

🔥 از راهکار تازه برای کاهش آلایندگی و گازهای سمی گزارش می‌دهد

معدن به‌دنبال انفجار پاک



انقلاب در صنعت معدن؛ ظهور مواد منفجره بدون نیترات

بسیار سمی هستند و در معادن زیرزمینی عمیق، همواره امکان تهویه مناسب برای خروج آنها وجود ندارد.

پژوهش‌هایی که بخشی از هزینه آنها توسط برنامه تحقیقات انجمن زغال‌سنگ استرالیا، Mining۳ و دانشگاه کوئینزلند تأمین شده است، نشان می‌دهد بخش عمده مواد منفجره مورد استفاده در عملیات آتشباری معادن، همچنان بر پایه نیترات آمونیوم تولید می‌شوند. ویژگی‌های انفجاری مواد مبتنی بر نیترات آمونیوم در دهه ۱۹۵۰ شناسایی شد و این مواد از آن زمان تاکنون به دلیل قابلیت اطمینان، ایمنی و صرفه اقتصادی، جایگاه خود را حفظ کرده‌اند.

با این حال، تا سال ۲۰۲۲ هیچ ماده اولیه جایگزینی نتوانسته بود به‌طور کامل جای نیترات آمونیوم را بگیرد. برای شناسایی خلأهای فناوری و توسعه راهکارهای جدید، شرکت‌های متعددی

اجرای HPE و مزایای آن

بازار مواد منفجره تبدیل شوند. یکی دیگر از مزایای تولید HPE، بهره‌وری انرژی آن است. ماده پایه HPE با استفاده از روش‌های شناخته‌شده اختلاط و در یک واحد تولید مازولار با شدت مصرف انرژی پایین تولید می‌شود. در مقابل، تولید آمولسیون نیترات آمونیوم به انرژی بیشتری نیاز دارد و فرایندی کربن‌خشن محسوب نمی‌شود.

در پاسخ به پرسشی درباره مزیت اقتصادی این فناوری در مقایسه با مواد منفجره سنتتی مبتنی بر نیترات آمونیوم، گوستاوسون می‌گوید مواد منفجره بدون نیترات در حال‌حاضر گران‌تر هستند، اما اختلاف نرخ «چندان قابل‌توجه» نیست. بازار مواد منفجره نیترات آمونیومی به دلیل حجم بسیار بالای تولید، از مزیت مقیاس برخوردار است؛ در حالی که فناوری HPE هنوز در ابتدای مسیر توسعه قرار دارد و از چنین مزیتی بهرمند نیست.

با این حال، مدیرعامل Hypex Bio تأکید می‌کند که هزینه واقعی استفاده از مواد منفجره سنتتی تنها به نرخ خود ماده منفجره محدود نمی‌شود. هزینه سیستم‌های تهویه برای کنترل گازهای سمی، واحدهای تصفیه آب برای مقابله با نشست آمونیاک و همچنین هزینه‌های مرتبط با سلامت و ایمنی کارکنان نیز باید در محاسبات لحاظ شود. از این منظر، اختلاف جزئی نرخ HPE در برابر ارزش ایجادشده برای معدن، می‌تواند اهمیت خود را از دست بدهد.

📌 **پروژه‌های دیگر مواد منفجره بدون نیترات**

HPE تنها گزینه‌ای نیست که برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مواد منفجره مورد بررسی قرار گرفته است.

شرکت استرالیایی Orica و تولیدکننده اسپانیایی کوردا Fertiberia در ژوئن ۲۰۲۶ برای نخستین‌بار عملیات انفجار با استفاده از نیترات آمونیوم فنی‌کم‌کربن (TAN) را در معدن روباز Canteras de Santullán در اسپانیا انجام دادند. این اقدام پس از آن صورت گرفت که دو شرکت در سپتامبر ۲۰۲۳ از همکاری خود برای عرضه TAN کم‌کربن به مشتریانی که به‌دنبال راهکارهای پایدارتر برای انفجار بودند، خبر داده بودند. به گفته

پرو دِ آندرس سلاژ، مدیرعامل Canteras de Santullán، این معدن برای اجرای یک پروژه پیشگامانه در اسپانیا و اروپا انتخاب شد و در این عملیات از نیترات آمونیومی استفاده شد که ردپای کربنی کمتری داشت.

حذف عنصر نیتروژن از فرمولاسیون مواد منفجره، از تولید بخارات NOX جلوگیری می‌کند و شدت نیاز به اکسیژن در فرآیند انفجار را نیز به شکل قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

Orica برای این عملیات از نیترات آمونیومی استفاده کرد که Fertiberia با بهره‌گیری از هیدروژن تجدیدپذیر تولید کرده بود و به این ترتیب، برای نخستین‌بار یک ماده منفجره کم‌کربن در مقیاس صنعتی

آینده مواد منفجره پایدار

بر HPE در معادن زیرزمینی خواهد بود؛ زیرا در این معادن، علاوه بر مسئله پایداری، موضوع گازهای سمی مانند NOx، آمونیاک و CO۲ نیز اهمیت زیادی دارد.

با این‌حال، او تأکید می‌کند پیش از آنکه بتوان مواد منفجره مبتنی بر پراکسید هیدروژن را با اطمینان در معادن زیرزمینی و عملیات شلارژ در چاه‌ها مورد استفاده قرار داد، هنوز تحقیقات و آزمایش‌های زیادی لازم است‌او با اشاره به ماهیت پایدار این ماده شیمیایی می‌گوید از نظر مهندسی، هنوز نسبت به آماده بودن این فناوری تردید دارد و ممکن است حدود ۱۰ سال زمان نیاز باشد تا مواد منفجره HPE به جایگاهی قابل‌توجه در صنعت معدن برسند. در مقابل، گوستاوسون معتقد است بازار HPE و بازار مواد منفجره نیترات آمونیومی کاملاً از یکدیگر جدا هستند و به همین دلیل، زمان

سخن پایانی

حرکت به سمت مواد منفجره بدون نیترات نشان می‌دهد که تحول در صنعت آتشباری دیگر تنها به افزایش قدرت انفجار و بهره‌وری محدود نیست و ملاحظات زیست‌محیطی و ایمنی نیز به بخش مهمی از توسعه این فناوری‌ها تبدیل شده‌اند. مواد منفجره مبتنی بر پراکسید هیدروژن و گزینه‌های کم‌کربن می‌توانند با کاهش انتشار گازهای آلاینده، مصرف انرژی و آلودگی آب، بخشی از چالش‌های موجود در استفاده از مواد منفجره متعارف را کاهش دهند.

مواد منفجره مبتنی بر نیترات آمونیوم سال‌هاست بخش جدایی‌ناپذیر عملیات آتشباری در معادن هستند، اما افزایش الزامات زیست‌محیطی و نگرانی‌ها درباره انتشار گازهای سمی و کربن، صنعت معدن را به سمت یافتن گزینه‌های جایگزین سوق داده است. در این میان، مواد منفجره بدون نیترات، به‌ویژه فرمولاسیون‌های مبتنی بر پراکسید هیدروژن، به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوظهور مورد توجه قرار گرفته‌اند.

این فناوری‌ها با هدف کاهش انتشار کربن، حذف بخارات NOx و کاهش آلودگی آب ناشی از نیترات و آمونیاک توسعه یافته‌اند و می‌توانند در کنار افزایش ایمنی، مسیر تازه‌ای برای پایدارتر شدن فرآیند آتشباری ایجاد کنند. با این حال، هزینه تولید، مقیاس‌پذیری، الزامات ایمنی و نیاز به آزمایش‌های بیشتر، همچنان چالش‌های مهمی پیش روی تجاری‌سازی آنهاست. 🔥 در این گزارش، تازه‌ترین تلاش‌ها برای توسعه مواد منفجره بدون نیترات و چشم‌انداز استفاده از آنها در صنعت معدن را بررسی می‌کند.

همکاری‌های جدید در صنعت معدن، از حرکت امیدوارکننده به سمت روش‌های پایدارتر انفجار در عملیات معدنی حکایت دارد. حدود ۲۰ میلیون تن ماده منفجره مبتنی بر نیترات آمونیوم (AN) در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ موادی که انتشار قابل‌توجه گازهای گلخانه‌ای و چالش‌های زیست‌محیطی به همراه دارند. تولید این مواد نیز به انرژی زیادی نیاز دارد و بر محیط‌زیست اثرگذار است. بر اساس گزارش Swedish Mining Innovation، انتشار ناشی از مواد منفجره نیترات آمونیومی همچنین سالانه هزینه‌هایی در مقیاس میلیاردها دلار برای فراوری‌های پس از انفجار و توقف فعالیت‌های تولیدی ایجاد می‌کند.

قرار گرفتن در معرض بخارات و گازهای نیتراتی، حتی در دوره‌های کوتاه، می‌تواند مشکلات جدی برای سلامت ایجاد کند. این گازها

شرکت معدنی Boliden در مارس ۲۰۲۶ با شرکت سوئدی Hypex Bio قراردادی برای تولید و تأمین مواد منفجره سازگار با محیط‌زیست و بدون نیترات برای معدن Kankberg امضا کرد. به گفته این شرکت، استفاده از این فناوری می‌تواند نیاز به تصفیه آب آلوده به‌ترکیبات نیتروژن‌دار را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد و انتشار دی‌اکسیدکربن را سالانه حدود ۴۰۰ تن پایین بیاورد. این شرکت اعلام کرده است که HPE در مقایسه با مواد منفجره مبتنی بر نیترات، انتشار کربن بسیار کمتری دارد. بر اساس میانگین اتحادیه اروپا، تولید یک کیلوگرم آمولسیون نیترات آمونیوم در مرحله تولید اکسیدکننده، حدود ۲.۳ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کند؛ در حالی که تولید HPE تنها ۰.۲۳ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌کند که به معنای کاهش حدود ۹۰ درصدی انتشار است.

توماس گوستاوسون، مدیرعامل Hypex Bio، گفت‌وگو با Mining Technology انجام کرده است که این شرکت آزمایش‌های زیرزمینی این ماده را با همکاری Boliden Minerals در معدن Kankberg در شمال سوئد آغاز کرده است. به گفته او، مانند هر فرآیند توسعه مواد پرانرژی، ایمنی در اولویت قرار داشته و آزمایش‌ها به‌صورت مرحله‌ای و با استفاده از مقادیر بسیار کم محصول انجام شده‌اند.

او می‌گوید افزایش مقیاس آزمایش‌ها از مقیاس کوچک به متوسط و سپس بزرگ، از فوریه ۲۰۲۰ تا اکتبر ۲۰۲۲ ادامه داشت و در نهایت انفجار در مقیاس کامل سینه‌کار Boliden شد. توسعه و آزمایش فناوری توسط Hypex Bio انجام شد و Boliden نیز محل معدن و بازخورد‌های عملیاتی لازم برای دستیابی به توجیه اقتصادی و تجاری فناوری را در اختیار این شرکت قرار داد. به گفته Hypex Bio، استفاده از فناوری مواد منفجره پایدار و بدون نیترات، در کنار سامانه‌های شارژ خودکار، دیجیتالی و برقی، می‌تواند به صنعت معدن برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) کمک کند و همزمان بهره‌وری و ایمنی محل شارژ مواد منفجره را افزایش دهد.

مدیرعامل Hypex Bio معتقد است نیازها و انتظارات بخش‌های معدن و ساخت‌وساز، جهت حرکت بازار مواد منفجره را تعیین می‌کنند. از این رو، برای پیش‌بینی آینده فناوری‌های انفجاری، باید مسیر حرکت صنایع مصرف‌کننده این فناوری‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد.

گوستاوسون می‌گوید صنعت معدن طی ۵ تا ۱۰ سال آینده بیش از گذشته تحت تأثیر الزامات ESG قرار خواهد گرفت و استفاده از فناوری‌های همسو با این رویکرد، مانند Hypex، برای دستیابی به اهداف صنعت اهمیت زیادی خواهد داشت. به اعتقاد او، راهکارهای ESG‌محور که عملکرد خود را در شرایط واقعی اثبات کرده باشند، در نهایت می‌توانند به فناوری غالب در

شرکت‌های معدنی و دولت‌ها بیش از گذشته به سمت روش‌های پایدار و مواد منفجره سازگارتر با محیط‌زیست حرکت می‌کنند تا اثرات زیست‌محیطی عملیات را کاهش دهند و به الزامات مسئولیت اجتماعی پاسخ دهند. تولیدکنندگان مواد منفجره نیز برای پاسخ به این تقاضا، سرمایه‌گذاری در فرمولاسیون‌های پایدار و فرآیندهای تولید کم‌کربن را افزایش داده‌اند و تلاش می‌کنند رویکرد پایداری را در کل زنجیره ارزش مواد منفجره معدن وارد کنند. مواد منفجره HPE تاکنون نتایج امیدوارکننده‌ای از نظر کاهش اثرات زیست‌محیطی و دستیابی به عملکردی قابل‌مقایسه با مواد منفجره نیترات‌محور نشان داده‌اند. کاهش انتشار کربن، بهره‌وری انرژی و افزایش ایمنی در سایت‌های معدنی از جمله مزایای بالقوه این فناوری است. هم‌زمان، همکاری‌هایی مانند پروژه Orica و Fertiberia نیز توسعه گزینه‌های کم‌کربن برای جایگزینی مواد منفجره متعارف را سرعت بخشیده‌اند.

با این حال، گوستاوسون تأکید می‌کند که فرآیند آزمایش HPE با چالش‌های متعددی همراه بوده است. از آنجا که این فناوری پیش از این در چنین مقیاسی اجرا نشده بود، شرکت علاوه بر توسعه شیمیایی آمولسیون، مجبور شد فرآیند تولید، واحد تولید و سامانه‌های انتقال را نیز طراحی کند. همچنین، هیچ فرآیند آزمایش رسمی برای ارزیابی ویژگی‌های مختلف HPE وجود نداشت و ساختار لازم برای انجام این ارزیابی‌ها نیز باید توسعه پیدا می‌کرد. در این مرحله نیز مشکل مرتبط با دما مشاهده نشد.

ریمنزپرگر معتقد است مهم‌ترین کاربرد بالقوه مواد منفجره مبتنی

چهارشنبه
۸ مهر ۱۴۰۵
۱۸ رجب‌الثانی ۱۴۲۸
۲۰ سپتامبر ۲۰۲۵
شماره ۲۱۴۵
پیاپی ۶۶۶۲

هیدروژن

به‌خط تولید فولاد رسید

کارخانه فولاد سبز هیدنوم استیل در پوئرتولیوانی اسپانیا، تنها یک پروژه صنعتی نیست؛ پیش‌نمایش نظامی تازه در زنجیره فولاد اروپاست. این طرح ۱.۶ میلیارد یورویی با اتکا به برق تجدیدپذیر، کوره قوس الکتریکی، هیدروژن سبز و خط نورد پیوسته ESP، می‌خواهد هم‌زمان سه مسئله را حل کند: کربن‌زدایی، کاهش وابستگی وارداتی و بازتعریف بهره‌وری. دریافت حمایت دولتی و تضمین ۵۰۰ مگاوات برق پاک، پروژه را از سطح یک سرمایه‌گذاری بلندپروازانه به الگویی عملیاتی برای فولاد کم‌کربن رسانده است؛ الگویی که می‌تواند آینده رقابت‌پذیری صنعت اروپا را بازنویسی کند.

پروژه ساخت کارخانه فولاد سبز هیدنوم استیل که در منطقه پوئرتولیوانو اسپانیا قرار دارد در حال حاضر در مرحله پیشرفت قابل قبولی قرار دارد و با دریافت رسمی صدها میلیون یورو کمک مالی دولتی از برنامه PERTE در اوایل ۲۰۲۶ و تأمین ۵۰۰ مگاوات ظرفیت برق تجدیدپذیر در همین سال، شتاب قابل‌توجهی به خود گرفته است. این سرمایه‌گذاری با بودجه کل بیش از ۱.۶ میلیارد یورو، یکی از پیشروترین طرح‌های تولید فولاد تخت کم‌کربن در اروپا محسوب می‌شود که هدف آن دست‌یابی به تولید با انتشار نزدیک به صفر دی‌اکسید کربن از طریق ترکیب فناوری کوره قوس الکتریکی با انرژی تجدیدپذیر و ادغام تدریجی آهن اسفنجی مبتنی بر هیدروژن سبز است. ظرفیت اولیه کارخانه ۱.۵ میلیون تن کویل‌های نورد گرم در سال خواهد بود که در فازهای بعدی به ۲.۶ تا ۲.۷ میلیون تن در سال شامل محصولات نورد سرد، گالوانیزه و پوشش‌دار افزایش پیدا می‌کند و انتظار می‌رود تولید تجاری فاز اول در ۲۰۲۷ آغاز شود. این پروژه نه‌تنها خلأ واردات ۵ تا ۶ میلیون تنی فولاد تخت شبه‌جزیره ایبری را پر می‌کند بلکه استاندارد جدیدی برای فرایندهای نورد یکپارچه و پایدار در صنعت فولاد ایجاد خواهد کرد.

فرایند تولید فولاد تخت در این کارخانه با مرحله تأمین و آماده‌سازی مواد اولیه آغاز می‌شود که دقت بالایی در انتخاب ورودی‌ها برای دستیابی به کیفیت نهایی محصولات نورد شده اعمال می‌کند. سنگ‌آهن با عیار بالا به‌صورت گندله یا لامپ همراه با حجم قابل‌توجهی از ضایعات فولادی بازیافتی شامل محصولات فرسوده صنعتی و ضایعات تولید، به‌عنوان پایه شارژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. پردازش ضایعات شامل مراحل پیشرفته خرد کردن، جداسازی مغناطیسی و آنالیز دقیق برای حذف عناصر ناخواسته مانند مس، قلع و سایر عناصر مضراتست که تأثیر مستقیمی بر فرم‌پذیری، جوش‌پذیری و کیفیت سطح محصولات تخت نهایی دارند. در فازهای توسعه‌ای پروژه، واحد تولید DRI با استفاده از هیدروژن سبز حاصل از الکترولیز آب توسط برق تجدیدپذیر محلی که عمدتاً از مزارع خورشیدی و بادی منطقه استحصال می‌شوند راه‌اندازی خواهد شد. در این فرایند آهن اسفنجی با درجه متالیزاسیون ۹۰ تا ۹۵ در‌صد تولید می‌شود که پایداری شیمیایی بالایی برای شارژ کوره ارانه می‌دهد. شارژ ترکیبی DRI و ضایعات به کوره قوس الکتریکی منتقل می‌شود که کاملاً با برق تجدیدپذیر تأمین شده از قراردادهای بلندمدت خرید و اتصالات مستقیم به شبکه تجدیدپذیر کار می‌کند. ذوب در EAF با کنترل دقیق پارامترهای الکتریکی و تزریق اکسیژن بهینه‌سازی شده، فولاد مذاب با ترکیب شیمیایی دقیق تولید می‌کند. قلب فناوری تولید محصولات تخت در این کارخانه، خط نورد با تکنولوژی Arvedi Endless Strip (ESP) است که توسط گروه پریمتاز تأمین شده و ریخته‌گری مداوم اسلب نازک را با نورد گرم در یک خط پیوسته و بی‌پایان ترکیب می‌کند. فولاد مذاب از تاندیس‌ها به قالب ریخته‌گری اسلب نازک با ضخامت اولیه ۵۰ تا ۹۰ میلی‌متر وارد شده و با اعمال میدان‌های الکترومغناطیسی پیشرفته، سرعت انجماد پوسته کنترل می‌شود تا از ایجاد جاذبش در مرکز و تشکیل آخال‌های درشت جلوگیری گردد. اسلب نازک بلافاصله پس از خروج از کوره، بدون نیاز به پیش‌گرم در کوره‌های گازسوز سنتی، به بخش استندهای رافینگ منتقل می‌شود. این طراحی نوآورانه مصرف انرژی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد، زیرا حرارت نهان ریخته‌گری حفظ شده و مستقیماً برای کاهش ضخامت‌های بعدی استفاده می‌شود. مدیریت منابع به‌صورت چرخشی طراحی شده است تا پایداری کامل شود. سیستم تصفیه پیشرفته فاضلاب شهری و صنعتی، آب موردنیاز برای خنک‌کاری، پوسته زدایی و اسیدشویی را تأمین کرده و با بازیافت نزدیک به ۱۰۰ درصد، مدل پساب صفر را محقق می‌سازد. بخش خشک اسپانیا بسیار حیاتی است. ضایعات جامد مانند سرباره به مصالح ساختمانی، مواد خام سیمان یا عایق‌ها تبدیل شده و غبار و پوسته‌های اکسیدی به چرخه تولید بازگردانده می‌شوند. این رویکرد نه‌تنها تأثیر زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند، بلکه هزینه‌های مواد اولیه را کاهش می‌دهد و رقابت‌پذیری اقتصادی پروژه را در بازار فولاد سبز تقویت می‌کند. این کارخانه با تولید فولاد تخت نورد با ردپای کربن بسیار پایین، وابستگی اروپا به واردات را کاهش داده، زنجیره تأمین صنایع کلیدی را امن‌تر کرده و بیش از ۱۱۰۰ شغل مستقیم با کیفیت بالا ایجاد خواهد کرد. ادغام فناوری ESP با EAF، تجدیدپذیر، کنترل دیجیتال دقیق و اقتصاد چرخشی، الگویی موفق برای تولید محصولات تخت نورد شده در مقیاس صنعتی ارائه می‌دهد که هم‌زمان بهره‌وری بالا، انعطاف‌پذیری گرید و پایداری واقعی را محقق می‌سازد. این رویکرد جامع نه‌تنها استانداردهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه اتحادیه اروپا را برآورده می‌کند بلکه موقعیت استراتژیک اسپانیا و اروپا را در صنعت فولاد تقویت خواهد کرد و راه را برای گسترش مشابه در سایر مناطق هموار می‌سازد.

▼

گروه معدن

editor@smtnews.ir



یکی از این

گزینه‌ها، مواد

منفجره بدون

نیترات است

که با حذف

نیترات‌ها

می‌تواند اثرات

زیست‌محیطی

عملیات انفجار

و انتشار کربن

را کاهش دهد



حرکت به

سمت مواد

منفجره بدون

نیترات، یکی

از نشانه‌های

مهم تغییر

رویکرد صنعت

معدن نسبت

به پایداری

و مسئولیت

زیست‌محیطی

است؛ مسیری

که در کنار

کاهش انتشار

کربن، می‌تواند

ایمنی، مدیریت

آب و شرایط

کاری در معادن

را نیز تحت

تأثیر قرار دهد