان‌ساز وظیفه کاهش آب مصرفی و فراهم کردن جریان‌یابی مناسب را برای جرم ریختن، جهت پر کردن مناسب قالب به عهده دارند. ماده افزودنی روان‌ساز مناسب می‌تواند ضمن پراکنده‌سازی مناسب ذرات و افزایش سیالیت این نوع دیرگدازها باعث کاهش میزان آب مصرفی جهت نصب و در نتیجه کاهش تخلخل و افزایش استحکام مکانیکی شود. در سال‌های گذشته اثر برخی افزودنی‌ها بر رفتار رئولوژی دیرگدازهای ریختنی آلومینایی فوق کم‌سیمان توسط پژوهشگران گزارش شده است. به عنوان مثال، اثر روان‌سازهایی مثل نمک‌های پایه سیترات، پایه پلی متاکریلات، پایه پلی کربوکسیلات اتر، سدیم سیلیکات، اسید سیتریک، سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزا متا فسفات GLENIUM110IR ، CASTAMENTFS20 ، DARVAN811D ، RHEOBUILD561MIR بر رفتار گیرش جرم‌های ریختنی فوق کم‌سیمان بررسی شده است. همچنین اثر نمک‌های بر پایه سیترات و پلی متاکریلات، سدیم سیلیکات، روانساز DOLAPIX FF26 بر پایه اسید پلی کربونیک، روان‌ساز بر پایه پلی کربوکسیلات اتر با نام‌های تجاری DOAPIX FF7 SPEZIAL و CASTAMENT FS20 و CASTAMENT FS10 که یک پلی الکترولیت سنتزی است بررسی شده‌اند. نتایج تحقیقات نشان داده است که روان‌سازهای بر پایه پلی کربوکسیلات اثر بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر روان‌سازها داشته‌اند. در سال‌های اخیر، استفاده از نانوسیلیکا به عنوان یک عامل اتصال در جرم‌های ریختنی مورد بررسی و توجه محققان قرار گرفته است و مزیت‌های بیشتر استفاده از نانوسیلیکا در جرم‌های ریختنی فوق کم‌سیمان مشخص شده است.

آنورتیت و ژلنیت که فازهای مذاب ویسکوز هستند در ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد در جرم‌های ریختنی کم‌سیمان که نسبت CaO آن‌ها بین ۱٪ و ۵/۲٪ است تشکیل شده‌اند و منجر به افزایش تخلخل ساختار دیرگداز و بنابراین، کاهش استحکام می‌شوند. یکی از راه‌های بهبود خواص جرم‌های ریختنی فوق کم‌سیمان پایه آلومینایی شکل‌گیری فاز مولایت در ساختار آن‌ها است

که در رشد و توسعه این دیرگدازها اهمیت بسیاری دارد. به دلیل دمای ذوب بالا (۱۸۵۰ درجه سانتیگراد)، هدایت حرارتی و انبساط حرارتی پایین، استحکام بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی خوب و سرعت خزش پایین مولایت این ماده فازی مطلوب در صنعت دیرگداز است. در دیرگدازهای فوق کم‌سیمان که نسبت سیمان بین ۲/۰ و ۱/۰ دارند، واکنش مولایت در حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد از طریق افزودن راکتیو آلومینا و میکروسیلیس با ساختار تبولار آلومینا رخ می‌دهد. تشکیل مولایت باعث تشکیل فاز مایع می‌شود که به استحکام دیرگداز در دماهای بالا کمک می‌کند. مقدار CaO در دیرگداز اثرات مشخصی بر تشکیل مولایت دارد. حضور CaO از تشکیل مولایت ممانعت می‌کند و بنابراین، استحکام جرم‌های ریختنی کم‌سیمان در حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. با این حال چون مقدار سیمان کاهش می‌یابد، از نظر تئوری مقدار مذاب کمتری تشکیل می‌شود اما افزایش استحکام فقط هنگامی ممکن است که مقدار میکروسیلیکا کمتر از ۶٪ باشد. توسعه فرمولاسیون که تولید دیرگداز با تخلخل کم را ممکن خواهد کرد، برای کنترل توزیع اندازه ذرات مخلوط امکان‌پذیر است. کاهش تخلخل منجر به افزایش استحکام می‌شود. در نتیجه، به دلیل تبخیر آب ترکیب حین پخت، کاهش نسبت آب مصرفی تاثیر مثبتی بر پوسته شدن ماده دارد.

منابع:

- 1- Y. Kutmen Kalpakli, "Effects of particle size distribution on the refractory properties and corrosion ultra-low cement castables", Archives of Materials Science and Engineering, Volume 34 Issue 2 December 2008 Pages 81-88
- ۲- مهدی خوئینی، حسین رستگار، زیارتعلی نعمتی، مرتضی تمیزی‌فر، سعید بازگیر، "بررسی اثر نانوسیلیکات‌های لایه‌ای بر جرم‌های ریختنی خلی کم‌سیمان آلومینایی"، اولین همایش ملی دیرگداز، ۱۳۸۸.
- احمدرضا عباسیان، محمدحسن امین، محمدرضا رحیمی‌پور، "اثر افزودنی روان‌ساز بر جرم‌های ریختنی بسیار کم‌سیمان $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ حاوی میکروسیلیس"، مجله فناوری و آموزش، سال دوم، جلد ۲، شماره ۳، ۱۳۸۷.
- ۳- مهدی شکوری دیسفانی، حسین جغتایی، محمدصادق شاکری، علیرضا سوری، "تاثیر آندالوزیت بر خواص جرم‌های ریختنی خلی کم‌سیمان تابلوار آلومینایی"، هشتمین کنگره سرامیک ایران، ۱۳۹۰.
- ۴- احمدرضا عباسیان، نجمه امیدوار عسکری، فریده طباطبایی، "بررسی افزودنی‌های روان‌ساز بر جرم ریختنی دیرگداز آلومینایی خلی کم‌سیمان"، پنجمین کنفرانس بین‌المللی و دهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسين متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری، ۱۳۹۵.
- ۶- سمانه بیگلر، حسین سرپولکی، علی نعمتی، علیرضا سوری، "بررسی تاثیر زیرکن بر ریزساختار و خواص جرم‌های ریختنی فوق‌العاده کم‌سیمان اسپینلی"، هشتمین کنگره سرامیک ایران، ۱۳۹۰.
- ۷- حامد یعقوبی، حسین سرپولکی، فرهاد گلستانی‌فرد، علیرضا سوری، "بررسی تاثیر افزودن نانوسیلیکا بر استحکام و تشکیل مولایت در جرم‌های ریختنی آلومینایی بسیار کم‌سیمان"، هشتمین کنگره سرامیک ایران، ۱۳۹۰.
- ۸- عطیه بوستان، "بررسی تاثیر افزودن نانواسپینل و نانوکاربید سیلیسیم بر خواص دیرگدازهای ریختنی خلی کم‌سیمان آلومینا-کاربید سیلیسم-کربنی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد، ۱۳۹۳.





تأثیر کسر حجمی فاز تقویت کننده بر استحکام فشاری کامپوزیت Al6061-SiC تولید شده با روش آلیاژسازی مکانیکی

تالیف و گردآوری: سید امین میر هاشمی - کارشناس تولید (بخش کوره‌ها)

چکیده:

فرآیند آلیاژسازی مکانیکی به دلیل توانایی در تولید کامپوزیت با ساختار همگن و توزیع یکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش با استفاده از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی در مدت زمان ۸ ساعت پودرهای کامپوزیتی Al6061-SiC با کسر حجمی‌های (۲٪، ۴٪، ۶٪، ۸٪) فاز تقویت کننده تولید شدند. بررسی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی، ساختار همگن ذرات پودری و توزیع یکنواخت ذرات SiC در زمینه Al6061 را نشان داد. برای تهیه نمونه‌های تست استحکام فشاری از پرس سرد تک جهته استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش کسر حجمی فاز تقویت کننده، استحکام فشاری افزایش می‌یابد و به ترتیب در کسر حجمی‌های ۲٪، ۴٪، ۶٪ و ۸٪ استحکام نهایی ۱۱۴، ۱۴۸، ۱۶۱ و ۱۸۸ مگاپاسکال به دست آمد. **کلمات کلیدی:** کامپوزیت Al6061-SiC، استحکام فشاری، کسر حجمی فاز تقویت کننده

مقدمه:

کامپوزیت‌های زمینه فلزی مجموعه‌ای هستند از زمینه آلیاژی نرم و افزودنی استحکام بخش که معمولاً ماده‌ای سخت است و برای تأمین استحکام مناسب به زمینه افزوده می‌شود [۱]. این گروه از مواد طی چند دهه گذشته پیشرفت و توسعه چشمگیری داشته‌اند زیرا با انتخاب نوع، اندازه، شکل و کسر حجمی فاز تقویت کننده می‌توان خواص مورد نیاز را در آن‌ها به وجود آورد. در بین کامپوزیت‌های زمینه فلزی، Al-SiC یکی از متداول ترین کامپوزیت های مورد مطالعه هستند زیرا، ویژگی‌هایی مثل استحکام عالی، انعطاف پذیری خوب، خواص خوردگی مطلوب، ضریب انبساط حرارتی پایین و قیمت مناسب دارند [۲]. آلومینیم بدون عناصر آلیاژی دارای استحکام پایینی است که به عنوان یک محدودیت در کاربردهای صنعتی مطرح می‌باشد [۳]. کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی را می‌توان به وسیله توزیع ذرات سخت مانند: کاربیدها، اکسیدها و یا نیتریدها در زمینه آلومینیم با تکنیک‌های جامد و مایع تولید کرد که از جمله به روش‌های: آلیاژسازی مکانیکی، روش گردابی، روش نفوذی و ریخته‌گری تحت فشار می‌توان اشاره نمود [۴ و ۵]. اختلاف زیاد ضریب انبساط حرارتی بین دو جزء Al و SiC و مقدار کم میزان ترشوندگی ذرات SiC توسط Al، تولید کامپوزیت Al-SiC را از روش متالورژی فاز مایع

مشکل می‌کند. همچنین متالورژی فاز مایع ممکن است منجر به تشکیل فازهای تردی مثل Al4C3 و Si_۳N_۴ ناشی از واکنش‌های ناخواسته بین Al و SiC شود [۴]. باتوجه به این که اولین نیاز یک کامپوزیت برای نشان دادن کارایی بالا، توزیع یکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه است پس در نتیجه آگلومره شدن ذرات باعث افت خواص مکانیکی کامپوزیت می‌شود. آلیاژسازی مکانیکی با انرژی بالا روشی است که باعث توزیع همگن ذرات می‌شود و به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از این روش برای تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی گسترش یافته است [۱]. در طول فرآیند آلیاژسازی مکانیکی دو فرآیند مهم اتفاق می‌افتد: جوش سرد و شکستن ذرات پودر. ذرات پودر بارها و بارها شکسته می‌شوند و جوش سرد می‌خورند، به طوری که ذرات پودر با ساختاری مناسب پس از آلیاژسازی مکانیکی به دست می‌آیند [۴]. کامپوزیت‌های Al6061-SiC به خاطر خواص خوبشان مانند: مدول الاستیسیته بالا، مقاومت در برابر سایش بالا، عملکرد خوب سیکل خستگی، شکل پذیری، سختی بالا، مقاومت زیست محیطی عالی و قدرت بالای آن‌ها نسبت به وزنشان در صنایع نظامی، هوابیمایی، خودرو و الکترونیک کاربرد دارند [۷-۲]. در تحقیقات دیده شده است که استحکام کششی آلومینیم در اثر افزودن تقویت کننده‌های ذره‌ای کاهش یافته ولی استحکام فشاری بهبود می‌یابد. بنابراین کامپوزیت‌های زمینه آلومینیم بیشتر در کاربردهای فشاری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. آقای نولس و همکارانش به بررسی میکروساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت Al6061-SiC تولید شده با روش متالورژی پودر و اکستروژن پرداختند و نتایج به دست آمده بهبود استحکام فشاری را با افزایش کسر حجمی فاز تقویت کننده از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد نشان داد [۸]. آقای محمدی و همکارش به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت Al6061-TiC تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی پرداختند و استحکام فشاری قطعات Al6061 آلیاژسازی مکانیکی شده را در حدود دو برابر نوع تجاری آن گزارش کردند [۳]. خانم عباسی و همکارانش تأثیر آلیاژسازی مکانیکی بر استحکام فشاری کامپوزیت Al_۵Ni_۳Al را بررسی کردند. آن‌ها بهبود استحکام فشاری را گزارش کردند [۱]. آقای دانشمند و همکارانش تأثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت مس-گرافن تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی را بررسی کردند و نتایج به دست

آمده بهبود استحکام فشاری را نشان داد [۹]. آقای رامش و همکارش رفتار سایشی کامپوزیت Al6061-SiC را مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که مقاومت به سایش این کامپوزیت با افزایش درصد تقویت کننده بهبود یافته است [۱۰]. آقای کومار و همکارش به بررسی اثر اندازه و کسر حجمی SiC بر میکروساختار و خواص مکانیکی و تریبولوژیکی کامپوزیت Al6061-SiC تولید شده به روش متالورژی ذوبی پرداختند و بهبود تراکم، سختی، استحکام کششی و مقاومت در برابر سایش را با افزایش درصد تقویت کننده گزارش کردند [۱۱]. آقای زکریا نیز به بررسی اثر کسر حجمی SiC بر خوردگی کامپوزیت Al6061-SiC پرداخت و کاهش سرعت خوردگی با افزایش درصد تقویت کننده را گزارش داد [۱۲]. اگرچه تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی آلیاژسازی مکانیکی Al6061-SiC انجام شده است اما بررسی دقیق اثر نسبت فاز تقویت کننده و بررسی مکانیزم‌های استحکام بخش فشاری کمتر مورد توجه تحقیقات قرار گرفته است، لذا در این پژوهش به بررسی استحکام فشاری کامپوزیت Al6061-SiC تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی در نسبت‌های مختلف فاز تقویت کننده پرداخته شده است.

مواد و روش تحقیق:

در این تحقیق از پودر آلیاژ Al6061 با متوسط اندازه ذرات ۸۰ میکرون که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۱) آمده است و ذرات SiC به میزان ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد وزنی با متوسط اندازه ذرات ۱۵ میکرون به عنوان تقویت‌کننده استفاده شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی پودر آلیاژ Al6061

Component	Al%	Cu%	Mg%	Si%	Fe%	Mn%	Ni,PPM	Ti,PPM	Cr%	Sb,PPM	V%
Wt. %	97.731	0.172	0.921	0.612	0.359	0.022	25.573	75.981	0.162	6.972	0.01

Microsoft Excel به دست آمد و با کمک رابطه (۱) اندازه کریستالیت و کرنش داخلی شبکه محاسبه شد. برای بررسی تغییرات به وجود آمده در مورفولوژی پودرهای کامپوزیتی تهیه شده به روش آلیاژسازی مکانیکی، چهار نمونه که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) آمده است به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی LEO-435VP (فیلامان W) مورد مطالعه قرار گرفتند.

جدول ۲- مشخصات نمونه های مورد استفاده برای مطالعه مورفولوژی پودرهای کامپوزیتی

نمونه	a	b	c	d
Al6061-2%SiC	Al6061-4%SiC	Al6061-6%SiC	Al6061-8%SiC	
۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی	۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی	۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی	۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی	مشخصات

همچنین با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل ZEISS آنالیز EDX انجام شد. برای تهیه نمونه تست فشار، از یک قالب با قطر ۱۲ میلی‌متر استفاده شد و ارتفاع این نمونه‌ها ۱۴ میلی‌متر انتخاب شد. سپس با فشار تک جهته و به مقدار ۸ تن پرس سرد انجام شد و نمونه‌های پرس شده در دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد تحت گاز آرگون درون کوره مدل EXCITON به

پرش اشعه X مدل Philips-PW3040 تست آنالیز اشعه X انجام شد. در این دستگاه برای آنالیز از تیوب PW2273 و تابش Cu-Kα با طول موج ۱/۵۴۰۵۶ انگستروم در بازه $20 \leq \theta \leq 10$ استفاده شد. در این محدوده اسکن اشعه در هر 0.02° درجه و سرعت اسکن 0.4° درجه بر ثانیه انتخاب گردید. آنالیز با ولتاژ ۴۰ کیلو وات و جریان ۳۰ میلی‌آمپر انجام شد. آنالیز پیک‌های حاصل از نمونه‌های مختلف با نرم افزار X'Pert HighScore انجام پذیرفت. برای بررسی اثر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی بر اندازه دانه آلیاژ زمینه و میزان کرنش داخلی اعمال شده به ذرات از رابطه (۱) که به معادله ویلیامسون- هال معروف است استفاده شد.

$$\beta_s \cos \theta = \frac{K\lambda}{d} + 2 A \varepsilon \sin \theta \quad (1)$$

در این رابطه K ثابت شرر $(K=1/0.5)$ ، طول موج اشعه X $(\lambda=1/0.54056)$ ، اندازه دانه کریستالی آلیاژ زمینه، θ زاویه تفرق و ε کرنش داخلی ذرات است. β_s که مربوط به پهنای پیک است از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\beta_s^2 = \beta_e^2 - \beta_g^2 \quad (2)$$

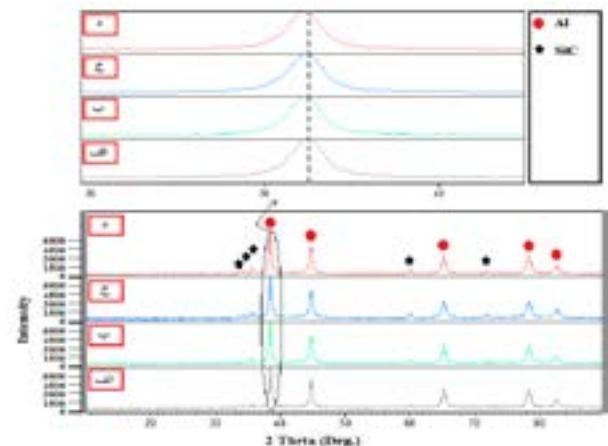
در رابطه فوق β_i پهنای پیک مربوط به دستگاه آنالیز و β_e عرض کامل پیک XRD نمونه مورد نظر در نصف ارتفاع ماکزیمم است. به منظور بالا بردن دقت و کم کردن خطا در اندازه‌گیری پهنای پیک، این عملیات با نرم‌افزار Sigma Plot و استفاده از ۵ پیک اصلی انجام شد و بعد از رسم نمودار $\sin^2 \theta \cos^2 \theta$ و رسم بهترین خطی که از ۵ نقطه به دست آمده می‌گذرد، شیب و عرض از مبدأ این خط از طریق نرم‌افزار



مدت یک ساعت زینتر شد و داخل کوره نیز به مدت یک ساعت سرد گردید. برای بررسی مورفولوژی سطح نمونه‌های زینتر شده، چهار نمونه تهیه شده که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) وجود دارد به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفتند. در نهایت بر روی چهار نمونه تهیه شده توسط دستگاه فشار مدل SANTAM STM-150 تست استحکام فشاری با سرعت $2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ انجام شد و نمودارهای نیرو بر حسب تغییر طول به دست آمده به نمودار تنش- کرنش تبدیل گردید.

نتایج و بحث:

شکل (۱) نتایج آزمون پراش اشعه X برای پودرهای کامپوزیتی Al₆₀₆₁-SiC با کسر حجمی ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد ذرات SiC پس از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - آنالیز پراش اشعه X از کامپوزیت Al₆₀₆₁-SiC بعد از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی. الف) Al₆₀₆₁-2%SiC ب) Al₆₀₆₁-4%SiC ج) Al₆₀₆₁-6%SiC د) Al₆₀₆₁-8%SiC

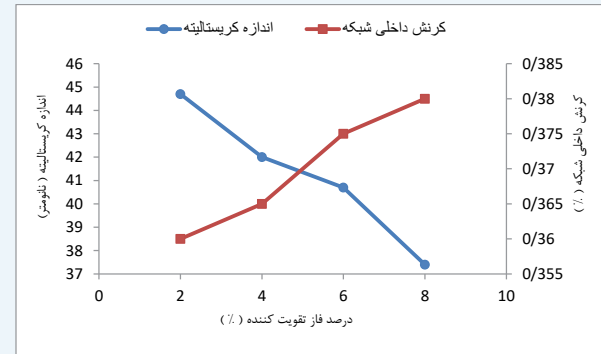
همان گونه که مشاهده می‌شود در فازبندی پیک‌های Al و SiC مشخص هستند. با افزایش درصد تقویت کننده، شدت پیک‌ها و پهنای پیک‌ها تغییری نکرده و تنها زوایای پیک‌ها کمی جا به جا شده و در واقع با افزایش کسر حجمی تقویت کننده پیک‌ها به سمت زوایای کمتر حرکت کرده اند. زیرا با توجه به رابطه (۳)، که به قانون براگ معروف می‌باشد:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

که در این رابطه n مرتبه بازتاب و عددی ثابت، λ طول موج پرتو d، X فاصله بین دو ردیف اتم و θ زاویه برخورد اشعه با سطح اتم‌ها می‌باشد.

مشاهده می‌شود که n و λ اعدادی ثابت هستند که در طرف چپ تساوی قرار دارند و با توجه به این که در طرف راست تساوی با افزایش درصد تقویت کننده مقدار d در حال افزایش است، پس برای برقراری تساوی باید مقدار $\sin \theta$ ، کاهش پیدا کند و می‌دانیم که در بازه $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ با کاهش مقدار $\sin \theta$ ، θ نیز کاهش می‌یابد. پس پیک‌ها با افزایش درصد تقویت کننده به سمت زاویه‌های کوچکتر، یعنی به سمت چپ حرکت می‌کنند. با بزرگ کردن پیک مربوط به Al که در زاویه $2\theta = 38^\circ$ وجود دارد، این جا به جا شدن پیک‌ها و حرکت به سمت زاویه‌های کوچکتر کاملاً قابل مشاهده می‌باشد.

شکل (۲) نمودار تغییر اندازه کریستالیت و کرنش داخلی شبکه نسبت به درصد فاز تقویت کننده که با استفاده از معادله ویلیمسون- هال (در بخش مواد و روش تحقیق توضیح داده شد) به دست آمده است را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که با افزایش درصد فاز تقویت کننده اندازه کریستالیت کاهش می‌یابد و کرنش داخلی شبکه افزایش می‌یابد.



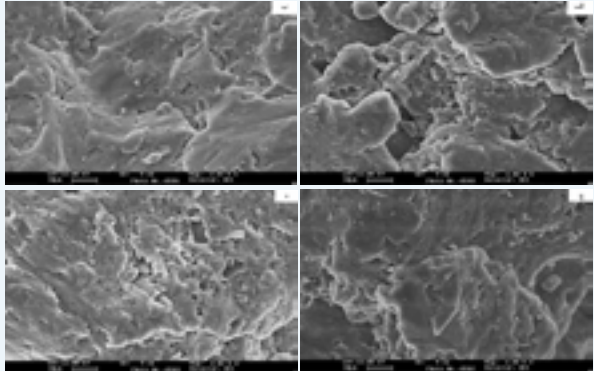
شکل ۲ - تغییرات اندازه کریستالیت و کرنش داخلی شبکه نسبت به درصد فاز تقویت کننده پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-SiC

در اثر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی تغییر شکل پلاستیک زیادی بر ذرات پودری تحمیل می‌شود. این تغییر شکل باعث افزایش چگالی انواع عیوب کریستالی به ویژه نابجایی‌ها می‌شود. افزایش نابجایی‌ها و سایر عیوب کریستالی باعث افزایش انرژی سیستم می‌شود. برای کاهش انرژی سیستم و رسیدن به تعادل، نابجایی‌ها آرایش مجدد داده و دانه‌های جدید با اندازه کوچکتر تشکیل می‌شوند. درستی این موضوع را آقای اسدی فرد و همکارانش نیز اثبات کردند[۴].

با توجه به اینکه آلومینیم نرم است در حین آسیاکاری، ذرات پودر نرم پهن می‌شوند، پس از جوش سرد شکسته و دوباره جوش می‌خورند. وقتی دو گلوله فلزی به هم برخورد می‌کنند مقداری پودر در بین آن‌ها به دام می‌افتد. تغییر شکل پلاستیکی ذرات در اثر نیروی ضربه‌ای منجر به کار سختی و سپس شکست آن‌ها می‌شود و سطوح جدید ذرات را قادر به جوش خوردن با هم و در نتیجه افزایش اندازه دانه می‌کند. از آنجایی که در مراحل اولیه آسیا کردن، ذرات نرم‌اند و تمایل آن‌ها به جوش خوردن و شکل‌گیری ذرات بزرگتر زیاد است، اندازه ذرات افزایش می‌یابد و به چند برابر ذرات اولیه می‌رسد.

ذرات کامپوزیت در این مرحله دارای ساختار لایه‌ای با ترکیب متفاوت از ترکیب اولیه هستند. ترکیب شدن SiC با Al₆₀₆₁ از این مرحله به بعد به علت تماس سطحی بیشتر و امکان نفوذ بهتر، آسان می‌شود[۱۳]. شکل (۳) تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های پودری را نشان می‌دهد. یکی از مزایای کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی تهیه شده به روش متالورژی پودر، توزیع پیوسته و یکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه است. با استفاده از روش متالورژی پودر می‌توان به توزیع یکنواختی از فاز تقویت کننده دست یافت. این توزیع یکنواخت و پیوسته از فاز تقویت کننده

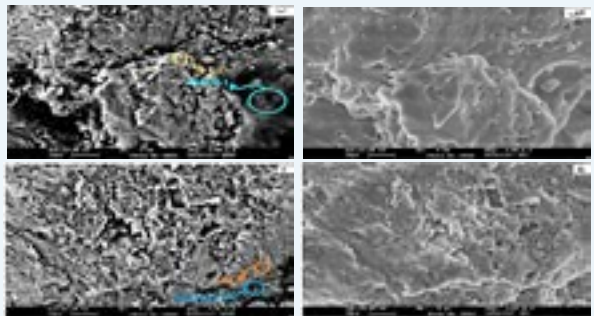
می‌تواند بر بهبود خواص مکانیکی حاصل شده، موثر واقع شود. تصاویر مربوط به ریزساختار کامپوزیت‌های ساخته شده، گویای آن است که ذرات SiC توزیع یکنواخت و تقریباً همگنی را در بین ذرات Al₆₀₆₁ داشته و پدیده توده‌ای شدن ذرات SiC در اینجا کمتر دیده می‌شود. البته باید به این موضوع اشاره داشت که با افزایش کسر حجمی ذرات SiC، میل به توده‌ای شدن ذرات SiC بیشتر می‌شود[۵].



شکل ۳ - تصاویر تهیه شده از مورفولوژی ذرات پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-SiC، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی پس از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی (SEM).

الف) پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-2%SiC ب) پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-4%SiC ج) پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-6%SiC د) پودر کامپوزیتی Al₆₀₆₁-8%SiC

در شکل (۳) مشاهده می‌شود که ذرات SiC کاملاً در زمینه Al₆₀₆₁ فرو رفته‌اند و به دلیل نرم بودن زمینه، ذره‌های SiC را به خوبی پوشانده است. با افزایش درصد تقویت کننده بر تعداد ذرات SiC افزوده شده است و به توزیع پراکنده‌تری در زمینه Al₆₀₆₁ رسیده اند. این توزیع ذرات SiC در شکل (۴) دیده می‌شود.



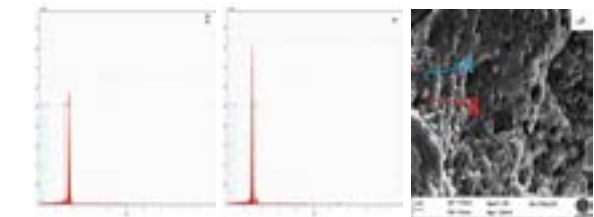
شکل ۴ - تصاویر تهیه شده از توزیع ذرات SiC در زمینه Al₆₀₆₁ پس از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).

الف) SE از نمونه Al₆₀₆₁-6%SiC ب) BSE از نمونه Al₆₀₆₁-6%SiC ج) SE از نمونه Al₆₀₆₁-8%SiC د) BSE از نمونه Al₆₀₆₁-8%SiC در BSE معیار تصویر عدد اتمی است لذا از SiC (با عدد اتمی بالاتر) نسبت به Al₆₀₆₁ (با عدد اتمی کمتر) تعداد الکترون‌های بیشتری به دیتکتور رسیده و همان گونه که مشاهده می‌شود ذرات SiC روشن‌تر دیده می‌شوند و با افزایش کسر حجمی تقویت کننده، ذرات SiC (ذرات روشن‌تر) بیشتری در شکل (۴-د) نسبت به شکل (۴-ب) دیده می‌شوند. یکی از موارد مهم در ساخت کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی به روش متالورژی پودر، اتصال و پیوند ذرات آلومینیم و ایجاد زمینه



یکنواخت و یکپارچه است. شکل (۴) تصویر میکروسکوپی از اتصال ذرات آلومینیم به یکدیگر را برای نمونه Al₆₀₆₁-SiC نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است، ذرات پودر آلومینیم اتصال نسبتاً خوبی با یکدیگر داشته و به نظر می‌رسد که فشار پرس، دما و زمان تف جوشی در حین فرآیند ساخت مناسب و مطلوب بوده است.

شکل (۵) تصویر نمونه پودری کامپوزیت Al₆₀₆₁-8%SiC پس از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده است و آنالیز EDX از نقاط A و B را نشان می‌دهد.



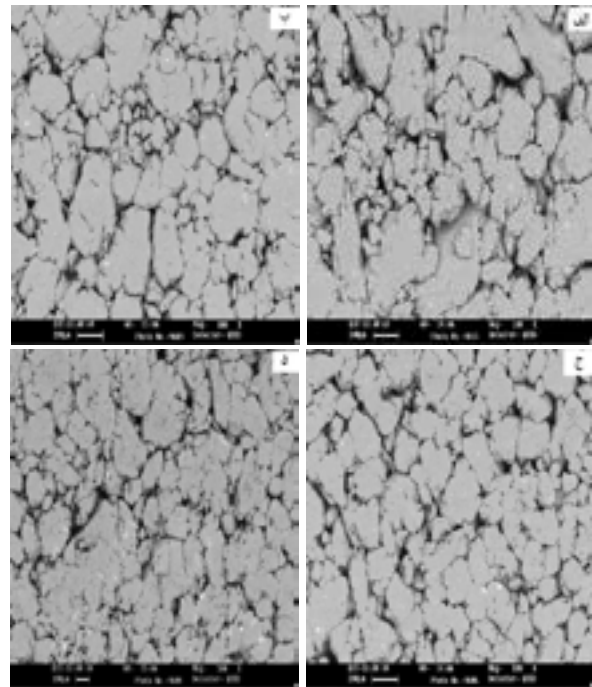
شکل ۵ - الف) تصویر SEM از نمونه کامپوزیتی Al₆₀₆₁-8%SiC بعد از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی ب) آنالیز EDX از نقطه A ج) آنالیز EDX از نقطه B.

همان گونه که مشاهده می‌شود نقطه A مربوط به زمینه Al₆₀₆₁ و نقطه B مربوط به ذرات تقویت کننده SiC می‌باشند و در آنالیز EDX نقاط A و B چون احتمالاً نقطه اثر بیم الکترون بر روی نقاط A و B بزرگتر از نقطه مورد نظر آنالیز بوده است لذا اشعه X خروجی از نقطه A (زمینه Al₆₀₆₁) شامل مقادیر جزئی Si و C نیز می‌باشد و اشعه X خروجی از نقطه B (تقویت کننده SiC) شامل مقادیر کمی از Al₆₀₆₁ زمینه می‌باشد. قابل ذکر است که فاز مضر Al₄C₃ در نمونه‌ها وجود ندارد، زیرا حداقل دما برای تشکیل این فاز $2277/8^\circ \text{C}$ است[۵] و با توجه به دمای تف جوشی نمونه‌ها (580°C)، تشکیل این فاز از نظر ترمودینامیکی غیر ممکن است. همچنین درصد عناصر موجود در نقاط A و B در جدول (۳) آمده است. در قسمت (الف) جدول (۳) که مربوط به نقطه A می‌باشد، مشاهده می‌شود که درصد وزنی و درصد اتمی آلومینیم نسبت به سیلیسیم و کربن بیشتر می‌باشد و در قسمت (ب) جدول (۳) که مربوط به نقطه B است، مشاهده می‌شود که درصد وزنی و درصد اتمی آلومینیم نسبت به سیلیسیم و کربن کمتر می‌باشد.

جدول ۳ - عناصر موجود در نقاط الف) A ب) B

عنصر	الف		ب	
	درصد وزنی (%)	درصد اتمی (%)	درصد وزنی (%)	درصد اتمی (%)
آلومینیم	۷۶/۶۳	۶۴/۴۷	۴/۱۹	۴/۳۶
سیلیسیم	۷/۹۷	۶/۴۴	۳۴/۸۲	۳۲/۸۸
کربن	۱۵/۳۹	۲۹/۰۸	۶۰/۹۸	۶۲/۷۶

برای تهیه نمونه‌های تست استحکام فشاری، همان گونه که در بخش مواد و روش تحقیق گفته شد، نمونه‌های پودری در فشار ۸ تن پرس و در دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد و تحت اتمسفر گاز آرگون درون کوره به مدت یک ساعت زینتر شدند و سپس درون کوره به مدت یک ساعت سرد شدند. برای بررسی تراکم و مورفولوژی حفرات سطح نمونه‌های تهیه شده از سطح نمونه‌ها تصاویر SEM گرفته شد که در شکل (۶) قابل مشاهده می‌باشد.

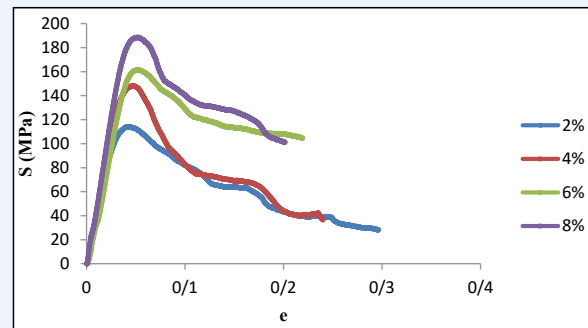


شکل ۶ - تصاویر تهیه شده از مورفولوژی سطح نمونه‌های پرس و زینتر شده کامپوزیت Al6061-SiC، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).
الف (پودر کامپوزیتی Al6061-2%SiC) ب (پودر کامپوزیتی Al6061-4%SiC)
ج (پودر کامپوزیتی Al6061-6%SiC) د (پودر کامپوزیتی Al6061-8%SiC)

وجود حفره و تخلخل در روش متالورژی پودر یک امر طبیعی است. باید به این نکته اشاره داشت که حذف کامل تخلخل‌ها و حفرات در نمونه‌های ساخته شده به روش متالورژی پودر بسیار مشکل است و بیشتر سعی بر کم کردن تخلخل‌ها و افزایش درصد تراکم نمونه‌ها است [۵]. در شکل (۶) مشاهده می‌شود که با افزایش کسر حجمی تقویت کننده، ذرات همگن‌تر شده‌اند و سطح یکپارچه‌تری را تشکیل داده‌اند. همچنین در شکل (۲) مشخص شد که با افزایش کسر حجمی فاز تقویت کننده، اندازه کربستالی دانه‌ها کوچک می‌شوند و ذرات ریز و همگن می‌شوند. همگن تر شدن و ریزتر شدن ذرات باعث می‌شود که خلل و فرج نمونه کمتر شود و منافذ موجود در بین پودرها کمتر شوند. قابل ذکر است که علاوه بر اندازه ذرات، مقدار فشار وارد شده در عملیات پرس و دما و زمان تف جوشی نیز در کمتر شدن حفرات سطح مؤثر است و با افزایش مقدار فشار وارد شده به نمونه در زمان پرس سرد، فضای خالی بین ذرات کمتر شده و باعث کاهش حفرات سطح می‌شود. اما عامل اصلی انجام فرآیند تف جوشی دماست، بالا رفتن دما موجب تسریع فرآیندهای نفوذی می‌گردد. اما از طرف دیگر هزینه تولید را نیز بالاتر خواهد برد. میزان فشردگی نمونه خام و همچنین مقدار و نحوه توزیع حفرات، در انتخاب بهترین دمای تف جوشی تأثیر بسزایی دارد و البته با توجه به این که دمای ذوب Al6061، ۶۵۲ درجه سانتی‌گراد است پس دمای تف جوشی نباید به حدی برسد که نمونه ذوب شود. زمان تف جوشی در ساختار نهایی تأثیر شدیدی دارد. کوتاه کردن زمان تف جوشی در یک حد بهینه علاوه بر پایین آوردن هزینه‌های

تولید، از رشد دانه جلوگیری می‌کند و مانع از جدا شدن حفرات از مرز دانه‌ها می‌شود. آقای مقیم نیز به اهمیت دمای تف جوشی اشاره کرده است [۱۴].

در نهایت از نمونه‌های تهیه شده با سرعت $2 \frac{mm}{min}$ تست استحکام فشاری گرفته شد و نمودارهای نیرو بر حسب تغییر طول به دست آمده به نمودارهای تنش- کرنش تبدیل گردید که در شکل (۷) این نمودارها با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۷ - نمودارهای تنش - کرنش مهندسی کامپوزیت Al6061-SiC پس از ۸ ساعت آلیاژسازی مکانیکی.

در شکل (۳) پیوستگی مناسبی بین ذرات SiC و زمینه Al6061 دیده می‌شود و به دلیل نرم بودن زمینه، اطراف ذره‌های SiC را به خوبی پوشانده است. این مطلب سبب می‌شود نیروی اعمالی به کامپوزیت توسط هر دو جزء تحمل شود. معمولاً تقویت کننده که مستحکم تر و قوی‌تر است تحمل کننده اصلی بار و زمینه به عنوان انتقال دهنده نیرو به تقویت کننده است. این پیوستگی در فصل مشترک سبب بهبود استحکام فشاری و دیگر خواص مکانیکی در کامپوزیت Al6061-SiC می‌شود. آقای طیبی و همکارانش در بررسی انبساط حرارتی کامپوزیت‌های Al-4%Cu/SiC ساخته شده به روش متالورژی پودر اثبات کردند که حضور فاز تقویت کننده در کنار زمینه Al باعث افزایش خواص مکانیکی کامپوزیت می‌شود [۱۵]. همچنین رابطه (۳) که به رابطه هال - پیچ معروف است و ارتباط بین تنش و اندازه دانه را بررسی می‌کند:

$$\sigma_0 = \sigma_i + K D^{-0.5} \quad (4)$$

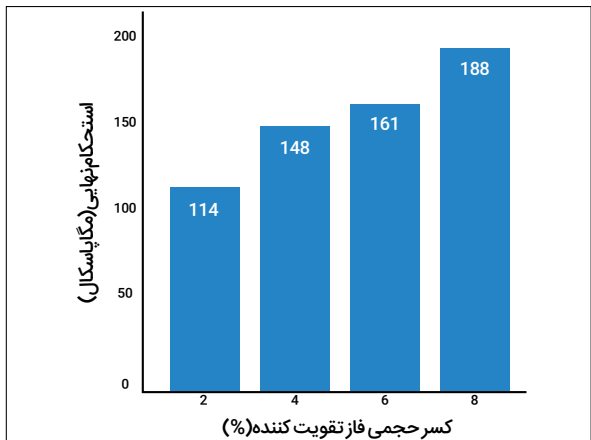
که در این رابطه σ_0 تنش تسلیم، σ_i تنش اصطکاکی (تنش مقاوم در برابر حرکت نابجایی‌ها)، D قطر دانه‌ها و K یک عدد ثابت است. بر اساس این رابطه تنش تسلیم با اندازه دانه‌ها رابطه معکوس دارد بنابراین با کاهش اندازه دانه‌ها، تنش تسلیم افزایش می‌یابد و همان گونه که اشاره شد افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده باعث کاهش اندازه دانه و افزایش کرنش داخلی شبکه می‌شود پس در نتیجه تنش تسلیم و استحکام فشاری افزایش می‌یابد. تحلیل فیزیکی این مسئله به این صورت است که: ساختارهای دانه ریز، مرز دانه‌های بسیار زیادی دارند و از آنجایی که مرز دانه‌ها به عنوان مانع در برابر حرکت نابجایی‌ها عمل می‌کنند بنابراین، با افزایش مرز دانه‌ها موانع موجود در مسیر حرکت نابجایی‌ها افزایش یافته و به تدریج در پشت مرز دانه‌ها متمرکز می‌شوند و به همین دلیل استحکام زیاد شده است. در واقع استحکام دهی

هال- پیچ بر اساس افزایش کسر حجمی مرز دانه‌ها به علت لغزش نابجایی‌ها می‌باشد. همان گونه که در شکل (۷) دیده می‌شود، افزایش استحکام فشاری نمونه‌ها با انعطاف‌پذیری (درصد ازدیاد طول) رابطه عکس دارد، یعنی افزایش استحکام منجر به کاهش انعطاف‌پذیری می‌شود. بر این اساس، نمونه Al6061-8%SiC بیش‌ترین استحکام را داشته، اما انعطاف‌پذیری آن از سایر نمونه‌ها کم‌تر است. از آن جایی که مقدار انعطاف‌پذیری و تغییر شکل به شدت وابسته به مقدار تحرک نابجایی‌های داخل نمونه است، بنابراین با استفاده از این موضوع می‌توان کم‌تر بودن انعطاف‌پذیری نمونه-Al6061-8%SiC را در مقایسه با سایر نمونه‌ها توجیه کرد. همان گونه که اشاره شد، تغییر شکل شدید پلاستیک اعمال شده به ذرات پودر در حین فرآیند آلیاژسازی مکانیکی باعث کاهش اندازه دانه‌های آلومینیوم زمینه می‌شود. با کاهش اندازه دانه‌های زمینه آلومینیومی، چگالی مرز دانه‌ها به شدت افزایش یافته و از آن جایی که مرز دانه‌ها یکی از موانع موجود در مسیر حرکت نابجایی‌ها هستند، بنابراین با بیش‌تر شدن مرز دانه‌ها، تحرک نابجایی‌ها محدود شده و انعطاف‌پذیری کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توان به وسیله رابطه (۴) که به رابطه اورووان معروف است نیز توضیح داد:

$$\varepsilon = \rho m \cdot \bar{x} \cdot b \quad (5)$$

که در آن ε ، کرنش ایجاد شده در قطعه، ρm دانسیته نابجایی‌ها، $\bar{x}$ میانگین مسیر حرکت نابجایی‌ها در حین تغییر فرم و b بردار برگرز نابجایی‌هاست، هرچه موانع موجود در مسیر حرکت نابجایی‌ها بیش‌تر باشد، میانگین مسیر آزاد طی شده به وسیله نابجایی‌ها کاهش یافته و بنابراین، مقدار کرنش ایجاد شده در قطعه (ε) کم‌تر خواهد بود. کاهش مسیر آزاد طی شده به وسیله نابجایی‌ها بدین معنی است که در حین اعمال بار، قطعه کرنش‌های کم‌تری را تحمل کرده و به صورت ترد می‌شکند (انعطاف‌پذیری آن کاهش پیدا می‌کند). در مورد کامپوزیت‌های دو جزئی، همان گونه که در شکل (۷) دیده می‌شود، با کاهش درصد وزنی ذرات SiC، استحکام کاهش، اما درصد ازدیاد طول افزایش یافته است. دلیل این مسئله آن است که در حین اعمال بار، تغییر فرم ابتدا از نواحی نانوساختار آغاز شده و گسترش می‌یابد، اما پیش از این که نواحی نانوساختار دچار شکست شوند، مکانیزم انتقال بار فعال شده و تنش فشاری اعمال شده، از نواحی نانوساختار به نواحی درشت دانه (با درصد SiC کم) که تحت تنش‌های کم‌تری دچار تغییر فرم پلاستیک می‌شوند، منتقل می‌گردد. این مسئله موجب کاهش استحکام کامپوزیت‌های چند جزئی می‌شود، اما در عوض انعطاف‌پذیری آن‌ها را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، به دلیل کم بودن درصد ذرات SiC و درشت بودن اندازه دانه‌ها، تعداد موانع موجود در مسیر حرکت نابجایی‌ها کمتر بوده و متوسط مسیر آزاد طی شده توسط نابجایی‌ها بیشتر است بنابراین بر اساس رابطه (۴)، قطعه کرنش‌های بیشتری

را تحمل کرده و انعطاف‌پذیری آن افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب گفته شده، مشخص می‌شود که با افزایش درصد ذرات SiC، استحکام افزایش، اما انعطاف‌پذیری کاهش پیدا می‌کند. آقای عبدالمی و همکارش نانو کامپوزیت دوجزئی فوق مستحکم زمینه آلومینیومی را به روش آلیاژسازی مکانیکی و اکستروژن داغ تولید کردند و به این نتیجه رسیدند که با ریز شدن اندازه دانه استحکام کششی و فشاری و سختی افزایش می‌یابد و انعطاف پذیری کاهش می‌یابد. آن‌ها دلیل این پدیده را بالا رفتن چگالی مرز دانه‌ها گزارش کردند [۱۳]. همان گونه که در شکل‌های (۷ و ۸) مشخص است با افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده استحکام فشاری و تنش تسلیم نمونه‌ها افزایش یافته است و تنش تسلیم در نمونه Al6061-2%SiC ۱۱۴ مگاپاسکال، در نمونه Al6061-4%SiC ۱۴۸ مگاپاسکال، در نمونه Al6061-6%SiC ۱۶۱ مگاپاسکال و در نمونه Al6061-8%SiC ۱۸۸ مگاپاسکال به دست آمده است.



شکل ۸ - نمودار تغییرات تنش تسلیم بر حسب کسر حجمی فاز تقویت کننده کامپوزیت Al6061-SiC

در قطعات متالورژی پودر به علت وجود تخلخل بالا، خواص فشاری بهتری در مقایسه با خواص کششی به دست می‌آید. اطلاعات حاصل از تست فشار شامل استحکام نهایی، داکتیلیتی^(۱) (بر اساس میزان کاهش طول) و چقرمگی^(۲) ماده است. هرچند در اثر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی، با ایجاد پراکنش بهتر فاز تقویت کننده در زمینه، مراکز تمرکز تنش کاهش می‌یابد و از ایجاد حفرات نیز ممانعت می‌شود، ولی همزمان با افزایش کسر حجمی و توزیع یکنواخت‌تر ذرات تقویت کننده در طی آلیاژسازی مکانیکی، کارسختی پودرها نیز افزایش می‌یابد در نتیجه این عامل از افزایش داکتیلیتی ممانعت می‌کند. با محاسبه سطح زیر منحنی تنش-کرنش، چقرمگی نمونه‌ها به دست می‌آید. این مساحت نشان دهنده مقدار کار در واحد حجم می‌باشد که می‌تواند روی ماده اعمال شود بدون اینکه باعث شکست ماده شود. بنابر این هرچه این مساحت بیشتر باشد چقرمگی ماده نیز بیشتر است. مشاهده می‌شود که چقرمگی پارامتری است که هم به استحکام و هم

1-Ductility
2-Toughness

میزان توانایی جذب انرژی ماده تا مرحله شکست
میزان قابلیت تغییر فرم پلاستیک

به داکتیلیتی ماده بستگی دارد. خانم عباسی و همکارانش نیز افزایش استحکام فشاری و کششی را با ریز شدن اندازه دانه کامپوزیت Al/Ni3Al تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی گزارش کردند[۱].

نتیجه‌گیری:

۱- پیک‌های XRD کامپوزیت Al6061-SiC با افزایش درصد فاز تقویت‌کننده جا به جا شده و به سمت زاویه‌های کمتر حرکت می‌کنند.

۲- با افزایش درصد فاز تقویت‌کننده اندازه کریستالیت‌ها کاهش می‌یابد و کرنش داخلی شبکه افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش درصد فاز تقویت‌کننده و همگن شدن مورفولوژی پودرها، نمونه‌های پرس و زینتر شده دارای سطحی با حفره‌های کمتر می‌باشند.

۴- با افزایش درصد فاز تقویت‌کننده، استحکام فشاری کامپوزیت Al6061-SiC افزایش می‌یابد و در نسبت‌های ۲٪، ۴٪، ۶٪ و ۸٪ استحکام فشاری ۱۱۴، ۱۴۸، ۱۶۱ و ۱۸۸ مگاپاسکال می‌رسد.

۵- با افزایش درصد فاز تقویت‌کننده داکتیلیتی کاهش می‌یابد.

مراجع:

[۱] م.عباسی، ع.سجادی، م.آزادبه، "تأثیر آسیابکاری مکانیکی بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت Al/Ni3Al"، سومین همایش مشترک بیست و یکمین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته‌گری ایران و سیزدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسين مواد و متالورژی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، آبان ماه ۸۸.

[۲] ا. پاکدل، م.امامی، ح.فرهنگی، م.حبیبی پارسا، "بررسی تأثیر فرآیند اکستروژن بر ریزساختار و استحکام کامپوزیت Al6061-SiC"، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۳، شماره ۲، ص ۱۵۹ تا ۱۶۷، تیرماه ۱۳۸۸.

[۳] غ.محمدی، غ.برهانی، "بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت Al6061/TiC تولید شده به روش آلیاژسازی مکانیکی و پرس گرم"، دومین همایش بین المللی و هفتمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران، دانشگاه سمنان، ۱۳۹۰.

[۴] ر.اسدی فرد، ن. پروین، ج.آقازاده، پ.صفارزاده، "بررسی تأثیر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی بر مورفولوژی و اندازه دانه پودرهای کامپوزیتی Al6061-SiCp"، هشتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، ص ۱۱۸۹-۱۱۹۸، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۳.

[۵] ح.شریفی، ح.رفیعی، ح.غیور، م.علیزاده، "بررسی اثر کسر حجمی نانوذرات کاربید سیلیسم بر خواص مکانیکی و سطحی نانوکامپوزیت Al/SiCp تولید شده به روش متالورژی پودر"، مجله علمی- پژوهشی نانو مواد، سال هفتم، شماره ۲۲، ص ۱۲۳ تا ۱۳۲، تابستان ۱۳۹۴.

[6] N. Parvin, R. Assadifard, P. Safarzadeh, S. Sheibani, P. Marashi, "Preparation and mechanical properties of SiC-reinforced Al6061 composite by mechanical alloying", Materials Science and Engineering A, 492, 134-140, (2008).

[7] N. Zhao, Ph.Nash, X.Yang, "The effect of mechanical

alloying on SiC distribution and the properties of 6061 aluminum composite", Journal of Materials Processing Technology, 170, (2005), 586-592.

[8] A.J. Knowles, X. Jiang, M. Galano, F. Audebert, "Microstructure and mechanical properties of 6061 Al alloy based composites with SiC nanoparticles", Journal of alloys and compounds, 2014.

[۹] س.ح.دانشمند، م.ذاکری، ت.شجاعی، ع.م.بیگی، ع.نظری، "تأثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت مس/گرافن"، مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته، جلد ۳، شماره ۱، ص ۳۷ تا ۴۳، بهار ۱۳۹۳.

[10] C.S. Ramesha, Mir Safiulla, "Wear behavior of hot extruded Al6061 based composites", Wear, 263, (2007), 629-635.

[11] G.B. Veeresh Kumar, C.S.P. Rao, N. Selvaraj, "Studies on mechanical and dry sliding wear of Al6061-SiC composites", Composites: Part B, 43, (2012), 1185-1191.

[12] H.M. Zakaria, "Microstructural and corrosion behavior of Al/SiC metal matrix composites", Ain Shams Engineering Journal, (2014) 5, 831-838.

[۱۳] ع.عبداللهی، ع.علیزاده، "تولید نانو کامپوزیت دوجزئی فوق مستحکم زمینه آلومینیومی به روش آلیاژسازی مکانیکی و اکستروژن داغ و بررسی خواص مکانیکی آن"، مجله مواد نوین، جلد ۴، شماره ۱، ص ۸۳ تا ۹۸، پاییز ۱۳۹۲.

[۱۴] م.ه.مقیم، "تفجوشی؛ تولید قطعه نانوساختار از ماده اولیه پودری"، سیستم جامع آموزش فناوری نانو، جلسه ۱.

[۱۵] م.طیعی، ح.شریفی، ح.غیور، "رفتار انبساط حرارتی کامپوزیت‌های Al-4%Cu/SiC ساخته شده به روش متالورژی پودر"، فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال نهم، شماره اول، ص ۱۷۹ تا ۱۹۱، بهار ۱۳۹۴.



چکیده:

در پژوهش حاضر رفتار سایشی فولاد Mo40 پوشش داده شده با آلیاژ استلایت ۶ و کاربید تنگستن - کبالت به روش رسوب‌دهی الکترواسپارک مورد بررسی قرار گرفت. از جمله مشخصه‌هایی مانند ساختار، نوع فازها، ضخامت و زبری نیز بررسی گردید. برای بررسی ساختار، ضخامت و زبری از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و بین اتمی غیر تماسی (AFM) استفاده گردید. همچنین به منظور بررسی فازهای موجود در پوشش‌ها از آنالیز الگوی پراش پرتو اشعه ایکس (XRD) کمک گرفته شد. خواص سایشی پوشش‌ها نیز به وسیله آزمون سایش پین بر روی دیسک، مورد مطالعه قرار گرفت. تصاویر حاصل از SEM مربوط به سطوح سایش و ضخامت پوشش‌ها حاکی از توزیع یکنواخت ذرات کاربید تنگستن در پوشش مربوطه و ایجاد خش‌هایی با عمق کم می‌باشد و وقوع سایش خراشان را نشان می‌دهد. به دلیل اختلاف سختی و زبری گوی ساینده با پوشش استلایت ۶، سایش خراشان با خش‌های عمیقتر و سایش چسبان برای پوشش استلایت ۶ به وجود آمده است. تغییر فرم گسترده همراه با ترک بر روی سطح و ذرات سایش صفحه‌ای شکل نشان از وقوع سایش ورقه‌ای برای زیرلایه است. بر اساس نتایج کاهش وزن، نمونه‌های پوشش‌دار سایش کمتری نسبت به زیرلایه و پوشش کاربید تنگستن-کبالت کمترین کاهش وزن را داشته‌اند. ضریب اصطکاک برای پوشش کاربید تنگستن-کبالت در محدوده (۰/۱۸-۰/۴۴)، پوشش استلایت ۶ (۰/۳۵-۰/۵۵) و نمونه بدون پوشش (۰/۴-۰/۴۵) پس از مسافت ۱۰۰۰ متر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: فولاد Mo40، فرآیند الکترواسپارک، سایش، آلیاژ استلایت ۶، کاربید تنگستن - کبالت

مقدمه

از دو دهه قبل درک این حقیقت که بسیاری از قطعات صنعتی در حین کار توسط یکی از مکانیزم‌های سایش، خوردگی و یا خستگی از بین می‌روند سبب گسترش شاخه علمی کاربردی مهندسی سطح گردیده است [۱].

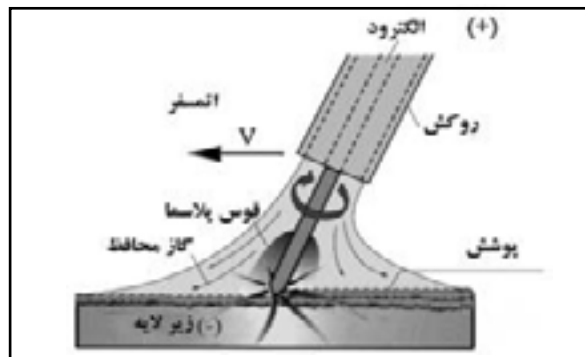
از ابتدای قرن بیستم الکترواسپارک مانند سخت‌سازی با جرقه و آلیاژسازی با جرقه شناخته شد. در سال ۱۹۲۴ رادون متوجه شد که جرقه‌زنی روی سطح فولاد با الکترودهای مس یا نیکل



بررسی رفتار سایشی فولاد Mo40 پوشش داده شده با آلیاژ استلایت ۶ و کاربید تنگستن - کبالت به روش رسوب‌دهی الکترواسپارک

تألیف و گردآوری: سعادت سلطانی - کارشناس تولید (بخش آماده سازی)

باعث افزایش سختی سطح می‌شود. بجار و همکاران در سال ۲۰۰۶ این افزایش سختی را به دلیل شکل‌گیری مارتنزیت در اثر سرمایش سریع سطح گرم شده بر اثر جرقه نتیجه گرفت [۲]. از قابلیت‌های مهم این فرآیند ایجاد ساختار آمورف و نانو کریستال به ترتیب در انرژی حرارتی ورودی پایین و بالا می‌باشد که فکوری و همکاران در سال ۲۰۱۵ به این مهم دست پیدا کردند [۳]. همچنین در سال ۲۰۱۷ سلمالیان و همکاران دریافتند که برای به دست آوردن یک پوشش مناسب باید پارامترهای الکتریکی در یک محدوده بهینه تنظیم شوند چرا که با افزایش انرژی جرقه‌زنی ضخامت پوشش و سختی آن افزایش می‌یابد ولی خطر ایجاد ترک نیز به همان میزان افزایش می‌یابد [۴]. در این روش پوشش‌دهی، ذرات فلز یا آلیاژ از قطب مثبت به صورت گروه‌های اتمی کوچک جدا شده و این توده کوچک بر اثر جرقه ایجاد شده چند ده میکرونی بین قطب مثبت (الکتروود) و قطب منفی (سطح فلز) به صورت مذاب به سطح فلز برخورد می‌کند. پس از برخورد توده با سطح قطعه به دلیل دمای بالا و کوچک بودن، این ذرات قابلیت نفوذ مطلوبی دارند. این میزان نفوذ باعث زیرسازی و افزایش چسبندگی پوشش به زیرلایه می‌گردد. همچنین به دلیل ریز بودن ذرات، پوشش ایجاد شده از زبری مطلوبی برخوردار بوده و ذرات به سرعت دمای خود را از دست می‌دهند و ساختار ظریف و مناسبی به وجود می‌آید (شکل ۱) [۵].



شکل ۱. شماتیکی از روش پوشش‌دهی الکترواسپارک.

Rawdon¹
B'ejar²
Fakoori³
Salmaliyan⁴

طیف گسترده‌ای از الکترودها و زیرلایه‌ها در این زمینه به کار گرفته شده است. تمام مواد رسانای الکتریکی که در قوس الکتریکی می‌توانند ذوب شوند می‌توانند به عنوان رسوب و پوشش بر روی زیرلایه فلزی به کار گرفته شوند [۵و۶]. فولادهای ساده کربنی مهم‌ترین گروه آلیاژهای مهندسی هستند. کاربرد نامحدود این آلیاژها شامل: ورق، میل، سیم، نوار، محصولات لوله‌ای شکل فولادی و غیره می‌باشد. یکی از کاربردهای فولاد ساده کربنی از جمله فولاد Mo40، ساخت قطعاتی مثل چرخ‌دنده‌ها است که بین دو سطح درگیر می‌باشند. چرخ‌دنده‌ها قطعاتی هستند که در شرایط کاری تحت سایش، ضربه و خوردگی قرار می‌گیرند. بنابراین مطلوب است سطح آنها به شدت سخت باشد تا کمتر دچار سایش و خوردگی قرار گیرند، از طرف دیگر مطلوب است که قسمت‌های داخلی آن (مغز قطعه) به منظور تحمل ضربات مکانیکی، نرم‌تر باشد [۷]. از آنجایی که پوشش استلایت ۶ به عنوان آلیاژ پایه کبالت مقاومت به سایش خوبی در محدوده وسیع دمایی دارد و همچنین سختی خود را در حد قابل قبولی تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد حفظ می‌نماید، به طور وسیعی در صنعت به کاربرده می‌شود [۸]. این آلیاژ مقاومت عالی به شوک حرارتی داشته و در برابر انواع مختلف سایش مخصوصا هنگامی که همراه با خوردگی باشد از خود مقاومت نشان می‌دهد. آلیاژ استلایت مقاومت به اکسیداسیون بالایی تا دمایی حدود ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد از خود نشان می‌دهد. این آلیاژ به طور وسیعی جهت سخت‌کاری شفت پمپ‌ها، یاتاقان‌ها، سطوح تماس در شیرهای نفت و گاز و صنایع نیروگاهی، شیرهای موتورهای احتراق و قالب‌های گرم به کار می‌رود [۹]. تنوع بسیار زیاد آلیاژهای استلایت، به خاطر تفاوت در میزان کربن آن‌هاست. همچنین این تفاوت در مقاومت به سایش مشهود است [۱۰]. به همین دلیل کسر حجمی کاربیدها در این مواد متفاوت است. مقاومت سایشی بالا ناشی از حضور کاربیدها و عناصر آلیاژی می‌باشد که موجب افزایش سختی می‌شوند. مثلا نمونه‌ای از کاربیدهای تشکیل شده در این آلیاژها، M3C2، M7C3 و M23C6 و M6C می‌باشد [۱۱]. یکی دیگر از مواد مورد استفاده در سخت‌کاری سطحی کامپوزیت‌های زمینه فلزی کاربید تنگستن-کبالت هستند. مصارف گسترده کامپوزیت‌های زمینه فلزی در کاربردهایی است که نیاز شدید به ویژگی مقاومت در برابر سایش داشته باشند. به طور کلی کاربیدها و به طور خاص کاربید تنگستن، مواد بسیار سختی هستند. با تلفیق این مواد با یک زمینه فلزی مناسب همانند کبالت می‌توان کامپوزیتی بدست آورد که برای مصارف همچون برش، خرد کردن، مته کردن، نورد سطوح برای کارخانه‌های نورد و نوک قالب‌های برای انجام کشش سیم بسیار مفید باشد. از لحاظ ساختاری کامپوزیت‌های کاربید تنگستن، همسانگرد و کاملا همگن هستند. [۱۲].

مواد و روش تحقیق

زیرلایه و مواد پوشش‌ها

در این تحقیق از فولاد Mo40 به صورت دیسک‌هایی با ضخامت ۵ میلی‌متر و قطر ۵۰ میلی‌متر با ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول ۱ به عنوان زیرلایه استفاده شد. نمونه‌ها دیسکی شکل در براده‌های آهن کاملا پوشیده شدند و به مدت یک ساعت در کوره، در دمای ۹۲۰°C قرار گرفتند. بعد از این مدت نمونه‌ها در روغن، برای بدست آوردن ساختار مارتنزیت، سرد شدند. سطح نمونه‌های دیسکی شکل با سمباده‌های ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ پولیش داده شد و بعد از هر سمباده نمونه‌ها با آب شسته شد و سپس با الکل در هوای گرم خشک گردید. برای ایجاد پوشش بر روی نمونه‌ها از دو الکترو کربید تنگستن-کبالت با کد تجاری K20 (WC-8%Co) و استلایت ۶ (AWS A5.13:RcoCr-A) با ترکیب شیمیایی نشان داده شده در جدول ۲ به ترتیب با قطر ۱/۶ و ۲/۷ میلی‌متر استفاده شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد Mo40 (درصد وزنی).

C (%wt)	Si (%wt)	Mn (%wt)	Cr (%wt)
۱/۳۱	۱/۲۵	۰/۶	۲۹/۵۵
W (%wt)	Fe (%wt)	Co (%wt)	
۴/۲۳	۲/۵	Rest	

جدول ۲. ترکیب شیمیایی الکترو استلایت ۶ (درصد وزنی).

Fe (%wt)	C (%wt)	Si (%wt)	P (%wt)	S (%wt)
۹۶/۹۳	۰/۴۱۳	۰/۱۹۹	۰</۰۰۸	۰/۰۲۸۹
Mn (%wt)	Ni (%wt)	Cr (%wt)	Mo (%wt)	Cu (%wt)
۰/۷۶۲	۰/۰۵۴۶	۰/۹۹۴	۰/۱۰۳	۰/۴۷۹
Al (%wt)	Ti (%wt)	V (%wt)		
۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۷		

آزمون‌های انجام شده

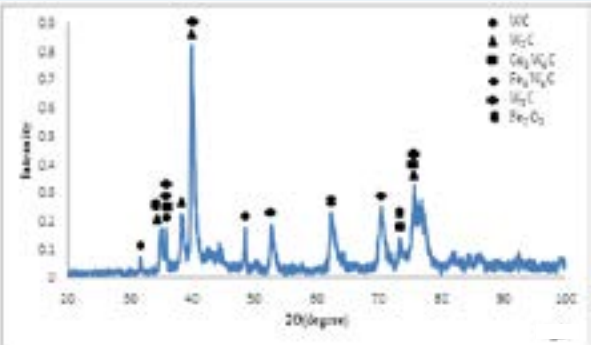
برای بررسی و آنالیز سطوح از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips X130 استفاده شد. جهت تشخیص فازهای موجود در پوشش‌ها، قبل از آزمون سایش از دستگاه تفرق اشعه ایکس مدل Philips X'Pert-MPD تحت ولتاژ و جریان ۴۰kv ، ۳۰mA با پرتو ایکس CuKα و طول موج ۱/۵۴Å استفاده شد. جهت بررسی پروفیل سختی از سطح مقطع پوشش‌ها از دستگاه میکروسختی ویکرز بوهرلر مدل MICROMET 5101 استفاده شد. برای انجام هر آزمون میکروسختی بار اعمالی ۳۰۰ گرم و زمان ۲۰ ثانیه به کار گرفته شد. به منظور مشخص شدن میزان زبری و مورفولوژی سطوح پوشش‌ها از تصویر برداری سه‌بعدی روی سطح نمونه‌ها در حالت نیروی بین اتمی و غیرتماسی (non-contact AFM) ساخت کشور روسیه کمک گرفته شد. آزمایش سایش خشک

به روش پین بر روی دیسک، در دمای محیط، به وسیله گوی کاربید تنگستن با سختی حدود ۱۵۰۰ ویکرز انجام گرفت. سرعت حرکت دیسک‌ها ۱/۰ متر بر ثانیه و بار اعمالی ۲۱ کیلوگرم بعد از انجام آزمون باریذیری در نظر گرفته شد. کاهش وزن نمونه‌ها بعد از مسافت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر اندازه گرفته شد.

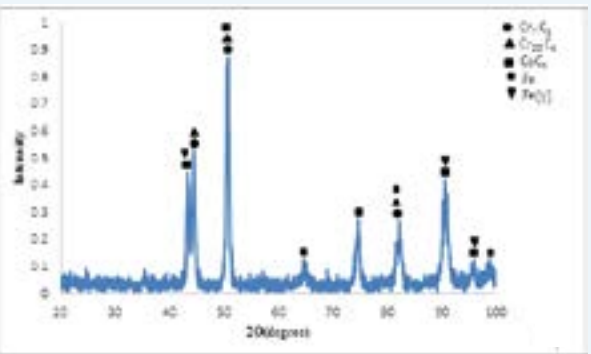
نتایج و بحث

فاز شناسی و بررسی مورفولوژی پوشش‌ها

الگوی پراش پرتو ایکس برای پوشش کاربید تنگستن-کبالت در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲. الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کاربید تنگستن-کبالت.
در الگوی پراش پوشش کاربید تنگستن - کبالت فازهای تردی از جمله: W_2C ، WC و Fe_3C وجود دارد که در نتیجه دگرپوره شدن فاز WC به طور کامل از بین برد ولی می‌توان با افزایش مثلا مقدار کربن تا دو برابر تنگستن، کاهش داد [۱۳]. در فرآیند الکترواسپارک خصوصا با پوشش‌دهی بر روی زیرلایه‌های آهنی، در هنگام تخلیه الکتریکی، آهن می‌تواند از زیرلایه به الکتروود منتقل شود و در بایندر کبالت حل شود و همچنین با اکسیژن موجود فاز هماتیت Fe_2O_3 تشکیل دهد [۱۴]. آهن در دمای بالای موضعی نوک الکتروود ذوب شده و با فاز دگرپوره شده WC در اثر گرما واکنش می‌دهد و فاز Fe_7W_6C تشکیل می‌شود. تا زمانی که آهن به پوشش و الکتروود انتقال می‌یابد این واکنش و دگرپوره شدن تقویت می‌یابد. در شکل ۳ نیز الگوی پراش پرتو ایکس پوشش حاصل از استلایت ۶ نشان داده شده است.



شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس پوشش استلایت ۶

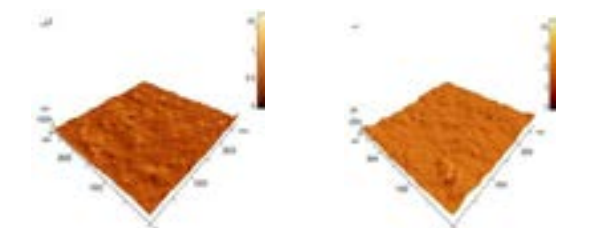
تشکیل کاربیدهای کروم (Cr_7C_3 و $Cr_{23}C_6$) باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش پوشش‌های حاصل از استلایت ۶ می‌شود. علاوه بر کاربیدهای کروم، فاز آستنیت نیز تشکیل شده است. آهن از زیرلایه به پوشش منتقل می‌شود و از آنجایی که فرآیند الکترواسپارک باند متالورژیکی مناسبی با زیر لایه ایجاد می‌کند، آهن می‌تواند به زیرلایه نفوذ کرده و فاز آستنیت را تشکیل دهد [۱۵].

در شکل ۴ تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطح مقطع پوشش‌های کاربید تنگستن-کبالت و استلایت ۶ نشان داده شده است. همانطور که شکل نشان می‌دهد ضخامت پوشش کاربید تنگستن حدود ۵۰ میکرومتر است، در صورتی که ضخامت استلایت ۶ حدود دو برابر یعنی ۱۰۰ میکرومتر است. فصل مشترک در هر دو تصویر پیوسته و منطبق با زیر لایه است که این اتفاق برای پوشش استلایت ۶ مشهودتر است. این موضوع وجود فصل مشترک متالورژیکی بین زیرلایه و پوشش را نشان می‌دهد. در تصویر (الف) به دلیل حضور بیشتر عناصر سنگینتر مثل تنگستن در پوشش تصویر روشنتر است و ذرات کاربید تنگستن در سرتاسر پوشش توزیع شده‌اند. در تصویر (الف) در قسمت بالایی پوشش حفره‌هایی دیده می‌شود که یکی از نواقص عمده مکانیزم الکترواسپارک است.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پوشش‌ها در (الف) کاربید تنگستن-کبالت (ب) استلایت ۶.

در ابتدای پوشش‌دهی فرورفتگی‌ها و برجستگی‌هایی به وجود می‌آید که در ادامه پوشش‌دهی یعنی لایه دوم، زیرلایه از مواد پوشش بوده و نقطه ذوب و مورفولوژی آن تغییر می‌کند و به دنبال آن شرایط ایجاد پلازما و انتقال جرقه‌ها تغییر می‌کند. به خاطر دلایلی که گفته شد نرخ رسوبدهی با گذشت زمان کاهش می‌یابد و شرایط برای ایجاد تخلخل و حفره ایجاد می‌شود [۱۶].



شکل ۵. تصاویر سه بعدی AFM غیر تماسی از روی پوشش‌های کاربید تنگستن-کبالت (الف) و استلایت ۶ (ب).

نتایج حاصل از آزمون تصویربرداری سه‌بعدی روی سطح نمونه‌ها (AFM) در شکل ۵ نشان می‌دهد که زبری و میزان ناهمگونی‌ها روی سطح پوشش استلایت ۶ بیشتر از پوشش

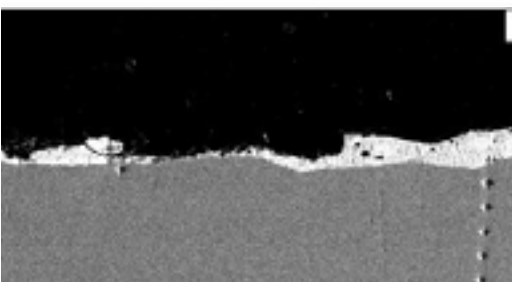
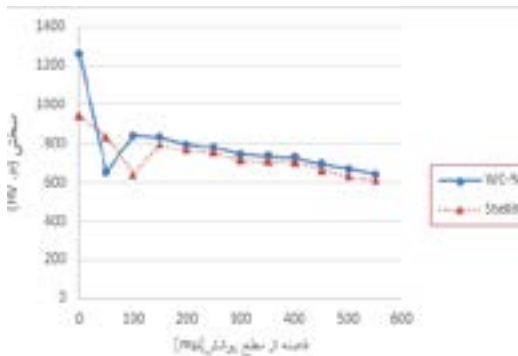


کاربید تنگستن – کبالت است.

یکی از دلایل ایجاد زبری بالای پوشش استلایت ۶، نحوه رسوب‌گذاری یعنی مد کروی در طول فرآیند پوشش‌دهی می‌باشد. در مد کروی به دلیل ذوب سطحی ذرات و افزایش ناپیوستگی پوشش، زبری افزایش می‌یابد. اما در پوشش کاربید تنگستن - کبالت با تغییر مد کروی به اسپری شکل، جرقه‌ها به صورت ذرات کوچکتر و در زمان کمتری به زیرلایه برخورد می‌کنند و پوششی به مراتب متراکم‌تر ایجاد می‌شود و زبری کاهش می‌یابد.

بررسی تغییرات سختی پوشش‌ها

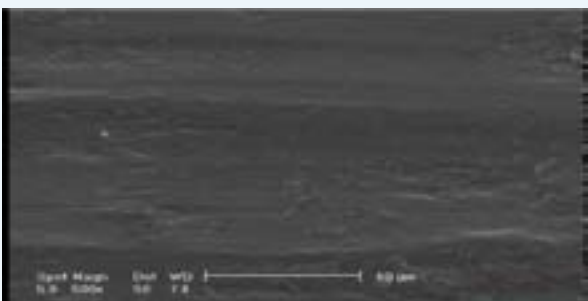
شکل ۶ تغییرات سختی پوشش‌های کاربید - تنگستن کبالت، استلایت ۶ و زیرلایه را نشان می‌دهد. به طور کلی رسوب‌دهی با فرآیند الکترواسپارک در فولادها و فلزات غیر آهنی باعث افزایش سختی می‌شود. در فولادها در اثر سریع سرد شدن، استحاله مارتنزیتی در آن‌ها اتفاق افتاده و سبب افزایش سختی می‌شود ولی در غیر آهنی‌ها، آلیاژ شدن زیرلایه با الکترواد باعث افزایش سختی می‌شود. در فرآیند الکترواسپارک اگر قطعه قبل از عملیات پوشش سخت و سپس تمپر شده باشد سختی منطقه تحت تاثیر گرما (HAZ) بیش‌تر از زمینه و کمتر از لایه رسوبی خواهد بود. به عبارت دیگر سختی از زمینه تا لایه رسوبی به تدریج زیاد می‌شود. ولی اگر قطعه فقط سخت شده باشد و تمپر نشده باشد، افت سختی در ناحیه HAZ مشاهده می‌شود [۱۷]. در شکل ۶ (الف) در ناحیه ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر در پوشش کاربید تنگستن - کبالت و ۱۰۰ - ۱۵۰ میکرومتر در پوشش استلایت ۶ کاهش سختی قابل مشاهده است. همچنین در شکل ۶ (ب) اولین میکروسختی در زیر پوشش دارای ابعاد بزرگتری نسبت به بقیه می‌باشد که کاهش سختی را نشان می‌دهد.



شکل ۶. تغییرات سختی پوشش‌های کاربید تنگستن - کبالت و استلایت ۶.

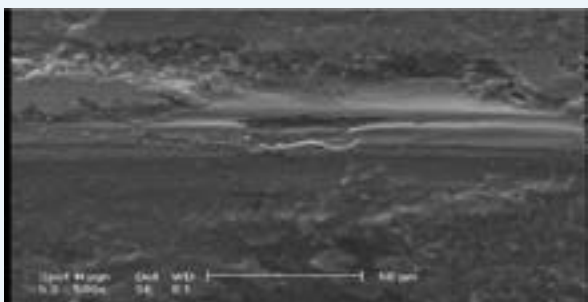
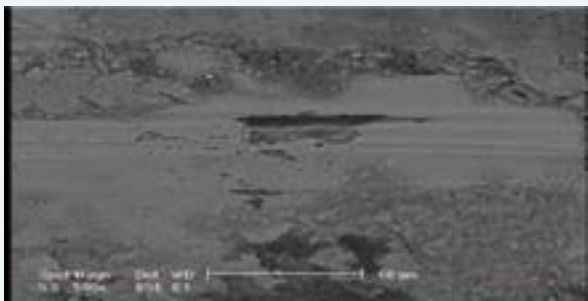
بررسی سطوح سایش

شکل‌های ۷، ۸ و ۹، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطوح سایش پوشش کاربید تنگستن - کبالت، استلایت ۶ و زیرلایه را نشان می‌دهد.



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با دو آشکارگر SE و BSE پوشش کاربید تنگستن - کبالت.

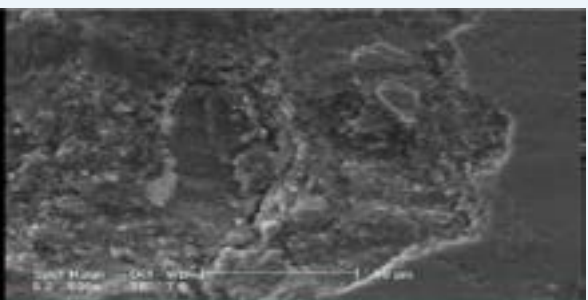
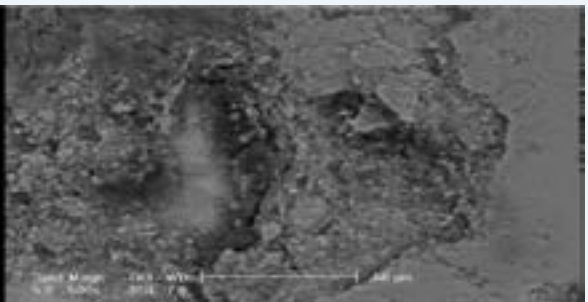
در شکل ۷ یکسری خش‌های موازی با عمق کم دیده می‌شود. شکل مسیر سایش و ذرات حاصل از سایش بیان‌گر سایش از نوع خراشان در پوشش کاربید تنگستن - کبالت است. میزان توزیع یکنواخت ذرات کاربید تنگستن (نقاط سفید رنگ) در زمینه کبالت باعث افزایش مقاومت به سایش می‌شود [۱۸].



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با دو آشکارگر SE و BSE پوشش استلایت ۶.

در شکل ۸ در بالای تصویر خش‌هایی با عمق زیادتر نسبت به شکل ۷ ایجاد شده است. در این حالت سایش خراشان دو جسمی اتفاق افتاده است. ناهمگونی‌های سخت‌گوی Heat affected zone

ساینده در پوشش فرو رفته و به دنبال آن سایش شدید و ذرات سایشی نسبتاً بزرگی با کندگی از عمق پوشش ایجاد شده است. در پایین تصویر نیز کندگی در قسمتی از پوشش اتفاق افتاده که با توجه به آشکارگر الکترون‌های برگشتی همانند خش‌های بالای تصویر عمیق نیست. مد کروی باعث ایجاد زبری بالای پوشش استلایت ۶ می‌شود. همین عامل باعث جوش خوردگی بین ناهمگونی‌های پوشش و گوی ساینده می‌شود و از آنجایی‌که این ناهمگونی‌ها از کاربیدهای $Cr_{23}C_6$ و Cr_7C_3 غنی می‌باشد، دارای استحکام برشی بالایی نسبت به زمینه غنی از کبالت بوده و با ادامه حرکت لغزشی گسیختگی از عمق پوشش رخ می‌دهد. شرایط مذکور نشان دهنده وقوع سایش چسبان است.



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با دو آشکارگر SE و BSE زیرلایه مارتنزیتی.

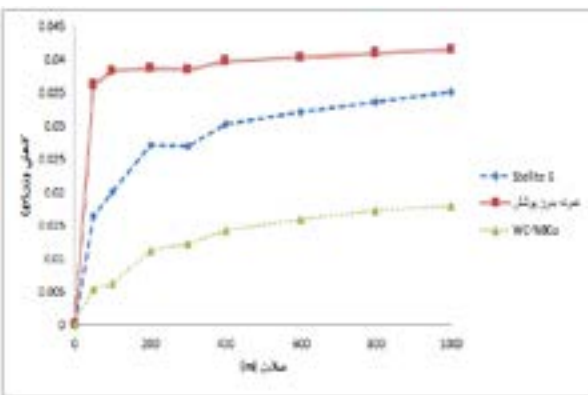
در شکل ۹ کندگی خیلی عمیقی با توجه به آشکارگر الکترون‌های برگشتی مشاهده می‌شود. پیش‌بینی می‌شود تغییر فرم و گسیختگی حاضر در کاهش وزن زیاد نمونه در مسافت‌های ابتدایی رخ داده باشد. تغییر فرم گسترده همراه با ترک بر روی سطح و ذرات سایش صفحه‌ای شکل نشان از وقوع سایش ورقه‌ای است. در توجیه این مکانیزم دو نظریه وجود دارد. اولین نظریه تئوری تجمع نابیایی‌ها در زیر سطح می‌باشد. وقتی نابیایی‌ها به یک ناهمگونی مثل کاربید برخورد می‌کنند، متوقف و باعث تجمع آن‌ها می‌شوند. در این حالت تنش بین فصل مشترک ناهمگونی و زمینه افزایش می‌یابد و گسیختگی و حفره تشکیل می‌شود. حفره‌ها به همدیگر می‌پیوندند و ترک حاصل می‌شود. با اشاعه ترک و رسیدن به سطح ذرات سایش ایجاد می‌شوند. در نظریه دوم، تنش‌های فشاری در سطح باعث ایجاد کشیدگی می‌شوند و کشیدگی ایجاد شده باعث تشکیل حفرات و ذرات سایش می‌شوند [۱۹]. تمامی اتفاقات مذکور می‌تواند به دلیل پایین بودن داکتیلیته فاز مارتنزیت در ابتدا سایش و پایین بودن تنش اصطکاکی شبکه کریستالی



Fcc فاز آستنیت (همان تنش لازم برای انتقال نابیایی‌ها در نزدیک سطح)، باشد [۲۰]. اما در نمونه‌های پوشش‌دار استحاله مارتنزیتی Fcc به HCP کبالت در ابتدای سایش از حرکت نابیایی‌ها و ایجاد سایش ورقه‌ای جلوگیری کرده است [۲۱].

منحنی مشخصه سایش

در این پژوهش منحنی مشخصه سایش (کاهش وزن - مسافت لغزش) نیز رسم شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

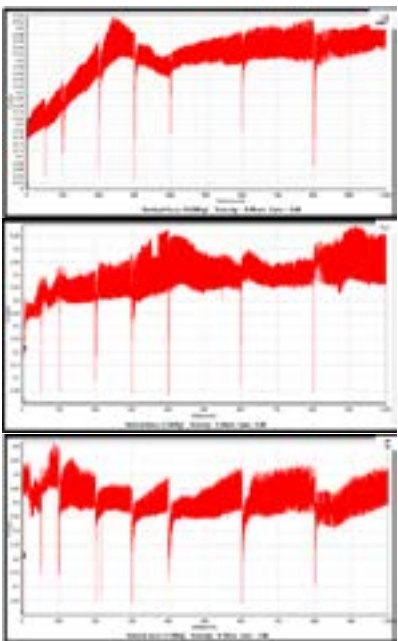


شکل ۱۰. منحنی مشخصه سایش نمونه‌های پوشش‌دار و نمونه بدون پوشش.

همانطور که از شکل مشخص است مقدار کاهش وزن در نمونه بدون پوشش افزایش می‌یابد. در حالی که منحنی کاهش وزن مربوط به نمونه‌های پوشش‌دار کمتر از نمونه بدون پوشش است. سایش کمتر نمونه‌های پوشش‌دار در توافق با تصاویر SEM سطوح پوشش است که مکانیزم سایش خراشان برای پوشش کاربید تنگستن - کبالت و خراشان - چسبان برای پوشش استلایت ۶ به وجود آمده است.

بررسی ضریب اصطکاک زیرلایه و پوشش‌ها

در شکل ۱۱ نمودار ضریب اصطکاک پوشش‌ها و زیرلایه تحت بار ۲۱kg نشان داده شده است.



شکل ۱۱. نمودار ضریب اصطکاک - مسافت لغزش (الف) پوشش کاربید تنگستن - کبالت (ب) استلایت ۶ (ج) نمونه بدون پوشش.



هر سه نمودار از تئوری نوین ضریب اصطکاک پیروی می‌کنند. در شکل ۱۱ (الف) مرحله اول تئوری جدید اصطکاک به دلیل ذرات تقویت‌کننده کاربرد تنگستن حذف شده است. مرحله دوم به دلیل افزایش مولفه چسبان ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. این اتفاق تا مسافت ۲۵۰ متر رخ می‌دهد و مرحله سوم که افزایش سریع تعداد ذرات سایش در اثر جدا شدن ذرات تقویت‌کننده می‌باشد را نیز شامل می‌شود. مرحله چهارم تئوری جدید ضریب اصطکاک نیز حذف شده است. در مرحله پنجم با کاهش ضریب اصطکاک مواجه هستیم که در مسافت ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر این اتفاق می‌افتد. از مسافت ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر مرحله ششم تئوری جدید رخ می‌دهد. از مسافت ۴۰۰ متر به بعد نرخ افزایش ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد.

در شکل ۱۱ (ب) در ۵۰ متر اول ضریب اصطکاک افزایش چشم‌گیری داشته است به طوری‌که از ۳/۰ به ۵/۰ رسیده است. عامل این اتفاق ساختار کریستالی FCC کبالت است که ضریب اصطکاک بالایی دارد و طی استحاله‌ای که به آن استحاله مارتنزیتی گفته می‌شود، شبکه کریستالی FCC بعد از ۵۰ متر با ادامه نیروی مماسی به شبکه کریستالی HCP تبدیل می‌شود. این شبکه کریستالی ضریب اصطکاک را کاهش می‌دهد [۲۲]. اتفاقی که در مسافت ۵۰ تا ۳۰۰ متر رخ داده است. در این مسافت به خاطر خیش زده شدن عمیق سطح شرایط برای ایجاد لایه اکسیدی فراهم می‌شود. مولفه خراشان در این مرحله باعث بروز ضریب اصطکاک شده و تا ۳۰۰ متر ذرات سایشی اکسیدی تولید می‌کند. با از بین رفتن لایه اکسیدی در مسافت ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر، مرحله دوم و سوم تئوری جدید اصطکاک با افزایش شیب و مولفه چسبان اصطکاک ایجاد شده است. مولفه چسبان باعث افزایش ضریب اصطکاک شده است. در ادامه همانند پوشش کاربرد تنگستن - کبالت مرحله چهارم حذف شده است. مرحله پنجم تئوری جدید اصطکاک در مسافت ۴۵۰-۵۰۰ متر اتفاق افتاده است. مرحله ششم نیز با آئینه‌ای شدن دو سطح و کاهش پایدار ضریب اصطکاک در مسافت ۵۰۰-۸۰۰ متر اتفاق افتاده است. سطوح صاف می‌تواند بر اثر پدیده سایش ورقه‌ای توسط حفره‌های سطحی دچار سایش شده و تغییرات ضریب اصطکاک و افزایش آن دوباره تکرار شوند. اتفاقی که در مسافت ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ رخ داده است. اما این اتفاق برای پوشش کاربرد تنگستن - کبالت رخ نداده است.

با توجه به شکل ۱۱ (ج) در ۲۰ متر اولیه ضریب اصطکاک زیادی رخ داده است. دلیل این امر همانطور که در تحلیل تصویر میکروسکوپی نمونه حاضر گفته شد، داکتیلیته پایین فاز مارتنزیت می‌باشد. در این حالت ذرات زیادی از سطح جدا می‌شوند. در ادامه آستنیت موجود در زیرلایه کارسخت شده و داکتیلیته افزایش و ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر مرحله اول تئوری جدید اصطکاک اتفاق می‌افتد (۲۰-۵۰ متر). در این نمونه به علت تشکیل ذرات سخت مارتنزیتی در ۲۰ متر اولیه، این مرحله دوام زیادی ندارد و لایه اکسیدی خیلی زود

از بین می‌رود و نمونه بعد از ۵۰ متر وارد مرحله دوم و افزایش مولفه چسبان اصطکاک می‌شود. در اصل مرحله دوم و سوم در یک مسافت کوتاه (۵۰-۱۰۰ متر) رخ داده است. این موضوع نشان دهنده مقاومت پایین نمونه به سایش‌های چسبان و خراشان در ۱۰۰ متر ابتدایی است. نمودار ۹ نیز کاهش وزن زیادی از نمونه را در ۱۰۰ متر اولیه نشان می‌دهد. در مسافت‌های ۱۰۰-۲۰۰ متر و ۲۰۰-۳۰۰ متر به ترتیب مراحل پنجم و ششم اتفاق افتاده است. این موضوع به این مطلب اشاره دارد که در ۳۰۰ متر اولیه همه ۶ مراحل تئوری جدید اصطکاک اتفاق افتاده است. از مسافت ۳۰۰ متر به بعد دوباره مراحل ضریب اصطکاک تکرار شده است با این تفاوت که نرخ افزایش ضریب اصطکاک کاهش پیدا کرده است. همین عامل سبب کاهش چشم‌گیر نرخ سایش در منحنی کاهش وزن شده است.

نتیجه‌گیری

(۱) تصاویر SEM نشان داد که در سطح نمونه بدون پوشش تغییر فرم گسترده همراه با کندگی خیلی عمیقی به وجود آمده است که در نتیجه سایش ورقه‌ای خیلی شدید حاصل شده است. وجود مکانیزم سایش ورقه‌ای را می‌توان با دو نظریه تجمع نابجایی‌ها و وجود تنش‌های فشاری در زیر سطح توجیه کرد. در حالت کلی پایین بودن داکتیلیته فاز مارتنزیت موجب افزایش سایش در ابتدای آزمون می‌شود.

(۲) مکانیزم سایش در نمونه پوشش داده شده با کاربرد تنگستن - کبالت با توجه به توزیع یکنواخت WC و فازهای ترد حاصل از دکربوره شدن WC مانند W_2C ، W_3C و Co_6W_6C در پوشش منجر به ایجاد خش‌های کم‌عمق و از نوع خراشان می‌باشد. در این پوشش فازهای دیگری مثل Fe_2O_3 و Fe_6W_6C در اثر نفوذ آهن از زیرلایه به پوشش و الکتروپوشش دهنده به وجود می‌آید.

(۳) در نمونه پوشش داده شده با استلایت ۶ به دلیل اختلاف سختی گوی ساینده با پوشش استلایت ۶، سایش خراشان دوجسمی با خش‌های عمیق به وجود آمده است. همچنین به دلیل تفاوت زبری، جوش خوردگی سطح پوشش حاوی ذرات غنی از کروم (Cr_7C_3 و $Cr_{23}C_6$) با گوی ساینده و بالا بودن استحکام برشی این ذرات نسبت به زمینه غنی از کبالت سایش چسبان به وجود آمده است.

(۴) با توجه به پهنای منحنی‌های ضریب اصطکاک، درگیری در نمونه بدون پوشش بیشتر از پوشش استلایت ۶ و استلایت ۶ بیشتر از پوشش کاربرد تنگستن - کبالت است.

(۵) پوشش‌های کاربرد تنگستن - کبالت و استلایت ۶ حاوی کاربیدهای مقاوم به سایش هستند و رفتار سایش فولاد Mo40 را با توجه به نمودار کاهش وزن - مسافت بهبود می‌دهند.

(۶) ضریب اصطکاک برای پوشش کاربرد تنگستن - کبالت در محدوده (۴۴/۰-۱۸/۰)، پوشش استلایت ۶ (۵۵/۰-۳۵/۰) و نمونه بدون پوشش (۴۵/۰-۴/۰) پس از مسافت ۱۰۰۰ متر به دست آمد.

مراجع:

- 1.T. Bell, Surface Engineering: Past, Present, and Future, Surface Engineering, 6 (1990) 31.
- 2.M.A. B'ejjar, W. Schake, W. Saavedra, J.P. Vild'osola, Surface hardening of metallic alloys by electrospark deposition followed by plasma nitriding, Materials Processing Technology, 176(2006), 210-213.
- 3.M. Fakoori Hasanabadi, F. Malek Ghaini, M. Ebrahimmia, H.R. Shahverdi, Production of amorphous and nanocrystalline iron based coatings by electro spark deposition process, Surface & Coatings Technology, 270(2015), 95-101.
4. M. Salmaliyan, F. Malek Ghaeni, M. Ebrahimmia, Effect of electro spark deposition process parameters on WC-Co coating on H13 steel, Surface & Coatings Technology, 321(2017), 81-89.
5. S.K. Tang, The process Fundamentals and Parameters of Electro-Spark Deposition, 2009, Waterloo, Ontario-Canada.
6. K.R. Chan, N. Scotchmer, J. Zhao and Y.Zhou, Weldability Improvement Uusing Coated Electrodes For RSW of HDG Steel, SAE international, 10 (2006), 4271-4283.
- 7.J. Vicenzi, D.L. Villanova, .M.D. Lima, Development of an apparatus to determine high temperature erosive wear up to 800 °C, Material Science and Engineering, 27(2006), 231-236.
8. Q.F Jing. and Y.F. Tan, Tribological properties of cobalt-based alloy coating with different cobalt contents by electro-spark deposition, Rare Metals, 32(2013), 40-46.
- 9.Q. Jing and Y. Tan, Microstructure and tribological properties of cobalt-based stellite 6 alloy coating by electro-spark deposition, Materials Research, 16(2013), 1071-1076.
10. A. Kusmoko, D. Dunne, H. Li, D. Nolan, Effect of two different energy inputs for laser cladding of stellite 6 on P91 and P22 steel substrates, Procedia Materials Science, 6(2014), 26-36.



11. S.J. Matthews and Haynes International Inc, ASM Metals Handbook, 1993, Indiana, United States.
- 12.N. Chawla and N. Chawlak, Metal Matrix Composites, 2006, New York, United States.
- 13.A.A. Burkov and S.A. Pyachin ,Influence of Carbon Content of WC-Co Electrode Materials on the Wear Resistance of Electrospark Coatings, Surface Engineered Materials and Advanced Technology, 80(2012), 65-70.
14. A.A. Burkov and S.A. Pyachin ,Investigation of WC-Co Electrospark Coatings with Various Carbon Contents, Materials Engineering and Performance, 23(2014), 2034-2042.
15. Q.F.Jing and Y.F. Tan ,Tribological Properties of Cobalt-Based Alloy Coating With Different Cobalt Contents by Electro-Spark Deposition, Rare Metals, 32(2013), 40-46.
- 16.Z. Ruizhu and L. Jingrui, Mechanical Properties of WC-8Co Wear- Resistant Coating on Pump Impellers Surface by Electro- Spark, Rare Metal Materials and Engineering, 44(2015), 1587-1590.
- 17.N.I. Lazarenko, Electro Spark Machining of Metal, 1965,Consulting Bureau, New York.
18. J.S. Wang, H.M. Meng, H.Y. Yu, Y.Z. Fan, D.B. Sun, Characterization and wear behavior of WC-0.8Co coating on cast steel rolls by electro-spark deposition, Metallurgy and Materials, 16(2009), 707-713.
19. N.P. Suh, The Delamination Theory of Wear, Wear, 25(1973), 111-124.
20. M.A. Moore, Fundamentals of Friction and Wear of Materials, ASM, 1981, 73-118.
21. A. Asphahani, Haynes International, Corrosion of Cobalt-Base Alloys, ASM Metals Handbook, 13(1992), 658-662.
22. A.W.J. Gee, Friction and Wear as Related to the Composition, Structure and Properties of Metals, International Metals Review, 2(1979)57.



کاغذهای سرامیکی و کاربردهای آن

گردآورنده: فرزانه خضری، کارشناس مهندسی فروش شرکت آداک صنعت پلیمر

مقدمه:

به زبان ساده، سه بخش اصلی در پازل کربن زدایی وجود دارد: انرژی‌های تجدید پذیر، برق‌رسانی و بهره‌وری انرژی. درک دو مورد اول نسبتاً آسان است، اما تاثیر پنهان بهره‌وری انرژی شاید کمی غیر ملموس باشد.

منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، موج، زیست توده و انرژی آبی هنوز تنها بخشی از کل انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند. اما سرمایه‌گذاری‌های انبوه، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و سیاست‌گذاری‌های پیشگیرانه در بسیاری از نقاط جهان، آنها را به طور فزاینده‌ای از نظر تجاری رقابتی کرده است. مزارع انرژی بادی و پنل‌های خورشیدی اکنون از چین تا کالیفرنیا در همه جا وجود دارند. آنها همچنین برق ارزان‌تری نسبت به نیروگاه‌های زغال سنگ در بیشتر نقاط جهان تولید می‌کنند. با این حال، تأثیر هدر رفت انرژی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار زیاد است. آژانس بین‌المللی انرژی تخمین می‌زند که انرژی مسئول حدود ۸۰ درصد از انتشار CO2 در جهان است. مقابله با این ضایعات، و کاهش میزان انرژی که کارخانه‌ها، خانوارها، ساختمان‌ها و کل اقتصادها در وهله اول استفاده می‌کنند، یک راه بزرگ (و نسبتاً آسان) برای کاهش تأثیر ما بر آب و هوای جهان است.

مروری بر تولید بهینه انرژی و صنعت آن

در ابتدایی‌ترین شکل آن، بهره‌وری انرژی مربوط به عایق‌بندی بهتر، برای کاهش تلفات گرمایشی (یا سرمایش) در منازل مسکونی، انبارها، ساختمان‌های اداری، پایانه‌های فرودگاه، مراکز خرید، حتی مراکز داده است.

اما این تازه شروع کار است. در صنعت، اتوماسیون و ابزارهای دیجیتال می‌توانند فرآیندها، بهره‌وری، عملکرد و مصرف انرژی را که برای تحویل ماشین‌آلات یا تراشه‌های نیمه‌رسانا یا حتی یک بسته شیر ساده انجام می‌شود، بهینه کنند. جلوگیری از هدر رفت انرژی در کوره‌ها، بویلرها و دیگ‌های بخار، فرآیندهای گرمزا، خطوط انتقال مواد، آب‌بندی قالب‌ها و افزایش عمر قطعات نیز کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی می‌کنند. بازدهی و طول عمر عایق مستقیماً به نحوه حفاظت از مواد عایق در برابر رطوبت، صدمات مکانیکی و شیمیایی وابسته

است. بنابراین نوع پرداخت نهایی عایق مهم و از طرفی هزینه نهایی و زیباسازی نیز در انتخاب نهایی مؤثر می‌باشند.

مثال خوردگی تجهیزات و خطوط انتقال درک درستی از اهمیت مصرف عایق‌ها را برای ما روشن می‌کند. در اثر خورده شدن لوله و تجهیزات در طی یک مدت مشخص، بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری به هدر می‌رود. در ساخت یک کارخانه یا احداث یک خط لوله، هزینه مواد و تجهیزات، هزینه نیروی انسانی و هزینه ماشین‌آلات در کنار وقت صرف شده برای اجرای پروژه، هزینه‌های اصلی می‌باشند. با خورده‌شدن لوله و تجهیزات، علاوه بر لزوم هزینه مجدد به اضافه تورم احتمالی، باید هزینه بسیار زیادی نیز صرف مدت زمان بازکردن تجهیزات یا درآوردن لوله از زیر خاک کنیم. حال اگر در اثر خوردگی، عمر تجهیزات پروژه از مدت زمان بازگشت سرمایه کمتر باشد، سرمایه‌گذاری بدون سودی انجام شده است. به صورت معمول هر سرمایه‌گذار به غیر از دولت‌ها، هدفش رسیدن به سود مناسب، به میزان حداقل بیش از بهره‌بانکی و به صورت مستمر و پایدار می‌باشد. بنابراین برای بخش خصوصی بسیار اهمیت دارد که بر روی چه طرحی سرمایه‌گذاری می‌کند و بازگشت سرمایه او چگونه است. در این حالت طراح در مرحله مطالعات طرح و توجیه اقتصادی باید به تاثیر خوردگی در آینده طرح دقت نموده و برآورد مشخصی از میزان هزینه اولیه و عملیاتی، مواد مصرفی و تجهیزات حفاظت از خوردگی داشته باشد.

جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی موجب صرفه‌جویی در انرژی و پول می‌گردد و از طرفی زمینه‌های ایمنی و آسایش را فراهم می‌سازد. عایقکاری سطوح داغ یکی از ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش‌های افزایش بازدهی انرژی است. درجه حرارت سطح لوله‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد، ولی بطور تقریب مدت زمان برگشت سرمایه عایقکاری حرارتی لوله‌ها، کمتر از یک سال است. از طریق ارتقاء کارایی انرژی امکان کاهش اندازه و ظرفیت تجهیزات حرارتی، برودتی و تهویه مطبوع میسر بوده و بدین ترتیب حجم سرمایه‌گذاری برای خرید آنها نیز کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای عایق‌کاری می‌توان به کنترل مطلوبتر دمای فرآیندها اشاره نمود.

از دیدگاه مهندسی

آینده بازار مواد عایق با دمای بالا با فرصت‌هایی در صنایع پتروشیمی، سرامیک، شیشه، آلومینیوم، سیمان، آهن و فولاد، نسوز و متالورژی، امیدوار کننده به نظر می‌رسد. انتظار می‌رود بازار جهانی مواد عایق با دمای بالا با CAGR 8% از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ تغییر کند. محرک‌های اصلی این بازار افزایش آگاهی در مورد صرفه‌جویی در انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

عایق‌کاری هر سیستمی به معنای صرف هزینه است. از این رو مهم‌ترین عامل در هر سیستم عایق برای تجزیه و تحلیل عایق حرارتی توجه به هزینه است. اثربخشی از عایق از قانون کاهش بازده پیروی می‌کند. از این رو، محدودیت اقتصادی مشخصی برای انتخاب عایق وجود دارد. خصوصیات مهمی که باید در هنگام انتخاب عایق متناسب با محل نصب، در نظر گرفته شوند: مشخصات فیزیکی مانند ضخامت و چگالی، مقاومت حرارتی، قابلیت احتراق، عدم سمیت، چروک خوردگی، مقاومت در برابر قارچ و میکروب، خاصیت شیمیایی خنثی، ضریب انبساط و انقباض، مقاومت فشاری و ... است.

کاغذ سرامیکی

بخش عایق بیشترین سهم را در بازار کاغذ الیاف سرامیکی در سال ۲۰۱۹ به خود اختصاص داد. کاغذ الیاف سرامیکی به دلیل ویژگی‌های برتر محصول، جایگاه بالایی در زمینه عایق‌های صنعتی با دمای بالا دارد.

هر ماده‌ای را می‌توان به عنوان "دیرگداز" توصیف کرد، در صورتی که بتواند اثر ساینده را در دماهای بالا تحمل کند. تنوع شرایط عملکرد متفاوت مواد نسوز، زمینه‌ساز تولید آنها در انواع مختلف شده است. مشخصات کلی مواد نسوز:

- تحمل دما بالا
- تحمل شوک حرارتی
- مقاومت در برابر مواد مذاب و سرباره‌ها
- تحمل بارگذاری کششی و یا فشاری
- ضریب پایین انبساط حرارتی
- تبدیل انرژی حرارتی
- دوستدار محیط زیست

کاغذ سرامیکی یکی از انواع مواد نسوز، یک ماده نسوز سبک وزن است که از ترکیبی از الیاف آلومینا-سیلیکا به یک ورق منعطف و یکنواخت پردازش شده است. توزیع الیاف با پیوند آلی و ضخامت کاغذ فیبر سرامیکی را می‌توان کنترل کرد. سایر ترکیبات در هنگام استفاده کاملاً سوخته خواهد شد. این درجه از کاغذ الیاف سرامیکی عملاً فاقد محتوای شات است و سطحی صاف در هر دو سطح خارجی دارد. مقاومت در برابر خوردگی عالی (مقاوم در برابر اکثر مواد شیمیایی به جز اسیدهای هیدروفلوئوریک، فسفریک و قلیاهای غلیظ)

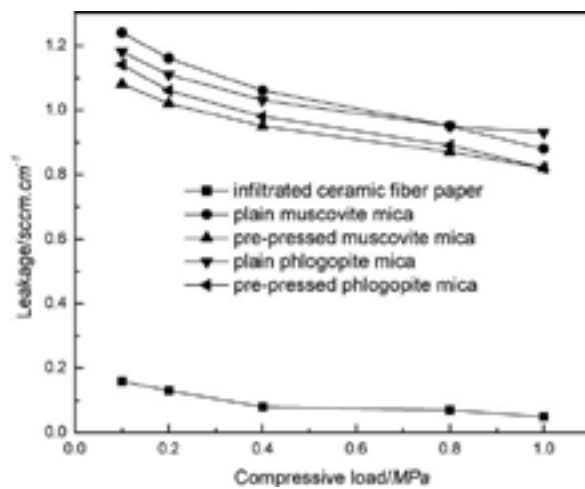
صنعت پالایش و پتروشیمی بیشترین سهم بازار را به خود اختصاص داده است و انتظار می‌رود در دوره پیش‌بینی



بیشترین رشد را داشته باشد که عمدتاً به دلیل استفاده زیاد در کوره‌ها و بویلرهای پالایش نفت خام و تولید پتروشیمی است. نیاز روزافزون به کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش مصرف انرژی در پوشش‌های کوره‌ها، سقف‌ها و دیوارها باعث افزایش تقاضا برای الیاف سرامیکی در صنعت پالایش و پتروشیمی می‌شود.

کاغذ الیاف سرامیکی را می‌توان نه تنها به عنوان یک ماده آب‌بندی برای مواد عایق حرارتی و دستگاه‌های با دمای بالادر صنایع شیمیایی و پتروشیمی، ناوگان دریایی و صنایع فولاد دانست، بلکه به عنوان مواد عایق سرما برای تجهیزات خنک کننده برودتی مانند یخچال‌ها استفاده کرد. استفاده به عنوان واشر به دلیل شکل‌دهی آسان، برای آب‌بندی قالب‌ها و اتصالات در صنایع ریخته‌گری و اتصالات خطوط در صنعت نفت و گاز، اقلام مصرفی در محل‌هایی که دما بالاست مانند میز اکستروژن هنگام خروج قطعه، محافظت از اجزا در برابر محیط‌های ساینده و حفظ روان‌کننده‌های ضروری در صنعت هسته‌ای، اتصال برای سیستم آگروز توربین گاز، مجرای گاز آگروز، بخاری‌های دوار و استفاده در سیستم‌های آب خنک‌کننده و اتصالات پمپ، تولید جهت ورق‌های فشرده در طول کشتی‌سازی و تعمیر و نگهداری کارخانه صنایع دریایی، استفاده در مخازن تحت فشار دریایی و خطوط لوله و استفاده به عنوان عایق در ورودی هوا، آگروز توربین‌های گاز، مجاری خنک‌کننده و محافظ در صنایع دریایی و عایق کف سالن‌های تولیدی، پیشنهاد می‌شود. در پاتیل ریخته‌گری، نازل غوطه‌ور برای عایق‌کاری در دمای بالا استفاده می‌شود. این الیاف همچنین به عنوان عایق الکتریکی و مواد عایق برای کوره‌های الکتریکی صنعتی، درب کوره و مواد آب‌بندی انبساط کوره استفاده می‌شود. همچنین در ساختار سلول‌های سوختی جامد که در اتومبیل‌ها و ژنراتورهای برق کاربرد دارند، به دلیل عدم نیاز به انبساط حرارتی، مقاوم در برابر اکسیداسیون و نصب آسان از کاغذهای سرامیکی استفاده می‌شود.

در زیر مقایسه‌ای از نرخ نشت عایق کاغذ سرامیکی و میکا آورده شده است. تنها با نگاهی اجمالی کاهش چشمگیر نشت و نفوذ مواد در کاغذ سرامیکی قابل مشاهده است.





ویژگی‌های در دست بررسی دیگر این محصول، خواص دی الکتریک در صنعت برق و الکتریک و عایق صوت است. عملکردهای محافظ حرارتی را برای اهداف هوافضا ارائه می‌دهد و در برابر انفجار، شعله یا فلز مذاب محافظت می‌کند. کاغذ الیاف سرامیکی برای تامين عایق، آستر، واش و مهر و موم برای کاربردهای دما یا فشار بالا مانند ذوب سرامیک یا شیشه، کوره، کوره، دیگ بخار، عایق الکتریکی و غیره و همچنین برای اهداف هوافضا ضروری است. روکش‌های فن، پایه‌های موتور و سایر قسمت‌های موتور جت باید استرس شدید ناشی از دماهای بالا، مجازات اصطکاک و خطر آتش‌سوزی را تحمل کنند، به همین دلیل کاغذهای الیاف سرامیکی به طور گسترده ترجیح داده می‌شوند. همچنین، کاغذ الیاف سرامیکی قابلیت‌هایی در دمای بالا، مقاومت در برابر رطوبت و ارتعاش و رسانایی حرارتی بسیار کم را به شکل سبک و نازک برای حداکثر عایق‌کاری در فضاهای کوچک فراهم می‌کند که به همین دلیل تقاضا برای بازار کاغذ آتش‌نشانی سرامیکی در صنعت هوافضا پیش‌بینی می‌شود. در دوره پیش‌بینی افزایش یابد.

کاغذ الیاف سرامیکی دارای خاصیت حفاظت در برابر تابش است که باعث می‌شود آن را به طور معمول در خودرو استفاده کنند. سپرهای حرارتی برای محافظت از سازه در برابر دماهای شدید با انعکاس یا جذب گرما ساخته شده‌اند. محافظ‌های حرارتی خوب باید مقاومت حرارتی و انتشار حرارتی بالایی داشته باشد، به طوری که بتواند دماهای بالا را تحمل کند و گرما را از خود منعکس و آزاد کند. محافظ حرارتی خودرو می‌تواند ابزار موثری برای محافظت از اجزای اصلی و بدنه در برابر آسیب گرما باشد. گرمای ایجاد شده توسط موتور و عبور از تونل اگزوز باعث کاهش خروجی موتور، افزایش دما در کابین خودرو و آسیب به قطعات مکانیکی پشت داشبورد می‌شود. بنابراین، کاغذ الیاف سرامیکی به طور فزاینده‌ای در صنعت خودرو برای حل این مسائل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از آن به عنوان فیلتر در اگزوز نیز رو به افزایش است. حفظ ترکیبات معدنی پایه در ساختار کاغذ سرامیکی حتی بعد از قرارگیری آن در دماهای بالا و یا اشتعال، تخلخل بالای کاغذ، از دیگر دلایل صنعتگران برای استفاده کاغذ به عنوان فیلتر جاذب دوده در موتورهای دیزل، در دماهای پایین است. اصطلاح کاغذ کاتالیزوری به تازگی در صنعت خودرو مرسوم شده است. این فیلتر از اضافه کردن سریم اکسید و پتاسیم نیتريد به کاغذ سرامیکی در دو مرحله ساخته شده و سبب افزایش خواص جذب آن می‌شوند. عمده آلاینده‌های موتور خودرو ذرات نیتروژن هستند که در چند سال اخیر رفتار فیلتر دوده در برابر این آلاینده بررسی و نتایج خوبی حاصل شده است. در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۰ چاپ شده است واکنش آلاینده‌ها و مواد تشکیل دهنده کاغذ سرامیکی (SiO_2 , Al_2O_3) و ذرات اضافه شده (K_2O , KNO_3) بررسی و نتایج خوبی مبنی بر فیلتر شدن آلاینده‌ها به دست

آمده است. به طور کلی استفاده از عایق کاغذ سرامیکی در صنایع زیر مرسوم است و مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- صنایع نفت و گاز
- صنایع پالایشگاه و پتروشیمی
- صنایع تولید فولاد و آلومینیوم
- صنایع تولید شیشه، کاشی و سرامیک
- صنایع دریایی و کشتی‌سازی
- صنایع متالورژی و معدن
- تولید نیرو



محیط زیست

در گذشته از آزیست بصورت گسترده در عایق‌کاری استفاده می‌شد. هر چند به لحاظ سرطانزا بودن الیاف آزیست، دیگر از این مواد در عایق‌کاری استفاده نمی‌شود. تأسیسات قدیمی هنوز دارای عایق‌های آزیستی می‌باشند که در صورت عدم دستکاری ایمن‌تر است در غیر اینصورت امکان آزاد شدن فیبرهای آزیست در هوای اطراف تأسیسات وجود خواهد داشت. افزایش فعالیت‌های ساختمانی؛ تولید بالای صنایع آهن و فولاد و آلومینیوم؛ افزایش تقاضا برای مواد انعطاف‌پذیر، بادوام و سبک وزن؛ افزایش استاندارد زندگی و هزینه‌های سرانه بالا، عایق‌های RCF پیشنهاد مناسبی برای بازار هستند. امروزه اقلام نسوز از جمله پتوهای سرامیکی و کاغذ سرامیکی فاقد آزیست تولید شده و خطری برای محیط‌زیست ندارند. همچنین سازگاری کاغذ سرامیکی با پوست انسان، عدم ایجاد حساسیت و خارش استفاده از این نوع عایق را آسان‌تر می‌کند.

مشخصات فیزیکی کاغذهای سرامیکی در جدول زیر آورده شده است.

جدول (۱) مشخصات فیزیکی کاغذهای سرامیکی

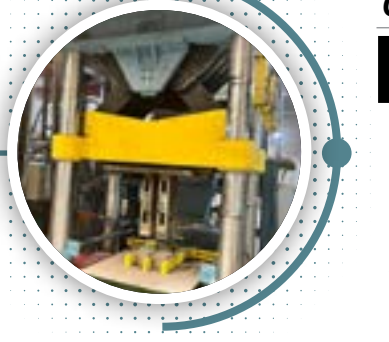
Specifications	Range
Classification Temperature (°C)	1260-1430
Density (kg/m³)	200-250
Tensile Strength (Mpa)	0.4 <
LOI	< 10%
Width(cm)	61-121
Thickness	0.5-20



منابع:

- 1-Insulation and Refractories - British Energy Efficiency Office.
- 2-Comparison of infiltrated ceramic fiber paper and mica base 2- compressive seals for planar solid oxide fuel cells, Shiru Lea, Kening Suna
- 3- Catalytic paper made from ceramic fibres and natural ulexite. Application to diesel particulate removal, Sabrina A. Leonardi a,b, Miguel A. Zanuttini
- 4- Catalytic ceramic paper for the combustion of diesel soot, E.D. Banús a, M.A. Ulla





پروژه‌ی اورهال کامل پرس هورن ۸۰۰ تنی که با رویکرد افزایش ظرفیت تولید، کنترل و کاهش توقفات پرسها در واحد شکل دهی شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در حال انجام بود و در شماره‌های قبلی گزارشات پیشرفت آن به تفصیل بیان شد، سرانجام در تاریخ ۱۴۰۱/۰۶/۲۴ وارد فاز بهره‌برداری آزمایشی شد. خلاصه‌ای از وضعیت پروژه و اقدامات انجام شده در ذیل ارائه گردیده است:

تعریف پروژه: بازسازی کامل و ارتقاء سیستم هیدرولیک پرس هورن ۸۰۰ تنی

چشم‌انداز پروژه: کاهش توقفات تولیدی

شروع پروژه: بهمن ماه ۱۴۰۰

پایان پروژه: شهریور ۱۴۰۱

تاریخ راه‌اندازی آزمایشی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

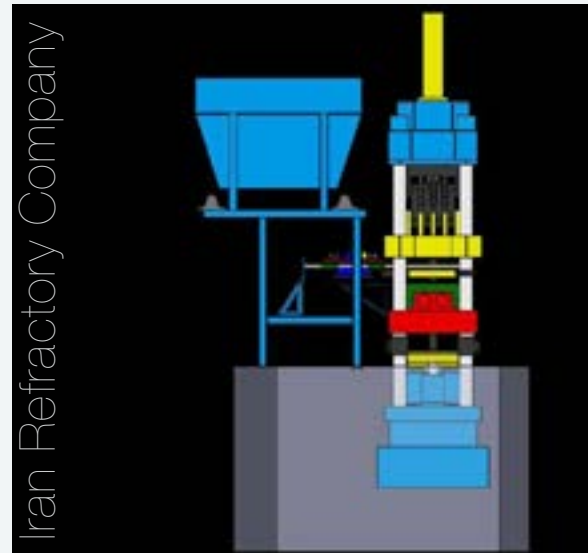
اقدامات انجام شده:

- مطالعات اولیه
- نقشه برداری و طراحی
- دمونتاز کامل پرس شامل دمونتاز سازه، یونیت هیدرولیک و...
- عملیات آماده‌سازی Tie Rod های پرس شامل: کروم زدایی، سنگ‌زنی، کرومپلیت و ساین کردن
- کوپل الکتروموتورها به پمپ‌های جدید و ساخت یونیت هیدرولیک جدید همراه با بلوک مرکزی کنترل
- آماده‌سازی کامل سلول کنترل برق و الکترونیک
- اورهال کلیه‌ی جک‌های هیدرولیک شامل جک‌های اصلی، تاگل و ...
- تغییر تکنولوژی قدیمی پرس از سیستم پرسینگ در تناژهای انتخابی و محدود به سیستم پرسینگ در تناژهای نامحدود و قابل انتخاب
- تجهیز پرس به HMI و کنترل پروسه‌ی تولید در حالت‌های دستی، نیمه اتومات و تمام اتومات
- تغییر تکنولوژی سیستم پرسینگ با اعمال نیرو توسط جک‌های مختلف و چند مرحله‌ای به سیستم پرسینگ با اعمال نیرو توسط یک جک اصلی
- بهبود تولید آجرهای شیدار با اضافه کردن آیت‌های تنظیمی Taper و shake به سینی تغذیه
- اضافه کردن خطکش مغناطیسی جهت کنترل حرکت میز پرس، میز تاگل و سینی تغذیه

عنوان پروژه: اورهال کامل پرس هورن ۸۰۰ تنی

تهیه و تنظیم: سجاد رنجبر - سرپرست دفتر فنی

- تغییر مکانیزم سیستم تغذیه
- نصب کامل سازه، یونیت، سلول برق
- کابل کشی برق
- لوله کشی هیدرولیک
- راه اندازی



پیشرفت فیزیکی پروژه

۱۰۰٪

سایت دوم شرکت فرآورده‌های نسوز ایران گزارش پیشرفت پروژه جمبزه

تهیه و تنظیم: معاونت سرمایه‌گذاری و پروژه‌ها



- نصب و جوشکاری سقف بر روی سازه فلزی بر روی مجموعه الواتور تغذیه کوره
- نصب فن غبارگیر و تابلوهای مربوط به کوره دوار
- تکمیل عملیات جوشکاری و تمیزکاری شل‌های کوره و نصب کاور چرخ دنده کوره
- تکمیل عملیات نسوزکاری و آجرچینی درون شل کوره و اجرای عملیات کستینگ در ورودی کوره
- ساخت منهول‌های کابل‌های برق در ضلع شمالی سالن خردایش
- اجرای عملیات فول جوش نمودن داکت‌های مجموعه دودکش و غبارگیر و تغذیه کوره



- پروژه توسعه‌ای سایت دوم شرکت فرآورده‌های نسوز ایران (ناحیه صنعتی جمبزه) با تلاش و همکاری معاونت سرمایه‌گذاری و پروژه‌ها به سرعت در حال اجرا و پیگیری تا مرحله بهره‌برداری نهایی می‌باشد. بخشی از اقدامات انجام شده تا پایان مهر ماه ۱۴۰۱ به شرح زیر می‌باشد:
- ادامه سند بلاست و نصب و جوشکاری اسکلت فلزی اطراف کوره و سازه غبارگیر و تغذیه
- تکمیل جوشکاری و نصب داکت پس سوز مشعل کوره
- نصب پایه‌ها و نصب و راه‌اندازی جت فن‌های کوره دوار
- جوشکاری و تنظیمات کالسه مشعل کوره و تنظیمات مکانیکی مشعل کوره دوار
- قالب‌بندی درون گردن قویی غبارگیر جهت اجرای عملیات گانینگ و اجرای گانینگ جرم مربوطه
- تکمیل آجرچینی داخل کولر و کوره دوار
- آماده‌سازی محل نصب مخازن گازوئیل و ساخت مخازن و نصب آنها و مسیرسازی از مخزن گازوئیل به سمت مصرف‌کننده کوره
- ساخت اتاق دیزل کوره دوار در طبقه زیرین ساختمان تغذیه کوره
- استقرار و نصب تجهیزات ایستگاه گاز
- جوشکاری لوله‌های انتقال گاز داخل سایت و خاکریزی بر روی لوله‌های انتقال دهنده گاز
- دیوار چینی و پلاستر ایستگاه گاز و جوشکاری و نصب لوله‌های گاز ایستگاه ثانویه گاز
- نصب نوار نقاله سازه تغذیه کوره و نصب الواتور سازه تغذیه کوره
- تکمیل ساخت طبقه دوم ساختمان کنترل سالن خردایش

- آماده‌سازی نشیمن تانکر و استقرار تانکر آب کولینگ تاور بر روی نشیمن جنب پایه اول کوره و نصب کولینگ تاور
- اجرای عملیات پایپینگ جهت آبرسانی و خنک کاری موتور و گیربکس‌های کوره دوار
- خاکریزی و اجرای رمپ جهت بارگیرخانه کوره
- نصب لوله‌های پی جی جهت عبور کابل برق رسانی به مصرف‌کننده‌های کوره
- اجرای عملیات کابل‌کشی به سمت پمپ‌های آب تانکر کولینگ تاور
- ادامه برق رسانی و روشنایی کوره دوار
- سینی کاری و کابل کشی از اتاق قدرت به سمت مصرف‌کننده‌های کوره و تنظیمات تابلوهای برق قدرت کوره
- نصب ترانس ۶/۳ کیلو ولت کوره دوار و برق دار نمودن آن و کابل کشی تابلوهای برق قدرت کوره
- سربندی کابل‌های ترانس ۶/۳ کیلو ولت کوره
- شروع تست و راه‌اندازی سرد تجهیزات کوره دوار و انجام کارهای تکمیلی و رفع اشکالات و پانچ لیست‌ها جهت راه‌اندازی گرم
- ادامه تولید در سالن خردایش

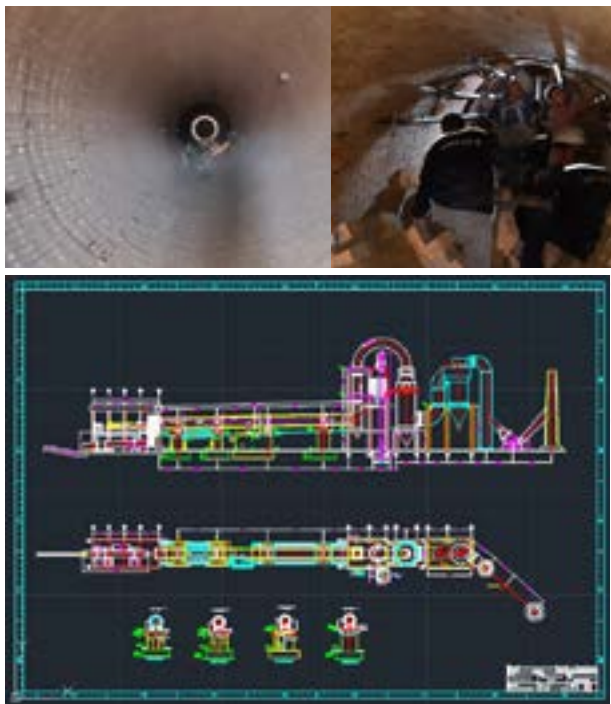
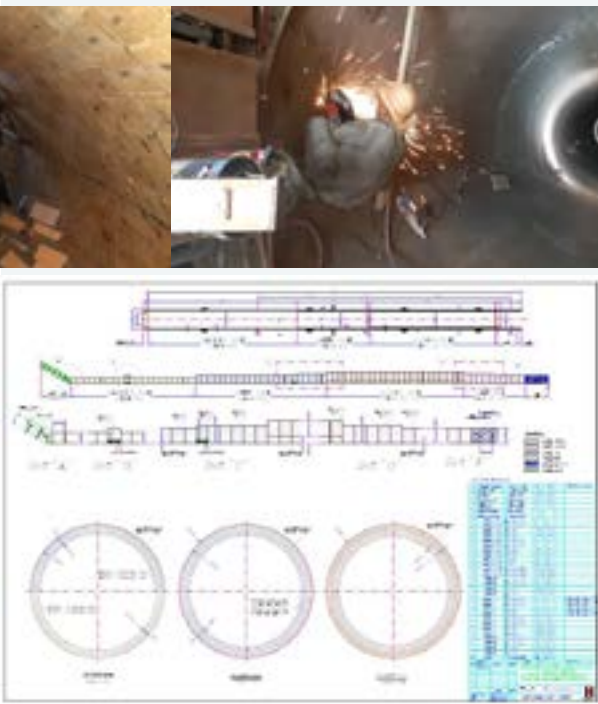
پیشرفت فیزیکی پروژه

۹۷,۷٪



Iran Refractory Company

پروژه طراحی، اجرا و نظارت نسوز چینی کوره دوار سایت دوم ایرفکو (جمبزه)



تعریف پروژه: محاسبه و طراحی لایه‌های نسوز تمامی قسمت‌ها و نظارت بر اجرای نسوز کاری

چشم‌انداز: بومی‌سازی طراحی و نظارت نسوز چینی کوره دوار، کولر، هودها و غیره

با توجه به توسعه روز افزون صنایع کشور و الزام در طراحی، تولید و بکارگیری محصولات متنوع در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت آهن و فولاد و همچنین در راستای کاهش وابستگی شرکت فرآورده‌های نسوز ایران به تامین کنندگان خارجی مواد اولیه، پروژه توسعه‌ای سایت دوم ایرفکو (جمبزه) جهت فرآوری و زینترینگ دولومیت با تلاش و همکاری متعهدانه تمامی مهندسين و کارکنان شرکت و حمایت‌های مدیریت محترم عامل و اعضای هیئت مدیره در حال رسیدن به مرحله بهره‌برداری می‌باشد.

در همین راستا و با تاکید مدیریت عامل و با همکاری معاونت بازرگانی و واحد بازاریابی و خدمات مهندسی فروش و با هدف بومی‌سازی نسوز چینی قسمت‌های مختلف کوره، روند اجرایی پروژه نسوز چینی با بررسی‌ها و مطالعات اولیه شروع گردید. در ادامه با هدف بومی‌سازی و عدم وابستگی به شرکت‌های دیگر، طراحی لایه‌های نسوز قسمت‌های مختلف پروژه به صورت کامل توسط تیم خدمات مهندسی فروش شرکت، طراحی و نقشه‌های اجرایی با جزئیات آماده گردید تا عملیات نصب و اجرا آن توسط

پروژه طراحی، اجرا و نظارت نسوز چینی کوره دوار سایت دوم ایرفکو (جمبزه)

تهیه و تنظیم: بهزاد امین پور - علی یزدانی

پیمانکار انجام و به اتمام برسد.

لازم به ذکر است با وجود حضور ناظر مستقل از طرف شرکت که وظیفه نظارت بر حسن انجام کار و اجرا پروژه را بر عهده داشت، واحد بازاریابی و خدمات مهندسی فروش شرکت نیز علاوه بر نظارت ثانویه؛ وظیفه پشتیبانی در جهت تامین مواد نسوز مورد نیاز و رفع ابهامات و ایرادات به وجود آمده در شروع و حین کار را بر عهده داشتند.

در پایان ذکر این نکته ضروری است که تمامی مواد نسوز مورد نیاز در اجرای این پروژه توسط شرکت فرآورده‌های نسوز ایران طراحی و تولید گردیده است که این مورد در نوع خود اقدامی کم سابقه در صنعت نسوز ایران بوده است.

بخشی از اقدامات انجام شده در راستای پیشرفت پروژه به شرح زیر می‌باشد:

- طراحی لایه نسوز کوره (Rotary Kiln)
- طراحی لایه نسوز کولر (Rotary Cooler)
- طراحی لایه نسوز هود خروجی کوره (Kiln Hood)
- طراحی لایه نسوز ورودی کوره (Kiln Inlet)
- طراحی لایه نسوز گردن قویی (Swan Neck)
- طراحی لایه نسوز (Riser Pipe) و ...
- مشاوره به پیمانکار در شروع و حین پروژه
- طراحی و تولید محصولات نسوز مورد نیاز بر اساس نقشه طراحی شده
- نظارت بر پروژه و پشتیبانی‌های مورد نیاز



مقدمه

استفاده از انرژی الکتریکی به عنوان منبع گرما در فرآیند فولادسازی دارای مزایای زیادی است؛ که قابلیت کنترل دما، یکی از مهمترین موارد است. کوره قوس الکتریکی (EAF) تجهیز صنعتی پایه برای تولید فولاد است که در آن انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی؛ طی ایجاد قوس الکتریکی، تبدیل می‌شود. امروزه بیش از ۱/۸ میلیارد تن فولاد سالانه در سراسر جهان تولید می‌شود و تقریباً ۳۰ درصد آن در EAF تولید می‌شود. کوره‌های قوس الکتریکی به طور عمده برای تولید فولاد با استفاده از ضایعات به عنوان شارژ، مفید هستند. عملاً تمام ضایعات فولادی که در نتیجه فعالیت های انسانی تولید می‌شود، در فرآیندهای متالورژیکی به فولادی مفید تبدیل می‌شوند.

کوره قوس الکتریکی بر دو نوع می‌باشد:

- جریان متناوب (AC)
- جریان مستقیم (DC)

کوره‌های قوس الکتریکی AC دارای سه الکترود و کوره‌های قوس الکتریکی DC دارای دو الکترود هستند؛ یک کاند که یک الکترود منفرد در سقف کوره و یک آند در پایین کوره است. الکترودها بار الکتریکی را هدایت و قوسی ایجاد می‌نماید که ضایعات را ذوب می‌کند. انرژی شیمیایی نیز در فرآیند ذوب برای افزایش راندمان ذوب استفاده می‌شود.

در طراحی و عملکرد کوره‌های قوس الکتریکی بهبودهای زیادی طی سالیان متمادی انجام شده است. پیشرفت‌های طراحی کوره شامل پانل‌های خنک‌شونده با آب، مشعل‌های اکسیژن، تجهیزات تخلیه از کف (EBC; Eccentric bottom Tap-hole) و تغذیه مداوم قراضه می‌شود. پیشرفت‌های عملیاتی شامل ایجاد سرباره پفکی و بهبود ترکیبات شیمیایی سرباره است. این بهبودها؛ نیاز به مواد دیرگداز با تحمل درجه حرارت بالاتری نسبت به آنچه قبلاً مورد نیاز بود، مطرح نموده است.

کوره قوس الکتریکی (EAF)

گردآورنده: فرشته مرادی- سرپرست فروش به صنایع شیمیایی-حرارتی

تاریخچه توسعه کوره‌های قوس الکتریکی

پیشینه انواع کوره‌های قوس الکتریکی برای تولید فولاد به صورت مقایسه‌ایی در چند فاکتور اصلی به شرح جدول ذیل آورده شده است .

مقایسه	کوره قوس الکتریکی از سال ۱۹۰۰	کوره BOF (از سال ۱۹۴۹)
شارژ اصلی	قراضه	چدن مذاب
نسبت قراضه (درصد)	<۱۰۰	۳۰-۵۰
میزان آلیاژ (درصد)	۱۰۰-۵۰	۵-۰
میزان نهائی کربن(درصد)	۲-۰/۰۵	۳/۰۰۳-۰/۰۲
نوع انرژی ورودی	اکسیژن- گاز- برق	اکسیژن
ماهیت لایه دیرگداز	اسیدی- قلیایی	قلیایی

در جدول زیر روند تاریخی کوره‌های قوس الکتریکی بر مبنای فاکتورهای مختلف قدرت ترانسفورماتور و میزان بهره‌وری نشان داده شده است.

نوع کوره	قدرت ترانسفورماتور	میزان بهره‌وری
کوره های نسل اول	۲۵۰ کیلوولت آمپر	۱۵ تا ۲۰ تن در ساعت
کوره های نسل دوم	۴۵۰ تا ۴۵ کیلو ولت آمپر	۲۵ تا ۴۰ تن در ساعت
کوره های نسل سوم	۴۵۰ تا ۷۵۰ کیلو ولت آمپر	۵۰ تا ۸۰ تن در ساعت
کوره های مدرن از ۳۰ سال پیش تا به اکنون	بیش از ۷۰۰ کیلو ولت آمپر (اغلب بالای ۱۰۰۰ کیلو ولت آمپر)	بالای ۱۰۰ تن در ساعت

کوره‌های نسل اول با RP (قدرت معمولی)، دومی HP (قدرت بالا)، سومی UHP (قدرت فوق العاده بالا) و آخرین SUHP (قدرت فوق العاده بالا) نامیده شدند. توسعه قدرت ترانسفورماتور همچنین با افزایش ظرفیت کوره همراه بوده و اولین کوره‌ها ظرفیتی در محدوده ۵ تا ۲۵ تن داشت، در حالی که ظرفیت آنهایی که امروزه ساخته می‌شوند به ۴۰۰ تن می‌رسد.

در کوره‌های نسل اول منطقه ذوب و دیواره‌های آن با دیرگدازهای منیزیتی یا دولومیتی پوشش داده می‌شد. سقف ابتدا از مواد سیلیسی و بعداً از مواد آلومینایی با درصد بالای Al2O3

ساخته شد. مذاب فولاد از سنگ اکسید آهن یا قراضه بدست آمده و زمان ذوب حدود ۳ ساعت بود، در حالی که کل زمان تخلیه تا تخلیه، بسته به روش اعمال شده و گریدهای فولادی تولید شده، بین ۴ تا ۸ ساعت بود.

مشخصه اولین کوره‌های قوس الکتریکی مصرف نسبتاً بالا و متغیر لایه دیرگداز را نشان می‌دادند. کاهش قطر الکترود؛ کاهش در ولتاژ قوس و افزایش شدت جریان و در نهایت ذوب در توان‌های بالاتر، افزایش عمر لایه دیرگداز را امکان پذیر نموده است. استفاده از الکترودهای گرافیتی با مقاومت الکتریکی کم و قابلیت رسانایی جریا با شدت بالا باعث تعبیه سیستم آبگرد در بخش فوقانی کوره گردید. این طراحی همچنین با به حداقل رساندن عدم تقارن همراه قوس بود. این کوره‌ها بیشتر برای تولید فولادهای پرفالیاژ مورد استفاده قرار می‌گرفت. کوره‌های نسل دوم امکان تولید اقتصادی فولادهای کم آلیاژ و حتی فولادهای کربنی را بوجود آورد.

اگرچه عملکرد EAF با ولتاژ کم و شدت جریان بالا باعث افزایش عمر لایه دیرگداز شد، ولی به طور همزمان باعث افزایش مصرف بیشتر الکترودهای گرافیتی گردید. بعدها بر روی کوره‌هایی کار شد که عملیات مذاب در ولتاژ بالاتری صورت می‌گرفت و باعث کاهش مصرف الکترودهای گرافیتی می‌شد. ولی عملیات مذاب با ولتاژ بالاتر منجر به کاهش عمر لایه دیرگداز می‌گردید بنابراین، طرح‌هایی که امکان (سیستم آبگرد) خنک‌سازی آبی دیواره‌ها و سقف کوره را فراهم می‌کرد ابداع شده‌اند. سیستم آبگرد همچنین باعث کاهش مصرف الکترود گردید. (در کوره‌های DC به علت کاهش نویز ناشی از تأثیرات مضر شبکه منبع تغذیه، شاهد کاهش مصرف الکترود هستیم.) سیستم تخلیه (EBT) با مجرای خروجی غیر مرکزی از کف جایگزین سیستم سنتی جریان ناودانی شد که هدف آن کوتاه کردن زمان تخلیه و در نتیجه کاهش احتمالات اکسیداسیون فولاد مذاب با اکسیژن هوای اتمسفر و تسهیل جداسازی فولاد از سرباره است.

مقایسه انواع کوره های قوس الکتریکی

کوره‌های قوس الکتریکی AC، به ویژه آنهایی که توان بالایی دارند، علیرغم مزایای بسیار از منظر قوس الکتریکی، دارای معایبی نیز هستند که می‌توان از مصرف زیاد الکترودهای گرافیتی و مواد دیرگداز و همچنین مشکلات ایجاد شده در سیستم منبع تغذیه نام برد. برای از بین بردن این اثرات نامطلوب؛ در دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ کوره‌های DC با تفاوت‌های طراحی نسبت به AC معرفی شدند. سه تفاوت طراحی DC نسبت به AC به شرح زیر است:

۱- در سیستم منبع تغذیه کوره‌های DC یک جزء اضافی به نام میدل AC/DC وجود دارد.

۲- در کوره‌های DC یک الکترود گرافیتی به جای سه الکترود وجود دارد.

۳- یک الکترود کانون رسانا در لایه دیرگداز کف کوره‌های DC وجود دارد.

جداول مقایسه کوره‌های AC و DC

کوره‌های AC از پایین‌ترین توان تا بالاتر از 0,7MVA/t	
نوع تکنولوژی : قدیمی	جریان متناوب AC - سه الکترود
به طور گسترده از سال ۱۹۲۰ برای تولید انواع فولادها و آلیاژها استفاده می‌شود.	پوشش دیرگداز در تمامی قسمت‌ها : - قسمت‌های فاقد سیستم آبگرد (مشابه پوشش نسوز پاتیل) - بخش‌های اندکی از ناحیه دارای سیستم آبگرد - دیواره‌ها : آجر دیرگداز - کف : آجر یا جرم
استفاده از انواع سیستم‌های تخلیه	
از دهه ۱۹۷۰ از توان بالا (UHP) استفاده می‌شود	
کوره‌های DC با توان موتور > 1MVA/t	
نوع تکنولوژی : جدید	جریان متناوب DC - یک یا دو الکترود وجود یک الکترود آند مثبت در کف
از دهه ۱۹۹۰ به صورت استاندارد جهت تولید فولادهای کربنی استفاده می‌شود	- قسمت بالای ناحیه مذاب کاملاً با سیستم آبگرد خنک می‌شود. - لایه دیرگداز دیواره‌ها : از آجرهای منیزیت کربنی استفاده می‌شود. - کف کوره عمدتاً با جرم نسوز پوشیده می‌شود. - سیستم تخلیه : EBT

در کوره‌های DC نسبت به AC مصرف الکترودهای گرافیتی به طور قابل توجهی کمتر است. و اثر مخرب بسیار کمتری بر شبکه منبع تغذیه دارند. کوره‌های DC جایگزین کوره‌های AC نشده اند، اما تعداد آن‌ها در حال افزایش است. به عنوان مثال در ژاپن در حال حاضر ۲۲ کوره DC با ظرفیت‌های از ۳۰ تا ۴۲۹ تن در حال کار است .

نمونه‌های کوره از ابتدا تا به امروز

شکل کوره	زمان سال	ابعاد قطر (متر)	توان موتور MVA	سوخت مشعل	وزن بار (تن)	توان مخصوص MVA/t	خروجی روزانه t/h
	۱۹۰۶	۲/۴	۰/۴	ندارند	۱/۵	۰/۲۷	۱۰/۲۴
	۱۹۳۷	۵/۲	۱۰	ندارند	۳۰	۰/۳۳	۱۰۰/۲۴
	۱۹۵۶	۵/۸	۳۰	ندارند	۸۰	۰/۳۸	۶۵۰/۲۴
	۱۹۷۸	۶/۸	۸۳	CH4/O2	۱۱۰	۰/۷۵	۱۸۰۰/۲۴
	۱۹۹۸	۷/۳	۱۴۰	CH4/O2	۱۰۰	۱/۴	۳۷۰۰/۲۴
	۲۰۱۱	۹/۴	۳۰۰	CH4/O2	۲۵۰	۱/۲	۶۰۰۰/۲۴

در جدول بالا آنچه مشهود هست توسعه کوره‌ها در سال‌های مختلف در زمینه افزایش ظرفیت و راندمان آن‌ها صورت گرفته است، مشخصات کوره‌های اولیه قوس الکتریکی به شرح ذیل می‌باشد

• مصرف برق: 630 kWh/t

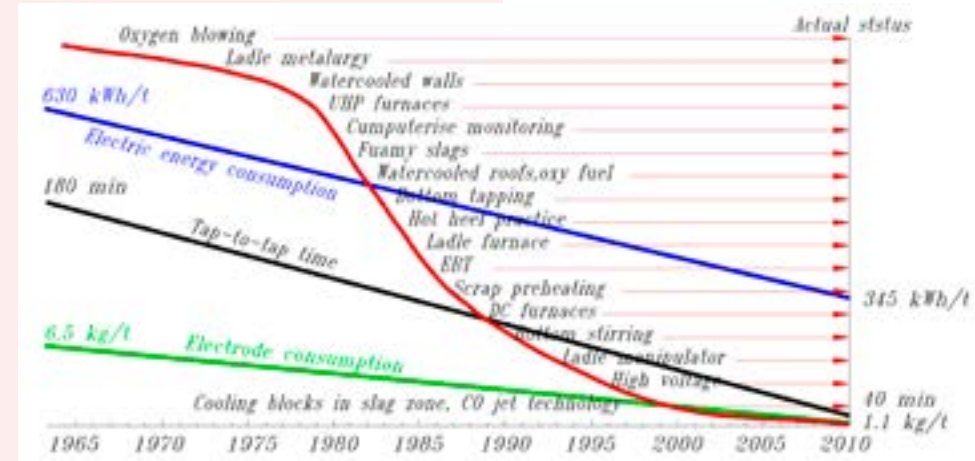
• مصرف الکترود: 5 kg/t

• بارگیری تا بارگیری (tap to tap): ۱۸۰ دقیقه

تمام پیشرفت‌های ارائه شده در طراحی و عملکرد فرآیند در کوره‌های قوس الکتریکی EAF با هدف بهبود پارامترهای عملکرد، حفاظت از محیط‌زیست و بهبود ایمنی اپراتور انجام شده است.



تأثیر تکنولوژی و پیشرفت فنی در عملیات EAF بر روی شاخص‌های عملکردی حیاتی طی پنجاه سال گذشته در شکل زیر نشان داده شده است.



منابع:

1. Refractory Lining and Wear of AC and DC FURNACES, Dipl.-Ing. Leandro Schöttler, Deutsche Edelstahlwerke GmbH, Siegen 2016
2. Electric Arc Furnace Steelmaking, Mirosław Karbowniczek, © 2022, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC
3. Ayrton H.: The Electric Arc, D. Van Nostrand Co., New York, 1902.
4. Taylor C. R.: Electric Furnace Steelmaking, The Iron and Steel Society, New York, 1985.
5. Ameling D.: Steel – Innovative solutions for energy and resource challenges, 9th European Electric Steel Congress, Krakow, Poland, 2008.
6. Jones J. A. T.: EAF steelmaking – Current state of the art technology and future developments, 18th Steelmaking Conference, IAS, Rosario, Argentina, 2011.
7. Emi T.: Steelmaking Technology for the Last 100 Years: Toward Highly Efficient Mass Production Systems for High Quality Steels, ISIJ International, Vol. 55, 2015, No. 1, pp. 36–66.
8. Steel Statistical Yearbook, World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>



این شاخص‌ها شامل مصرف برق، مصرف الکتروود و زمان تخلیه تا تخلیه (tap to tap) بوده است.

اولین نشانه‌های بهبود تکنولوژیکی این نمودار: کاربرد دمش اکسیژن، برای اکسیداسیون وان مذاب می‌باشد. در دهه ۱۹۷۰ میلادی یک فرآیند دو مرحله‌ای برای مذاب فلز شروع شد. شارژ قراضه به EAF برای دستیابی به محصول میانی به نام فولاد خام تصفیه بیشتر وان مذاب در پاتیل‌ها (متالورژی پاتیل) برای دستیابی به فولاد آماده برای ریخته‌گری این دو مرحله به طور قابل توجهی عملکرد را بهبود بخشید. بهبودهای بعدی شامل ایجاد سیستم آبگرد دیواره و سقف، افزایش قدرت ترانسفورماتور کوره، بهبود کیفیت سرباره پفکی، تخلیه از مرکز کف و مشعل‌های با گاز اکسیژن می‌باشد. با توجه به روش‌های گفته شده، صنعت فولادسازی مدرن می‌تواند به کوره‌های EAF با مشخصات زیر دست پیدا کند.

- مصرف جریان برق: 300 kWh/t
- مصرف گرافیت حدود: 1/5 kg/t
- زمان بهره‌برداری (بارگیری تا بارگیری): ۴۵ دقیقه

عملکرد کوره‌های DC از گذشته تا به امروز

در گذشته فرآیند فولادسازی در کوره‌های EAF طی یک مرحله؛ شامل آلیاژسازی و سرباره‌گیری همزمان انجام می‌گرفت و مدت زمان تخلیه تا تخلیه ۵ تا ۸ ساعت بود. توان موتور این کوره‌ها ۰٫۳-۰٫۱ MVA/t بوده است. پس از فرآیند آلیاژسازی؛ مذاب درون پاتیل تخلیه شده و به واحد ریخته‌گری شمش انتقال پیدا می‌نمود. امروزه عملیات متالورژی اولیه در کوره و در مرحله بعدی متالورژی ثانویه در پاتیل صورت می‌گیرد. در این کوره‌ها صرفاً عملیات ذوب در کوره انجام و زمان تخلیه تا تخلیه یک ساعت و توان موتور این کوره‌ها ۱٫۵-۱ MVA/t می‌باشد. مذاب درون پاتیل تخلیه شده و عملیات سرباره‌گیری، گاززدایی و آلیاژسازی درون پاتیل انجام می‌گیرد و در نهایت مذاب به واحد ریخته‌گری شمش منتقل می‌شود.

در شماره بعدی فصلنامه به نحوه آرایش لایه‌های دیگداز در کوره‌های قوس‌الکتریکی و تأثیر عوامل گوناگون بر این لایه‌ها خواهیم پرداخت.

چکیده:

در گذشته بازیافت آجر و مواد نسوز مصرف شده به دلیل فراوانی مواد اولیه ارزان قیمت و هزینه‌های کم دفع مواد، مورد توجه کمی قرار گرفته می‌شد. محصولات نسوز برای تمام فرآیندهای دما بالا مانند تولید فلزات، سیمان، شیشه و سرامیک و غیره، ضروری هستند. تخمین زده می‌شود که سالانه ۲۸ میلیون تن نسوز ضایعاتی تولید می‌شود. بازیافت آجر و مواد نسوز به دلیل فقدان نیروهای محرک اقتصادی یا محیط‌زیستی قوی و با توجه به هزینه کم دفن ضایعات در اکثر آجر و مواد نسوز محدود بود ولی اخیراً افزایش قیمت‌ها و مشکلات عرضه مواد خام با کیفیت بالا، انگیزه قوی برای حرکت به سمت این مسیر ایجاد کرده است.

ضرورت توجه به بازیافت مواد نسوز و چالش‌های زیست محیطی ناشی از این مواد پر بها در سالیان اخیر به یک موضوع حیاتی و قابل توجه تبدیل شده است. از آنجایی که طیف عظیمی از محصولات نسوز در صنعت فولادسازی استفاده شده و این نسوزها پس از عمر کاری خود، کارایی و خواص فیزیکی و حرارتی خود را از دست داده و وارد چرخه دور ریز می‌شوند و تولید فولاد را در حالت ناپایدار قرار می‌دهند، عمل بازیافت مواد نسوز اهمیت ویژه‌ای در این صنعت پیدا می‌کند. اکثر نسوزهای مورد استفاده در صنایع بدون طی کردن فرآیند بازیافت به محل دفن زباله می‌روند. با این وجود، نیاز روزافزونی به بازیافت این مواد از جهت کاهش هزینه‌های دفع

فناوری بازیافت مواد نسوز در صنعت فولاد (دستاوردها و چالش‌ها)

ترجمه و تنظیم: علی یزدانی کارشناس خدمات پس از فروش

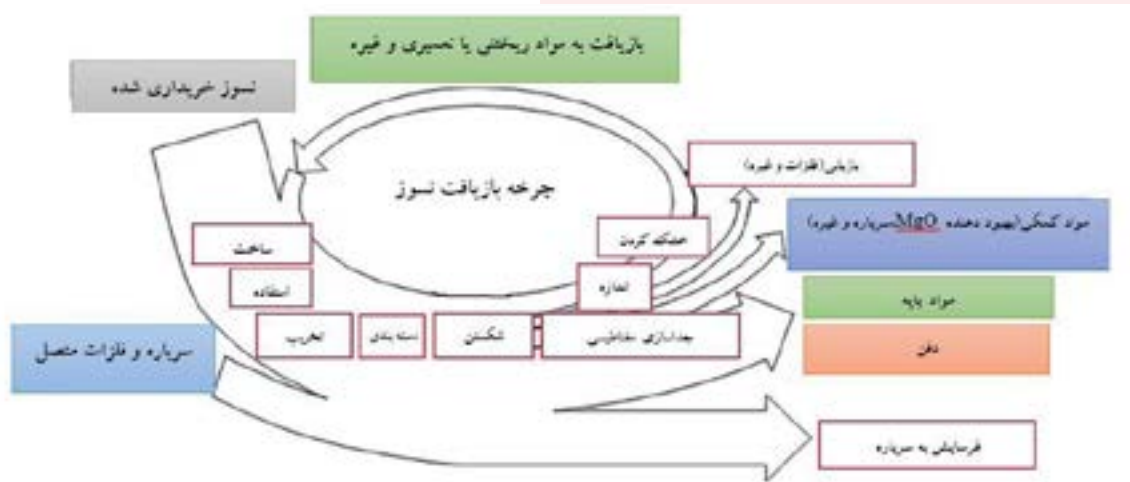


و دفن زباله در خارج از کارخانه فولادسازی و همچنین خرید مواد نسوز جدید وجود دارد. بنابراین ما در این مقاله با استفاده از فناوری‌های بازیافت در حجم بالا به کاربردهای جدیدی از نسوزهای استفاده شده در صنعت، دست پیدا کرده‌ایم.

مقدمه:

در صنعت فولادسازی به طور عمده با توجه به شرایط کاری کوره‌ها (کوره قوس الکتریکی، کوره القایی، کوره بلند و ...) از محصولات نسوز مناسب شرایط مورد نظر استفاده می‌کنند. مواد نسوز پس از طی کردن عمر کاری و از دست دادن توانایی انجام وظیفه خود از محل کاربرد تخریب و خارج می‌شوند. شکل ۱ نمودار بازیافت نسوزها را نشان می‌دهد.

نسوزهای تخریب و خارج شده دسته‌بندی، خرد، جداسازی مغناطیسی، طبقه‌بندی و در صورت لزوم خشک می‌شوند. این مواد در طول فرآیند تا حدودی احیا شده و سپس مجدداً به عنوان مواد نسوز بازیافت یا به عنوان زیر مواد استفاده می‌شوند (به عنوان مثال: فلاکس کنورتر). اگر نسوزهای استفاده شده کیفیت مورد نیاز برای بازیافت به عنوان نسوز یا پشت لایه را نداشته باشند یا بازیافت آن‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد فروخته، یا به عنوان مواد اولیه استفاده یا دفن می‌شوند. با توجه به افزایش حساسیت‌ها و علاقه به رفع مشکلات زیست‌محیطی و قیمت‌های سرسام آور مواد خام نسوز در سال‌های اخیر، شرکت‌های بسیاری برای کاهش حجم دفن زباله‌های نسوز و پیشبرد برنامه‌های بازیافت با بازدهی



شکل ۱. دیاگرام شماتیک روش افزودن نسوز بازیافتی

اقتصادی بالا تلاش نموده‌اند. در این مقاله به شرح ابتکارات جدید در حوزه بازیافت نسوزهای استفاده شده می‌پردازیم.

مسائل مربوط به بازیافت مواد نسوز:

فن آوری‌ها و مسائل رایج در بازیافت مواد نسوز

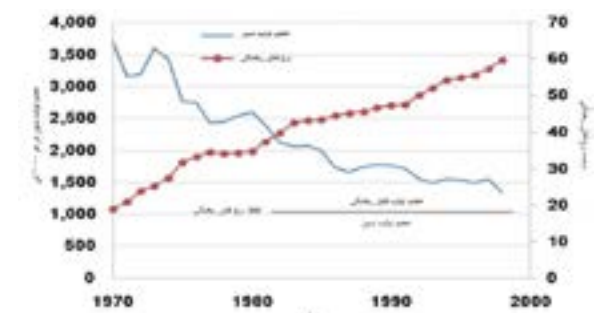
فناوری‌های بازیافت مواد نسوز دورریز در گذشته شامل موارد زیر بودند:

۱- فناوری بازسازی صفحات اسلایدگیت و آجرهای مستعمل
۲- استفاده از مواد نسوز دورریز به عنوان فلاکس‌های تصفیه و افزودن تکه‌های خرد شده آجرهای مستعمل خاص به نسوزهای مونولوتیک و یکپارچه.

با این وجود روش‌های بالا به صورت محدود به کار می‌رفتند و می‌توانستند حداکثر ۲۰ درصد از نسوزهای تولید شده را شامل شوند و از این رو بیشتر نسوزهای باقیمانده دورریز، دفن و یا دفع می‌شدند و هیچگاه به چرخه استفاده مجدد باز نمی‌گشتند.

مسائل جدید در تغییر محیط زیست

در گذشته، بسیاری از نسوزهای بازیافت نشده در محل کارخانه‌های فولادسازی دفن می‌شدند یا به عنوان مواد اولیه استفاده می‌شدند. در دهه ۱۹۹۰، محل‌های دفن زباله در کارخانه‌های فولادی یکی پس از دیگری پر شد. سپس کارخانه‌های فولاد با نیاز کاهش حجم ضایعات نسوز مواجه شدند بنابراین از بازیافت برخی مواد نسوز به سمت بازیافت تمامی انواع ضایعات نسوز تغییر رویه ایجاد شد. شکل ۲ تغییرات در تولید نسوز و نسبت نسوز مونولوتیک را در بین سایر نسوزها نشان می‌دهد.



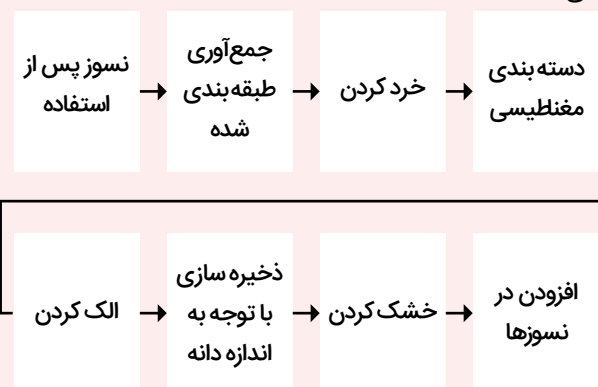
شکل ۲. تغییر در حجم تولید نسوز و نرخ قابل ریختگی

نسوزهای ضایعاتی در صنایع فولادسازی از آجر به نسوز مونولوتیک تبدیل می‌شوند. آجر در پوشش دهی کوره در معرض شرایط عملیاتی شدید و آسیب زننده جدی استفاده می‌شود. بویژه آجرهای دائمی که به عنوان آخرین لایه یا همان لایه ایمنی در برابر نشت مذاب فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ خلوص و عملکرد بالاتری برای مواد اولیه نسوز مورد نیاز است. این راهکارها کاربردهای بازیافت آجرهای مستعمل و سایر مواد نسوز ضایعاتی را به شدت محدود نموده است. برای توسعه بازیافت نسوزهای دورریز، ایجاد فناوری دسته‌بندی نسوزهای مونولوتیک برای بازیافت و فناوری استفاده از مقادیر بیشتری از مواد اولیه نسوز بازیافتی نسبت به گذشته ضروری شد.

فناوری توسعه یافته

فناوری مرتب سازی:

شکل ۳ نمونه‌ای از بازیافت نسوز را در یک کارخانه فولاد نشان می‌دهد.

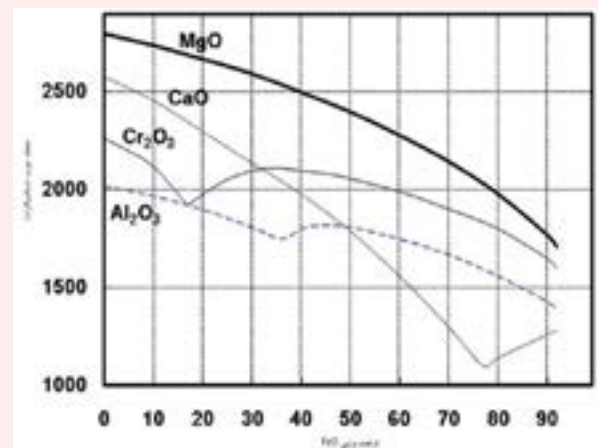


شکل ۳. فلوجارت فرآیند بازیافت نسوز پس از استفاده

نیازها و مشکلات مربوط به فناوری دسته بندی:

نسوزهای مورد استفاده حاوی فلز، سرباره و سایر اجزا، برای نسوزها مضر هستند. برای بازیافت دیرگدازهای استفاده شده به عنوان مواد اولیه نسوز، حذف این ترکیبات مضر ضروری است.

به عنوان نمونه برای نیاز به حذف ترکیبات مضر، رابطه بین مقدار FeO به عنوان یک جزء مضر در ترکیبات و نقطه ذوب جرم نسوز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴).



شکل ۴. ارتباط بین مقدار مخلوط FeO و نقطه ذوب نسوز

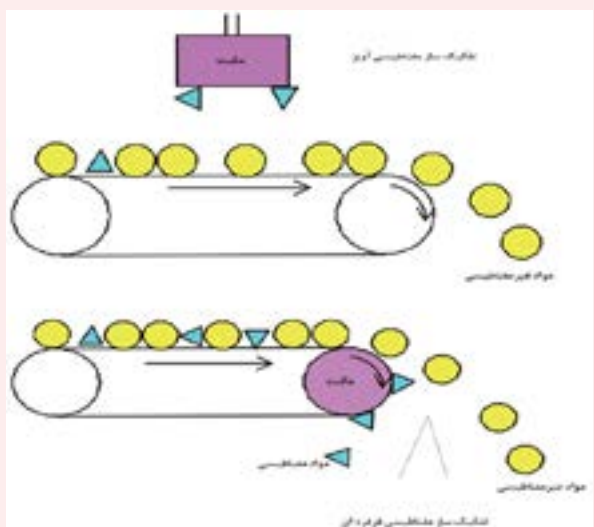
بدیهی است افزایش مقدار FeO، باعث کاهش نسوزندگی می‌شود. علاوه بر این، انبساط حجمی ناشی از اکسیداسیون FeO موجود و همچنین واکنش آن با اجزای سرباره باعث ایجاد ترک و آسیب شدید به دیرگدازها می‌شود.

روش‌های دسته‌بندی رایج عمدتاً شامل جذب و حذف مواد آهنی با آهنربای نصب شده بر روی یک ماشین سنگین یا نوار نقاله و دسته‌بندی چشمی و دستی بود. این روش‌ها قادر به مرتب‌کردن ترکیبات آهن‌دار با مغناطیس ضعیف که در مواد نسوز مخلوط شده نبودند یا فشار کاری سنگینی را بر کارگران بازیافت تحمیل می‌نمودند. نسوزهای مونولوتیک بدون اشکال خاص لازم است جهت فرآیند دسته‌بندی در اندازه‌های مناسب

خرد شوند. بدون در نظر گرفتن اندازه قطعات خرد شده، نسوزهای مورد استفاده حاوی لایه‌های نفوذ نموده FeO، سرباره و سایر ترکیبات مضر هستند. این ترکیبات مضر باید به صورت چشمی از ذرات خرد شده بسیار ریز تفکیک شوند. واضح است که این روش دشوار است. به ویژه ضخامت لایه‌های نفوذ نموده سرباره در نسوزهای مونولوتیک فاقد کربن بیشتر از نسوزهای مونولوتیک حاوی کربن است. این امر حذف ترکیبات مضر را دشوارتر می‌کند. نسوزهای مونولوتیک حاوی کربن با نفوذ سرباره تغییر رنگ کمی دارند و به سختی قابل تفکیک چشمی هستند.

مقدمه‌ای بر جداکننده‌های مغناطیسی قوی

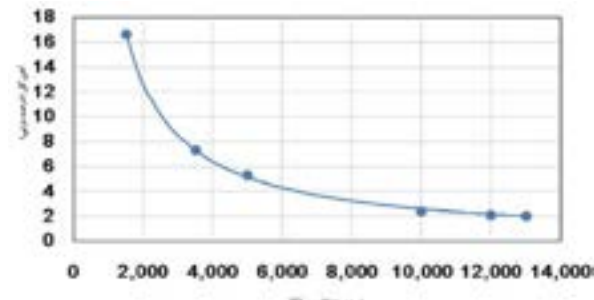
شکل ۵ به صورت شماتیک یک جداکننده مغناطیسی را نشان می‌دهد. دسته‌بندی به روش جداسازی مغناطیسی رایج عمدتاً با تفکیک کننده مغناطیسی آویز نصب شده بر روی نوار نقاله انجام می‌شود. تفکیک‌ساز مغناطیسی معمولی می‌تواند بقایای آهنی و سایر مواد فرومغناطیسی را که بر روی ذرات نسوز دورریز به جا مانده را به طور موثر حذف کند. از آنجا که در این روش فاصله مگنت‌ها از مواد تفکیکی زیاد بود این روش برای جداسازی مواد دارای مقادیر کمی ترکیبات آهنی، سرباره‌های با خاصیت مغناطیسی ضعیف و مواد نسوز مشابه ترکیبی مناسب نبود. با توجه به شرایط توضیح داده شده، یک جداکننده مغناطیسی قرق‌های با حداقل فاصله ممکن از مواد تفکیک‌سازی به کار گرفته شد. این جداکننده مغناطیسی قوی با نیروی مغناطیسی بیش از ۱۰۰۰۰ G برای جداسازی و حذف کامل ذرات مغناطیسی خرد شده به کار گرفته شد. هم اکنون با این روش ذرات خرد و ریز که قابلیت جداسازی چشمی را نداشتند با این میدان بالای مغناطیسی ایجاد شده جداسازی می‌شوند.



شکل ۵- تصویر شماتیک جداکننده مغناطیسی

نسوز ضایعاتی بدون کربن با محتوای ناخالصی نسبتاً بالا خرد شده، به ذرات ۵ تا ۱۰ میلی‌متری تقسیم شده و به صورت مغناطیسی دسته‌بندی شد. نتایج این فرایند در شکل ۶ نشان داده شده است. جداسازی مغناطیسی با نیروی مغناطیسی

بیش از ۱۰۰۰۰ G می‌تواند کل مقدار آهن از جمله اکسیدها و ترکیبات آهن را به سطح پایین تا حدود ۲ درصد وزنی کاهش دهد.

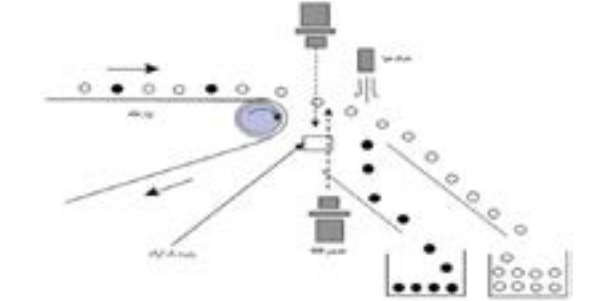


شکل ۶. رابطه بین نیروی مغناطیسی و مقدار کل آهن در نسوز

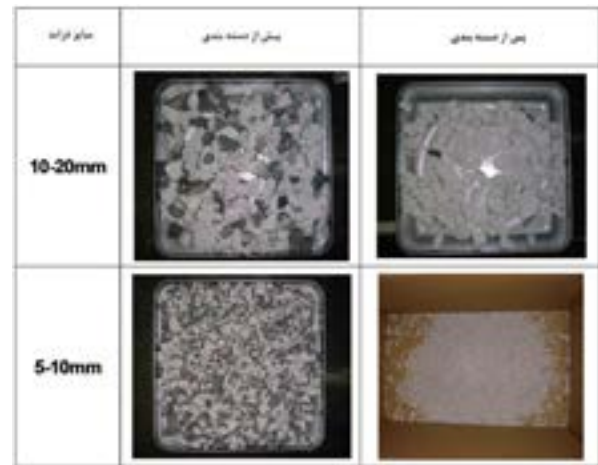
استفاده از یک تفکیک‌ساز مغناطیسی آویز به همراه تفکیک‌ساز مغناطیسی قرق‌های روش موثری بوده و توصیه می‌شود. در ابتدا اسکلتهای آهنی و سایر مواد فرومغناطیس توسط تفکیک‌ساز آویز مغناطیسی که ظرفیت جداسازی بالایی دارد، جدا می‌شوند. در مرحله بعدی موادی که میزان مغناطیسه پایینی دارند توسط تفکیک‌ساز مغناطیسی قرق‌های با دقت بالایی دسته‌بندی می‌شوند.

تفکیک‌سازی از طریق رنگ

علاوه بر تفکیک‌سازهای مغناطیسی بالا که پیش از این ذکر شد، تفکیک‌سازهایی که از طریق رنگ ظاهری عمل جداسازی را انجام می‌دهند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تفکیک‌سازها جداسازی را در ترکیبات غیرمغناطیسی سرباره مضر غیرمغناطیسی از ذرات نسوز بدون محتوی کربن که به محض نفوذ ناخالصی تغییر رنگ می‌دهند، انجام می‌دهند. شکل ۷ یک تصویر شماتیک دسته‌بندی از طریق رنگ ظاهری را نشان می‌دهد. ذرات نسوز قبل و بعد از دسته‌بندی رنگی در شکل ۸ نشان داده شده است. تفکیک‌ساز رنگی عمدتاً برای ذرات نسوز مونولوتیک غیرکربنی در نظر گرفته شده است و تنظیمات اولیه آن برحسب زمینه رنگ ذرات نسوز استفاده نشده، تنظیم شده است. تغییر رنگ ذرات نسوز در اثر نفوذ سرباره با دوربین CCD مشخص می‌شود. ذرات نسوز غیر منطبق با هوا از طریق یک تفنگ هوا، دمیده می‌شوند تا فاصله بالا رفتن آن‌ها تغییر کند و دسته‌بندی می‌شوند. این روش؛ امکان دسته‌بندی با گریدهای بالا برای بازیافت مواد نسوزی که تحت نفوذ سرباره قرارنگرفته‌اند را بهتر از آن‌هایی که تحت نفوذ قرار گرفته‌اند، فراهم می‌سازد.



شکل ۷- تصویر شماتیک فرآیند دسته بندی بر اساس رنگ ظاهری

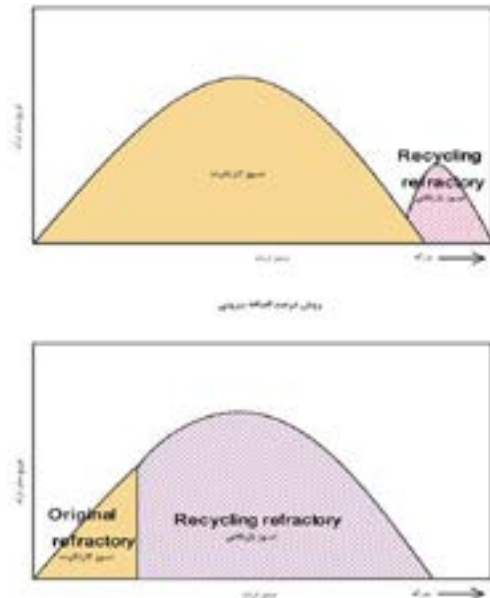


شکل ۸- باز یافت مواد نسوز قبل و بعد از فرآیند دسته‌بندی بر اساس رنگ ظاهری

در روش دسته‌بندی رنگی؛ برخی تفنگ‌های هوا، توان کافی برای دمیدن ذرات بزرگ را ندارند و در نتیجه دقت دسته‌بندی کاهش می‌یابد. در چنین حالتی لازم است که با توجه به گرید مورد نیاز نسوز توان دسته‌بندی ست شود و یا مواد باز یافتی مجدداً خرد شده و دوباره در سیکل فرآیند باز یافت قرار بگیرند. در مطالب بالا به تشریح روش‌های دسته‌بندی و حذف اجزای مضر مخلوط شده در ذرات نسوز ضایعاتی و باز یافت مواد نسوز باز یافتی با کیفیت خوب پرداختیم. طبیعتاً چنانچه حد آستانه مواد نسوز خیلی با کیفیت و درجه بالا تعیین شود میزان استفاده از مواد باز یافتی کاهش می‌یابد. بنابراین تغییر آستانه دسته‌بندی برای برآورده‌سازی کاربردهای نسوز که بعداً توضیح داده می‌شود و برنامه‌ریزی و مدیریت برنامه‌هایی برای تولید مواد نسوز باز یافتی با گرید مورد نظر مهم است.

فناوری استفاده از حجم انبوه مواد نسوز باز یافتی

با فناوری رایج برای افزودن مقدار زیادی از مواد خام نسوز باز یافتی به دیرگدازهای مونولوتیک، مواد نسوز باز یافتی خارج از رنج حداکثری اندازه ذرات به نسوز اصلی اضافه می‌شود (شکل ۹). این روش عموماً درصد اضافه بیرونی نامیده می‌شود.



شکل ۹- شماتیک دیاگرام روش افزودن نسوز باز یافتی

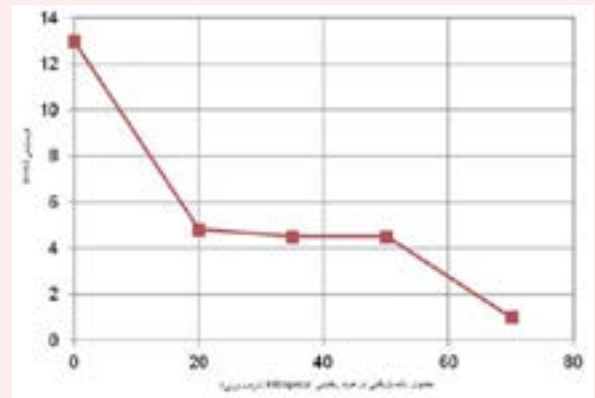
این روش دارای یک محدوده بالایی برای مقدار مواد نسوز باز یافتی بود که بر اساس گرید به آن اضافه می‌شد به طوری‌که ظرفیت پکینگ نسوز اصلی را حفظ کند. بنابراین استفاده از حجم‌های زیاد مواد اولیه نسوز باز یافتی خارج از محدوده و مشکل‌ساز بود. همچنین با توجه اینکه اندازه ذرات قابل استفاده محدود به حداکثر رنج اندازه ذرات و روش نصب نسوز محدود به فرایند ریخته‌گری بود، کاربردها به شدت محدود می‌شد. به عبارت دیگر تکنولوژی استفاده از مقدار بیشتری از مواد اولیه نسوز باز یافتی در بازه اندازه ذرات و در عین حال در نظر گرفتن همزمان خواص دیرگدازهای مونولوتیک مورد نیاز بود.

به همین دلیل، روش اضافه نمودن بیرونی برای افزایش استفاده از مواد اولیه نسوز باز یافتی ابداع شد. بر اساس این روش، مواد اولیه دیرگداز باز یافتی با رجوع به بازه اندازه ذرات مناسب به عنوان یک شاخص در کسرهایی با نسبت خاص از دیرگداز مونولوتیک اضافه می‌شود و بازه اندازه ذرات مناسب با استفاده از مواد اولیه ضایعاتی به دست می‌آید. روش اضافه نمودن بیرونی می‌تواند از مواد اولیه نسوز باز یافتی نه تنها برای نسوزهای ریخته‌گری، بلکه برای سایر دیرگدازهای مونولوتیک مانند نسوزهای تعمیر گانینگ و ماله‌کشی مورد استفاده قرار گیرد. کاربردهای مواد اولیه نسوز باز یافتی به طور قابل توجهی با روش اضافه نمودن بیرونی توسعه یافته است.

توسعه کاربردهای نسوز باز یافتی

با گسترش دامنه کاربرد مواد اولیه نسوز باز یافتی، این مواد در بین نسوزهای مورد استفاده برای باز یافت گنجانده شده و به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نگرانی که به تدریج غلظت مواد مضر در مواد اولیه نسوز بالا رود وجود دارد و این روش به عنوان روشی با کیفیت درجه دو در باز یافت مواد نسوز محسوب می‌شد.

مواد اولیه نسوز باز یافتی بر اساس محدوده‌های کاربرد به دو دسته نسوزهای با گرید بالا، متوسط و گرید پایین طبقه‌بندی می‌شوند. مواد اولیه نسوز باز یافتی به صورت متوالی اضافه شده و به عنوان نسوزهای گرید بالا، متوسط و پایین استفاده می‌شوند. شکل ۱۰ ارتباط بین مقدار اضافه شدن مواد اولیه نسوز باز یافتی و دوام دیرگدازهای ساخته شده با استفاده از نسوز باز یافتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- رابطه بین مقدار افزوده شده نسوز باز یافتی و مقاومت جرم ریختنی

هنگامی که ذرات خرد شده آجرهای صفحه اسلاید گیت ضایعاتی به عنوان مواد اولیه نسوز باز یافتی با گرید بالا به دیرگدازهای مونولوتیک تشکیل شده از مواد اولیه گرید متوسط اضافه شدند، دوام دیرگدازهای مونولوتیک حاصل بهبود یافته و عمر عملیاتی آن‌ها بیش از ۲۰ درصد در مقایسه با حالت قبل بهبود یافته است.

نسوزهای گرید پایین برای استفاده به عنوان مواد گانینگ تعمیری در نظر گرفته شده‌اند و به میزان روزافزونی در این کاربرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماشین‌آلات اختصاصی همچون خمیرسازهای پیوسته مواد اولیه نسوز باز یافتی را جهت آسان‌تر نمودن فرآیند توسعه داده شده‌اند.

یک کاربرد جدید برای مواد اولیه نسوز باز یافتی به عنوان محافظ برای آجرکوره‌های پیش‌گرم نورد گرم توسعه داده می‌شود. در گذشته، هنگامی که پوسته ساخته شده به آجر کوره‌های گرمایش مجدد نفوذ می‌کرد و به آن‌ها می‌چسبید، باید همراه با آجرهای کوره پیش‌گرم جدا می‌شد. یک ماده اولیه نسوز باز یافتی با ترکیب اندازه ذرات مناسب به عنوان محافظ روی آجرهای کوره پیش‌گرم پوشش داده شده است. این کاربرد زحمات برداشتن و هزینه تعمیر آجرهای کوره را به شدت کاهش داد.

امروزه، فناوری باز یافت الیاف سرامیکی که اغلب در تجهیزات با دوام طولانی مانند کوره‌های پیش‌گرم نورد گرم استفاده می‌شوند، توسعه یافته است. الیاف سرامیکی ضایعاتی با نسوزهای ضایعاتی که تاکنون توضیح داده شده است متفاوت است. به دلیل چگالی کم آن‌ها؛ کار و هزینه زیادی برای مرتب‌سازی آنها مورد نیاز است. هنگامی که الیاف سرامیکی مورد استفاده از حالت الیافی رشته‌ای خارج می‌شوند، می‌توان آن‌ها را باز یافت کرد.

نتیجه‌گیری:

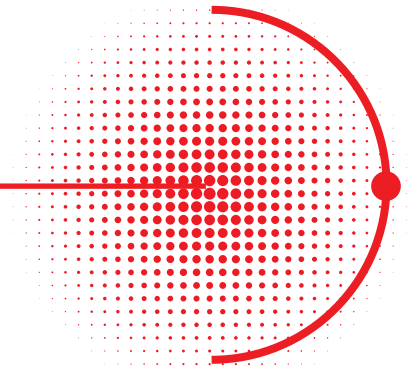
خلاصه مطالب و چشم‌اندازهای آینده باز یافت مواد نسوز

تولید آجر و مواد نسوز به شدت به مواد خام با کیفیت بالا وابسته است. موادی که تامین بسیاری از آن‌ها بدلیل کمبود منابع در دسترس و همچنین تحت انحصار بودن آن‌ها به طور فزآینده‌ای دشوار می‌شود و هم زمان قیمت‌ها نیز در حال افزایش است. این در حالی است که سالانه بالغ بر ۲۸ میلیون تن نسوز ضایعاتی تولید می‌شوند که تنها بخش کوچکی از آن باز یافت می‌شود. آجر و مواد نسوز باز یافتی تنها در دو دهه گذشته شروع به توسعه کرده و در ابتدا بیشتر بر کاهش ضایعات و هزینه‌های مربوط به دفن ضایعات متمرکز بود. در ۱۰ سال گذشته، باز یافت با ارزش بالا در آجر و مواد نسوز جدید به دلیل مزایای بالقوه اقتصادی (مواد اولیه ارزان‌تر، هزینه‌های تصفیه کمتر) و زیست محیطی (تقاضای انرژی کمتر و انتشار CO2 در مقایسه با مواد اولیه) مورد توجه قرار گرفته است. امکان سنجی فنی درست و دقیق، استفاده مجدد برای بسیاری از انواع آجر و مواد نسوز را ثابت کرده است، اما تاکنون فقط

برای تعداد بسیار محدودی از مواد مانند MgO-C به طور گسترده استفاده شده است. یکی از موانع اصلی، تضمین کیفیت بخش‌های باز یافتی است که به شدت با دسته‌بندی صحیح آجر و مواد نسوز مصرف‌شده مرتبط است. این امر به طور موثر مقدار کسری‌های به خوبی طبقه‌بندی شده موجود در بازار را محدود می‌کند و نگرش نگران‌کننده‌ای را از خریداران احتمالی القا می‌کند. پیشرفت‌های فنی و در دسترس بودن آجر و مواد نسوز باز یافتی رو به افزایش است، اما نیازمند توسعه و سرمایه‌گذاری بیشتر است. در عین حال، تولیدکنندگان آجر و مواد نسوز و باز یافت‌کنندگان باید با یکدیگر همکاری کنند تا فرمول‌های جدیدی برای محصولات نسوز بر اساس مواد باز یافتی ایجاد کنند. مصرف‌کنندگان نهایی نسوز نیز باید مایل به پذیرش نسوزهای تولید شده با مواد باز یافتی باشند که این امر مستلزم تغییر در طرز فکر است. حتی در این صورت، برخی از انواع دیرگدازها به دلیل مسائل فنی (مانند هیدراتاسیون) یا ارزش کم (مانند شاموت) مستقل از کیفیت کسر تفکیک شده احتمالاً برای باز یافت در دیرگدازها نامناسب خواهند ماند. برای بهبود اقتصاد کلی فرآیند باز یافت و بهینه‌سازی تعادل مواد، چنین موادی همچنان باید در کاربردهای خارج از صنعت تولید نسوز مانند سنگدانه‌های بستر جاده یا کمک ذوب‌ها استفاده شوند. با این حال، چالش این است که این را فقط به آن دسته از دیرگدازهایی محدود کنیم که پتانسیل باز یافت با ارزش بالایی ندارند. در حالی که همه این‌ها مشهود نیست، وضعیت فعلی در اروپا انگیزه‌های قوی برای صنعت فراهم می‌کند. تحولات اخیر در بازار، با افزایش هزینه‌ها و نوسانات قیمت مواد خام، صنعت اروپا را از وابستگی شدید به واردات و خطرات بالقوه عرضه آگاه کرده است. اهمیت دسترسی به مواد خام توسط اروپا نیز به رسمیت شناخته شده است و در سال ۲۰۰۸ کمیسیون اروپا ابتکار مواد خام را تصویب کرد که بر سه پایه استوار است، یکی از آن‌ها دستیابی به بهره‌وری منابع و تامین مواد خام ثانویه از طریق باز یافت است. این موارد و سایر اقدامات سیاستی مرتبط، تحقیقات و نوآوری را در زمینه باز یافت مواد خام به طور کلی تقویت می‌کند و به طور خاص فرصتی عالی برای توسعه بیشتر باز یافت مواد نسوز است.

منابع:

- 1 - Imagawa, H.: Taikabutsu. 68 (9), 441-445 (2016)
- 2 - Kuwabara, A., Miki, T., Kawamura, T., Fushimi, T.: Taikabutsu. 47 (7), 348-352 (1995)
- 3 - Imai, K., Takada, T.: Taikabutsu. 45 (3), 136 (2005)
- 4 - Nakatsubo, S., Amano, H., Tateishi, T., Shinkai, M.: Bull. Iron Steel Inst. Jpn. 1 (5), 367-370 (1996)
- 5 - Okubo, K., Mishima, T., Koga, N.: Taikabutsu. 57 (10), 533-536 (2005)
- 6 - Yamato, T.: Taikabutsu. 63 (9), 426-434 (2011)
- 7 - <http://imformed.com>



تلاش RHI برای کاهش انتشار CO₂ اروپا از طریق پروژه تحقیقاتی ReSoURCE

مجریان این پروژه تحقیقاتی که در چارچوب برنامه افق اروپا (HORIZON) و با بودجه کل ۸٫۵ میلیون یورو است؛ قصد دارند از طریق فرآیند بازیافت در صنعت نسوز، انتشار CO₂ از صنعت دیرگداز را تا ۸۰۰ هزار تن در سال کاهش دهند. این یک تلاش چالش برانگیز است که هشت شریک تحقیقاتی تحت رهبری غول جهانی نسوز RHI به کمک فناوری‌های پیشرفته و ترکیبی از دانش زمین‌شناسی، فناوری لیزر و تصویربرداری فراطیفی انجام داده‌اند.



استفان بورگاس، مدیر عامل RHI می‌گوید بطور متوسط، ۶۰ درصد از کل نسوز تولید شده به محل دفن زباله می‌رود و تنها ۳۰ درصد بازیافت می‌شود. با پروژه ReSoURCE، هدف ما افزایش آن تا ۷۵٪ است. این بدان معناست که ما می‌توانیم به کاهش انتشار قابل توجه CO₂ در سال دست یابیم. ما این شانس را داریم که در جهان تغییر ایجاد کنیم.

این اولین بار است که این شرکت بین المللی با ۱۲۰۰۰ کارمند یک پروژه تحقیقاتی با بودجه اتحادیه اروپا را رهبری می‌کند. مدیر این پروژه می‌گوید در حال حاضر مشغول تهیه نمونه‌هایی از نسوزهای استفاده شده در صنایع فولاد و سیمان هستیم. نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش به آلمان و نروژ ارسال می‌شود.

هدف پروژه ReSoURCE طراحی و ابداع یک سیستم مبتنی بر حسگرها برای تفکیک ضایعات نسوز است. اگر پروژه موفقیت آمیز باشد؛ بازیافت مواد نسوز از برآورد فعلی ۷ تا ۳۰ درصد به ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. این میزان بهره‌وری؛ با توجه به تولید حدود ۲۸ میلیون تن نسوز در سال، مزایای زیست محیطی و اجتماعی قابل توجه خواهد داشت.

مهم‌ترین رویدادها در عرصه مواد دیرگداز و صنایع مرتبط

گردآورنده: بهزاد امین پور؛ مشاور بازاریابی و خدمات مهندسی فروش

POSCO از طرح HyREX رونمائی کرد

شرکت کره‌ای POSCO با رونمائی از طرح احیا فولاد با هیدروژن HyREX (Hydrogen Reduction)؛ اولین گام را در نقشه راه «۲۰۵۰ بدون کربن» برداشت. این شرکت در تاریخ ۲۶ ژوئیه یک قرارداد تجاری برای همکاری فناوری مهندسی فولادسازی به روش احیای هیدروژن، با شرکت بریتانیایی Primetals امضا کرد.

کی‌سوکیم، رئیس مرکز تحقیق و توسعه فرآیند کاهش کربن POSCO گفت: «همکاری در بخش‌های صنعتی سازگار با محیط‌زیست؛ مانند مواد خام، مهندسی و توسعه فناوری احیای فولاد با هیدروژن مهم است. امیدوارم شاهد توسعه فناوری خلاقانه و موفق بر اساس فناوری‌های هر دو شرکت باشیم.»



POSCO قصد دارد به‌منظور کاهش تولید کربن؛ تا سال ۲۰۵۰ از طریق فناوری HyREX، به یک مدل منحصر به فرد احیای فولاد با هیدروژن دست یابد. همکاری با Primetals در قالب تاسیسات مشترک FINEX و احداث کوره‌بلند با تکنولوژی فوق نیز در همین راستاست.

احیای فولاد با هیدروژن؛ فناوری است که از ۱۰۰٪ هیدروژن برای تولید آهن به روش احیا مستقیم (DRI) استفاده می‌کند. محصول بدست آمده در کوره قوس الکتریکی ذوب و به فولاد تبدیل می‌شود. از آنجایی که در فرآیند؛ انتشار کربن وجود ندارد، لذا این روش راه حل موثری برای کاهش کربن در صنعت فولاد است. POSCO در حال حاضر از گاز احیا کننده حاوی ۲۵٪ هیدروژن در تاسیسات FINEX استفاده می‌کند.

FINEX اولین فناوری نوآورانه در جهان است که POSCO در سال ۲۰۰۷ موفق به تجاری‌سازی آن شد. در این روش از سنگ آهن و زغال سنگ؛ به صورت پودر و بدون فرآیند پخت و کک‌سازی و صرفاً با کلوخه‌سازی، استفاده می‌کند. در این روش

می‌توان از ریزدانه‌های نسبتاً کم عیار سنگ معدن استفاده نمود که انتظار می‌رود از نظر هزینه تولید رقابتی باشد.

تولید و نصب قطعه پیش ساخته ۱۲ تنی توسط Insertec برای کوره ریورب

شرکت INSERTEC برای دومین بار یک قطعه پیش ساخته بزرگ (۱۲ تنی) جهت دیوار جداکننده بین محفظه اصلی و کانال خوراک کوره ریورب را با فناوری SIFCA تولید و نصب کرد. این فناوری راه حلی برای مشکل سایش زود هنگام ناشی از فرسایش و شکستگی دیوار ارائه کرده است که به طور قابل توجهی بر بهره‌وری انرژی کوره تأثیر و زمان تعمیر و تعویض را کوتاه‌تر کرده است.

ویژگی‌های SIFCA به حفظ هندسه و ابعاد کانال برای مدت طولانی، مقاومت در برابر ضربه و شوک حرارتی کمک می‌کند.



دومین نیروگاه DRI مبتنی بر هیدروژن در چین نصب می‌شود
شرکت ایتالیایی Danieli اعلام کرد که یک واحد احیا مستقیم مبتنی بر هیدروژن Energiron® (DRI) به فولادساز چینی به نام Baosteel Zhanjiang Iron & Steel عرضه خواهد کرد. این کارخانه که دومین واحد احیا مستقیم مبتنی بر هیدروژن در چین خواهد بود، قرار است در یک منطقه اقتصادی و فناوری در استان گوانگدونگ نصب شود. اولین واحد از این نوع در سال ۲۰۲۰ توسط شرکت ایتالیایی Tenova در چین نصب شد. کارخانه‌ای که قرار است تا ابتدای سال ۲۰۲۴ راه اندازی شود؛ بزرگترین کارخانه DRI مبتنی بر هیدروژن در چین و جهان خواهد بود که با استفاده از گاز طبیعی، گازکوره، کک و هیدروژن؛ سالانه یک میلیون تن DRI تولید خواهد کرد. فناوری استفاده از هیدروژن نقش بسیار مهمی در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن دارد.

ارسال اولین محموله از محصولات آلومینا گرافیت Krosaki تولید شده در بلپهار

شرکت Krosaki بالاخره توانست در ژوئیه ۲۰۲۲ اولین سری از محصولات دیرگداز آلومینا گرافیت تولید شده در کارخانه بلپهار، هند را ارسال کند.

این مرکز تولید پیشرفته مواد نسوز گرافیت آلومینا را در بلپهار هند در مارس ۲۰۲۲ راه‌اندازی کرد. این کارخانه



قادر است تا دیرگدازهای مورد مصرف در واحدهای ریخته‌گری پیوسته را طبق بالاترین استانداردهای جهانی برای کارخانه‌های فولاد در هند و خارج از آن تولید کند.

همایش بین‌المللی و فنی

Seven Refractories در استانبول

پس از دو سال محدودیت سفر و فاصله‌گذاری اجتماعی، Seven Refractories بار دیگر برای اولین بار پس از سال ۲۰۲۰ یک نشست بزرگ بین‌المللی در ۱۵ و ۱۶ ژوئن ۲۰۲۲ برگزار کرد.

استقبال و حضور فشرده در این جلسه؛ حاکی از علاقه شدید شرکت کنندگان از بعد فنی و مدیریتی بود.



رومن چگloff، معاون مهندسی و فروش Seven Refractories می‌گوید: هر چند ابزارهای کنفرانس ویدیویی پیشرفته شده‌اند؛ لیکن هنوز تبادل ایده‌های جدید و بحث در مورد نوآوری‌های فنی پیشگامانه یا چالش‌های بزرگ؛ بصورت رو در رو، بهترین نتیجه را دارد. پیشرفت‌های فن‌آوری جدید، چالش‌های کاربردی در صنایع مختلف و راه‌حل‌های سازگار با محیط‌زیست؛ محورهای اصلی بحث‌ها بود. بیش از ۶۰ مدیر عامل، تکنسین‌ها و متخصصان تحقیق و توسعه و همچنین شرکای تجاری از ۱۸ ملیت و ۴۰ مکان در این رویداد دو روزه شرکت کردند.

نصب آسترروی کوره دوار سیمان سیمان Kant

شرکت سیمان کانت تحت پوشش گروه سیمان یونایتد (UCG) به منظور کاهش اتلاف انرژی و بهبود کارایی کوره اقدام به نصب آستر روی کوره دوار نموده است. تولید کننده انتظار دارد که آستر دمای کوره خود را ۱۰۰ درجه سانتیگراد افزایش دهد. لاینینگ اصلی کوره از آجرهای RMAG-H2 مقاوم به سایش و آجرهای نسوز HALBOR-400 تشکیل شده است. UCG معتقد است بهره‌وری و صرفه‌جویی در انرژی از مهمترین عوامل برای صرفه‌جویی و اجرای موفقیت‌آمیز اصلاحات زیست‌محیطی هستند.

سرمایه‌گذاری مشترک SEFPRO با Anhui

شرکت Refractory Technology Sino که با نام AFR نیز شناخته می‌شود؛ یک شرکت جوان است که اوایل سال ۲۰۱۶ در استان آنهویی چین تاسیس شده و دیرگدازهای فیوزدکست با کارایی بالا را برای صنعت شیشه تولید می‌کند. دیرگدازهای



فیوزدکست از مصالح ضروری برای کوره‌های شیشه هستند که قادر به مقاومت در برابر شرایط شدید مانند دمای بالا، محیط خورنده و جریان مذاب شیشه هستند. در ماه ژوئن سال جاری این شرکت با SEFPRO اقدام به سرمایه گذاری مشترک بصورت (Joint Venture) نمود.

شرکت SEFPRO از سال ۱۹۹۱ در پکن دارای یک کارخانه نسوز فیوزدکست بوده که در زمینه تامین نیاز تولیدکنندگان شیشه برای پیل‌های خورشیدی، شیشه جام و ظروف و شیشه‌های نمایشگر و تخصصی فعالیت می‌کند. به گفته معاون SEFPRO هدف از این مشارکت حمایت از رشد صنعت شیشه چین و ارائه محصولات با کارایی و قیمت بالا به بازار شیشه در حال رشد چین است.

شرکت معروف SEFPRO تنها گروه نسوز در سراسر جهان است که به طور کامل برای ارائه محصولات نسوز درجه یک به طور خاص برای تولید کنندگان شیشه طراحی شده است. این شرکت به مدت نزدیک به یک قرن، نقش کلیدی در ارتقاء مواد نسوز صنعت شیشه ایفا کرده است.

RHI Magnesita پیشتاز پروژه بازیافت در اتحادیه اروپا

شرکت RHI برای اولین بار پروژه‌ای را تحت عنوان «افق اتحادیه اروپا» هدایت می‌کند. این پروژه ۴ ساله با نام

ReSoURCE (Refractory Sorting Using Revolutionising Classification Equipment)

از ژوئن ۲۰۲۲ شروع می‌شود. فناوری اصلی این پروژه مبتنی بر ایجاد زنجیره کامل بازیافت مواد نسوز با تجهیزات جداسازی مجهز به حسگرهای چندگانه متکی به هوش مصنوعی است. نظارت مستمر بر مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی از طریق ارزیابی فنی و اقتصادی و چرخه حیات؛ تضمین کننده زنجیره ارزش بازیافت نسوز است.

کسب جایزه مسئولیت اجتماعی طاووس طلائی، توسط شرکت TRL Krosaki

شرکت کوروساکی هند برای سال ۲۰۲۱ جایزه ارزشمند طاووس طلایی مسئولیت اجتماعی (Corporate Social Responsibility) را دریافت کرد. این جایزه بخاطر فعالیت‌های مسئولیت اجتماعی در رده صنایع نسوز توسط وزیر امور پارلمانی و فرهنگ دولت هند به این

شرکت اعطا شده است. شرکت کوروساکی با بیش از ۵۵ سال تجربه؛ پیشگام CSR در صنعت نسوز هند است.

سیمان هایدلبرگ تا سال ۲۰۳۰ انتشار دی اکسید کربن را ۳۰ درصد کاهش می دهد

مدیران ارشد این شرکت می گویند ما به طور قابل توجهی مقررات سختگیرانه خود را در ارتباط با مسائل آب و هوایی اعمال می کنیم. با کاهش انتشار CO₂ به ۴۰۰ کیلوگرم به ازاء تولید هر تن سیمان تا سال ۲۰۳۰، ما بلندپروازانه ترین هدف را در این بخش تعریف کرده ایم. این هدف با کاهش ۴۷ درصدی نسبت به سال ۱۹۹۰ مطابقت دارد. در مقایسه با سال ۲۰۲۱، این شرکت قصد دارد بیش از ۳۰٪ از میزان انتشار CO₂ بکاهد.

CCUS (CO₂ Capture, Utilization, and Storage) (جذب، بکارگیری و انبارش CO₂) جزء مهمی از استراتژی آب و هوایی سیمان هایدلبرگ است. این شرکت قصد دارد تا سال ۲۰۳۰ در مجموع ۱۰ میلیون تن CO₂ را کاهش دهد.

تولید شیشه تخت با آلایندگی کربن صفر برای اولین بار در جهان توسط Saint-Gobain

این دستاورد فناوری در ماه مه گذشته با استفاده از ۱۰۰٪ شیشه بازیافت شده و ۱۰۰٪ انرژی سبز، تولید شده از بیوگاز و الکتریسیته غیر فسیلی به دست آمد. این طرح به مدت یک هفته در کارخانه تولید شیشه تخت Saint-Gobain در شمال فرانسه اجرا شد.

تمرکز بر روی بازیافت و استفاده ۱۰۰٪ از شیشه خرده ضایعاتی قرار گرفت. تیم‌های صنعتی و تحقیقاتی گروه موفق شدند تمام پارامترهای فنی کوره را با این چالش دوگانه کار با ۱۰۰٪ مواد بازیافتی و بیوگاز تنظیم کنند و در عین حال از کیفیت نوری مناسب شیشه اطمینان حاصل کنند.

Saint-Gobain برای دستیابی به تولید بدون کربن تا سال ۲۰۵۰ متعهد است.

توقف تولید بوکسیت دیان دیان روسال به دلیل اعتصاب

۲۷ مه ۲۰۲۲ کارگران معدن بوکسیت گینه؛ متعلق به شرکت غول پیکر آلومینیوم روسیه COBAD (Rusal's Dian Dian) روز دست به اعتصاب زدند. رهبر اتحادیه کارگران در تماس تلفنی گفت که کارگران کوباد خواستار شرایط کاری بهتر و افزایش حقوق هستند و تا زمانی که خواسته‌هایشان برآورده نشود، کار را متوقف خواهند کرد. سخنگوی روسال از بیان جزئیات و دلایل اعتصاب خودداری کرد.

گینه با تولید ۸۳ میلیون تن بوکسیت در سال ۲۰۲۱ دومین تولیدکننده بزرگ بوکسیت در جهان و تامین کننده اصلی بوکسیت چین است. بر اساس گزارش وزارت معادن، COBAD در سال گذشته ۳/۵۹ میلیون تن و شرکت دیگر متعلق به Rusal در گینه؛ Kindia ۲/۶۵ میلیون تن بوکسیت تولید کرد. در ماه مارس COBAD صادرات بوکسیت از گینه را بعلت حمله روسیه به اوکراین و اختلال در زنجیره تامین؛ بمدت یک ماه

متوقف کرد. رهبر اتحادیه اعلام کرد که اعتصاب در شعبه Rusal (COBAD) در در ۶ ژوئن ۲۰۲۲ پایان یافته است.

افتتاح کارخانه جدید شرکت فرآورده‌های نسوز ایران (ایرفکو)

۶ اردیبهشت ۱۴۰۱ کارخانه دولومیت کلسینه نهاوند با حضور وزیر کار و رفاه اجتماعی افتتاح شد.

به گزارش روابط عمومی شرکت فرآورده‌های نسوز ایران، در مراسمی با حضور وزیر و معاون وزیر تعاون، کار و رفاه اجتماعی، مدیرعامل تاسیکو، مدیرعامل شستا، مدیرعامل شرکت فرآورده‌های نسوز ایران، نماینده مردم نهاوند در مجلس شورای اسلامی و فرماندار نهاوند؛ کارخانه دولومیت کلسینه آغاز به کار کرد.

این پروژه که در فروردین ۱۴۰۰ آغاز شد و در فروردین ۱۴۰۱ به پایان رسید قادر به تولید ۳۳ هزار تن دولومیت کلسینه شده با آخرین تکنولوژی و اتوماسیون خواهد بود. بر اساس گزارش‌ها، عملیات ساخت این واحد تولیدی با سرمایه‌گذاری ۱۲۰ میلیارد تومانی از فروردین ماه سال گذشته آغاز شده و امروز با ظرفیت تولید سالانه ۳۳ هزار تن دولومیت کلسینه شده، برای ۴۰ نفر اشتغال ایجاد شده است. به گزارش روابط عمومی شرکت فرآورده‌های نسوز ایران، میزان درآمد حاصل از راه‌اندازی کارخانه کلسینه نهاوند در استان همدان حدود ۳۰۰ میلیارد ریال است. محصولات این کارخانه کشورهای دیگر مانند عراق و ترکیه دارای مشتری بوده و می‌تواند در این فاز حدود ۵۰۰ هزار دلار ارز ایجاد کند.

Thyssenkrupp در تلاش برای کاهش آلودگی کربن

هیدروژن پتانسیل زیادی برای تامین پایدار انرژی سبز و حذف کربن در صنعت دارد. تولیدکنندگان اروپایی منتشرکننده CO₂ بطور فزاینده‌ای با چالش حذف یارانه مواجه هستند. بسیاری از مشتریان Thyssenkrupp در حال حاضر به دنبال راه‌هایی

همایش های جهانی دیر گداز

عنوان همایش	زمان	مکان
ANKIROS ANNOFER TURKCAST 2022	6 – 8 October 2022	Tuyap Fairand Convention Center, Istanbul, Turkey
The 74th World Foundry Congress2022	16 – 20 October 2022	BEXCO, Busan, Republic Korea
Fluorine Forum2022	17 – 19 October 2022	Hanoi, VN
ALAFAR 2020 conference	7 – 11 November 2022	Fozdolguacu, Brazil
AISTech 2023	8 – 11 May 2023	Detroit / US
GIFA – METEC – THERMPROCESS – NEWCAST	12 – 15 June 2023	Dusseldorf / DE

منابع :

- 1- REFRACTORIES WORLD FORUM
- 2- THE ECONOMIC TIMESRLD FORUM
- 3- REFRACTORIES WINDOW
- 4- SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMMR

برای کاهش انتشار و یا جذب CO₂ هستند. واحدهای بزرگ مانند تولیدکنندگان آهک، منیزیت و دولومیت (سنگ‌های کربناته)؛ تنها با استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌توانند انتشار CO₂ خود را کاهش دهند. اگر هیدروژن از منابع تجدیدپذیر به دست آید یا به عنوان یک محصول جانبی در فرآیندهای دیگر تولید شود، می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد. علیرغم این واقعیت که هیدروژن ۱۰۰٪ سبز هنوز در دسترس نیست، لیکن Thyssenkrupp در حال حاضر با نگاه به آینده در مسیر کاهش انتشار CO₂ گام بر می‌دارد.

ایمریس اولین کارخانه آزمایشی مواد معدنی مصنوعی خود را افتتاح کرد

شرکت ایمریس قصد دارد واحد تولید پژوهشی جدیدی را در زمینه تولید مواد معدنی با کارایی بسیار بالا راه‌اندازی کند. این واحد در مرکز فناوری لیون؛ که در زمینه دیرگذاها فعالیت‌های تحقیقاتی انجام می‌دهد، قرار دارد. این فرآیند بی‌نظیر که با مشارکت‌های علمی و فنی با دانشگاه‌های بوردو و تولوز انجام می‌شود؛ قادر است عملکرد طبیعت در یک دوره چند میلیون ساله را، در چند ثانیه بازتولید کند. بدین ترتیب ایمریس قادر به تولید مواد معدنی با ویژگی‌های تکنولوژی بالا جهت مصرف در محصولات ویژه خواهد بود. این فرآیند که سنتز گرمایی پیوسته (Hydrothermal Synthesis in Continuous Process) نامیده می‌شود، در فشار ۱۵۰ تا ۳۰۰ بار و دمای ۱۰۰ تا ۶۰۰ درجه انجام و طی آن مواد معدنی سفارشی با ساختار، اندازه، خلوص، ترکیب، رنگ، مورفولوژی خاص و هر ویژگی مورد انتظار دیگر تولید می‌شود.



مقدمه

امروزه با توجه به رشد سریع تکنولوژی، شکل‌گیری و استفاده بسیاری از کاربران در شبکه‌های اجتماعی مختلف، روزانه حجم چشمگیری داده جدید در دنیا تولید می‌گردد. داده‌ها یکی از مهمترین دارایی‌های هر شرکت و سازمان است. با وجود تولید حجم عظیم داده‌ها در هر شرکت و سازمان، پردازش و تحلیل این داده‌ها اهمیت بسزایی دارد.

یکی از دغدغه‌ها و نیازهای هر سازمان یا شرکت بزرگ که دارای حجم زیادی از داده‌ها به شکل‌های مختلف هستند، نیاز به تجزیه و تحلیل داده‌های کلان آن سازمان و شرکت می‌باشد. مدیران و صاحبان کسب و کار تمایل دارند با تجزیه و تحلیل این داده‌ها به اطلاعات مفیدی دست پیدا کنند و بتوانند نتایج را پیش‌بینی کنند و بروز خطرات و مشکلات در کسب و کار خود را کاهش دهند و با بینش به دست آمده منجر به افزایش فروش و بازدهی و درآمد سازمان و شرکت خود شوند.

هوش تجاری یا Business Intelligence که به اختصار BI نیز گفته می‌شود، داشتن دانشی فراگیر و جامع از همه عواملی است که بر سازمان تاثیر دارد و فرآیندی تکنولوژی محور برای تحلیل داده‌ها است. ابزارهای BI تجزیه و تحلیل داده‌ها را به شکل‌های مختلفی از جمله نمودار، نقشه، گزارش، داشبورد و... نمایش می‌دهند. یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارهای هوش تجاری، نرم‌افزار پاور بی آی (POWER BI) می‌باشد. در این مقاله سعی شده است در ابتدا شما را با مفاهیم هوش تجاری آشنا کنیم، سپس به معرفی نرم‌افزار پاور و بی آی و ارائه‌ی یک داشبورد مدیریتی از تولید محصولات شرکت فرآورده‌های نسوز ایران می‌پردازیم.

Big Data با کلان داده چیست و چه ویژگی‌هایی دارد؟

کلان داده به مجموعه داده‌های پیچیده و بزرگی گفته می‌شود که بایستی پردازش و تجزیه و تحلیل شوند تا از آن‌ها اطلاعات ارزشمندی که می‌تواند منجر به سود کسب و کارها و سازمان‌ها باشد، کشف شوند. امروزه کلان داده از مهم‌ترین مباحث در بین مدیران و سرمایه‌داران کسب و کار است و به دنبال بینش ارزشمند از کلان داده‌های خام خود می‌باشند.

کلان داده به داده‌هایی گفته می‌شود که با گذشت زمان رشد نمایی دارند و آن‌قدر حجیم هستند که با استفاده از

آشنایی با مفاهیم هوش تجاری BI و نرم‌افزار POWER BI

گردآورنده: مرتضی کریمی سرپرست برنامه ریزی و کنترل تولید

تکنیک‌های متداول پردازش داده نمی‌توان آن‌ها را به راحتی تجزیه و تحلیل کرد.

داده‌های کلان دارای ویژگی‌های از قبیل متنوع بودن داده‌ها، سرعت بالای شد تولید داده و حجم بالای داده‌ها می‌باشند.



تفاوت هوش تجاری Business Intelligence و تحلیل تجاری Business Analysis

با ظهور بیگ دیتاها و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی، BI و BA تغییرات زیادی را تجربه کرده‌اند و به عنوان ابزارهای مدیریت داده بسیار حائز اهمیت هستند. هوش تجاری از داده‌کاوی، گزارش‌گیری، پردازش تحلیل برای ایجاد استراتژی‌های تجاری موثر استفاده می‌کنند، اما باز هم بدون BA هیچ راهی برای تشکیل استراتژی‌های موثر وجود ندارد. BA به تفسیر و پیاده‌سازی صحیح داده‌های به دست آمده وابسته است تا راهی برای عملکردهای عملی‌تر ایجاد کند و از ابزارهایی مانند تحلیل هم‌بستگی، تحلیل رگرسیون، تحلیل عاملی و... استفاده می‌کند. بیشتر تمرکز BI روی پیاده‌سازی عملی و تفسیر موثر داده‌های به دست آمده و استفاده واقعی آن‌ها به منظور دستیابی به بینشی بهتر است، در حالیکه تحلیل‌گران با سیستمی کار می‌کنند که هدف آن، تامین آینده و کمک به درک چالش‌های پیش رو است که تحلیل را بسیار آینده محور می‌کند.

ارتباط مدیریت دانش و هوش تجاری

مدیریت دانش و هوش تجاری هر دو مبتنی بر فناوری اطلاعات هستند و با هم در تعامل بوده و همدیگر را تکمیل می‌کنند. تمرکز مدیریت دانش عمدتاً بر شناخت است و بر اهمیت ابداع دانش و استفاده موثر از آن تاکید دارد، از طرف دیگر هوش تجاری بر فناوری و داده‌ها تمرکز دارد. هوش تجاری و مدیریت دانش ارزش بالایی در ارتقای تصمیم‌گیری و بالا بردن عملکرد سازمانی دارند و هر دو برای بهبود تصمیم‌گیری از دانش استفاده می‌کنند. سه سطح برای هوش تجاری و مدیریت دانش شناسایی کرده‌اند:

۱- سطح مقدماتی که یک تلفیق افقی با کاربر نهایی ایجاد می‌کند.
۲- تلفیق سطح داده که محتوای سامانه‌های مدیریت دانش برای فرآیندهای هوشمندی کسب و کار را از طریق ذخیره‌ی داده‌ها در پایگاه داده فراهم می‌کند.

۳- تلفیق سطح سیستم که توزیع مدل‌های تحلیل هوشمندی کسب و کار را با یک سیستم مدیریت دانش فراهم می‌کند.

شاخص‌های مدل داشبورد مدیریتی مبتنی بر هوش تجاری
داشبوردهای مدیریتی از ابزارهای کسب و کار بوده و شامل مجموعه‌ای از شاخص‌های عملکردی، شاخص‌های کلیدی عملکردی (KPI) و دیگر اطلاعات مرتبط با کسب و کار هستند. جهت کارایی بیشتر و دقیق‌تر داشبوردها، استفاده از مکانیزم و منطق هوش تجاری در طراحی و اجرای آن اجتناب‌ناپذیر است. لذا همگام با پیشروی عصر اطلاعات، انبار داده، پردازش تحلیل آنلاین و دیگر مکانیزم‌ها و زیر ساخت‌های هوش تجاری به کمک داشبوردها آمدند تا عملکرد مناسب‌تری داشته باشند. شاخص‌های ایجاد داشبورد سازمانی با استفاده از بررسی دقیق ادبیات موضوع و دسته‌بندی این عوامل، به ۲۴ شاخص پایه و ۷ شاخص سازمان‌دهنده تقسیم‌بندی شده‌اند.

شاخص	شاخص‌های پایه
نیازسنجی و امکان‌سنجی	نیاز سنجی و طرح توجیهی سنجش آمادگی سازمانی بررسی عوامل کلیدی موفقیت
برنامه ریزی	برنامه ریزی پروژه تحلیل نیازمندی‌ها
طراحی فرآیندی	تعیین اهداف و فرآیندها تعیین سنجه‌ها و KPI ها ایجاد شناسنامه سنجه
طراحی نرم‌افزاری	تهیه و جاری‌سازی دستورالعمل‌ها و فرم‌ها بررسی و تحلیل داده‌ها و منابع داده‌ای تحلیل و طراحی پایگاه داده تحلیل و طراحی مخزن فرا داده طراحی ETL
استقرار و پیاده‌سازی	انتخاب ابزار داشبورد نمونه‌سازی برنامه کاربردی ایجاد ETL و انبار داده ایجاد مخزن فرا داده ایجاد برنامه کاربردی داده‌کاوی و تحلیل داده پیاده‌سازی
ارزیابی و تحلیل	سنجش میزان موفقیت داشبورد ارزیابی SMART و IMPACT بودن
نگهداری و توسعه	نگهداری سیستم و آموزش کاربران توسعه و تکامل

برترین ابزارهای هوش تجاری از نظر گارتنر

گارتنر یک شرکت پژوهشی و مشاوره آمریکایی است، که در زمینه تحقیق و پژوهش و مشاوره فناوری اطلاعات فعالیت می‌نماید. این شرکت گزارشی در زمینه بازار ابزارهای تکنولوژی از جمله ابزار هوش تجاری منتشر می‌کند که مربع جادویی (Magic Quarter) نامیده می‌شود. گارتنر جهت رتبه‌بندی فروشندگان محصولات هوش تجاری از دو معیار استفاده می‌کند:

۱- **کامل بودن چشم‌انداز:** این که شرکت چقدر نیازهای مشتریان را درک کرده است، چه استراتژی برای برطرف کردن نیازها دارد و مدل تجاری آن تا چه میزان قوی است.

۲- **توانایی شرکت در پیاده‌سازی چشم‌انداز:** این که شرکت تا چه حد در پیاده‌سازی چشم‌اندازی که تعریف می‌کند، موفق عمل کرده است.



همانطور که در نمودار فوق که مربوط به گزارش سال ۲۰۲۲ می‌باشد، مشاهده می‌کنید، رهبر بازار هوش تجاری، شرکت مایکروسافت می‌باشد.

Power BI چیست؟

مجموعه‌ای از سرویس‌ها می‌باشد که امکان تحلیل اطلاعات کسب و کار را برای کارشناسان این حوزه به راحتی فراهم می‌کند و به عنوان بهترین پلتفرم برای پیاده‌سازی سیستم‌های هوش کسب و کار محسوب می‌شود. در ابتدا باید گفت که Power BI اولین بار در سال ۲۰۱۳ معرفی شد اما شروع ایده این محصول را می‌توان از سال ۲۰۱۰ و همراه با ورود افزونه‌های power pivot , power view دانست که به عنوان یک add-in به Excel ۲۰۱۰ اضافه شد و امکان پردازش میلیون‌ها رکورد را به راحتی و با سرعت بالا فراهم نمود.

Power BI همچنین از Self-service Bi پشتیبانی می‌کند. به این معنی که استفاده از آن به سادگی صورت می‌گیرد و حتی کاربران نهایی نیز می‌توانند بدون نیاز به واحد IT، داشبورد و گزارش‌ها را طراحی کنند.



ابزارهای نرم‌افزار Power Bi به شرح ذیل می‌باشد.

- Power Query: این قسمت از نرم‌افزار وظیفه پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها را بر عهده دارد. قابلیت اتصال به منابع داده‌ای و ترکیب و تغییر شکل داده را نیز بر عهده دارد. زبان برنامه‌نویسی این بخش زبان M است.
- Power Pivot: یکی از اجزای مهم برای مدل‌سازی داده به شکل Tabular می‌باشد.
- Power View: ابزاری برای بصری‌سازی داده که قابلیت ساخت نمودارها و نقشه‌های تعاملی را به کاربران ارائه می‌دهد.
- Power Map: ابزاری است برای بصری‌سازی سه‌بعدی داده‌های جغرافیایی
- Power Bi Q&A: قابلیت است که به کاربر این امکان را می‌دهد با استفاده از زبان طبیعی پاسخ سوالات خود را از میان داده‌ها استخراج کند.

نسخه‌های مختلف نرم‌افزار پاور بی آی

- Power Bi Desktop: این نسخه رایگان می‌باشد و به راحتی می‌توانید آن را نصب کنید و از به روزرسانی‌های آن استفاده کنید. این نسخه برای کاربران عادی و مواردی که نیاز به انتشار عمومی یا استفاده در سازمان ندارند، مناسب است.
- Power Bi Service: این نسخه قابلیت‌های بسیاری در اختیار کاربران قرار می‌دهد که در دو نسخه Pro و Premium قابل استفاده است و رایگان نیستند. نسخه Pro بسیار شبیه نسخه دسکتاپ می‌باشد، به علاوه اینکه شما می‌توانید داشبوردهای خود را در وب منتشر کنید.
- نسخه Premium تمام ویژگی‌های نسخه دسکتاپ را در می‌باشد. با این تفاوت که با خرید این نسخه زیر ساخت‌های مورد نیاز شما از طریق شرکت مایکروسافت فراهم می‌گردد.

- Power Bi Mobile: در این نسخه شما می‌توانید گزارشات خود را بر روی تلفن همراه مشاهده کنید.
- Power Bi Report Server: شما می‌توانید داشبوردهای خود را با استفاده از این نرم‌افزار بارگذاری و منتشر کنید. این نسخه برای سازمان‌هایی که می‌خواهند بر روی سرورهای سازمان خود گزارشات و داشبوردها را منتشر کنند، بسیار مناسب است.



در این بخش، یک نمونه داشبورد از تولید شرکت فرآورده‌های نسوز ایران از سال ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌نمائید می‌توان با استفاده از ابزارهای مختلف نرم‌افزار، انواع مختلف با کاربردهای متفاوت از داشبورد را تهیه نمود.

منابع

- ۱) هاشمی، سید علی اکبر (۱۳۹۷)، طراحی مدل توسعه‌ی داشبورد سازمانی با منطق هوش تجاری در سازمان‌های دولتی، فصلنامه سازمان‌های دولتی، دوره ۶، شماره ۳
- ۲) شکر، ابوذر. قاضی‌زاده، ضیال‌الدین (۱۳۹۸)، بررسی اثر هوش تجاری به عنوان ابزار مدیریت دانش در بهبود شاخص‌های کلیدی عملکرد هولدینگ‌های سرمایه‌گذاری با رویکرد پویایی سیستم، نشریه مدیریت راهبردی دانش سازمانی، سال دوم، شماره ۷
- ۳) مظاهری اسد، محسن. سلجوقی، تانیا (۱۳۹۶)، شناسایی عوامل موثر بر اجرای موفق سیستم‌های هوش تجاری در شرکت‌های تولیدی، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و حسابداری
- ۴) اشکاند راد، ایمان (۱۴۰۰)، آموزش نرم‌افزار Power Bi، چاپ اول



گزارش صادرات انواع محصولات دیرگداز شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در شش ماهه ابتدایی سال ۱۴۰۱

تهیه و تنظیم: هیراد عباس‌زاده (معاون بازرگانی)
اسماعیل گرمی (سرپرست صادرات)

محصولات شرکت به چند کشور دیگر و کارخانجات صنعتی مختلف صادر می‌گردد که این مهم یکی از عوامل تضمین‌کننده تداوم افزایش حجم صادرات شرکت در سال‌های آتی خواهد بود.

پیگیری و درک متقابل از نیازها و دغدغه‌های مشتری، نظارت بر عوامل تأثیرگذار بر کیفیت محصولات تولیدی، بسته‌بندی مناسب، ارائه زمان تحویل مناسب، ارائه قیمت‌های رقابتی و در رأس همه حمایت‌ها، اراده و خواست مدیریت محترم عامل و معاونت محترم بازرگانی بر امر صادرات از عمده دلایل تحقق این مهم بشمار می‌آیند.

در پایان جا دارد از کلیه واحدهای ستادی و اداری که نقش بسزایی در بهبود عملکرد صادراتی شرکت داشته‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

نمودار شماره یک: آمار صادراتی شرکت طی سال‌های ۱۳۹۵ الی شش ماهه ۱۴۰۱.



جدول شماره دو: کل آمار صادراتی شرکت از سال ۱۳۹۵ تا پایان سال ۱۴۰۰ در یک نگاه.

سنوات	نوع کالا	وزن (کیلوگرم)
سال ۱۳۹۵	آجرهای آلومینی - شاموتی - آجرهای کربن - منیزیت و جرم‌های ریختنی آلومینی - شاموتی و قلیایی	۱۳۴/۳۸۶
سال ۱۳۹۶	آجرهای آلومینی - شاموتی - کربن - منیزیت، منیزیت - کرومیت و منیزیت - اسپینل به همراه ملات شاموتی و قلیایی و جرم‌های شاموتی و قلیایی پاشیدنی.	۴۵۵/...
سال ۱۳۹۷	ملات های آلومینی و شاموتی - جرم‌های پاشیدنی قلیایی، آجرهای منیزیتی، کربن - منیزیت، آلومینی و شاموتی، جرم های ریختنی آلومینی، شاموتی و قلیایی.	۹۴۷/...
سال ۱۳۹۸	آجرهای منیزیت - کرومیت و شاموتی، جرم ریختنی منیزیتی، ملات های شاموتی و قلیایی.	۵۳۷/...
سال ۱۳۹۹	جرم شاموتی، آجرهای منیزیت - کرومیت و شاموتی	۲۰/۶۶۰
سال ۱۴۰۰	آجرهای شاموتی، آلومینی، منیزیت - کرومیت و کربن - منیزیت، جرم های ریختنی آلومینی و شاموتی.	۷۶۴/۷۰۶
مجموع:		۳/۰۳۸/۷۵۲

جدول شماره یک: آمار محصولات صادر شده در شش ماهه ابتدای سال ۱۴۰۱ و سفارشات اخذ شده.

صادرات شش ماهه ۱۴۰۱	
نوع کالا	وزن (کیلوگرم)
آجرهای کربن- منیزیت	۴۱/۸۰۰
ملات آلومینی، جرم، آجرهای آلومینی	۷۰/۷۰۲
محصولات منیزیت - اسپینل	۲۰۰/۰۰۰
آجرهای منیزیت- کرومیتی	۲۰۸/۸۹۲
آجرهای آلومینی، شاموتی، منیزیت کرومیت، جرم شاموتی، آلومینی	۶۴۷/۶۲۴
مجموع:	۱/۱۶۹/۰۱۸
سفارشات قطعی شده و حمل نشده در شهریور ماه ۱۴۰۱	
نوع کالا	وزن (کیلوگرم)
آجر آلومینی	۸۷۸/۷۵۰
مجموع:	۸۷۸/۷۵۰



بازدید مدیرعامل شرکت‌های سرمایه‌گذاری شستا و صدرتامین از ایرفکو

شستا و صدرتامین با رویکرد هم‌افزایی از توسعه شرکت فرآورده‌های نسوز ایران حمایت می‌کنند

و کارکنان این شرکت، ابراز امیدواری کرد که با تدابیر لازم شاهد شکوفایی بیشتر شرکت فرآورده‌های نسوز ایران باشیم.

علی تدین مدیرعامل شرکت فرآورده‌های نسوز ایران ضمن تشریح نقش و جایگاه حیاتی شرکت در تولید و تامین محصولات دیرگداز صنایع بزرگ کشور از جمله صنایع فولاد، سیمان، پتروشیمی و ... اعلام نمودند، طی دو سال گذشته با اجرای پروژه‌های توسعه‌ای زیرسقفی ضمن تامین نیاز صنایع کشور در نظر دارد، با اجرا و اتمام پروژه‌های توسعه‌ای در زمینه فرآوری مواد اولیه مورد نیاز شرکت با تکمیل زنجیره‌ی تولید در زمینه مواد اولیه علاوه بر کاهش وابستگی، هزینه‌های تولید را کاهش داده و نیاز این صنعت به واردات را نیز کاهش دهد.

دکتر ابراهیم بازیان مدیرعامل شرکت سرمایه‌گذاری تامین اجتماعی «شستا» و سرکار خانم دکتر صالحی نماینده محترم مبارکه و دکتر امیرحسین نادری مدیرعامل شرکت سرمایه‌گذاری صدرتامین و هیات همراه ضمن حضور در شرکت فرآورده‌های نسوز ایران و بازدید از خط تولید و طرح‌های توسعه این شرکت، با مدیرعامل و دیگر مسئولین دیدار و گفتگو کردند.

مدیرعامل هلدینگ شستا دکتر بازیان در این دیدار گفت:

هلدینگ شستا رویکرد هم‌افزایی را نه تنها در شرکت‌های تابعه خود بلکه در کل کشور پیگیری می‌کند و لذا با این رویکرد تلاش می‌شود، حمایت لازم از شرکت فرآورده‌های نسوز ایران جهت توسعه و بالندگی بیشتر صورت گیرد. همچنین دکتر بازیان ضمن قدردانی از زحمات مدیریت



بهره‌برداری از معدن دولومیت دوچشمه نهاوند آغاز شد

باانجام اولین انفجار در معدن دولومیت نهاوند بهره‌برداری از این معدن بصورت عملی آغاز شد. طبق اهداف برنامه‌ریزی شده، بابه‌برداری از این معدن علاوه بر کاهش هزینه‌های مواد اولیه و محصول تولیدی کارخانه؛ کنترل کیفیت بهتری نیز بر مواد اولیه و در نتیجه محصول تولیدی کارخانه ایجاد خواهد شد.

لازم بذکر است کارخانه دولومیت کلسینه نهاوند در خرداد ماه سال جاری افتتاح و جهت تولید دولومیت کلسینه نهاوند در دوبرخش مصرف داخل و صادرات برنامه‌ریزی شده است.



کسب عنوان جام اخلاق تیم فوتسال شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در مسابقات فوتسال کارگران کشور حاج قاسم سلیمانی

به گزارش روابط عمومی شرکت فرآورده‌های نسوز ایران پس از کسب عنوان قهرمانی در فینال جام شهدای کارگری شهرستان مبارکه، یک دوره دیگر مسابقات ورزشی فوتسال کارگران کشور جام سپهبد شهید حاج قاسم سلیمانی با حضور تیم‌های ورزشی شش استان به میزبانی استان اصفهان شهرستان مبارکه برگزار شد. در این مسابقات که با شرکت شش تیم برگزار شد، پس از رقابت سرانجام تیم شرکت فرآورده‌های نسوز ایران موفق به کسب جام اخلاق این دوره از بازی‌ها شد.





بیست و چهارمین همایش پژوهشگران صنعت فولاد کشور در تاریخ ۱۰ الی ۱۲ آبان ماه ۱۴۰۱ تحت عنوان سمپوزیوم فولاد ۱۴۰۱ توسط انجمن آهن و فولاد ایران و با یاری شرکت‌های فولاد خراسان، فولاد مبارکه، ذوب‌آهن اصفهان، تهیه و تولید مواد معدنی ایران، گروه صنعتی ایران ترانسفو، گروه ملی فولاد ایران، سنگ آهن مرکزی ایران، فولاد خوزستان در مرکز همایش‌های بین‌المللی کیش برگزار گردید. هدف از برگزاری سالانه سمپوزیوم‌های فولاد توسط انجمن آهن و فولاد ایران که عموماً با حمایت شرکت‌های فولادی و دانشگاه‌های کشور برگزار می‌گردد، ایجاد زمینه مساعد برای برقراری ارتباط میان دست اندرکاران صنعت فولاد کشور با اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی و محققین در جهت تبادل نظر به منظور رفع مشکلات موجود و توسعه هر چه بیشتر این صنعت با انجام مشاوره و آشنائی با آخرین دستاوردهای پژوهشی، فناوری و تجهیزاتی صنعت فولاد کشور است.

این دوره سمپوزیوم فولاد با حضور ۲۶۸ شرکت داخلی و ۲۷ شرکت خارجی از کشورهای آلمان، ایتالیا، فرانسه، هند، و ... در محل نمایشگاه‌های بین‌المللی کیش برگزار گردید.

محورهای همایش

- راهکارهای تولید فولاد سبز
- نحوه جایگزینی فناوری تولید فولاد سبز با امکانات فعلی
- دانش فنی، تجهیزات مورد نیاز و آموزش کارکنان در فرآیند تولید فولاد سبز
- نقش تولید فولاد سبز در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش راندمان
- نقش تولید فولاد سبز در سلامتی کارکنان، حفظ محیط زیست، کاهش مصرف آب، کاهش گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی

گزارش حضور شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در سمپوزیوم فولاد ۱۴۰۱

تهیه و تنظیم: علیرضا خادم الفقراء- سرپرست فروش صنایع فلزی

- نحوه تولید از H2 به جای سوخت‌های فوسیلی در تولید فولاد سبز
- تجهیزات در زمینه تامین به منظور تولید فولاد سبز
- یافته‌های جدید در زمینه تولید و استفاده از فولادهای جدید
- یافته‌های جدید در زمینه‌های استخراج، آهن‌سازی، ذوب و ریخته‌گری، شکل‌دهی، بهبود خواص مکانیکی، سطح و پوشش، خوردگی، جوشکاری، مواد دیرگداز و ...
- **نمایشگاه بین‌المللی فولاد**

در کنار بیست و سومین سمپوزیوم فولاد، نمایشگاه بین‌المللی فولاد نیز برگزار شد. در این نمایشگاه آخرین دستاوردهای صنعتی و پژوهشی در زمینه‌های مختلف نرم‌افزار و سخت‌افزار مورد استفاده در صنعت فولاد و صنایع وابسته از جمله صنعت دیرگدازها در نمایشگاه بین‌المللی سمپوزیوم فولاد عرضه گردید.

گروه‌های هدف شامل:

- تولید کنندگان فولاد
- تامین کنندگان مواد اولیه
- شرکت‌های دانش‌بنیان و خدمات فنی و مهندسی در صنعت فولاد
- شرکت‌های حمل و نقل
- انجمن‌های و سندیکا‌های تولیدی، علمی و ...
- شرکت‌های ارائه‌کننده ماشین‌آلات،
- شرکت‌های تامین‌کننده دیرگدازها- تجهیزات و مواد مصرفی
- **افتتاحیه سمپوزیوم فولاد ۱۴۰۱**

افتتاحیه این رویداد با گزارش یوسف‌مظاهری، دبیر علمی سمپوزیوم، آغاز شد. عباس نجفی‌زاده، رئیس هیئت‌مدیره انجمن آهن و فولاد نیز به‌عنوان برگزارکننده این سمپوزیوم، گزارشی از برگزاری این رویداد ارائه کرد.

پنل تخصصی این رویداد، تحت عنوان «فولادسبز» با سخنرانی، مدیران عامل شرکت‌های تحقیقاتی، تولیدی و ... برگزار شد. این پنل، بر بحث‌های زیست‌محیطی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بومی‌سازی صنعت فولاد و بررسی راهکارهای بین‌المللی برای تولید فولاد سبز متمرکز بود.

یکی دیگر از موارد مورد بررسی، یکپارچه‌سازی رویکردها و چشم‌اندازها بود که به گفته سخنرانان مدعو، انجمن باید بر تجمیع ایده‌ها و پژوهش‌های فولادی در راستای ارتقای عملکرد شرکت‌ها و پروژه‌های بزرگ فولادی تمرکز داشته باشد.

همچنین اهمیت تولید فولاد سبز با هیدروژن سبز، چالش تأمین آب و برق، توسعه فولاد در مناطقی با منابع آب کافی



مانند سواحل، گسترش زیرساخت‌های تأسیسات بندری با تمرکز بر توسعه پایدار فولاد، مدل‌سازی خط تولید و ... از دیگر مسائل مورد بحث و بررسی در این همایش بود. پس از آن مقالات پذیرفته شده ارائه و در سه سالن و در دو روز ارائه و دفاع شدند.

حضور شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در نمایشگاه سمپوزیوم فولاد ۱۴۰۱

خوشبختانه ظرفیت تولید فولاد در کشور دو برابر مصرف داخلی است و در مصرف داخلی حدود ۱۵ میلیون تن فولاد نیاز داریم که تولید داخل نیز حدود ۳۰ میلیون تن می‌باشد. با توجه به افق پیش‌بینی شده در سال ۱۴۰۴ تولید به بالای ۵۵ میلیون تن می‌رسد که این یک خبر مسرت بخش و اثرگذار در حوزه اقتصادی کشور است. از این رو اهمیت تامین کنندگان نسوز در چرخه تولید فولاد بعنوان یکی از پر مصرف‌ترین کالاهای مصرفی با ارزش افزوده بالا بسیار مشهود می‌باشد.

با حضور شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در سمپوزیوم فولاد ایران، جمع‌کنیری از تولیدکنندگان، تامین کنندگان مواد اولیه و شرکت‌های حمل‌ونقل ریلی وجاده‌ای از غرفه نسوز ایران بازدید کردند.

حضور پررنگ مدیریت محترم عامل در این همایش نشان از اهمیت صنعت فولاد از دید مدیران ارشد سازمان می‌باشد. جناب آقای دکتر تدین و هیئت‌مدیره به همراه سرپرست صنایع فلزی و خدمات مهندسی فروش به بحث و تبادل نظر با مدیران ارشد فولادی کشور پرداختند.

بازدید و حضور جناب آقای دکتر امیرحسین نادری مدیرعامل محترم شرکت سرمایه‌گذاری صدر تامین (تاسیکو) و همراهان ایشان در این دوره از نمایشگاه انجام شد. ایشان ضمن بازدید



از غرفه شرکت فرآورده‌های نسوز ایران، نشست با مدیرعامل و هیئت‌مدیره مجموعه داشتند و در خصوص مباحث راهبردی صنعت نسوز، جایگاه نسوز ایران در بین رقبا، اهداف بلند مدت، طرح‌های توسعه، همچنین هم افزایی بیشتر با شرکت‌های فولادی هلدینگ و صادرات به بحث و گفتگو پرداختند.

از دیگر نشست‌های مهم این نمایشگاه می‌توان به: نشست با مدیر خرید فولاد مبارکه و کارشناسان واحد بازرگانی و فنی آن مجموعه.

• نشست با مدیران ارشد شرکت ذوب آهن اصفهان.

• نشست با مدیر نسوز فولاد خوزستان و همراهان ایشان

• مذاکره با مدیران ذوب‌آهن پاسارگاد و فولاد قائنات، پارس فولاد سبزواری

• مذاکره با مدیر نسوز مجتمع بردسیر فولاد بوتیا و فولاد سیرجان ایرانیان.

• مذاکره با مدیران ارشد فولاد البرز ناب آرش.

• مذاکره با مدیران فولاد آذربایجان جهت ایجاد همکاری بازدید مدیران فولاد میانه و مذاکره در خصوص توانمندی‌های نسوز ایران و نیازهای آن مجموعه.

• مذاکره با کارشناسان فروسیلیس غرب همدان، آلومینیوم المهدی، فولاد ویان، مس سرچشمه و ...

• ملاقات با تامین کنندگان مواد اولیه داخلی و وارداتی و شرکت‌های حمل و نقل در غرفه نسوز ایران

• مذاکره با مدیران و کارشناسان شرکت‌های فولادی شرکت کننده در نمایشگاه توسط کارشناسان واحد فروش نسوز ایران

تبادل اطلاعات مدیران بهره‌بردار شرکت فرآورده‌های نسوز با دیگر شرکت‌های حاضر شده در نمایشگاه از دیگر برنامه‌های نسوز ایران در نمایشگاه ۱۴۰۱ بود.





مقدمه

آب یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر بشریت است که می‌تواند سرنمنا بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. خلاء بین توان تامین آب و شدت تقاضا، بحران آفرین است، بنابراین افزایش تقاضا برای آب در قرن بیست و یکم فشار بیشتری روی منابع آب وارد می‌کند و سیاستمداران مجبور خواهند بود مسائل مربوط به آب را در رأس برنامه‌های خود قرار دهند. از مجموع کل آب‌های جهان ۹۷ درصد آن را آب شور دریاها و اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهد که به دلیل شوری در عمل قابل استفاده نیستند. ذخایر آب شیرین تنها ۲/۶ درصد از کل حجم ذخایر آب‌های سطح زمین را تشکیل می‌دهد که بخش بیشتر آن بصورت یخ و آب‌های زیرزمینی وجود دارد. به این ترتیب از مجموع آب‌های کره‌زمین تنها ۱۴٪ درصد آن قابل استفاده بوده و در واقع حیات آدمی بسته به همین مقدار ناچیز آب است. ایران به عنوان کشوری با آب و هوای خشک و نیمه خشک بیش از ۹۴ درصد منابع آب خود را در بخش کشاورزی به کار می‌گیرد. این سهم، بخش کشاورزی را به عنوان مصرف‌کننده اصلی آب مطرح می‌سازد. بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل، ایران از جمله کشورهایی خواهد بود که در سال ۲۰۵۰ با بحران مزمن آب رو به رو خواهد شد.

وضعیت بحرانی آب در ایران

این‌روزها خبرهای دلخراشی از وضعیت بحرانی آب در سراسر ایران به گوشمان می‌رسد از تشنگی خوزستان، پر آب‌ترین استان ایران تا نابودی باغات کرمان و رفسنجان و خشک شدن قریب الوقوع دشت قزوین، نزدیک به ۷۰ درصد دشت‌های کشور از نظر برداشت زیرزمینی در وضعیت ممنوعه قرار دارند. یزد در رویای انتقال آب از زاگرس و خلیج فارس به سر می‌برد. خاطره زاینده‌رود در حال حذف شدن از ذهن نصف‌جهان و سیستان و بلوچستان از تشنگی رمق خود را از دست داده است. فصل مشترک اخبار در این سال‌ها، کم‌آبی بوده و امروز دیگر کسی نیست که نداند مسئله آب بسیار جدی است و مواجهه نادرست با آن آینده کشور و فرزندان‌مان را تهدید می‌کند. بر اساس استانداردهای جهانی بحران آبی به وضعیتی گفته می‌شود که سهم هر نفر از منابع آب کمتر از هزار متر مکعب باشد. در روزی که سرانه به زیر هزار متر مکعب برسد، مردم دیگر نمی‌توانند با باز کردن شیر آب به راحتی به آب سالم

دقیقه‌ای برای تامل؛ بحران آب در ایران

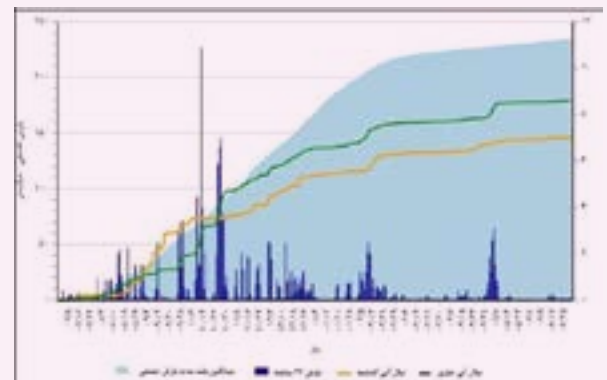
تهیه و تنظیم: آزاده محمدی/کارشناس آموزش و توانمندسازی منابع انسانی

و بهداشتی دسترسی پیدا کنند، زیرا آبی برای تصفیه در اختیار نداریم. گزارش‌های معتبر نشان می‌دهد با فرض جمعیت ۱۰۶ میلیون نفری برای ایران، در سال ۱۴۲۰ سهم هر ایرانی از آب تجدیدپذیر به ۹۷۶ متر مکعب کاهش خواهد یافت و به این ترتیب، سرانه منابع آب ایران از ۱۲۰۰ متر مکعب فعلی به ۹۷۶ متر مکعب خواهد رسید و این یعنی فرونشست زمین به دلیل حفر چاه بیشتر افزایش یافته و حیره‌بندی آب در سراسر کشور اجرا خواهد شد.

نموداری که خبر از تداوم خشکسالی می‌دهد

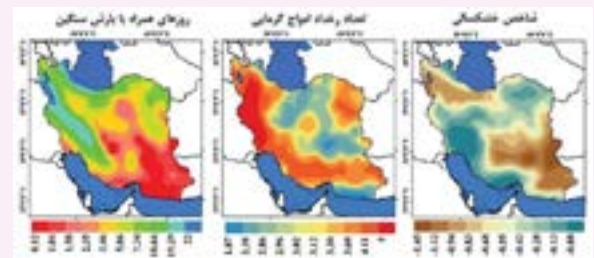
سال آبی جدید در هر سال از ابتدای مهر آن سال آغاز شده و تا آخر شهریور سال بعد ادامه دارد. وضعیت بارشی این بازه زمانی مشخص می‌کند که سال آبی پربارشی بوده یا بارش‌ها کاهش داشته است. پرونده سال آبی ابتدای مهر ۱۴۰۰ تا انتهای شهریور ۱۴۰۱ در حالی بسته شد که بارش‌های آن با کاهش حدود ۲۴ درصدی نسبت به دوره بلندمدت همراه شده و یک سال کم‌بارش دیگر برای ایران رقم زد. آن‌طور که آمارهای تازه استخراج شده نشان می‌دهد، سال آبی گذشته (مهر ۱۴۰۰ تا انتهای شهریور ۱۴۰۱) سال کم‌بارشی را برای کشورمان رقم زد و سبب استمرار سال‌های خشک در کشور شد. بر اساس آمارهای مرکز ملی پایش و هشدار خشکسالی از ابتدای مهر ۱۴۰۰ که سال آبی آغاز شد تا انتهای شهریور ۱۴۰۱ در مجموع ۱۸۰۴ میلی‌متر بارش در کشور رخ داده است. این میزان بارش در مقایسه با دوره بلندمدت که ۲۳۷۰٫۱ میلی‌متر بارندگی ثبت شده، ۲۳۰۹ میلی‌متر کاهش داشته است. گزارش اخیر سازمان هواشناسی نشان می‌دهد که در سال آبی جاری نسبت به دوره بلندمدت، کشور کاهش بارندگی داشته است. این افول به معنی کاهش حدود ۶۵ میلی‌متری بارندگی کل کشور در سال آبی جاری نسبت به دوره بلندمدت است. این البته تنها نکته مهم درباره نمای بلندمدت افول آبی ایران نیست.

نمودار بارش تجمعی در سال جاری



پیش‌بینی وضعیت خشکسالی کشور در کمتر از ۱۰ سال

بر اساس آخرین تحقیقات انجام شده در دانشگاه فردوسی مشهد ظرف چند سال آینده تا پایان دهه میلادی جاری شاهد وقوع خشکسالی‌های گسترده‌تر و شدیدتر در سراسر کشور خواهیم بود. بر اساس همین یافته‌ها، امواج گرمایی به ویژه در نیمه غربی، جنوبی و شمال شرق کشور به طور برجسته‌ای افزایش خواهند یافت. این در حالی است که بر وقوع بارش‌های سنگین در بخش‌های گسترده‌ای از کشور به ویژه مناطق شمالی و غربی افزوده خواهد شد. به طوری که بر اساس محاسبات انجام شده، شدت بارش‌ها در حدود ۶۷ درصد، وقوع خشکسالی ۸۳ درصد، بزرگی امواج گرمایی ۹۴ درصد و تعداد، طول مدت و فراوانی امواج گرمایی در ۱۰۰ درصد از مناطق ایران روند افزایشی خواهد داشت. نتایج فوق که حاصل پروژه‌ای انجام شده توسط پژوهشگران دانشگاه فردوسی مشهد در قالب کلی پروژه پیش‌بینی اقلیمی دهه‌ای (DCPP) است، متأسفانه دهه پیش‌رو را در کشور دهه‌ای پر مخاطره از نظر وقوع مخاطرات جوی پیش‌بینی کرده است. این در حالی است که همزمانی وقوع مخاطرات جوی مهمی همچون خشکسالی، بارش‌های سنگین و امواج گرمایی در مناطق مختلف ایران می‌تواند خارج از ظرفیت‌های محیطی کنونی کشور باشد.



پیش‌بینی وضعیت کشور از نظر شدت وقوع خشکسالی، تعداد رخداد امواج گرمایی و تعداد روزهای بارش سنگین در بازه ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ بر اساس مدل‌های پیش‌بینی اقلیم دهه‌ای (DCPP)

راهکاری برای خروج از بحران

آنچه کشور را دچار تنش جدی و بحران آب می‌کند، وضعیت وخیم سفره آب‌های زیرزمینی است. حفر دست و دلبازانه چاه در سال‌های گذشته و استفاده از پمپ‌های آب برای بیرون کشیدن منابع آبی اعماق زمین جهت کشاورزی و شرب؛ ما را با کسری آب‌های زیرزمینی مواجه کرده. باید این را بدانیم که وقتی ایران وارد بحران آبی می‌شود، دیگر آبی در زیر زمین وجود ندارد که از آن استفاده کنیم. تراز آب زیرزمینی طی ۱۰ سال اخیر نشان می‌دهد که اغلب محدوده‌های مطالعاتی دارای افت سطح آب زیرزمینی از نیم تا ۳۰ متر هستند، آمارها حاکی است که حدود ۶۰ درصد مصارف خانگی و صنعت و حدود ۵۰ درصد مصارف کشاورزی توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. همچنین سالانه ۵۰ میلیارد متر مکعب از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌شود که معادل حجم ۱۰ دریاچه ارومیه است. در این وضعیت یکی از راهکارهای مهم جهت کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های

فاضلاب است، استفاده از این پساب‌ها باید جایگزین منابع

آبی شود تا به این روش هم به منابع آب زیر زمینی استراحت دهیم و هم از برداشت آب‌های سطحی جلوگیری شود. واردات مواد غذایی به منظور استفاده از منبع تجارت آب مجازی بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست یک کشور را تحت تاثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی و فرهنگ کشور ارتباط مستقیم دارد. کشورهای کم آب می‌توانند با توجه به شرایط، ظرفیت‌ها و نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیت غذایی خود نقطه بهینه‌ای را برای میزان واردات مواد غذایی به کشور پیدا کنند. سال‌ها پیش «تونی آلن» واضع اصطلاح «آب مجازی» یا «میزان آب استفاده شده از ابتدا تا انتها برای تولید یک کالا»، معتقد بود یکی از راه‌های حفظ منابع آب در منطقه خاورمیانه داشتن نگاه استراتژیک به این منابع و وارد کردن محصولات کشاورزی به جای مصرف آب برای تولید آن‌هاست. به گفته این استاد فقید دانشگاه لندن، سران منطقه خاورمیانه باید متوجه اهمیت منابع آب منطقه باشند. با نگاهی کوتاه به تصویر زیر متوجه اهمیت استفاده از آب مجازی در نگهداشت و هدر ندادن منابع آب خواهید شد. استفاده از آب مجازی بطور مشخص می‌تواند برطرف کننده بخش زیادی از نگرانی‌های بحران آب در کشورهای کم آب و دچار بحران باشد، مفهومی که در مقالات بعدی بطور مفصل به آن می‌پردازیم.



منابع:

- ۱-مقاله پژوهشی/تاثیر فرآیند سیاست‌گذاری عمومی بر بحران آب در جمهوری اسلامی ایران/ نویسندگان: آرش امیری، محسن مدیر شانه‌چی، علیرضا گلشنی
- ۲-مقاله ارائه شده در کنفرانس ملی مدیریت منابع آب/عنوان مقاله:تحلیلی بر بحران آب در ایران و جهان
- نویسندگان:پریسا سفاهن/کریم نادری مهدی/افشین سفاهن
- ۳- مجله تحلیلی دقیقه: داستان چرخه آب در ایران/ مجید پورکاشانی/ <https://d-mag.ir>
- ۴- <https://www.entekhab.ir/fa/news>
- ۵- خبرگزاری جمهوری اسلامی- <https://www.irna.ir>
- ۶- <https://www.yjc.news>
- ۷- <https://www.isna.ir/news>



کیفیت از زبان سعدی

خالی از لطف نیست قبل از هر چیزی به اتیمولوژی (ریشه شناسی) واژه کیفیت بپردازیم. کیفیت واژه‌ای است عربی که از کیف به معنی چگونه آمده است، معادل پارسی کیفیت چگونگی یا چونی می‌باشد. در زبان انگلیسی Quality را معادل کیفیت و quality را برابر مرغوبیت می‌گیریم، یعنی با نگارش Q و q دو معنی متفاوت و البته متداخل لحاظ می‌کنیم. در واقع کیفیت یعنی جمع مرغوبیت کالا یا خدمات، قیمت، زمان ارائه، نوآوری در توزیع و ... حال که واژه کیفیت را بررسی اندکی نمودیم، به تعریف مختصری از آن نیز بپردازیم.

کیفیت را شایستگی مورد انتظار مشتری می‌توان دانست. به عبارت دیگر جهت حرکت در بحث کیفیت، مشتری است و آنچه در ذهن او تعریف شده است، پس می‌توان گفت کیفیت مفهومی نسبی است و از فردی به فرد دیگر و از سازمانی به سازمان دیگر تفاوت می‌کند. اما اگر بخواهیم قدری عملیاتی‌تر و کاربردی‌تر به کیفیت بپردازیم، شاید یکی از زیباترین و لطیف‌ترین تعاریف را ادوارد دمنینگ ارائه داده است: کیفیت یعنی اینکه مشتری برگردد، اما محصول برنگردد. دمنینگ در جای دیگر هم به جذابیت و سودمندی کیفیت طلبی چنین اشاره می‌کند: محصول با کیفیت بالا تولید کنید هزینه‌اش را مشتری می‌دهد، اما خوشنامی‌اش را شما می‌برید.

در این مطلب برآن شدیم که نکات طلایی کیفیت را از زبان سعدی شیرین سخن بشنویم. قطعاً نگاه بزرگانی چون سعدی به بحث کیفیت برخاسته از دل و در عین حال عقل است و مغایرتی با رویکردهای فناورانه جهان امروز در بحث کیفیت ندارد.

۱- کیفیت ناب از انسان‌های ناب برمی‌خیزد:

قبل از شرح مختصر این جمله باید گفت در گذشته افراد سودجو در محصولات خود مانند شیر، آب می‌ریختند و آنگاه به مردم عرضه می‌کردند که نوعی حقه‌بازی محسوب می‌شد. در مقابل این افراد گروهی هم بودند که محصول خود را خالص عرضه می‌کردند و درون آن آب نمی‌ریختند و می‌گفتند محصول ما "نه آب" (بدون آب) است که این واژه به مرور به "ناب" تبدیل شد. حال نکته اینجاست که محصول ناب به اضافه ارائه ناب و خدمات پس از فروش را می‌توان به صورت کلی «کیفیت ناب» نامید و این کیفیت اعلاء حاصل نمی‌شود، جز در اندیشه انسان‌های ناب و زیبااندیش. در غیر این صورت محصولات

کیفیت از نگاه سعدی شیرین سخن

نگارنده: دکتر حسین علیان، پژوهشگر و نویسنده

بی‌کیفیت اما با ظاهری زیبا را شاهد خواهیم بود که محصول انسان‌های ریاکار است، گاه می‌پندارند واژه ریاکاری فقط در صحبت و رفتار ظاهری است و حال آنکه جنبه مهمی از ریاکاری به ریاکاری تولیدی و عملیاتی اشاره دارد. سعدی درگستان چه

زیبا گفته است:
 پرده بخت رنگ به در گذار / تو که در خانه بویا داری
 به این معنی که وقتی فرد درون خانه‌اش حصیری بیش نیست، نباید پرده رنگین بسیار جذاب بر سر در خانه‌اش ایجاد کند که دیگران را به اشتباه بیندازد.

چنین رویکردی باعث می‌شود کیفیت عالی گفتار و رفتار ما همیشه ورد زبان‌ها بماند و خوشنامی پایدار نصیب ما گردد.

بعد از هزار سال که نوشیروان گذشت / گویند از او هنوز که بود است عابدی
 و در جای دیگر:

بکار امروز تخم نیک نامی / که فردا بر خوری و اندام علم
 سعدی ماندگاری و جاودانگی در این جهان را منوط به کیفیت بالا می‌داند که ثمره‌اش نگونامی است.

نیک کسی اندر جهان که او بماند / مگر آن که ز نام نیکو بماند

۲- کیفیت طلبی آری کمال طلبی نه:

کیفیت یک مسابقه بی‌پایان است و آن هم در رقابت زیبا تعریف می‌شود. اینکه برای کیفیت حد پایانی متصور شویم یا باعث توقف ما می‌شود یا باعث استرس بسیار زیاد. در بحث کیفیت همین که هر روزمان بهتر از روز گذشته باشد نمود رشد و حرکت است. سعدی محصول با کیفیت تمام را ناممکن می‌شمارد و تنها گل‌های بی خار جهان را مردمی می‌داند که نیکو می‌اندیشند و به جهان طراوت و زیبایی هدیه می‌دهند.

گل بی خار می‌رود و درستان / گل بی خار جهان مردم نیکو سیرند

۳- کیفیت در حرکت آهسته و پیوسته تحقق می‌یابد.

اندک اندک به هم شود بسیار / دانه دانه است غله در انبار

در داستان زیبایی سعدی سیر تدریجی ارزشمندی را بازگو می‌کند که واقعاً جای تامل دارد، اینکه انسان هم از تواضع اولیه حرکت تعالی را آغاز می‌کند و شرایط محیطی هم دست به دست هم می‌دهند و رشدی شگرف می‌آفرینند.

یکی طره باران ز ابری چکید / چل شد چو پنهانی دیبا بید
 که جایی که دریاست من گفتم؟ / گر او هست خاک که من دیدم
 چو خود را به چشم خمارت بید / صدف در کنارش به جان پرورید
 سپهرش به جایی رسانید کار / که شد نامور لولو روزگار

۴- واقع‌بینی و پرهیز از بزرگ نمایی محصولات:

سعدی در گلستان چه نغز می‌گوید:
 شو غرور بر حسن گفتار خویش / به تحسین نادان و پندار خویش

در واقع انسان از دو منظر فریب می‌خورد، اول چاپلوسی دیگران که محصول را بیش از حد بزرگ جلوه می‌دهند و دوم پندار خود ما که محصول را از آنچه هست بهتر می‌پنداریم. اینجاست که سعدی بهترین افراد را کسانی می‌داند که عیب محصول ما را بازگو می‌کنند و از این طریق کیفیت را ارتقاء می‌بخشند.

جز آن کس ندانم کلو کوی من / که روشن کند بر من آهوی من

دقت داریم که در این بیت آهو به معنی عیب به کار رفته است.

۵- اصل یادگیری مداوم:

کو دشمن شوخ چشم نمانک / تا عیب مرا به من نماند

سعدی درگستان در آداب صحبت می‌گوید: بدانکه هر چه ندانستم از پرسیدن آن ننگ نداشتم. انسان مجموعه‌ای است از نادانسته‌ها که البته بر دو نوع هستند: نادانسته‌های مضر و غیر مضر. به عبارتی بخش زیادی از نادانسته‌های ما نه تنها هیچ ضرری ندارد که چه بسا به سود ماست، اما در نقطه مقابل بخش زیادی از نادانسته‌ها اعم از فنی و مفهومی به ما ضربه می‌زند که در کیفیت تأثیری محسوس دارد. یکی از بهترین شیوه‌های آموزش در جهان اصل هم نشینی عنوان شده که می‌گوید مجالست و نشست و برخاست با اندیشمندان و بزرگان عرصه کسب وکارتان شما را به بالاترین درجه از بینش می‌رساند که بسیار اثر گذارتر از دانش است و در مقابل همنشینی با افراد بیست که اندیشه نگاه ما را پایین می‌کشد. همانگونه که سعدی فرموده است هر که با بدان بنشیند اگر نیز طبیعت ایشان در او اثر نکند، به طریقت ایشان متهم گردد.

۶- تأکید همزمان بر اتاق‌های فکر و کارگاه‌های اجرا:

فرآیند تولید و رسیدن از ایده‌های عالی به محصولات عالی (اعم از کالا و خدمات) مستلزم داشتن اتاق‌های اندیشه ورزی عالی و در کنار آن داشتن نیروهای اجرایی برای تحقق آنهاست.

دو تن پرور ای شاه کشورشای / یکی ابل باز و دوم ابل رای

می‌توان گفت تخم ایده رشد نمی‌کند، جز با پرورش آن توسط گروه‌ها و تیم‌های اجرایی. این مسیر را باید به گفته سعدی عاجل (زود) شروع کرد هر چند که آجل (دیر) به جواب می‌رسیم اما جز آن ابزاری نداریم.

کمی که تخم بخار د چه دخل بر آید؟ / پاش دانه عاقل که بر خوری آبل

۷- تمرکز بر نوآوری و توسعه محصولات جدید:

نوآوری مرتبه‌ایست عالی از هنر و هنرمند واقعی نوآفرین است و مدیر نوآور کسی است که نیروهای نوآور و خلاق استخدام کرده، پرورش دهد و از نوآوری ایشان در ارتقای کیفیت بهره جوید.

خردمند مردم بهر پرورد / که تن پرور ان از بهر لاغرند

و این نوآوری کیفیت آفرین رخ نمی‌دهد مگر در بستر مدیریت عاطفی مناسب با کارکنان.

رعیت نوازی و سرکشی / نه کار بست بازیچه و سرسری

نکته هم دیگر در نوآوری که سعدی به زیبایی به آن اشاره کرده پرداختن به اصل محصول است نه صرفاً ظاهر محصول.

اگر بهوشندی به معنی گرای / که معنی بماند ز صورت به جای

۸- توجه به چگونگی (کیفیت) و نه توجه به اندازه (کمیت):

در خیلی موارد شاهدیم که در سازمان‌ها کیفیت فدای کمیت می‌گردد. در زندگی انسان‌ها هم وضع به همین روال است. این است که گفته‌اند عرض زندگی (ناظر به کیفیت زندگی) خیلی مهم‌تر از طول زندگی (ناظر به مدت عمر) است و آنچه از آن به کیفیت زندگی (Quality of life) یاد می‌شود، ارزش بالاتری دارد از عمر طولانی بی ثمر. چه بسا انسانی که ۴۰ سال بیشتر نزیسته ولی هم خود لذت کافی برده هم منشأ خدمات بزرگی برای بشریت بوده و در دیگر سو فردی صدسال زیسته و نه خود لذتی برده و نه کار مفیدی انجام داده است. کدام را می‌پسندیم؟ جواب این سوال مشخص می‌کند که برای ما کیفیت زندگی مهم‌تر است یا کمیت آن.

سعدی تقدم کیفیت بر کمیت را در نگاهی طنز آلود بیان می‌کند.

آن شنیدی که لاغری دانا / گفت باری به ابلی فربه
 اسب نازی و کر ضعیف بود / بچمان از طویل تر به

۹- پرهیز از بیان نقاط ضعف به دیگران:

وقتی رقبا از اندک ضعف در محصولات و کیفیت آن مطلع شوند، با اغراق و زیاده‌گویی در نظر مشتریان و ویژگی‌های خوب را هم کم ارزش جلوه داده و کیفیت محصول را بسیار کمتر از حد واقعی جلوه می‌دهند. لذا باید پرهیز کرد از واگویی ایرادهای کوچکی که خود مطلع هستیم و در مرحله رفع عیب آنها می‌باشیم.

کوهانده خویش با دشمنان / که لاجول گویند شادی کائن

۱۰- کیفیت هم فرآورده مغز است و هم فرآورده دل:

مدیریت محصول برای رسیدن به کیفیت عالی فرآورده مغز است، اما رهبری محصول برای نیل به کیفیت برتر فرآورده دل است. به دیگر سخن محصول عالی محصولی است که هم ذهن و رویکرد منطقی مشتری را ارضاء نماید و هم دل و رویکرد احساسی او را. سعدی چه حکیمانه گفته است:

حرچه به دل فرو آید در دیده کوهانید

این جمله می‌تواند نکته‌ای طلایی در تبلیغات هم قلمداد شود به این معنی که قبل از هر چیز باید دل‌ها را تسخیر کرد.

آنچه گفتیم قطراتی بود از اقیانوس کیفیت و البته گفتیم که قبل از کیفیت محصولات سازمانی باید کیفیت زندگانی خود و همکاران را ارتقاء دهیم که کیفیت خود یعنی شایستگی، بزرگی، برازندگی و در یک کلام رویش مدام، آراستگی لحظه به لحظه و پیدایش همیشگی.

بحث را با واژه‌ای زرین از سعدی به پایان می‌بریم که همانا "بخشنده‌گی" است. سازمان‌های بخشنده و انسان‌های بخشنده اساساً بهتر و چابک‌تر و زیباتر از دیگران قدم در مسیر کیفیت افزایشی گذاشته‌اند، چرا که کیفیت در عالی‌ترین حد یعنی خدایی شدن و بخشندگی هم صفتی است که کیفیت زندگی را در همه جهات بالا می‌برد و کیفیت سازمان را هم به اوج می‌رساند.

بزرگی بلیت بخشش کن / که دانه تانیشانی نرود



بوکسیت^(۴۷): بوکسیت از دگرسانی و هوازگی کامل سنگ‌های مختلف تشکیل می‌شود. کانی‌های رسی معمولاً در مراحل میانی این تغییر هستند، اما به نظر می‌رسد برخی از بوکسیت‌ها صرفاً محصولات دگرسانی ساده نبوده بلکه حاصل بازسازی و رسوب گذاری‌های شیمیایی هستند. هوازگی و تشکیل بوکسیت عموماً در آب و هوای عمدتاً مرطوب، گرمسیری و نیمه گرمسیری رخ می‌دهد. ذخایر بوکسیت‌ها براساس منشاء و تاریخچه زمین شناسی آن‌ها؛ از نظر فیزیکی متفاوت هستند: برخی از ذخایر نرم و به راحتی خرد شده و بدون ساختار هستند. برخی از آن‌ها سخت، متراکم و پیژولیتی^(۴۸) و برخی دیگر متخلخل اما سخت هستند. معمولاً به رنگ‌های صورتی، کرم، قرمز، قهوه‌ای، زرد و خاکستری مشاهده می‌شوند.

بوکسیت یک ماده معدنی طبیعی و ناهمگن است که عمدتاً از یک یا چند ماده معدنی شامل هیدروکسید آلومینیم آبدار به اضافه مخلوط‌های مختلف سیلیس، اکسید آهن، تیتانیوم، آلومین و سیلیکات و سایر ناخالصی‌ها در مقادیر جزئی، تشکیل شده است. سایر کانی‌های موجود در بوکسیت؛ که گاهی اوقات اجزای اصلی هستند، اما الزاماً همیشه وجود ندارند، بشرح جدول زیر است.

فرمول شیمیائی	کانی
$\gamma\text{-AlO(OH)}$	بوهمیت
$\alpha\text{-AlO(OH)}$	دیاسپور
Al(OH)_3	گیبسیت
$\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$	گاتایت
Fe_2O_3	هماتیت
$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_4$	کانولینیت
معمولاً شامل هیدروکسیدها و اکسیدهای حجیم آهن، بدون بلورهای قابل رویت و به رنگ‌های زرد و قهوه‌ای.	لیمونیت

جدول (۴): کانی‌های موجود در بوکسیت

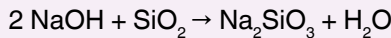
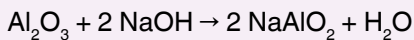
سه کانی اول اجزاء اصلی هستند. بوکسیت‌ها معمولاً بر اساس کاربردهای صنعتی مورد نظر از قبیل: مواد ساینده (سختی بین ۶ تا ۷ در مقیاس Mohs)، مواد اولیه سیمان نسوز، کاربردهای شیمیایی، متالورژیکی، نسوز، و ... طبقه‌بندی می‌شوند. تقریباً ۸۵٪ تولید بوکسیت در جهان برای تولید آلومینا؛ از طریق روش شیمیایی مرطوب، تحت عنوان فرآیند بایر^(۴۹) استفاده می‌شود.

در این فرآیند ابتدا سنگ‌های بوکسیت پودر شده و در یک

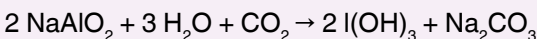
آشنائی با مفاهیم پایه دیر گدازها

تهیه و تنظیم: بهزاد امین پور؛ مشاور بازاریابی و خدمات مهندسی فروش

مخزن تحت فشار با محلول هیدروکسید سدیم مخلوط می‌شوند. واکنش‌های اکسید آلومینیم و سیلیس با محلول سود بشرح زیر است:



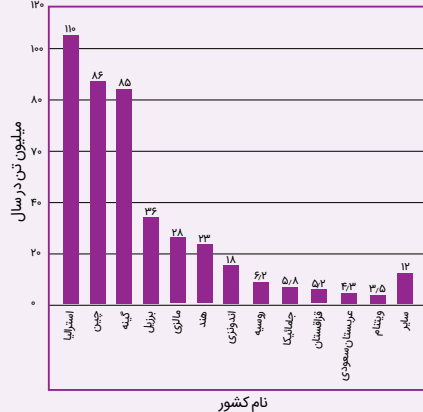
ابتدا سیلیکات سدیم از طریق افزودن آهک از محلول جدا شده و سپس گاز دی اکسید کربن سرد به داخل محلول دمیده می‌شود تا هیدروکسید آلومینیم رسوب نماید:



رسوب حاصل در دمای حدود ۱۲۰۰ درجه به آلومینای تقریباً خالص تبدیل می‌شود:



بخش اعظم آلومینای تولید شده با این روش؛ به عنوان ماده اولیه برای تولید فلز آلومینیوم، طی فرآیند هال- هرولت^(۵۰) بکار می‌رود. کانی‌های رسی، هماتیت^(۵۱)، مگنتیت^(۵۲)، گوتیت^(۵۳)، سیدریت^(۵۴) و کوارتز ناخالصی‌های رایج هستند. اکثر ذخایر بوکسیت حاوی روتیل^(۵۵)، آتاتاز^(۵۶)، زیرکون و سایر مواد معدنی هستند. حدود ۹ درصد پوسته زمین (حدود ۲۸ تا ۷۵ میلیارد تن) از بوکسیت تشکیل شده و در بیشتر کشورها یافت می‌شود، اما بزرگترین ذخایر آن در مناطق استوایی (قاره آفریقا با ۳۲ درصد) وجود دارد. کشور گینه با حدود ۷۴۰۰ میلیون تن؛ دارای بزرگترین ذخائر جهان است. ذخایر عمده بوکسیت در دهه ۱۹۵۰ در استرالیا کشف شد و این کشور در اوایل قرن بیست و یکم به بزرگترین تولید کننده بوکسیت در جهان تبدیل شد.



شکل (۲۲) نمودار تولید بوکسیت در جهان در سال ۲۰۲۱

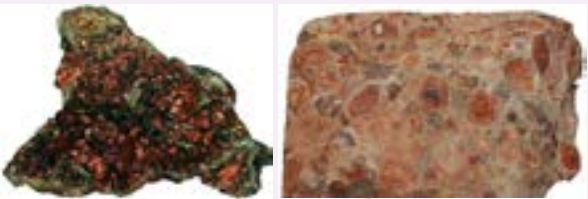
بعد از این کشورها؛ سورینام و یونان با ۱/۸ میلیون تن و گویان با ۱/۵ میلیون تن و ونزوئلا با حدود یک میلیون تن تولید در مقام‌های بعدی قرار دارند.

ذخائر بوکسیت ایران از نوع مدیترانه‌ای با ترکیب کانی شناسی دیاسپور بوهمیت است و در مناطق ایران مرکزی، البرز و زاگرس جای گرفته‌اند. کانسارهای بوکسیت یزد که در شمال و غرب این منطقه وجود دارند از جمله کانسارهای منطقه ایران مرکزی هستند. در شمال یزد، مناطق «دشت ده» و «چک چک» و در غرب آن در محدوده‌های «نصرآباد» تا «صدرآباد» «گانو» و «سرفاریابگ» کانسارهای بوکسیت مشاهده شده است. از دیگر معادن فعال بوکسیت در کشور؛ معادن «شاه بلاغی»، «گوش کمر»، «ببگلر»، «جمال الدین»، «زان»، «سفیدکمر»، «قشلاق»، «مغدون» و «جاجرم» در استان‌های تهران، یزد، قزوین، کهگیلویه و بویراحمد، گلستان و خراسان شمالی قابل ذکر می‌باشد. حجم این ذخایر بیش از ۱۵ میلیون تن برآورد شده است که رقم بالائی نیست. معادن فعال کشور به شرح جدول شماره (۵) است:

معدن	میزان ذخیره (میلیون تن)	عیار	کاربرد
جاجرم (خراسان جنوبی)	۱۰/۶	۴۷	متالورژی
صدر آباد (یزد)	۲	۴۵	متالورژی
شاهبلاغی (تهران)	۲	۵۰	دیرگداز (درجه پائین)
ازبک کوه (یزد)	۰/۰۹۴	۳۵	متالورژی
دوپلان (چهارمحال بختیاری)	-	۵۰ - ۷۰	دیرگداز (درجه پائین)
قشلاق (گلستان)	-	۵۰ - ۷۰	دیرگداز (درجه پائین)

جدول (۵): پراکندگی معادن بوکسیت ایران

کانی اصلی بوکسیت نوع متالورژی غالباً از دیاسپور، و نوع دیرگداز غالباً از بوهمیت تشکیل شده است.



دیاسپور

بوهمیت

شکل (۲۳) سنگ‌های معدنی بوکسیت

سنگ معدنی بوکسیت بطور معمول دارای حدود ۱۵ درصد مواد فرار (LOI) می‌باشد که می بایستی قبل از کاربرد آن در تولید دیرگدازها؛ کلسینه و پخته (زینتر) گردد. دانسیته بوکسیت پخته شده ۳/۳ - ۳ بوده و دمای پخت آن؛ بسته به کاربرد و ماهیت آن بین ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد است. عملیات پخت در کوره‌های مدور^(۵۷) (ثابت) یا کوره‌های دوار صورت می‌گیرد. کیفیت بوکسیت پخته شده در کوره‌های دوار یکنواخت؛ و از نظر کاربردی، مناسب تر است. از بوکسیت پرخلوص در تولید دیرگدازهای آلومینی بالاتر از ۵۰ درصد و دمای کاربرد بالاتر از ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. خواص ضد سایشی این ماده اولیه؛ ویژگی‌های منحصر بفردی به دیرگدازها می‌دهد.

مشخصات شیمیائی کلی آن بشرح زیر است:

CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	اکسید
<۱	۲-۴	<۲	۶-۸	۸۵-۸۸	درصد

بوکسیت در دسته مواد دیرگداز خنثی قرار دارد که این ویژگی باعث گستردگی دامنه کاربرد آن در تولید دیرگدازهای مورد استفاده در صنایع مختلف می‌گردد. بدلیل پائین بودن خلوص بوکسیت‌های داخلی؛ در حال حاضر، بخش اعظم بوکسیت مورد استفاده در صنعت دیرگداز از کشور چین تامین می‌شود.

کانی رسی آرژیلیت^(۵۸) بدلیل نزدیکی ترکیب شیمیائی به بوکسیت‌های کم عیار؛ گاهی به اشتباه بوکسیت خوانده می‌شود که در واقع اینطور نیست. آرژیلیت‌های کلسینه شده پرخلوص گاهی دارای Al₂O₃ بیش از ۵۰ درصد هستند؛ لیکن بدلیل درصد بالای ناخالصی TiO₂، خواص دیرگدازی تحت بار پائینی دارند.



پانوشت‌ها:

۴۷- Bauxite

۴۸- Pisolitic پیژولیت‌ها دانه‌های کروی یا بیضوی شکلی هستند که اندازه آن‌ها بیشتر از ۲ میلیمتر است. این دانه‌ها از یک هسته با دوایر متحدالمرکزی در اطراف آن تشکیل شده است. رسوبات پیژولیتی معمولاً از رسوب‌سازی مجدد سنگ‌های دگرگونی یا سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شوند.

۴۹- Bayer process

۵۰- تولید آلومینیم طی فرآیند هال- هرولت با احیای الکترولیتی آلومینا در حمام مذاب کریولیت طبیعی یا مصنوعی (Na₃AlF₆)، انجام می‌شود.

۵۱- Hematite یکی از کانی‌های مهم آهن‌دار با فرمول کلی Fe₂O₃ و دارای ۷۰ درصد آهن

۵۲- Magnetite یکی از کانی‌های مهم آهن دار با فرمول کلی Fe₃O₄ و دارای ۷۲ درصد آهن. این کانی دارای خواص مغناطیسی است.

۵۳- Goethite یکی از کانی‌های آهن‌دار با فرمول کلی Fe₂O₃ .H₂O و دارای ۶۰ درصد آهن. این کانی دارای اشکال متنوع بلورین است.

۵۴- Siderite کانی کربنات آهن با فرمول کلی FeCO₃

۵۵- Rutile کانی دارای اکسید تیتانیوم با فرمول کلی TiO₂

۵۶- Anatase کانی دارای اکسید تیتانیوم با فرمول کلی TiO₂، این کانی در تولید کاتالیست‌های جذبی کاربرد دارد.

۵۷- Round Kiln کوره‌های مدور و گنبدی شکل؛ که با کوره‌های عمودی (Shaft Kiln) متفاوت است.

۵۸- Argillite





این شماره از فصلنامه را به معرفی کتاب «سیمان‌های کلسیم آلومینی» نگارش محمد حسین امامی اختصاص داده‌ایم. این کتاب در ۳۶۱ صفحه با قطع وزیری و توسط انتشارات ارکان دانش منتشر شده است.

اهمیت این کتاب بیشتر بدین خاطر است که درباره سیمان‌های کلسیم آلومینائی؛ یا اختصاراً سیمان‌های نسوز، مطالب مکتوب زیادی در دسترس نیست و در این کتاب سعی شده است کلیه موارد مرتبط با سیمان‌های نسوز توضیح داده شود. این کتاب در ۵ فصل جداگانه به شرح زیر است:

فصل اول: آشنائی مقدماتی

در این فصل با بیانی جذاب و به زبانی ساده فرآیند تولید و عملکرد سیمان‌ها توضیح داده شده و در ادامه به بررسی تفاوت سیمان‌های نسوز با سیمان معمولی پرداخته شده و در نهایت تاریخچه تولید این سیمان‌ها تشریح می‌شود.

فصل دوم: کاربردها

انواع سیمان‌ها و استانداردهای ناظر بر هر کدام از آن‌ها بیان شده و کاربرد انواع سیمان‌ها؛ بر اساس خلوص، در انواع مختلف دیرگدازها بطور مبسوط تشریح شده است. دسته‌بندی سیمان‌ها از دیدگاه مولف شامل چهار گروه عمده سیکا ۴۰، سیکا ۵۰، سیکا ۷۰ و سیکا ۸۰ می‌باشد. همچنین مکانیسم عمل سیمان‌ها در انواع جرم‌های ریختنی به کمک جداول و نمودارهای مختلف بیان گردیده است. در این بخش ضمن تشریح خواص ترمومکانیکی جرم‌های مختلف به موارد مصرف انواع جرم‌ها در صنایع و کوره‌های گوناگون پرداخته و اطلاعات کاربردی مفیدی را به مخاطب عرضه می‌کند. (مطالعه این بخش به محققان و مصرف کنندگان مونولیتیک‌ها در صنایع مختلف توصیه می‌شود.)

فصل سوم: ماهیت - خواص (به پیوست ترجمه فصل ۱۳ کتاب شیمی سیمان و بتن)

در این فصل از کتاب؛ ماهیت فازی (مینرالوژی) سیمان‌های کلسیم آلومینائی و نقش و تاثیر هر کدام از فازها در ویژگی‌های کاربردی سیمان نسوز به دقت تشریح و در مورد برخی

معرفی کتاب

سیمان‌های کلسیم آلومینی



افزودنی‌ها برای بهبود خواص مورد انتظار سیمان‌ها توضیحاتی ارائه می‌گردد که به لحاظ کاربردی مفید است.

فصل چهارم: سایر کلسیم آلومینات‌ها

گروه دیگری از کلسیم آلومینات‌ها با خواصی متفاوت در این بخش معرفی می‌شوند. این گروه‌ها شامل کلسیم سولفور آلومینات‌ها، سیمان‌های منبسط شونده، سیمان‌های با خواص گیرشی سریع و کلسیم آلومینات‌های مورد استفاده در صنایع متالورژی هستند.

فصل پنجم: پیوست‌ها

شامل استانداردها و برخی واژگان مرتبط با سیمان‌های نسوز و همچنین تولیدکنندگان عمده این مواد می‌باشد. علاقمندان به تهیه کتاب می‌توانند به وبسایت ircement.com مراجعه نمایند.



پست الکترونیک فصلنامه: faslnameh@irefco.ir
آدرس کارخانه: اصفهان، کیلومتر ۵۲ جاده مبارکه
تلفن: ۰۳۱۵۲۵۴۳۷۴۰-۶
فکس: ۰۳۱۵۲۵۴۴۷۱۸
آدرس دفتر تهران: خیابان هفت تیر، خیابان بهار شیراز
خیابان سلیمان خاطر، پلاک ۵۱، واحد ۳
تلفن: ۰۲۱۸۸۳۴۳۴۰۸-۹