به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره‌های فولادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری

مجید عموچی

اساتید راهنما

دکتر سید مهدی ابطحی

دکتر بهروز کوشا

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره‌های فولادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری

مجید عموچی

اساتید راهنما

دکتر سید مهدی ابطحی

دکتر بهروز کوشا

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – راه و ترابری آقای مجید عموچی

تحت عنوان

بررسی استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره‌های فولادی

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۹ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید مهدی ابطحی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر بهروز کوشا
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس سید مهدی حجازی
٤- استاد داور	دکتر کیاچهر بهفرنیا
٥- استاد داور	دکتر عباس طباطبایی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری

بر خود لازم می‌دانم که از توجه و راهنمایی‌های ارزنده اساتید گرانقدر، آقایان دکتر سید مهدی ابطحی و دکتر بهروز کوشا تشکر نمایم. همچنین مراتب قدردانی خود را نسبت به مساعدت‌های آقایان مهندس سید مهدی حجازی، مهندس حسین شیخ‌زین الدین، مهندس احمد گلی، اعضای گروه پژوهشی فناوری‌های نوین در مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان و به ویژه جناب آقای مهندس آیرون و پرسنل محترم اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان اعلام می‌دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدری بزرگوار و مادری مهربان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: سرباره، الیاف و آسفالت

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تعریف سرباره ۳

۱-۳ تاریخچه استفاده از سرباره ۳

۱-٤ انواع سرباره ۳

۱-۴-۱ سرباره کوره بلند ۴

۱-۴-۲ سرباره فولاد ۹

۱-۵ وضعیت تولید و مصرف سرباره در ایران و جهان ۱۳

۱-۶ لزوم استفاده از سرباره ۱۴

۱-۷ موارد مصرف ۱۵

۱-۷-۱ سنگدانه در ساخت بتن ۱۵

۱-۷-۲ سنگدانه درزیر اساس و اساس راه‌ها ۱۵

۱-۷-۳ خاکریزها ۱۵

۱-۷-٤ ساخت آسفالت ۱۵

۱-۷-۵ بالاست ۱۶

۱-۷-٦ ریپ رپ و گابیون ۱۶

۱-۷-۷ سایر مصارف ۱۶

۱-۸ سرباره و آسفالت ۱۶

۱-۸-۱ عریان‌شدگی و سرباره ۱۷

۱-۸-۲ فرسایش رویه و سرباره ۱۷

۱-۸-۳ به وجود آمدن ترک‌های مختلف در آسفالت و سرباره ۱۸

۱-۸-٤ لغزندگی رویه آسفالتی و سرباره ۱۸

۱-۸-۵ شیارافتادگی و سرباره ۱۹

۱-۹ مشکلات استفاده از سرباره در روسازی ۱۹

۱-۱۰ مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه کاربرد سرباره در آسفالت ۲۰

۱-۱۰-۱ شن و همکاران ۲۰

۱-۱۰-۲ سنگز و احمدزاده ۲۱

۱-۱۰-۳ ضیاءالدین خان و همکاران ۲۴

۱-۱۰-٤ پاستو و بالدو ۲۴

۱-۱۰-۵ هانت و گلن ۲۸

۱-۱۰-۶ شائوپنگ و یونگجی ۲۹

۱-۱۰-۷ زیاری و خبیری ۳۲
۱-۱۰-۸ طباطبایی و بخشی ۳۳
۱-۱۱ تسلیح آسفالت ۳۴
۱-۱۱-۱ الیاف پلی‌پروپیلن، الیافی ایده‌آل برای آسفالت ۳۶
۱-۱۱-۲ تاثیر طول الیاف بر تسلیح آسفالت ۳۷
۱-۱۲ مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در آسفالت ۳۷
۱-۱۳ جمع بندی و نتیجه‌گیری ۴۲
۱-۱۴ معرفی ایده آسفالت الیافی سرباره‌ای به عنوان ایده پژوهشی ۴۳
فصل دوم: برنامه آزمایشگاهی
۲-۱ مقدمه ۴۴
۲-۲ طراحی آزمایشات ۴۵
۲-۲-۱ تعیین خصوصیات مصالح (سنگدانه ها) مورد استفاده در تهیه نمونه‌ها ۴۵
۲-۲-۲ تعیین خصوصیات قیر مورد استفاده ۴۶
۲-۲-۳ مشخصات الیاف پلی‌پروپیلن ۵۰
۲-۲-۴ آزمایش‌های بتن آسفالتی ۵۰
فصل سوم: تحلیل نتایج
۳-۱ مقدمه ۶۵
۳-۲ تحلیل نتایج آزمایشات آسفالت ۶۵
۳-۲-۱ تعیین درصد قیر بهینه مصالح الف و ب ۶۵
۳-۲-۲ مقایسه نتایج ۶۸
۳-۳ تعیین ترکیب بهینه استفاده از الیاف ۷۱
۳-۴ تعیین قیر بهینه در آسفالت سرباره‌ای الیافی ۷۴
۳-۵ تعیین قیر بهینه برای آسفالت معمولی الیافی ۷۶
۳-۶ بررسی حدسها در تفسیر نتایج ۷۷
۳-۶-۱ سیتی اسکن آسفالت ۷۷
۳-۶-۲ تجزیه آسفالت الیافی ۷۸
۳-۷ تحلیل آماری نتایج ۷۹
۳-۷-۱ تحلیل ANOVA ۷۹
۳-۷-۲ ارائه نتایج تحلیل آماری ۸۳
۳-۸ تحلیل اقتصادی ۸۹
فصل چهارم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۴-۱ جمع‌بندی ۹۲
۴-۲ نتایج مطالعه ۹۴
۴-۳ پیشنهادات ۹۴
مراجع ۹۶

چکیده

سرباره‌ها، محصول جانبی تولید کارخانجات آهن و فولاد هستند که اغلب به صورت دپوهای بزرگ در اطراف این کارخانه‌ها انباشته می‌شوند. در طول سال‌ها تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان جهت مصرف این ماده انجام و زمینه‌های متعددی برای این منظور پیشنهاد شده است. یکی از این زمینه‌ها که می‌تواند در حجم زیادی سرباره‌ها را مورد استفاده قرار دهد، استفاده به عنوان مصالح سنگی در تولید آسفالت است. مطالعات نشان می‌دهند کاربرد آسفالت‌های حاوی سرباره علی‌رغم مزایای مختلف دارای معایبی می‌باشند که یکی از مهمترین آنها، مصرف قیر بیشتر آنها در مقایسه با آسفالت‌های معمولی است. این موضوع باعث افزایش قیمت تمام شده آسفالت سرباره‌ای و کاهش تمایل کارفرمایان به استفاده از آن شده است.

در این پایان نامه، سعی بر آن بوده که با تسلیح این نوع آسفالت با نوعی الیاف پلیمری به نام پلی‌پروپیلن، درصد قیر بهینه آن کاهش داده شود. در همین راستا، مقادیر مختلف الیاف با طول‌های متفاوت(٦، ١٢ و ١٩ میلیمتر) به صورت درصدی از وزن قیر(٢، ٤ و ٦ درصد) به مخلوط آسفالتی حاوی سرباره اضافه شده‌اند. نتایج آزمایشات انجام گرفته نشان می‌دهد که در میان نمونه‌های ساخته شده، مخلوط‌های آسفالتی حاوی ٢ درصد الیاف ١٩ میلیمتری بهترین عملکرد را داشته و ضمن کاهش درصد قیر بهینه، موجب افزایش استقامت و روانی گردیده‌اند. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که الیاف ٦ میلیمتری توانایی تسلیح را نداشته و استفاده زیاد از الیاف ١٩ میلیمتری موجب ایجاد پدیده گلوله‌ای شدن می‌شود.

کلمات کلیدی: ١- سرباره ٢-آسفالت سرباره‌ای ٣-الیاف پلی‌پروپیلن ٤-تسلیح آسفالت

فصل اول
سرباره، الیاف و آسفالت

۱-۱ مقدمه

کاربرد ضایعات ناشی از فرایندهای گوناگون صنعتی برای به دست آوردن محصولات مختلف از جنبه‌های گوناگون حائز اهمیت است. کمک به حفظ و نگهداری منابع غیر قابل جایگزین، کاهش آلودگی‌های زیست-محیطی و بازیابی انرژی‌های صرف شده در طی تولید این ضایعات از جمله اهداف مورد نظر در کاربرد این مواد به شمار می‌رود.

سرباره‌ها محصول جانبی تولید فلزات هستند که اغلب در حجم وسیعی در زمین‌های اطراف کارخانه‌های تولید فلزات دپو می‌شوند و فضای زیادی از این زمین‌ها را اشغال می‌کنند. از همین رو استفاده از آنها از اهمیت خاصی برخوردار است[۱].

در این فصل، ضمن معرفی سرباره‌ها و الیاف پلی‌پروپیلن، به بررسی کاربرد آن‌ها در مخلوط‌های آسفالتی و مطالعات صورت گرفته در این راستا پرداخته شده است.

۱-۲ تعریف سرباره

به طور کلی، سرباره‌ها موادی هستند که در فرایند استخراج فلزات از سنگ معدن آنها به دست آمده و بسته به روش استخراج و نوع کوره ذوب، دارای مشخصات فیزیکی و شیمیایی گوناگون می‌باشند. در این میان، شناخته شده‌ترین نوع سرباره، سرباره کوره بلند است. این ماده، در هنگام تهیه چدن و زمان ذوب سنگ آهن در درجه حرارت ۱۲۵۰ تا ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد بر اثر واکنش بین مواد گدازآور، قشر معدنی سوخت و ناخالصی‌های اکسیدی موجود در فلز به وجود می‌آید و با توجه به ترکیبات شیمیایی ناخالصی‌ها، حالتی اسیدی یا قلیایی پیدا می‌کند[۱].

۱-۳ تاریخچه استفاده از سرباره

استفاده از سرباره‌ها دارای دیرینه طولانی می‌باشد، به طوری که ۳۵۰ سال قبل از میلاد مسیح، ارسطو از سرباره به عنوان مرحم برای برخی از زخم‌ها استفاده می‌کرده است. همچنین در حدود ۲۰ قرن پیش، رومیان از قطعات خرد شده سرباره در راهسازی استفاده کرده‌اند. آلمان‌ها در سال ۱۵۸۹ میلادی، از سرباره در ساخت گلوله توپ بهره بردند. استفاده از این ماده به عنوان مصالح بنایی در اروپا از قرن ۱۸ شروع شد. در سال ۱۸۱۳ برای نخستین بار به شکل امروزی از سرباره در صنعت راهسازی استفاده گردید. در این میان، عمده‌ترین کاربرد سرباره در گذشته به عنوان بالاست در مسیرهای راه‌آهن بود. با شروع جنگ جهانی دوم و در پی تولید آهن برای جبهه‌های جنگ، میزان تولید سرباره به نحو چشمگیری افزایش یافته و تحقیقات برای یافتن راهکارهایی مفید جهت استفاده از این ماده شدت گرفت[۲].

۱-٤ انواع سرباره

در کارخانه‌های صنعت آهن، دو نوع سرباره تولید می‌شود[۳]:

- سرباره کوره بلند[1]
- سرباره فولادی[2]

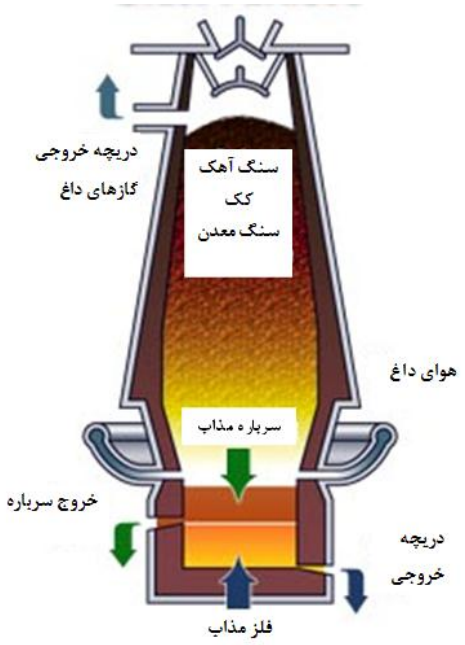
[1] Blast Furnace Slag
[2] Steel Slag

۱-۴-۱ سرباره کوره بلند[1]

در فرایند تولید آهن، سنگ آهن و مواد منعقد کننده[2](سنگ آهک و یا دولومیت)، همراه با کک به عنوان سوخت به درون کوره منتقل می‌شود. کک ضمن تولید حرارت، به خاکستر تبدیل شده و مونواکسید کربن به وجود می‌آورد. در این هنگام، ناخالصی‌های موجود در سنگ آهن با آهک یا دولومیت ترکیب شده، از آهن جدا می‌گردد و توده‌ای بر روی فلز مذاب به تشکیل می‌دهد. در این مرحله، آهن(چدن) مذاب قالب‌گیری شده و یا به کوره اکسیژنی منتقل شده و در تولید فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد[۳].

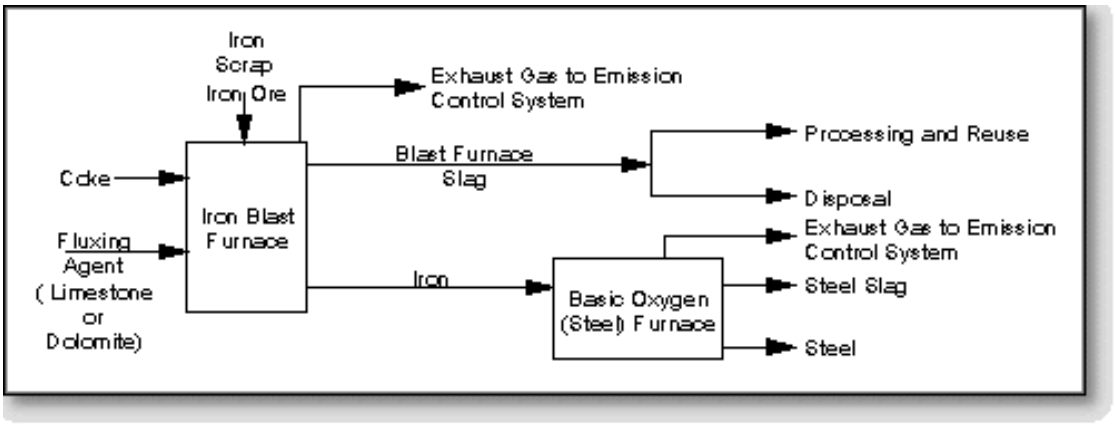
اساسا سرباره کوره بلند یک ماده غیرفلزی شامل سیلیکات هایی نظیر آلومینوسیلیکات و سیلیکات‌های آلومینوکلسیم می‌باشد. شایان ذکر است که در هر سیکل تولیدی در کوره بلند، حدود ۲۰ درصد وزنی آهن تولید شده، سرباره به دست می‌آید[۳].

شکل ۱-۱ فرایند تولید در کوره بلند و شکل ۱-۲ نمایی کلی از خوراک و فراورده‌های کوره بلند را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- فرایند تولید در کوره بلند

[1] blast furnace slag
[2] flux



شکل ۱-۲- نمایی کلی از خوراک و فراورده‌های کوره بلند[۳]

۱-۴-۱-۱- انواع سرباره‌های کوره بلند

بر اساس روش سرد نمودن، سرباره‌ی کوره بلند در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود[۱]:

الف- سرباره کلوخه‌ای کوره بلند (سرباره کلوخه‌ای[۱])

در صورتی که سرباره مذاب کوره بلند در هوا سرد شود، موادی حاصل می‌گردد که به سرباره کلوخه‌ای معروف است. این نوع سرباره از سرد کردن آهسته سرباره کوره بلند در هوا و در درون پاتیل به منظور ایجاد نوعی محصول متبلور که از نقطه نظر ظاهری شباهت زیادی به سنگ های آذرین دارد، بدست می‌آید. مشخصات این سرباره در استاندارد ASTM-C125 ذکر شده است.

ب- سرباره متخلخل کوره بلند (سرباره انبساطی[۲])

این سرباره، ماده متخلخل سبکی است که به وسیله کنترل فرایند سرد و منجمد نمودن سرباره مذاب کوره بلند توسط آب، بخار و هوای فشرده به وجود می‌آید.

ج- سرباره کوره بلند گلوله‌ای شکل[۳]

اگر سرباره ذوب شده در دیگ به وسیله آب و هوا با سرعت خنک شده و به حالت جامد تبدیل شود، سرباره کوره بلند گلوله‌ای شکل به وجود می‌آید. خنک شدن سریع باعث کاهش تبلور می‌گردد.

[1] - Air Cooled Blast Furnace Slag(ACBFS)
[2] - Expanded Blast Furnace Slag(EBFS)
[3] - Pelletized Blast Furnace Slag(PBFS)

د- سرباره کوره بلند دانه‌ای[1]

با پاشیدن آب خنک بر روی سرباره‌های مذاب توسط جت‌های آب پر فشار، سرباره مذاب سریعا سرد شده و به ذرات شیشه‌ای غیرمتبلوری که همچون ماسه طبیعی هستند، تبدیل می‌شوند. در این حالت زمانی برای تشکیل کریستال‌ها وجود ندارد و به همین جهت مواد حاصله کاملاً به صورت غیر متبلور درمی‌آید. این نوع سرباره به سرباره‌ی دانه‌ای معروف است.

در یک تقسیم‌بندی دیگر، این ماده در دو دسته اسیدی یا بازی طبقه‌بندی می‌شود[۱]. اگر محتوای سیلیسی سرباره زیاد باشد، سرباره را اسیدی و اگر مقدار عامل بازی سرباره یعنی CaO زیاد باشد، سرباره را بازی گویند. به منظور شناسایی ترکیب شیمیایی و تعیین نوع سرباره از اندیسی به نام اندیس قلیایی سرباره که به صورت زیر تعریف شده، استفاده می‌گردد:

$$I = \frac{\text{مجموع اکسیدهای قلیایی}}{\text{مجموع اکسیدهای اسیدی}} \qquad ۱-۱$$

اگر اندیس برابر واحد باشد، سرباره را خنثی،

اگر اندیس کوچکتر از واحد باشد، سرباره را اسیدی،

و اگر اندیس بزرگتر از واحد باشد، سرباره را بازی گویند.

معمولا اندیس سرباره‌های کوره بلند بین ۱ تا ۱/٤ متغیر است.

۱-۴-۱-۲- خصوصیات مصالح سرباره کوره بلند

۱- ویژگی‌های فیزیکی

در این قسمت ویژگی‌های فیزیکی هر یک از انواع سرباره‌های کوره بلند به تفکیک بیان شده است[۳]:

الف- سرباره کلوخه‌ای:

این نوع از سرباره‌ها به صورت شکسته، تیزگوشه، تقریبا مکعبی و دارای بافتی زبر، سطحی متخلخل و گاهی صاف با ظاهری صدفی هستند. تنوع زیادی در خصوصیات فیزیکی آن‌ها بسته به فرایند تولید آهن وجود دارد. برای مثال اخیرا سرباره‌هایی از این نوع با وزن مخصوص متراکم[2] kg/m^3 ۱۹٤۰تولید شده است. سرباره‌هایی با چگالی بیشتر نیز وجود دارد که این چگالی زیاد به علت افزایش محتوای فلزی و آهنی سرباره است. افزایش محتوای فلزی نیز خود، ناشی از استفاده از قراضه آهن در خوراک کوره بلند می‌باشد.

[1] Granulated Blast Furnace Slag(GBFS)
[2] Compacted Unit Weight

درصد جذب آب این نوع سرباره می‌تواند تا ٦ درصد باشد. علی‌رغم این درصد جذب آب بالا، سرباره‌هایی از این نوع، به راحتی رطوبت خود را از دست داده و خشک می‌شود.دلیل این پدیده عمدتا ناشی از آن است که آب جذب شده، به درون حفره‌های کم عمق سطح سرباره نفوذ کرده و به راحتی از آن خارج می‌شود.

ب- سرباره انبساطی:

این سرباره‌ها در حالت شکسته به صورت تیزگوشه، مکعبی شکل و دارای سطحی زبرتر از نوع اول هستند. به علاوه تخلخل این سرباره‌ها از سرباره کلوخه‌ای بیشتر است. چگالی این سرباره بین ۸۰۰ تا ۱۰٤۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

ج- سرباره گلوله‌ای:

برخلاف دو نوع قبلی، این نوع سرباره دارای سطحی صاف و گردگوشه است. متعاقبا تخلخل و جذب آب این نوع سرباره نسبت به دو نوع قبلی کمتر است. هر چند اندازه این گلوله‌ها بین ۰/۱ تا ۱۳ میلیمتر متغیر است ولی اندازه اکثر آنها بین ۱ تا ۹/۵ میلیمتر است. چگالی این نوع سرباره حدود kg/m^3 ۸٤۰ است.

د- سرباره دانه‌ای:

این نوع سرباره، ماده‌ای دانه‌ای و مسطح است که بسته به ترکیب شیمیایی و روش تولید از دانه‌هایی به درشتی ذرات با ساختاری شکننده و دارای قطری بزرگتر از ٤/۷۵ میلیمتر(الک شماره ٤) تا دانه‌هایی به اندازه ذرات ماسه متغیر است. با استفاده از آسیاب، اندازه این ذرات به اندازه ذرات نرم سیمان تبدیل می‌شود که اجازه استفاده از آن به عنوان مواد افزودنی در سیمان پرتلند را فراهم می‌کند.

۲- خصوصیات شیمیایی

تعدادی از ترکیبات شیمیایی سرباره کوره بلند در جدول ۱-۱ نمایش داده شده است. این اطلاعات مربوط به سرباره‌های کوره بلند تولید شده در آمریکای شمالی بوده که در طول چندین سال ثابت مانده است.

جدول ۱-۱- ترکیبات اصلی سرباره‌های کوره بلند در نمونه‌گیری‌های سال‌های مختلف [۳]

ماده متشکله	درصد							
	۱۹۴۹		۱۹۵۷		۱۹۶۸		۱۹۸۵	
	میانگین	محدوده تغییرات	میانگین	محدوده تغییرات	میانگین	محدوده تغییرات	میانگین	محدوده تغییرات
اکسید کلسیم (CaO)	۴۱	۴۸-۳۴	۴۱	۴۷-۳۱	۳۹	۴۴-۳۲	۳۹	۴۳-۳۴
دی اکسید سیلیس (SiO_2)	۳۶	۴۵-۳۱	۳۶	۴۴-۳۱	۳۶	۴۰-۳۲	۳۶	۳۸-۲۷
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	۱۳	۱۷-۱۰	۱۳	۱۸-۸	۱۲	۲۰-۸	۱۰	۱۲-۷
اکسید منیزیم (MgO)	۷	۱۵-۱	۷	۱۶-۲	۱۱	۱۹-۲	۱۲	۱۵-۷
آهن (Fe_2O_3یاFeo)	۰/۵	۱/۰-۰/۱	۰/۵	۰/۹-۰/۲	۰/۴	۰/۹-۰/۲	۰/۵	۱/۶-۰/۲
اکسید منگنز (MnO)	۰/۸	۱/۴-۰/۱	۰/۸	۲/۳-۰/۲	۰/۵	۲/۰-۰/۲	۰/۴۴	۰/۷۶-۰/۱۵
سولفور (S)	۱/۵	۲/۳-۰/۹	۱/۶	۲/۳-۰/۷	۱/۴	۲/۳-۰/۶	۱/۴	۱/۹-۱/۰

در شرایط مناسب، ترکیبات شیمیایی و غیرکریستالی سرباره با آب واکنش شیمیایی انجام می‌دهند. این واکنش شبیه هیدراسیون سیمان بوده و اندازه آن به ترکیب شیمیایی، مقدار کریستالی بودن و نرمی سرباره بستگی دارد[۳].

سرباره کوره بلند خواص قلیایی کمی از خود نشان می‌دهد؛ به طوری که PH آن بین ۸ تا ۱۰ می‌باشد. هرچند سرباره کوره بلند حاوی مقدار کمی سولفور است(۱ تا ۲ درصد)، اما به طور کلی خواص قلیایی داشته و در ردیف خورنده‌های آهن به حساب نمی‌آید. از این‌رو، در صورت کاربرد در بتن یا سیمان باعث خوردگی آرماتورها نمی‌شود[۳].

۳- ویژگی‌های مکانیکی

سرباره کلوخه‌ای بیش از سایر انواع سرباره‌های کوره بلند به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت سایشی و استحکام برشی بالا از ویژگی‌های مطلوب این سرباره به شمار می‌رود. خصوصیات مکانیکی این نوع سرباره در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۲- ویژگی‌های مکانیکی سرباره‌های کوره بلند[۳]

ویژگی	مقدار
درصد سایش لوس‌آنجلس	۳۵-٤۰
افت وزنی سولفات سدیم(درصد)	۱۲
زاویه اصطکاک داخلی(درجه)	٤۰-٤٥
سختی(Moh)	٥-٦
ضریب باربری کالیفرنیا(CBR)	تا ۲٥۰ درصد

۴- سایر ویژگی‌ها

به دلیل ساختار متخلخل، مصالح سرباره کوره بلند دارای هدایت گرمایی کمتری در مقایسه با مصالح معمولی است[۳].

۱-۴-۲ سرباره فولاد[1]

علاوه بر سرباره‌های کوره بلند، نوع دیگری از سرباره‌ها وجود دارند که به سرباره‌های فولادی معروفند. این سرباره‌ها به لحاظ ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی تفاوت‌هایی عمده با سرباره کوره بلند دارند. در مجموع سرباره کوره بلند دارای ترکیباتی کمتر و بافتی یکنواخت‌تر بوده و وزن مخصوص آن از مصالح سنگی معمولی پایین‌تر است. به همین جهت سرباره کوره بلند دارای خصوصیاتی کاملا مطلوب بوده، کاربردهای متنوعی داشته و به لحاظ اقتصادی دارای ارزش بالایی می‌باشد[۲].

اساسا دو نوع سرباره فولادی وجود دارد:

- سرباره حاصل از کوره قوس الکتریک[2] E.A.F.
- سرباره حاصل از کوره اکسیژنی(کنورتور)[3] B.O.F.

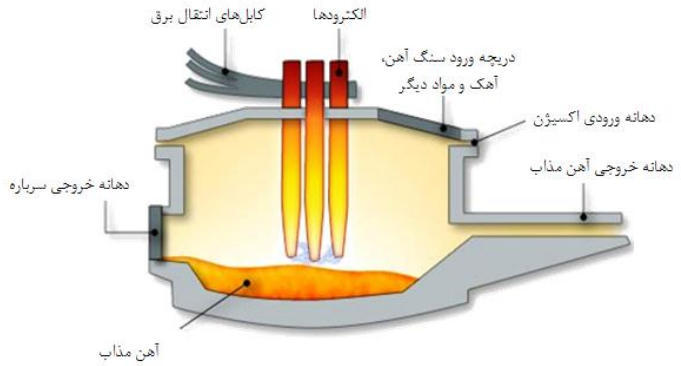
این نوع سرباره‌ها، محصول جانبی فرایند تولید فولاد هستند که هنگام جداسازی فولاد مذاب از ناخالصی‌های کوره فولادسازی به دست می‌آید. به علاوه، این مواد ترکیبی پیچیده از سیلیکات‌ها و اکسیدان‌هاهستندکه پس از سرد شدن به حالت جامد درمی‌آیند. تمام کارخانه‌های فولادی که در حال حاضر احداث می‌شوند، از روش احیای مستقیم فولاد در کوره قوس الکتریکی استفاده می‌کنند.

[1] Steel Slag
[2] Electric Arc Furnace
[3] Basic Oxygen Furnace

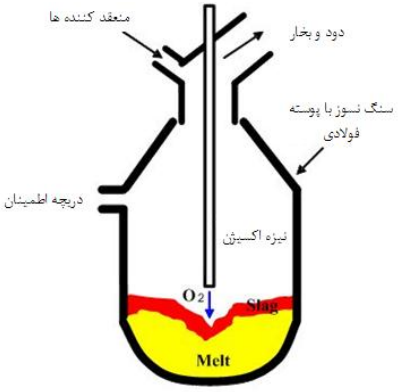
در فرآیند احیای مستقیم در کوره اکسیژنی، فلز مذاب، آهن قراضه و کمک ذوب(شامل آهک (CaO) و آهک دولومیتی (CaO.Mg))به درون کوره یا کنورتور ریخته می‌شود. در این حالت، لوله‌ای شبیه به نیزه به درون کوره هدایت شده و اکسیژن را با فشار زیاد به درون آن تزریق می‌کند. اکسیژن با ناخالصی‌ها ترکیب شده و آن‌ها را از فلز مذاب جدا می‌کند. این ناخالصی‌ها، شامل کربن به صورت گاز منواکسید کربن، سیلیس، منگنز، فسفر و برخی اکسیدهای آهن، با آهک و دولومیت ترکیب شده وسرباره کوره فولاد را به وجود می‌آورند. در پایان فرایند احیا، فولاد مذاب جدا شده و سرباره در ته کوره باقی می‌ماند و از آنجا به محل دیگری منتقل می‌شود.

انواع مختلفی از فولاد قابل تولید است که خصوصیات سرباره متناظر با هر کدام متفاوت است. انواع فولاد، بنا بر مقدار کربن موجود در آن در سه نوع فولاد با کربن زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی می‌شوند. برای تولید فولاد با کربن کمتر نیاز به دمیدن مقدار بیشتری اکسیژن به درون کوره می‌باشد که متعاقبا به مقدار بیشتری آهک و دولومیت نیاز بوده و سرباره بیشتری تولید خواهد کرد.

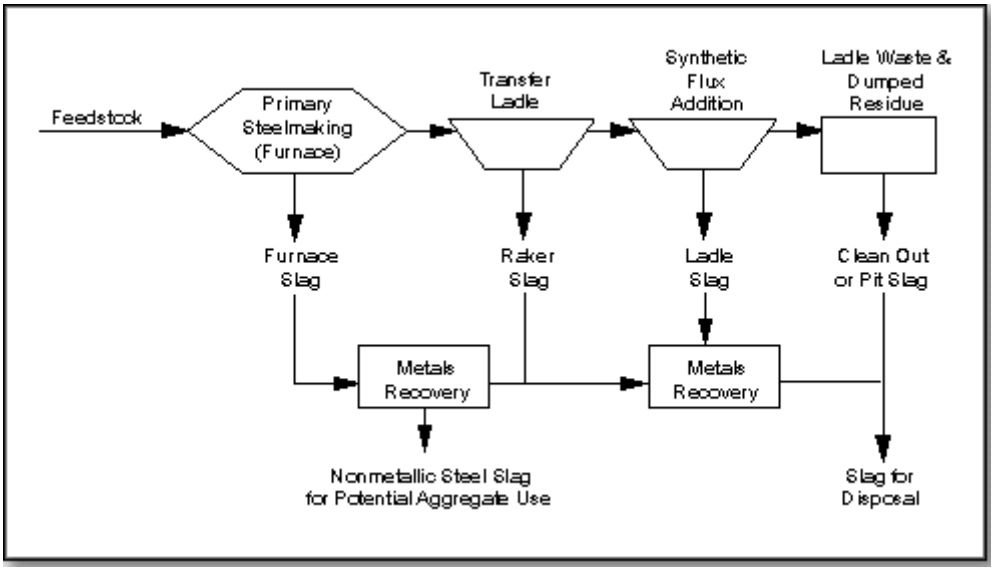
شکل ۱-۳ وشکل ۱-۴ به ترتیب کوره‌های قوس الکتریکی و کوره اکسیژنی و شکل ۱-۵ نمایی کلی از فرایند تولید فولاد در کوره قوس الکتریکی را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۳- کوره قوس الکتریک



شکل ۱-۴- کوره احیای مستقیم



شکل ۱-۵- نمایی کلی از فرایند تولید فولاد در کوره قوس الکتریکی[۳]

خصوصیات مصالح

سرباره‌های فولادی به طور کلی تمایل به انبساط و افزایش حجم دارند. این ویژگی به دلیل حضور آهک آزاد و اکسید منیزیم در سرباره فولادی است که در فرایند تولید فولاد با ترکیبات سیلیکاتی وارد واکنش نشده‌اند و بنابراین در شرایط محیطی مرطوب می‌توانند هیدراته شده و تا ۱۰ درصد افزایش حجم پیدا کنند. همین ویژگی باعث شده است که سرباره فولادی برای کاربرد در سیمان پرتلند نامناسب باشد.

یکی دیگر از مشکلاتی که می‌تواند در اثر هیدراته شدن سرباره‌های فولادی به کار رفته در جسم راه به وجود آید مسئله رسوبات است. آهک موجود در سرباره با آب ترکیب شده و هیدروکسیدکلسیم $Ca(OH)_2$ را به وجود می‌آورد. سپس با دی‌اکسیدکربن موجود در هوا ترکیب شده و کلسیت $CaCO_3$ را تشکیل می‌دهد. کلسیت در آب رسوب می‌کند و می‌تواند باعث بسته‌شدن دریچه‌های زهکشی سیستم روسازی شود[۲].

سرباره‌های فولادی که قرار است به عنوان مصالح استفاده شوند باید چند ماه در هوای آزاد و در معرض رطوبت و بارش باران قرار داده شود. هدف از این کار، از بین بردن پتانسیل افزایش حجم در این مصالح است. دوره زمانی که سرباره‌های فولادی باید در معرض هوای آزاد باشند بنا بر نوع آن متفاوت بوده و گاهی به ۱۸ ماه می‌رسد.

۱- ویژگی‌های فیزیکی

مصالح سرباره فولادی دارای شکلی تیزگوشه و سطحی زبر هستند. این مصالح دارای وزن مخصوص بالا و درصد جذب آب محدود(حدود ۳ درصد) می‌باشد. جدول ۱-۳ برخی از خصوصیات فیزیکی این مصالح را نشان می‌دهد.