

بررسی انواع نسوزهای مورد استفاده در کوره‌های قوس الکتریکی و القایی

امیرحسین برجی¹ (دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه شریف)

چکیده

نسوزها مواد مقاوم به حرارت هستند که در کوره‌های صنعتی مانند کوره‌های قوس الکتریکی (EAF) و القایی (IF) برای محافظت از ساختار کوره در برابر دماهای بالا، واکنش‌های شیمیایی و تنش‌های مکانیکی استفاده می‌شوند. این مقاله به بررسی انواع نسوزهای مورد استفاده در این کوره‌ها به تفکیک بخش‌های مختلف (دیواره، کف، سقف و بوت‌ه) می‌پردازد و تفاوت‌های آن‌ها را بر اساس شرایط عملیاتی، دما و نوع سرباره تحلیل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که کوره‌های EAF به دلیل دماهای بالاتر و سرباره‌های قلیایی نیاز به نسوزهای پیشرفته‌تری مانند منیزیتی-کربنی دارند، در حالی که کوره‌های IF از نسوزهای سیلیسی و آلومینایی برای فلزات غیرآهنی و فولاد استفاده می‌کنند.

کلمات کلیدی: خاکستر، کوره قوس الکتریکی، مکانیسم تخریب، سرباره، بهینه‌سازی انرژی

۱. مقدمه

کوره‌های قوس الکتریکی و القایی از تجهیزات کلیدی در صنایع متالورژی برای ذوب فلزات هستند. کوره‌های EAF با تولید دماهای بسیار بالا (تا ۳۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) و سرباره‌های فعال شیمیایی، نیاز به نسوزهای مقاوم در برابر شوک حرارتی و خوردگی دارند. در مقابل، کوره‌های IF با دماهای پایین‌تر (تا ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) و کاربرد در ذوب فلزات غیرآهنی، از نسوزهای مقرون‌به‌صرفه‌تری استفاده می‌کنند. این مقاله انواع نسوزها را برای هر نوع کوره بررسی کرده و مقایسه‌ای جامع ارائه می‌دهد.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه بر اساس منابع علمی و صنعتی موجود انجام شده است. اطلاعات از مقالات تخصصی، داده‌های صنعتی و استانداردهای نسوز جمع‌آوری شده و بر اساس بخش‌های مختلف کوره‌ها (دیواره، کف، سقف و بوت‌ه) و شرایط عملیاتی تحلیل شده است. معیارهای انتخاب نسوز شامل مقاومت حرارتی، مقاومت در برابر سرباره، شوک حرارتی و هزینه است.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. کوره‌های قوس الکتریکی (EAF)

کوره‌های EAF برای ذوب فولاد و آلیاژهای خاص طراحی شده‌اند و با دماهای بالا و سرباره‌های قلیایی مواجه هستند. نسوزهای مورد استفاده در بخش‌های مختلف کوره به شرح زیر است:

¹ amirhosseinborji99@gmail.com

۳،۱،۱. دیواره‌ها (Sidewalls)

- آجرهای منیزیته-کربنی (MgO-C):
 - ترکیب: اکسید منیزیم (MgO) با ۱۰-۲۰٪ کربن (گرافیت).
 - ویژگی‌ها: مقاومت عالی در برابر شوک حرارتی و خوردگی سرباره‌های قلیایی، عمر طولانی (۱۰۰-۶۰۰ ذوب).
 - کاربرد: نواحی در تماس با سرباره و فلز مذاب.
- آجرهای منیزیته (MgO):
 - مقاومت خوب در برابر سرباره‌های قلیایی، اما در نواحی با تنش کمتر استفاده می‌شوند.
- آجرهای دولومیتی (CaO-MgO):
 - ارزان‌تر، اما مقاومت کمتری در برابر شوک حرارتی دارند. گاهی با کربن تقویت می‌شوند.

۳،۱،۲. کف کوره (Bottom/Hearth)

- نسوزهای منیزیته یا دولومیتی متراکم:
 - اجرا با روش رمینگ یا بتن‌ریزی نسوز (Castable).
 - ویژگی‌ها: مقاومت در برابر فلز مذاب و تنش‌های مکانیکی.
- جرم‌های نسوز منیزیته (Ramming Mass):
 - ترکیب: منیزیته با افزودنی‌های کربنی یا رزینی برای پر کردن شکاف‌ها و افزایش دوام.

۳،۱،۳. سقف کوره (Roof)

- آجرهای آلومینا بالا (High-Alumina, Al_2O_3):
 - ترکیب: ۷۰-۸۰٪ آلومینا.
 - ویژگی‌ها: مقاومت در برابر دما و سایش، مناسب برای شوک‌های حرارتی.
- بتن‌های نسوز (Castables):
 - بتن‌های آلومینایی یا منیزیته برای سقف‌های پیش‌ساخته یا ریخته‌گری در محل.

۳،۲. کوره‌های القایی (IF)

کوره‌های IF برای ذوب فلزات غیرآهنی (مس، آلومینیوم) و فولادهای خاص با دماهای ۱۶۰۰-۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شوند. نسوزهای مورد استفاده عبارت‌اند از:

۳،۲،۱. بوته (Crucible)

- جرم‌های نسوز سیلیسی (Silica-Based Ramming Mass):
 - ترکیب: سیلیس (SiO_2) با خلوص ۹۸-۹۹٪.

- ویژگی‌ها: ارزان، مقاومت خوب در برابر فلزات غیرآهنی، هدایت حرارتی پایین.
- محدودیت: مقاومت کم در برابر سرباره‌های قلیایی و دماهای بالای ۱۶۵۰ درجه.
- جرم‌های نسوز آلومینایی (Alumina-Based Ramming Mass):
 - ترکیب: آلومینا (Al_2O_3) با ۷۰-۹۰٪.
 - ویژگی‌ها: مقاومت بالا در برابر دما و سایش، مناسب برای فولاد پرالیاژ.
- جرم‌های نسوز منیزی (Magnesia-Based Ramming Mass):
 - کاربرد: در شرایط سرباره قلیایی یا آلیاژهای خاص، کمتر رایج.

۳.۲.۲. دیواره‌ها و سقف

- بتن‌های نسوز آلومینایی (Alumina Castables):
 - ترکیب: آلومینا با افزودنی‌های سیلیکاتی یا کلسیمی.
 - ویژگی‌ها: مقاومت در برابر شوک حرارتی و دما.
- آجرهای آلومینا-سیلیکا:
 - کاربرد: در نواحی با تنش کمتر برای کاهش هزینه.

۳.۳. مقایسه نسوزهای EAF و IF

جدول زیر تفاوت‌های کلیدی نسوزهای مورد استفاده در این کوره‌ها را نشان می‌دهد:

ویژگی	کوره قوس الکتریکی (EAF)	کوره القایی (IF)
دمای کاری	تا ۳۵۰۰ درجه سانتی‌گراد	تا ۱۷۰۰-۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد
نسوز اصلی	منیزی-کربنی، دولومیتی، آلومینا بالا	سیلیسی، آلومینایی، منیزی
کاربرد اصلی	دیواره، کف، سقف	بوته، دیواره‌ها
مقاومت به سرباره	بالا (به‌ویژه قلیایی)	متوسط (بسته به فلز و سرباره)
شوگ حرارتی	نیاز به مقاومت بالا	نیاز به مقاومت متوسط
روش نصب	آجرچینی، رمینگ، بتن‌ریزی	عمدتاً رمینگ
عمر نسوز	۶۰۰-۱۰۰ ذوب	۳۰۰-۵۰ ذوب

- دلایل تفاوت:
 - دمای کاری: EAF دماهای بالاتری تولید می‌کند، بنابراین نسوزهای منیزی-کربنی با مقاومت حرارتی بالا ضروری هستند.
 - سرباره: سرباره‌های قلیایی در EAF نیاز به نسوزهای پایه منیزی دارند، در حالی که IF با سرباره‌های اسیدی یا خنثی (فلزات غیرآهنی) سازگار با نسوزهای سیلیسی است.

- سایش: در IF، حرکت فلز مذاب ناشی از جریان القایی باعث سایش بیشتر در بوته می‌شود، در حالی که در EAF، شوک حرارتی و خوردگی سرباره چالش اصلی است.

۴. نتیجه‌گیری

انتخاب نسوز در کوره‌های EAF و IF به دمای کاری، نوع سرباره و فلز ذوب‌شده بستگی دارد. در EAF، نسوزهای منیزیتی-کربنی به دلیل مقاومت در برابر دماهای بالا و سرباره‌های قلیایی ترجیح داده می‌شوند، در حالی که در IF، نسوزهای سیلیسی برای فلزات غیرآهنی و آلومینایی برای فولاد مناسب‌تر هستند. نگهداری منظم (مانند پچینگ یا گانینگ) می‌تواند عمر نسوزها را افزایش دهد. تحقیقات آینده می‌توانند بر توسعه نسوزهای ارزان‌تر با مقاومت بالاتر متمرکز شوند.

۵. منابع

1. Gao, J. (2023). *Refractory Materials for Different Parts of Electric Arc Furnace*. LinkedIn.
2. *Refractory Lining in Induction Furnace*. (2022). Aluminum-Furnace.com.
3. *Refractory Lining of the Electric Arc Furnace*. (2020). IspatGuru.