

عنوان چالش فناوریانه:

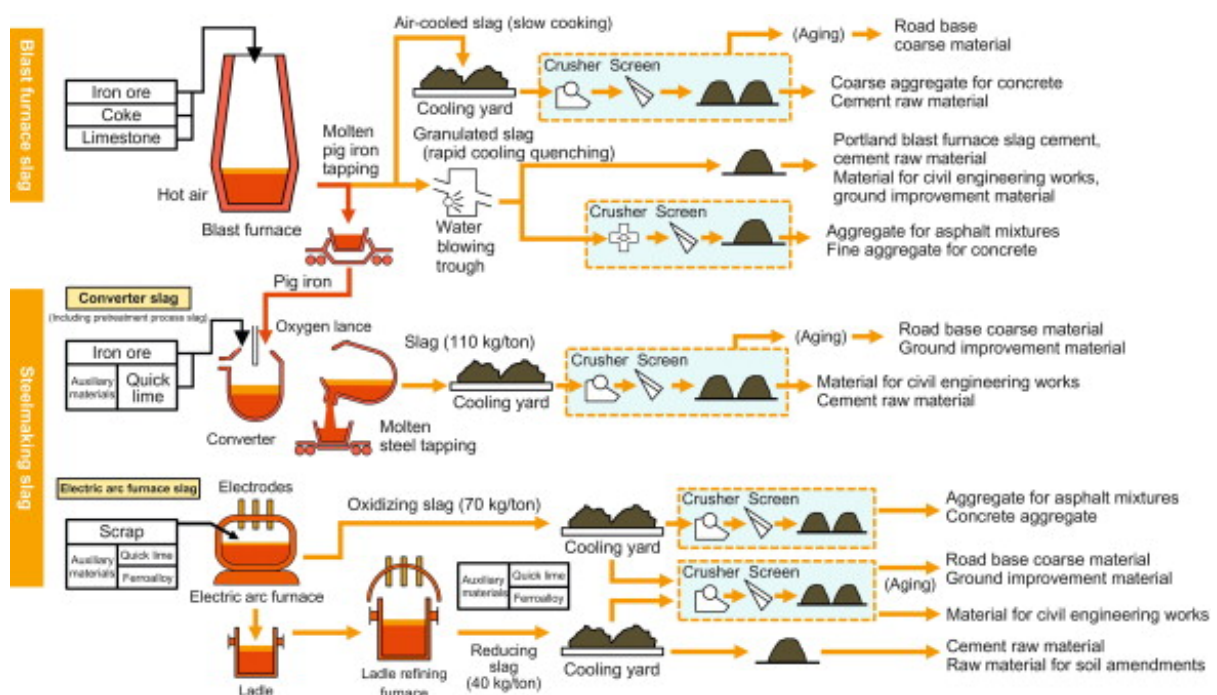
فرآوری، بازیافت و تجاری سازی محصولات جانبی (پسماندهای جامد) فولادسازی
(سرباره، غبار کوره قوس الکتریک و ...)



شرح مسأله:

سرباره کوره قوس الکتریکی، غبار کوره کوره قوس الکتریکی و نسوزهای منیزی، آلومینایی و دولومیتی به عنوان محصول جانبی یا باطله صنایع آهن و فولاد مطرح هستند. امروزه با کمک فرآیندهای پیشرفته، از سرباره کوره قوس در بیشتر صنایع سازه‌ای چون راه‌سازی، سیمان، بلوک‌های ساختمانی سبک، ساختمان‌سازی، بتون‌های ساختمانی، بتون‌های آسفالتی، ماسه‌های خطوط راه‌آهن، پشم سنگ و صنایع شیشه استفاده می‌شود. بعلاوه، سالانه مقادیر زیادی غبار کوره‌های قوس الکتریکی در صنایع آهن و فولاد جهان تولید می‌شود. این غبارات علاوه بر دارا

بودن مقادیری آهن محتوی، حاوی مقادیر متنابهی فلزات دیگری چون روی، سرب و کادمیم می‌باشند که انبار کردن آنها در فضای باز، باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. علاوه بر سرباره و غبار کوره قوس الکتریکی، ضایعات نسوزهای منیزیتی، آلومینایی و دولومیتی از دیگر محصولات جانبی هستند. با شناخت پسماند و اصول مهندسی ثانویه، می‌توان ۱۰ تا ۱۵ درصد نسوز مصرفی را به سیکل تولید فولاد برگرداند. ضایعات نسوز را نیز می‌توان به تولیدکننده‌های نسوز داد تا برای آجرهای بازافتی خود از آن استفاده کنند. مدیریت پسماند، نقطه اوج مهندسی نسوز است.



شکل ۱: شماتیک فرایندهای بازیابی سرباره



۱) بازیابی سرباره کوره قوس الکتریکی

امروزه با افزایش تولید فولاد در دنیا، تولید سرباره نیز به عنوان محصول فرعی فولادسازی افزایش یافته است. از طرف دیگر سرباره‌ها بسته به روش تولید، حاوی عناصر فلزی و ترکیبات مختلف می‌باشند. بازیابی فلزات از سرباره و بهره‌برداری از آن‌ها هم برای منابع فلزی و هم برای محافظت از محیط زیست مهم می‌باشد. از این‌رو یافتن روشی به منظور بازیابی سرباره کوره قوس الکتریک و عناصر فلزی به خصوص آهن و استفاده مجدد از آنها در فولادسازی یا صنایع دیگر ضروری می‌باشد. به دلیل استفاده از دمش اکسیژن در کوره قوس الکتریکی و مصرف آهن اسفنجی، سرباره نیز شامل درصد زیادی آهن می‌باشد. با توجه به مشکلات دفع سرباره، یافتن راه حلی برای استفاده از سرباره اهمیت پیدا می‌کند. از طرفی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سرباره کوره قوس الکتریکی با شارژ آهن اسفنجی با سرباره کوره بلند تفاوت‌های اساسی دارد.

یافتن روشی برای استفاده مجدد از سرباره می‌تواند از لحاظ زیست‌محیطی و جلوگیری از هدر رفتن انرژی و مواد اولیه حائز اهمیت باشد. مطالعات انجام شده در بازیافت پسماندهای جامد نشان می‌دهد که به ازای هر تن فولاد تولیدی ۴۲۰ کیلوگرم پسماند جامد شامل سرباره فولاد سازی، غبار، لجن، پوسته‌های نورد، نسوزهای مصرف شده و ... تولید می‌شوند. سرباره‌ها در واقع منبع ثانویه فلزات هستند. روش مرسوم در سرباره‌ها انباشته کردن است. می‌توان از سرباره‌های انباشته شده در زمینه‌های مختلف مانند تولید سیمان، ساخت جاده و مهندسی عمران، تولید کود، اصلاح خاک و فیلتراسیون آب و تولید آهن فلزی و ترکیبات آهن‌دار استفاده کرد. در مرحله اول تولید فولاد، سرباره درون کوره تولید می‌شود و به علت سبک‌تر بودن از مواد مذاب آهن یا فولاد، روی آن شناور می‌ماند. زمانی که دمای مذاب آهن یا فولاد به حد مورد نظر رسید، سرباره از روی آن به خارج هدایت می‌گردد و سپس مذاب آهن یا فولاد تخلیه می‌شود.

ترکیب شیمیایی و مشخصات سرباره های موجود

(آنالیز سرباره تولیدی در هر یک کارخانه ها متفاوت است)

	% Al ₂ O ₃	% CaO	% MgO	% MnO	% SiO ₂	% Fe(T)
100% Scrap	4.3	34	7	3	16	20 - 25
90% DRI – 10% Scrap	4	30	10	0.6	20	20 - 25

حجم سرباره موجود

۶۰۰ هزار تن	سرباره ناشی از شارژ ۱۰۰ درصد قراضه
۲/۵ میلیون تن	سرباره ناشی از شارژ حدود ۹۰ درصد آهن اسفنجی و ۱۰ درصد قراضه

پیش بینی میزان سرباره تا اقی ۱۴۰۴

۵ میلیون تن

نقش سرباره:

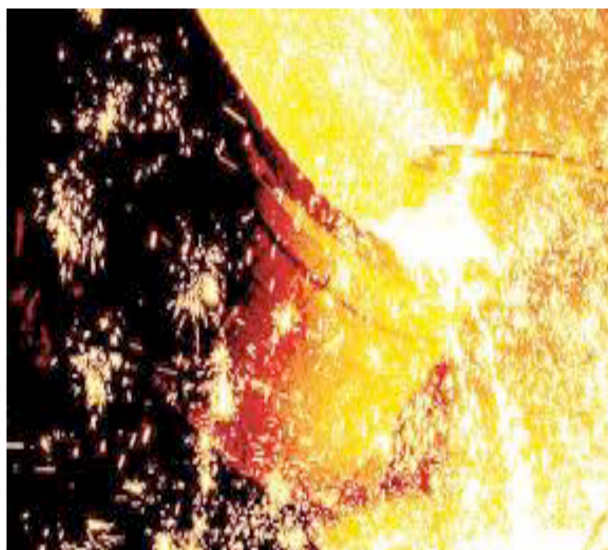
- حذف عناصر مضر (فسفر و گوگرد)
- محافظت از نسوز جداره و پنل های آبگرد
- کاهش تلفات انرژی
- کاهش مصرف الکترود

حجم تولید:

حجم تولید به ازاء هر ذوب ۱۱۰ تنی،
بطور میانگین ۲۵ تن می باشد

مشکلات استفاده از سرباره کوره های قوس الکتریک:

اکسید آهن بالا (حدود ۲۵ درصد)



۲) بازیابی غبار کوره قوس الکتریکی

اساسا غبار کوره قوس الکتریک یکی از ضایعات پرخطر در اکثر کشورهای صنعتی جهان به شمار می‌رود. این غبار در طی فرآیند تولید فولاد مذاب از قراضه و آهن اسفنجی در کوره‌های قوس الکتریک تولید می‌گردد. در حال حاضر از مجموع ظرفیت تولید فولاد در ایران، ۶۰ درصد آن از طریق فولادسازی با کوره‌های قوس الکتریکی و با استفاده از آهن اسفنجی است که منتج به تولید حداقل ۶۰۰۰۰ تن غبار از کوره‌های قوس الکتریک می‌گردد. براساس برنامه توسعه صنعت فولاد، پیش بینی می‌شود مقدار غبار کوره‌های قوس الکتریکی به بیش از ۱۰۰،۰۰۰ تن در سال برسد.

در طی مرحله شارژ کردن مواد به کوره، غبارها به صورت ذرات ریز و مواد فرار توسط جریان تلاطمی و گرما آزاد می‌شوند. متعاقبا به علت دمای کاری بالای کوره (بالتر از ۱۶۰۰ درجه) در فرایند ذوب و تصفیه، مواد ریز و فرار بیشتری تولید می‌شود. عناصر فرار نیز مانند روی، سرب و کادمیم که از طریق شارژ وارد کوره شده‌اند، عموماً در مراحل اولیه تبخیر شده و سرانجام تمامی آنها وارد فاز بخار می‌شوند. عناصر دیگری نیز مانند آهن، کروم، نیکل و منگنز عموماً در طول فرآیند تصفیه، اکسید شده و به شکل ذره وارد غبار می‌شوند. همچنین در انتها ذرات ریز دیگری نیز در طی مرحله تخلیه و بارگیری که بسیار متغیر است وارد مخلوط غبار کوره خواهند شد.



شکل ۲: نمونه ای از غبار کوره

آنالیز غبار کوره

(آنالیز غبار تولیدی در هر یک کارخانه‌ها متفاوت است)

SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ -FeO %	MgO %	CaO %	ZnO %	K ₂ O %	Na ₂ O
6.7	49.8	11.1	11.4	1.8	1.2	1.9
حجم غبار تولیدی به ازاء هر ذوب ۱۱۰ تنی						
2 Ton						
حجم دبوی موجود						
200,000 Ton						

فازهای کریستالی موجود

Mg _{0.4} Fe _{2.96} O ₄	MgFe ₂ O ₄	Iron Magnesium Oxide	CaFe (Si ₂ O ₆)	Spinel Zn,Fe	SiO ₂	PbO ₂	ZnFe ₂ O ₄	Zn _{0.75} Mn _{0.75} FeO	CaO	ZnO	Fe ₃ O ₄	فازهای کریستالی
-	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	نمونه ۱
-	*	-	-	*	-	*	*	*	-	*	*	نمونه ۲
*	-	-	*	*	-	*	*	*	*	-	*	نمونه ۳
-	-	-	*	*	-	*	*	*	-	-	*	نمونه ۴

(۳) نسوزهای منیزیتی، آلومینایی و دولومیتی

از آجرهای نسوز بدلیل مقاومت حرارتی بالا ، در پوشش درونی کوره‌های صنعتی استفاده می‌شود. آجرهای نسوز انواع مختلفی دارد و باتوجه به نوع ماده استفاده شده در ترکیبات آنها ، گستره‌های مختلفی را تحمل می‌کنند.

• نسوزهای منیزیت - کرومیتی:

در نسوزهای منیزیت - کرومیتی، حضور کروم در کنار منیزیت باعث افزایش انعطاف‌پذیری آجر شده و بنابراین مصونیت آن را در مقابل تنش‌های وارده و نیز شوک حرارتی، بیشتر می‌کند. ولی اتصال سیلیکاتی به هر حال محدودیت‌هایی را برای آجر نسوز، از نظر ترمومکانیکی و شیمیایی، ایجاد می‌کند. آجرهای منیزیت - کرومیتی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- آجر منیزیت - کرومیتی اتصال مستقیم (Direct Bond)

۲- آجر منیزیت - کرومیتی اتصال سیلیکاتی (Silica Bond)

۳- آجر منیزیت - کرومیتی اتصال اسپینلی

آجرهای فوق از لحاظ ترکیب شیمیایی با هم یکسان بوده و فقط تحت شرایط غیر یکسان پخت به هر کدام از گروه‌ها تبدیل می‌شوند.

• نسوزهای آلومینایی

نسوزهای آلومینا به دو صورت تولید می‌شوند:

نوع مسطح (tabular)

نوع گداخته (Fused)

الف) تولید نوع مسطح

در تولید نوع مسطح از پودرهای با خلوص بالای آلومینا ۹۹.۹۹٪ استفاده می‌شود. به این صورت که پودر آلومینای کلسینه شده را تا دمایی نزدیک دمای ذوب حرارت می‌دهند (بالتر از ۱۹۲۵ درجه سانتیگراد) تا کریستال‌های ریزدانه α -Alumina به کریستال‌های مسطح و بزرگ با ساختار ۶ وجهی در آیند. محصولات را خرد و دانه بندی می‌کنند و در تولیدات نسوز به کار می‌برند.

ب) تولید نوع گداخته

در این روش مواد اولیه را به صورت خمیر در آورده و داخل کوره شارژ کرده و ذوب می‌کنند. برای ذوب از کوره القایی استفاده می‌کنند. نسوز تولیدی اندازه دانه بزرگی دارد و باید به میزان دلخواه خرد شود. نسوزهای گداخته به دو صورت تولید می‌شوند.

پارامترهای موثر بر روی نسوزهای آلومینا

به طور کلی آلومینا در هوا و محیط‌های اکسیدکننده بدون رطوبت مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد. عوامل زیادی در میزان مقاومت آلومینا موثر هستند که مهمترین آنها سرباره‌ها می‌باشند. مقاومت در مقابل سرباره نیز به عوامل زیادی بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

۱. فعالیت شیمیایی سرباره

۲. گران روی و سیالیت سرباره

۳. زاویه ترکنندگی سرباره

سطح تماس بین نسوز و سرباره نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و باید در حد امکان کم باشد. برای کاهش سطح تماس باید تخلخل نسوز به حداقل برسد و از طرفی درصد وزنی عناصر قلیایی و ترکیبات آنها به حداقل برسد. چون این عناصر اثر بسیار نامطلوبی بر روی نسوزها می‌گذارند.

کاهش میزان تخلخل موجود در آجرهای نسوز و میزان چگالی آنها در کیفیت دیرگدازی آنها بسیار مهم است و می‌توان اهمیت آن را با ترکیب شیمیایی آجر نسوز هم ردیف قرار داد.



نسوزهای دولومیتی:

ماده اولیه برای ساخت این نسوزها دولومیت ($\text{Ca Mg}(\text{Co}_3)_2$) با ۵۸٪ وزنی CaO و ۴۲٪ وزنی MgO می باشد. از تکلیس دولومیت در ۱۰۰۰ درجه سلسیوس، مخلوط CaO و MgO با تخلخل زیاد حاصل می شود که به خاطر سطح زیاد و میل شدید به هیدراته شدن برای ساخت نسوز مناسب نیستند. مواد حاصل از تکلیس پس از قالب گیری در حوالی ۱۷۰۰ درجه سلسیوس پخته می شوند تا تخلخل آنها به حدود ۱۵٪ کاهش داده شود.

آنالیز ضایعات آجر نسوز

آجر نسوز	% MgO	% CaO	% SiO ₂	Al ₂ O ₃
منیزی	95-97	1.4	0.7	***
دولومیتی	35	55	1.5	***
شاموتی	0.5	***	2.5	85

آنالیز جرم های نسوز

جرم های نسوز	% MgO	% CaO	% SiO ₂	Al ₂ O ₃
جرم 85	0.5	***	2.5	85
جرم M3	90	2	5	***
جرم 60	***	8	***	60