

پیشگفتار

فولادسازی در دنیا اساساً به دو شیوه انجام می‌پذیرد: تبدیل آهن خام حاصل از کوره بلند در کنورتور، و ذوب قراضه یا آهن اسفنجی در کوره‌های قوس الکتریکی. هر دو روش برای تهیه فولاد در ایران به کار گرفته می‌شود. استفاده از روش سوم، یعنی کوره‌های روباز، امروزه دیگر مرسوم نیست. در زمینه فولادسازی در کنورتور، منابعی به زبان فارسی در دسترس وجود دارد، اما در مورد فولادسازی در کوره‌های قوس الکتریکی، متن مدون و جامعی در اختیار نیست.

کتاب حاضر، اصول علمی و تکنولوژیکی فولادسازی در کوره‌های قوس الکتریکی را در دو بخش و هجده فصل و یک پیوست ارائه داده است. بخش اول به فولادسازی در کوره‌های قوس الکتریکی اختصاص دارد و بخش دوم، فولادسازی در پاتیل را تشریح می‌کند. بدین ترتیب، متالورژی اولیه و متالورژی ثانویه در تهیه فولاد در این دو بخش آمده است. فصل اول به بررسی سابقه تاریخی و تشریح سیستم‌های مختلف کوره قوس اختصاص یافته است. مواد مصرفی در کوره‌های قوس که عمدتاً عبارتند از الکترودها، مواد نسوز، قراضه و افزودنی‌ها، در فصل‌های دوم تا پنجم بررسی شده است. پس از توضیح انواع روش‌های فولادسازی و تاکید و تمرکز بر روش بازی در فصل ششم، نقش تعیین کننده سرباره در تهیه فولاد، در فصل هفتم تشریح شده است. مراحل مختلف اکسایش و احیاء در فولادسازی، که شامل کربن‌زدایی، فسفرزدایی و اکسیژن‌زدایی است در فصل‌های هشتم تا یازدهم مطرح گشته است. مسئله آخال‌ها و گازها در فولاد، به دلیل اهمیتی که داراست به عنوان دو فصل جداگانه ارائه شده است. پیشرفت‌های فولادسازی در کوره‌های قوس، در زمینه‌هایی همچون تخلیه مذاب بدون سرباره، نوع بارگیری، همزدن مذاب، تسریع در فرایند ذوب و کنترل عناصر باقیمانده در فصل پانزدهم توضیح داده شده است. مهم‌ترین عوامل اقتصادی در کار این نوع کوره‌ها، در زمینه کاهش هزینه و مصرف مواد نسوز، الکتروود و انرژی و به‌کارگیری سیستم‌های نوین خنک‌کاری گرم و پیشگرم قراضه، در فصل پایانی بخش اول تشریح شده است.

بخش دوم به عملیات تکمیلی فولادسازی در کوره قوس پرداخته و متالورژی تهیه فولاد در پاتیل را که به عنوان متالورژی ثانویه شناخته می‌شود ارائه داده است. بر خلاف شیوه ابتدایی فولادسازی در کوره قوس، که کلیه عملیات ذوب، تصفیه و آلیاژسازی در کوره انجام می‌گرفت، امروزه با استفاده از فرایند کوره پاتیلی، که خود به عنوان یک کوره کوچک، عملیات تکمیلی فولادسازی را انجام می‌دهد، ترتیبی داده شده است که کوره قوس در جایگاه اصلی خود به کار گرفته شود و با استفاده از توان بالای ترانسفورمر، همچون یک ماشین پرسرعت ذوب عمل کند و مذاب را به واحد کوره پاتیلی تحویل دهد تا عملیات نهایی تصفیه احیایی و آلیاژسازی و بهبود کیفیت و تولید

فولاد تمیز در کوره پاتیلی انجام شود. این تکنولوژی در فصل هفدهم تشریح شده است. روش‌های مختلف متالورژی پاتیلی، که در آن با استفاده از گرم کردن و اعمال خلاء، تصفیه نهایی صورت می‌گیرد، فصل پایانی بخش دوم را به خود اختصاص داده است. مجموعه‌ای از واژه‌های متداول در فرایند تولید فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی نیز در قالب فرهنگ‌نامه‌ای مختصر به عنوان پیوست آورده شده است.

البته تردیدی نیست که متالورژی تهیه فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی، به‌ویژه با توجه به ابداع روش‌های نوین، به‌قدری گسترش یافته که آنچه در این کتاب ارائه شده تنها در حد مقدمه‌ای در این زمینه به‌شمار می‌آید، اما کوششی که در تدوین و تنظیم آن صورت گرفته و دستی که مولف، خود عملاً در کار فولادسازی داشته و دوره‌های آموزشی و کارورزی که در کارخانجات بزرگ فولادسازی آلمان، از جمله هامبورگ و تیسن دیده، او را امیدوار می‌سازد که نتیجه کارش بی‌اثر نباشد و دست‌اندرکاران و علاقمندان به فولادسازی را به‌کار آید.

مسعود بینش

masoud.binesh@gmail.com

پاییز ۱۳۹۲

مقدمه

فولاد، مهم‌ترین ماده ساختمانی و آلیاژ مهندسی

زندگی امروزی بدون وجود فولاد قابل تصور نیست. تولید جهانی فولاد بیش از ۱/۵ میلیارد تن در سال و تقریباً ده برابر مجموع تولید مواد غیرآهنی است. آن چه می‌توان گفت این است که فولاد به‌عنوان مهم‌ترین ماده ساختمانی و آلیاژ مهندسی تا دهه‌های آینده باقی خواهد ماند.

فولادسازی به روش سنتی

مسیر فولادسازی در کارخانجات بزرگ فولاد با کوره بلند و یا کوره‌های احیا آغاز می‌شود. مرحله بعدی در کارخانجات فولادسازی انجام می‌شود، جایی که فلز مذاب توسط اکسایش کنترل شده و طی عملیات بعدی به فولاد تبدیل می‌گردد. پس از ریخته‌گری و انجماد فولاد مذاب، عملیات نورد در کارخانجات نورد تا رسیدن به محصول نهایی صورت می‌پذیرد.

تولید آهن خام

تکنولوژی کوره بلند دائماً در حال رشد بوده است. تولید آهن خام با واحدهای بزرگ‌تر و ظرفیت تولیدی بیشتر، سبب کاهش تعداد واحدهای کوره بلند شده است. قطر دهانه کوره بلند در واحدهای بزرگ مدرن متجاوز از ۱۱ متر است که هم‌اکنون بیش از ۱۰۰ واحد از این دست، در سراسر دنیا وجود دارد. متوسط تولید روزانه آنها ۷۰۰۰ تن - و در بعضی موارد بیش از ۱۰۰۰۰ تن - است که ۴۰ درصد تولید جهانی آهن خام را تامین می‌کنند. مصرف سوخت که تأثیر اساسی بر هزینه تولید یک کوره بلند دارد با استفاده از روش‌های متعددی کاهش یافته است. هدف نهایی عبارت است از جایگزینی تدریجی کک به‌وسیله شکل‌های بسیار ارزان‌تر انرژی. اما به‌هر حال برای دستیابی به توزیع همگن گاز و تشکیل یک چارچوب پشتیبان در جداره داخلی کوره، وجود حداقل مقدار کک ضروری است. هنوز مقدار مشخصی به عنوان حد تعیین نشده است. امروزه سعی بر آن است که هر چه بیشتر، زغال سنگ ارزان پودری شکل به کوره بلند تزریق شود. این حالت منجر به ۴۰ درصد جایگزینی کک توسط زغال سنگ شده است. با استفاده از انرژی الکتریکی و اکسیژن به‌جای دمش هوای گرم، میزان دمش زغال تا ۴۰۰ kg به ازاء هر تن آهن خام افزایش خواهد یافت.

هنوز توانایی افزایش تولید کک وجود دارد. باطری‌های بزرگ کک‌سازی به‌کار گرفته خواهند شد. در این زمینه، تحقیقات بر روی بهبود بهره‌وری و بازده و نیز کاهش آلودگی محیط زیست متمرکز است. محدوده زغال‌سنگ‌های قابل استفاده نیز بیشتر خواهد شد. واحدهای بزرگ کانه‌آزایی برای تهیه گندله و زینتر، به عنوان مواد اصلی مورد مصرف نیز در بهبود بازدهی کوره‌های بلند مؤثر خواهند بود. زمینه‌های دیگر کار بر روی کوره بلند به عنوان فرآیند احیاء سنگ آهن، در آینده قابل پیش‌بینی است.

فولادسازی

با مطرح شدن فرآیند فولادسازی اکسیژنی در میانه دهه ۵۰م، مسیر تولید فولاد تغییر اساسی نمود. مشخصه این فرآیند متالورژیکی کنورتوری، بهره‌وری زیاد و بازده اقتصادی است. سهم فولادسازی اکسیژنی در تولید جهانی فولاد حدود ۶۵ درصد است و فولادسازی الکتریکی به عنوان تنها جانشین جدی آن مطرح است. امروزه کوره‌های روباز عمدتاً در کشورهای شرقی، در حد اندک وجود دارند و در آینده نزدیک، درست مانند فرایندهای بسمر و توماس، از صحنه تولید حذف خواهند شد.

روش کنورتور دمش از کف (OBM) رقیب فرآیند فولادسازی اکسیژنی معمولی شده است. گرچه این شیوه هنوز موفق به جایگزینی کنورتورهای دمش از بالا نشده است اما عرصه جدیدی در پیشرفت تکنیک گشوده که منجر به ابداع روش‌های دمش ترکیبی گشته است. این فرآیند کامپیوتری با دمش اضافی، توسط شرکت فولاد تیسن توسعه داده شده و فواید اقتصادی زیادی در تولید فولادهای تمیز کم کربن عاید کرده است. ائتلاف آهن به دلیل اکسایش نیز کاهش یافته است. گاز خروجی کنورتور که غنی از انرژی است، با استفاده از روش خشک در سیستم جمع‌آوری و تصفیه، بازیابی می‌شود.

اساساً کنورتور، یک مخزن تصفیه است و بهره‌وری بالای آن به انتقال سریع جرم و انرژی بستگی دارد. معمولاً شارژ کنورتورهای اکسیژنی شامل آهن خام و تقریباً ۲۰ درصد قراضه است. تلاش‌هایی صورت گرفته تا کنورتور کاملاً به صورت یک محفظه ذوب قراضه درآید. امروزه بعضی مدل‌ها، امکان استفاده از صددرصد قراضه را فراهم آورده‌اند. راه اساسی و بهتر برای ذوب قراضه، کوره قوس الکتریکی است. سهم این کوره‌ها در تولید جهانی فولاد، بسته به مقدار قراضه در دسترس است. نکته دیگر این‌که کوره‌های قوس، قراضه‌های مخصوص (آلیاژی) برای تولید فولادهای پرآلیاژ مصرف می‌کنند و بنابراین از سوی دیگر، قراضه درجه دو که آلودگی زیادی دارد در فولادسازی اکسیژنی به کار می‌رود. دوسوم قراضه مصرفی در فولادسازی توسط کوره‌های قوس و یک‌سوم توسط کوره‌های اکسیژنی مصرف می‌شود. مصرف اضافی توسط کارخانجات قطعه‌ریزی نیز باید به حساب آید. کوره‌های قوس UHP دارای ظرفیت تا ۱۷۰ تن و تعدادی نیز متجاوز از ۳۰۰ تن هستند. با تداوم پیشرفت تکنیکی کوره‌های قوس، می‌توان آنها را به عنوان ماشین ذوب در نظر گرفت.

مدت زمان مرحله ذوب یک کوره ۱۳۰ تنی به یک ساعت می‌رسد. این مقدار با توجه به نکات زیر دست یافتنی است:

- افزایش توان ترانسفورمر
- دمش اکسیژن + سوخت اضافی
- همزدن حمام مذاب با استفاده از همزن‌های کف
- تخلیه مذاب بدون سرباره
- حفاظت مناطق گرم کوره توسط خنک‌کاری
- سیستم‌های کنترل کامپیوتری

زمینه پیشرفت آینده، مطرح شدن روش‌های جریان مستقیم می‌باشد. علاوه بر هزینه الکتریسیته،

سودمندی فولادسازی الکتريکی، اساسا تحت تاثير قيمت قراضه است. بنابراین استفاده از قراضه‌های ارزان، کوره‌های قوس را برای تولید انواع فولاد مناسب و جذاب می‌سازد.

قراضه یک ماده خام مهم است که از طریق آن می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. با پیشرفت روش ریخته‌گری مداوم و سایر روش‌ها، بازده مطلق فولاد ۱۴ درصد اضافه شده که موجبات تعطیل شدن نیمی از واحدهای قراضه را فراهم آورده است. بنابراین برگشت قراضه‌های بزرگ در فرآیند فولادسازی قوسی، که مبتنی بر ذوب قراضه است، بسیار مهم می‌باشد. آلمان با ۴ میلیون تن صادرات قراضه در سال ۱۹۹۰ میلادی جزء صادرکنندگان قراضه محسوب می‌شود. استفاده مجدد از قراضه‌های بزرگ، از لحاظ اقتصادی همواره مورد توجه بوده است. یک امکان، کوره کوپل با دمش گرم، همراه با یک کارخانه فولادسازی اکسیژنی است. در کوره کوپل عناصر مضر با آهن خام رقیق می‌شوند تا استاندارد مناسب کیفیت محصول به دست آید. به عبارت دیگر، امروزه روش‌های ریخته‌گری و نورد امکان بالابودن محدوده عناصر مضر را برای بعضی محصولات میسر می‌سازد.

متالورژی ثانویه اساسا با دگرگون کردن وضعیت تولید فولاد، کیفیت را بهبود بخشیده و باعث سوددهی ساخت فولادهای مرغوب شده است. این نقطه آغازی بود برای پیشرفت و توسعه در زمینه فولادهای مخصوص، مثلا فولادهای ساختمانی میکروآلیاژی یا فولادهایی که در ساخت لوله‌های مقاوم در برابر گازهای اسیدی به کار می‌رود. هدف از متالورژی ثانویه، رها ساختن فرآیند اولیه از اهداف متالورژیکی بود. کنورتر باید منحصرا به عنوان یک مخزن تصفیه - مخصوص اکسایش کربن - به کار گرفته شود و کوره قوس به عنوان یک محفظه برای ذوب مواد جامد باقی بماند. مراحل متالورژیکی ضروری بعدی، توسط متالورژی ثانویه انجام می‌گیرد. بدین ترتیب آنالیزهای خارج از استاندارد و آخال‌های غیرفلزی کاهش می‌یابد و دما و آنالیز شیمیایی مذاب همگن می‌شود. به‌علاوه، شکل آخال‌های غیرفلزی کنترل و بهینه می‌شود تا خواص مخصوص و مورد نظر فولاد پدید آید. گرم کردن در واحدهای متالورژی ثانویه امکانات دیگری از لحاظ مهندسی فرآیند نیز فراهم کرده است. به متالورژی ثانویه، متالورژی پاتیلی نیز گفته می‌شود زیرا فرآیند، معمولا در پاتیل انجام می‌گیرد. معمولا مذاب پس از مرحله فولادسازی، در واحدهای متالورژی ثانویه تحت عملیات قرار می‌گیرد. برای اجتناب از اکسایش مجدد، باید اقداماتی به هنگام تخلیه مذاب از پاتیل به تاندیش و از تاندیش به قالب‌های ریخته‌گری مداوم صورت گیرد.

با استفاده از متالورژی ثانویه می‌توان به فولادهای خاص دست یافت؛ فولادهایی که تولید آنها در محفظه‌هایی با حجم بزرگ غیرممکن می‌نمود. با به‌کارگیری وسایل تکنیکی، کل غلظت عناصر همراه، امروزه تا حد کمتر از ۳۰ ppm کاهش یافته است. محدوده‌های کمتر از این مقدار نیز با فرآیندهای خلاء قابل دست‌یابی است.

تنظیم دقیق شیمیایی با محدوده تغییرات بسیار کم، پیش‌شرط لازم برای فرآیندهای فولاد در کارخانجات فولادسازی شده است. ترکیب دقیق و موزانه شده عناصر آلیاژی، تنظیم کربن، اکسیژن،

نیترژن و هیدروژن و نورد کنترل شده برای دستیابی به خواص مطلوب فولاد، ضرورت یک عملیات حرارتی اضافی را از بین می‌برد.

ریخته‌گری مداوم

تغییرات بسیار زیادی در زمینه ریخته‌گری صورت گرفته است. فرآیند ریخته‌گری مداوم در سطح جهان رونق یافته است. بسته به نوع محصولات، کارخانجات مدرن فولادسازی تقریباً تماماً ریخته‌گری مداوم دارند. بیش از ۷۰ درصد فولاد در سطح جهان به صورت مداوم ریخته‌گری می‌شود. بدون تردید ریخته‌گری مداوم به دلیل فواید اقتصادی و کیفی، جای ریخته‌گری کنده را خواهد گرفت. بهبود تولید ریخته‌گری مداوم سبب صرفه‌جویی‌های قابل توجهی در فولاد شده است. با به‌کارگیری روش ریخته‌گری مداوم، اولین مرحله نورد کلاسیک تختال می‌تواند حذف شود. راه مناسب برای تولید سودمند فولاد، احداث واحدهای کوچک فولاد است. فواید ریخته‌گری مداوم اساساً در حذف ترک‌های داخلی و عیوب سطحی و بهبود بهره‌وری کارخانجات است. پیشرفت‌هایی در جهت استفاده از شارژ کردن گرم و مستقیم محصولات نیمه‌تمام ریخته‌گری مداوم، به کارخانجات نورد صورت گرفته است. بنابراین اجرای یک عملیات بسیار مطمئن و با کنترل دقیق ضروری است. مزیت این روش عبارت است از کوتاه‌تر کردن مسیر تولید، که هزینه‌های انرژی و عملیات را کاهش می‌دهد.

ضخامت مقاطع فولادهای ریختگی به طریق مداوم ۳۰۰ - ۱۰۰ mm برای محصولات بلند و ۳۵۰ - ۱۵۰ mm برای تختال است. در دو دهه اخیر تلاش‌های زیادی در جهت استفاده از مذاب فولاد در ریخته‌گری مقاطعی با ابعاد و اندازه کوچک‌تر برای محصولات بلند و تخت انجام شده است. این فرآیند تحت عنوان "ریخته‌گری شبیه شکل نهایی محصول"^۱ شناخته می‌شود. این سیستم براساس ریخته‌گری معمولی تختال است اما با استفاده از یک قالب شکل داده شده مخصوص. ریخته‌گری تسمه نیز یک گام به پیش برداشته است. نورد اضافی در ریخته‌گری مداوم منجر به رسیدن تا ضخامت‌های حدود ۲۰ mm شده است. روش CPR، تختال گرم را پس از خروج از قالب یا نورد پرسی، به سرعت نازک می‌کند. ماده به صورت معمولی در قسمت پایینی ریخته‌گری، نورد شده و سطح مقطع آن کاهش می‌یابد. ریخته‌گری تسمه نازک به سمت تولید محصولات با ضخامت کمتر از ۱۰ mm نشانه رفته است. به نظر می‌رسد روش دوغلتکی امیدبخش است.

ریخته‌گری تسمه و تسمه نازک موانع را پشت سر خواهد گذاشت. اهمیت نورد گرم تسمه بسیار قابل ملاحظه است. نورد گرم تنها توسط چند قفسه و یا حتی با حذف آنها انجام می‌شود. این امر منوط به ساختار جدیدی در تولید می‌شود. فولاد می‌تواند در کارخانجات بزرگ فولادسازی تهیه شود. عملیات بعدی در یک واحد تک محصولی توسط روش‌های ریخته‌گری طراحی شده برای تولید تسمه گرم، صفحات سنگین، تسمه سرد یا محصولات مخصوص بلند انجام می‌شود. کارخانجات کوچک فولاد بیشتر به سمت تولید فولاد برای محصولات تخت - به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری کمتر

1. Near - net shape casting

- خواهند رفت. برای محصولات بلند با کیفیت بالا، روش ریخته‌گری شکلی می‌تواند به شکل نهایی محصول نزدیک شود. علاوه بر هزینه الکتروسیته، بحران اقتصادی برای کارخانجات کوچک فولاد، کوره‌های قوس را به سویی می‌راند که بتواند با قراضه تامین شده از خارج از کارخانه، سطح مشابهی از کیفیت محصول را به دست دهد.

نورد

مقدار تغییر شکل در نورد گرم با روی کار آمدن ریخته‌گری مداوم سه‌چهارم کاهش یافته است. اهمیت نورد به‌عنوان یک مرحله فرایند تغییر شکل، به سمت حذف شدن پیش می‌رود، در حالی که اهمیت آن برای تنظیم کیفیت خواص محصول بیشتر می‌شود. این مسئله بر کیفیت شکل و سطح محصولات نوردی اثر می‌گذارد. با استفاده از کنترل هیدرولیکی ضخامت، محدوده‌های کوچک دقت ابعادی در طول یک تسمه بزرگ را می‌توان حفظ نمود. شیب ضخامت در عرض تسمه توسط روش CVC تنظیم می‌شود.

تغییر سیکلی محور غلتک‌ها همراه با صیقل کاری معمولی، منجر به یکنواختی بیشتر شیب سایش می‌شود. برنامه نورد با توجه به عرض تسمه، انعطاف‌پذیرتر می‌شود و مواد بیشتری می‌تواند در طی یک برنامه، نورد شود. انتخاب برنامه نورد به کیفیت محصولات فولادی و عملیات بعدی وابسته است، که عمدتاً عبارتند از: نرماله کردن، عملیات ترمومکانیکی، خنک کاری شدید و سرد کردن مستقیم. آماده کردن برنامه نورد براساس جنبه‌های فیزیکی و شیمیایی و متالورژیکی، یک امکان برای انتقال از نتایج علمی به عملی است. مدل‌های فرایند شبیه‌سازی کامپیوتری بسیار مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

مرحله بعد فرآیند، در کارخانه نورد سرد صورت می‌گیرد. محصول در طی پنج مرحله تحت عملیات قرار می‌گیرد: اسیدشویی برای تمیز کردن سطح، کار سرد در نورد پشت‌سرهم، آنیل تبلور مجدد برای حذف کارسختی، نورد ظریف کاری برای تنظیم کیفیت سطح و بازرسی و لبه‌زنی در کارگاه پرداخت. به نظر می‌رسد ترکیب همه مراحل مختلف در یک عملیات مداوم، فوایدی دربرداشته باشد. جانشین روش آنیل مداوم، استفاده از جعبه‌های آنیل با انتقال حرارت شدید است در مقایسه با جعبه‌های معمولی. این فرآیند، زمان آنیل را با برقراری بهتر شرایط انتقال حرارت کاهش می‌دهد. روزه‌روز بر حجم تسمه‌های نورد سرد شده با پوشش سطحی افزوده می‌شود. این امر نیز اثر خاصی بر تولید اتوماتیک مداوم تسمه سرد می‌گذارد. بخش اعظم کلاف‌هایی که باید عملیات سطحی روی آنها صورت گیرد خط تولید را پس از نورد پشت‌سرهم ترک می‌کنند.

پوشش‌های سطحی

امروزه پوشش‌های متنوع فلزی و غیرفلزی به منظور افزایش مقاومت خوردگی و بهتر شدن ظاهر سطح، به کار می‌رود و تغییرات آن نیز بسته به نیاز بازار مصرف دارد. عوامل متغیر زیادی، بنا به دلایل اقتصادی، باید در نظر گرفته شود. فرآیندهای مختلف پوشش دادن مثل پوشش‌های روی، روی - نیکل یا روی - آلومینیوم وجود دارد. پوشش می‌تواند یکنواخت یا دورو با ضخامت‌های مختلف باشد. عملیات

حرارتی اضافی، متغیرهای دیگری را نیز مطرح می‌سازد. رونق بازار صفحات پوشش داده شده باعث ایجاد کارخانجات پوشش بسیاری شده است. تولید انبوه توسط پوشش‌های خلاء و پوشش‌های بسیار نازک، هنوز در آغاز راه است و جذابیت‌های زیادی برای پوشش‌های چند لایه‌ای در مورد کاربردهای خاص وجود دارد. هدف، رسیدن به تسمه پیش‌رنگ شده یا رنگ شده به‌عنوان یک محصول آماده از نظر سطح است. صفحات ساندویچی نیز به گروه محصولات پوشش داده شده متعلق هستند. آنها شامل دو ورق فولادی با پوشش سطحی هستند که توسط یک لایه پلاستیکی نازک، برای جذب صدا و یک پلاستیک کلفت‌تر، برای استفاده به‌عنوان مصالح ساختمانی، از یکدیگر جدا می‌شوند.

گسترش و تنوع عرضه محصولات فولادی

سازنده‌های فولاد با عرضه محصولاتی که بر روی آنها عملیات سطحی صورت گرفته، بر تنوع محصولات خود افزوده‌اند. همین مسئله در مورد روش جوشکاری صدق می‌کند. موفقیت‌های زیادی در روش برش لیزری و جوش لیزری صفحات فلزی به‌دست آمده است. صفحات بزرگ جوش لیزری شده و قطعات مرکب، اکنون براساس مقیاس دقیقی تولید می‌شوند. قطعات مرکب شامل چند صفحه مجزا از جنس فولادهای مختلف، با ضخامت و با پوشش سطحی متفاوت است. آنها توسط تکنیک پرتو لیزری و یا در حالات خاص با روش خمیری به‌هم جوش داده می‌شوند. بنابراین یک محصول به‌گونه‌ای است که کاملاً نیازهای یک کاربرد ویژه را پاسخ می‌دهد.

انواع فولاد نرم برای مناطقی از صفحه، که اغلب در فرآیندهای تولید، شکل داده می‌شوند انتخاب می‌شود. مناطقی از صفحه که نیاز به استحکام کششی بالا در اجزاء ساختار دارند، از فولادهای با استحکام بالا ساخته می‌شوند. به‌علاوه، ترکیب صفحات با ضخامت‌های مختلف، شرایط فرایند و خواص کاربردی را - در عین داشتن وزن کم - بهینه می‌کند. در مناطقی که در معرض خوردگی است از صفحات با پوشش سطحی استفاده می‌شود، در نتیجه پرس‌های برش ورق و خطوط جوشکاری به حوزه کارخانجات متالورژیکی وارد خواهند شد تا محدوده کار فولاد گسترش یابد. قبلاً نیز از واحدهای برش ریز و خطوط برش طولی استفاده می‌شده است.

جنبه‌های زیست‌محیطی

حفاظت محیط زیست یک جنبه مهم و حساس کار صنعتی است. فولاد به‌دلیل داشتن خواص مغناطیسی، به‌راحتی قابل بازیابی است. مدت‌هاست که قراضه‌های فولادی بازیابی می‌شوند و مجدداً به‌عنوان یک ماده شارژ با کیفیت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای فولادسازان این یک سنت است که مواد زاید خود را مجدداً استفاده کنند یا برای استفاده دیگران عرضه نمایند. کارهای جاری بر روی کانه‌آرایی آلیاژهای دانه‌ریز بازیافتی، سرباره‌های فولادسازی و پوسته‌های اکسیدی نورد متمرکز است. بازیافت‌های آهنی دانه‌ریز، مخصوصاً غبار دودکش کوره بلند با غلظت کم سرب و روی، در یک فرایند مجدد در محفظه واکنش از نوع بستر سیال، برای استفاده دوباره در کارخانجات زینتر مورد عملیات قرار می‌گیرد. به‌علاوه یک ماده غنی از روی و سرب برای بازیابی بعدی جدا می‌شود.

فهرست مطالب

بخش اول فولادسازی در کوره‌های قوس الکتریکی (متالورژی اولیه)

۱ (Primary metallurgy)

فصل ۱ تجهیزات کوره قوس الکتریکی ۳

۱.۱	کوره‌های قوس الکتریکی و انواع آن ۴
۱.۱.۱	تاریخچه کوره قوس الکتریکی ۵
۲.۱.۱	ویژگی‌ها و توانایی‌های کوره قوس ۶
۲.۱	طراحی و مهندسی کوره قوس الکتریکی ۷
۳.۱	اجزاء کوره قوس ۷
۱.۳.۱	بدنه ۹
۲.۳.۱	سقف (سرپوش) ۹
۳.۳.۱	ناودانی ۱۰
۴.۳.۱	درب شارژ (درب سرباره) ۱۰
۵.۳.۱	دکل ۱۰
۴.۱	سیستم‌های مختلف کوره قوس الکتریکی ۱۲
۱.۴.۱	سیستم مکانیکی و هیدرولیکی ۱۲
۲.۴.۱	سیستم آبگرد ۱۴
۳.۴.۱	سیستم جمع‌آوری گرد و غبار ۱۴
۱.۴.۴	سیستم الکتریکی ۱۶
۱.۴.۴.۱	بازده کوره قوس ۱۸
۲.۴.۴.۱	قوس الکتریکی ۱۹
۳.۴.۴.۱	مسئله ناپایداری قوس ۱۹
۱.۴.۴.۴	نقش قوس در ایجاد مناطق گرم در جداره نسوز کوره ۲۰

فصل ۲ الکتروود ۲۳

۱.۲	الکترودهای کربنی و گرافیتی ۲۵
-----	-------------------------------

مصرف الکتروود و عوامل موثر بر آن	۲۶
نکات مهم در نگهداری و کار با الکتروود	۲۹

فصل ۳ مواد نسوز ۳۱

خواص مواد نسوز	۳۲
انواع مواد نسوز	۳۳
نسوزچینی کوره قوس	۳۳
عملیات آماده‌سازی کوره	۳۶
ضریب مصرف مواد نسوز	۳۶

فصل ۴ قراضه ۳۷

عملیات آماده‌سازی قراضه	۳۸
مشخصات فیزیکی قراضه	۴۰
مشخصات شیمیایی قراضه	۴۱
سبدهای بارگیری و نحوه قرارگرفتن قراضه در آنها	۴۱
مرحله ذوب	۴۲

فصل ۵ افزودنی‌ها ۴۵

روانسازها	۴۶
آهک (سنگ آهک)	۴۷
فلوئورسپار	۴۸
فروآلیاژها	۴۸
عناصر آلیاژی	۴۹

فصل ۶ روش‌های فولادسازی ۵۱

روش اسیدی	۵۲
مقایسه روش‌های اسیدی و بازی	۵۳
روش بازی	۵۴
عملیات تک سرباره‌ای	۵۴
عملیات دوسرباره‌ای	۵۵

فصل ۷ سرباره ۵۷

منابع اصلی تشکیل سرباره ۵۸	۱.۷
نقش سرباره در فولادسازی ۵۹	۲.۷
قانون توزیع (تقسیم) ۵۹	۳.۷
خواص ۶۰	۴.۷
روش کنترل سرباره ۶۱	۵.۷
ساختار و ترکیب سرباره‌ها ۶۲	۶.۷
نظریه یونی سرباره ۶۳	۷.۷
نسبت بازی ۶۴	۸.۷
درجه اکسایش سرباره ۶۵	۹.۷

فصل ۸ مرحله اکسایش ۶۷

فرایند کربن زدایی ۶۸	۱.۸
ارتباط بین اکسیژن و کربن ۶۹	۱.۱.۸
عبور اکسیژن از فاز گازی به مذاب ۷۱	۲.۱.۸
سینتیک واکنش کربن زدایی ۷۳	۳.۱.۸
مکانیسم حباب‌سازی ۷۵	۴.۱.۸
اثر دما بر واکنش کربن زدایی ۷۶	۵.۱.۸
نقش سرباره در واکنش کربن زدایی ۷۷	۶.۱.۸
مواد اکسیدکننده ۷۷	۲.۸
روش کنترل شده کربن زدایی ۷۸	۳.۸

فصل ۹ فسفرزدایی ۷۹

تاثیر فسفر بر کیفیت فولاد ۸۰	۱.۹
شرایط ترمودینامیکی فسفرزدایی ۸۰	۲.۹
اثر ترکیب سرباره بر فرایند فسفرزدایی ۸۲	۳.۹
سرباره‌گیری و سرباره‌سازی ۸۴	۴.۹
شرایط بهینه فسفرزدایی ۸۶	۵.۹
احیاء و برگشت فسفر ۸۶	۶.۹

فصل ۱۰ ۸۹ مرحله احیاء

- ۱.۱۰ گوگردزدایی ۹۰
- ۱.۱.۱۰ تاثیر گوگرد بر کیفیت فولاد ۹۰
- ۲.۱.۱۰ عناصر گوگردزدا ۹۱
- ۳.۱.۱۰ مکانیسم‌های گوگردزدایی ۹۲
- ۱.۳.۱.۱۰ گوگردزدایی توسط منگنز ۹۳
- ۲.۳.۱.۱۰ گوگردزدایی با آهک ۹۶
- ۴.۱.۱۰ شرایط بهینه گوگردزدایی ۹۶
- ۵.۱.۱۰ نقش سرباره در گوگردزدایی ۹۷
- ۶.۱.۱۰ اثر دما بر واکنش گوگردزدایی ۱۰۰
- ۷.۱.۱۰ سرباره‌گیری و سرباره‌سازی ۱۰۰

فصل ۱۱ ۱۰۱ اکسیژن‌زدایی

- ۱.۱۱ آرام‌سازی فولاد ۱۰۲
- ۱.۱.۱۱ اکسیژن‌زدایی رسوبی ۱۰۳
- ۲.۱.۱۱ اکسیژن‌زدایی نفوذی ۱۰۴
- ۳.۱.۱۱ عملیات خلاء ۱۰۴
- ۴.۱.۱۱ عملیات با سرباره‌های مصنوعی ۱۰۵
- ۲.۱۱ اکسایش و احیاء منگنز ۱۰۵
- ۱.۲.۱۱ اکسیژن‌زدایی توسط منگنز ۱۰۶
- ۳.۱۱ اکسایش و احیاء سیلیسیم ۱۰۷
- ۱.۳.۱۱ اکسیژن‌زدایی توسط سیلیسیم ۱۰۷
- ۴.۱۱ اکسیژن‌زدایی توسط آلومینیوم ۱۰۸
- ۵.۱۱ روش افزودن اکسیژن‌زداها به مذاب ۱۱۰

فصل ۱۲ ۱۱۳ آخال‌ها در فولاد

- ۱.۱۲ آخال‌های غیرفلزی ۱۱۴
- ۱.۱.۱۲ آخال‌های اکسیدی ۱۱۵
- ۲.۱۲ تاثیر آخال‌ها بر خواص فولاد ۱۱۶

فصل ۱۳ ۱۱۷ گازها در فولاد

- ۱.۱۳ منبع گازهای حل شده در فلز ۱۱۸

گاززدایی فولادی ۱۱۹	۲.۱۳
هیدروژن ۱۲۰	۳.۱۳
نیتروژن ۱۲۱	۴.۱۳
اکسیژن ۱۲۲	۵.۱۳
تاثیر گازها بر خواص فولاد ۱۲۲	۶.۱۳

فصل ۱۴ تخلیه مذاب ۱۲۵

دمش نیتروژن ۱۲۶	۱.۱۴
-----------------	------

فصل ۱۵ پیشرفت‌های فولادسازی در کوره‌های قوس ۱۲۷

کوره EBT ۱۲۸	۱.۱۵
مقایسه کوره EBT و کوره EAF معمولی ۱۳۰	۱.۱.۱۵
کاهش زمان تخلیه تا تخلیه ۱۳۱	۲.۱۵
استفاده از مشعل‌های اکسیژن - سوخت ۱۳۲	۳.۱۵
همزدن مذاب ۱۳۲	۴.۱۵
بارگیری مداوم ۱۳۴	۵.۱۵
تسریع در فرایند ذوب ۱۳۴	۶.۱۵
کنترل عناصر باقیمانده به وسیله انتخاب نوع شارژ ۱۳۵	۷.۱۵
آماده‌سازی و جابه‌جایی شارژ ۱۳۷	۸.۱۵
آهن احیاء مستقیم ۱۳۸	۹.۱۵
درجه فلزی شدن ۱۳۹	۱.۹.۱۵
مواد زائد ۱۴۰	۱۰.۱۵
تخلیه مذاب بدون سرباره ۱۴۰	۱۱.۱۵
کوره قوس با جریان مستقیم (DC) ۱۴۱	۱۲.۱۵

فصل ۱۶ مهم‌ترین عوامل اقتصادی در کار کوره‌های قوس ۱۴۵

عوامل موثر بر هزینه مواد مصرفی ۱۴۶	۱.۱۶
هزینه‌های تبدیلی ۱۴۶	۱.۱.۱۶
کاهش مصرف مواد نسوز ۱۴۷	۱.۱.۱.۱۶
کاهش مصرف الکتروود ۱۴۷	۲.۱.۱.۱۶
تسریع در عملیات ذوب ۱۴۸	۲.۱.۱۶
تزریق تدریجی اکسیژن ۱۴۸	۱.۲.۱.۱۶

- ۲.۲.۱.۱۶ مشعل‌های سوخت - اکسیژن (سوختن در حد کمتر از استوکیومتری) ۱۴۹
- ۳.۲.۱.۱۶ مشعل‌های سوخت - اکسیژن (سوختن غیراستوکیومتری) ۱۵۰
- ۲.۱۶ موازنه انرژی ۱۵۲
- ۱.۲.۱۶ سیستم خنک‌کاری گرم ۱۵۶
- ۳.۱۶ پیشگرم کردن قراضه ۱۵۸

بخش دوم فولادسازی در پاتیل (متالورژی ثانویه) (Secondary metallurgy) ۱۵۹

فصل ۱۷ تکنولوژی کوره پاتیلی ۱۶۳

- ۱.۱۷ تئوری تصفیه فولاد ۱۶۴
- ۲.۱۷ عملیات تصفیه پاتیلی ۱۶۵
- ۳.۱۷ چرخه عملیات ۱۶۷
- ۴.۱۷ تجهیزات کوره پاتیلی ۱۶۸
- ۳.۱۷ اصول تصفیه احیایی ۱۷۰
- ۱.۳.۱۷ گرم کردن ۱۷۱
- ۲.۳.۱۷ همزدن ۱۷۲
- ۳.۳.۱۷ محیط غیراکسیدی ۱۷۳
- ۴.۳.۱۷ سرباره سفید ۱۷۴
- ۵.۳.۱۷ اکسیژن‌زدایی ۱۷۴
- ۶.۳.۱۷ گوگردزدایی ۱۷۵
- ۷.۳.۱۷ آخال‌زدایی ۱۷۵
- ۴.۱۷ کنترل دما و ترکیب شیمیایی ۱۷۶
- ۵.۱۷ پاتیل به عنوان محفظه عملیات متالورژیکی ۱۷۷
- ۶.۱۷ فرآیند تولید فولاد تمیز ۱۷۷

فصل ۱۸ روش‌های مختلف متالورژی پاتیلی ۱۷۹

- ۱.۱۸ عملیات مذاب با سرباره مصنوعی ۱۸۰
- ۲.۱۸ دمش گاز خنثی ۱۸۲
- ۳.۱۸ دمش مواد پودری ۱۸۵
- ۴.۱۸ استفاده از ترکیب کوره - پاتیل ۱۹۱
- ۵.۱۸ گاززدایی تحت خلاء ۱۹۳

انواع روش‌های گاززدایی تحت خلاء ۱۹۶	۶.۱۸
گاززدایی چرخه‌ای ۱۹۸	۷.۱۸
گاززدایی تحت خلاء در پاتیل ۲۰۱	۸.۱۸
روش تصفیه خلاء - اکسیژن (VOD) ۲۰۱	۹.۱۸
روش کرین‌زدایی با دمش آرگون - اکسیژن (AOD) ۲۰۳	۱۰.۱۸
دمش بخار - اکسیژن ۲۰۶	۱۱.۱۸
فرآیندهای ترکیبی ۲۰۷	۱۲.۱۸
حباب‌سازی توسط دمش آرگون ۲۱۳	۱۳.۱۸
تصفیه سرباره‌ای ۲۱۵	۱۴.۱۸
فرآیندهای تزریق مواد در پاتیل ۲۱۶	۱۵.۱۸
گاززدایی تحت خلاء همراه با گرم کردن ۲۱۸	۱۶.۱۸
مقایسه فرآیندهای فولادسازی ثانویه ۲۱۹	۱۷.۱۸

پیوست ۲۲۳ فرهنگ واژه‌های فولادسازی

منابع و مراجع ۲۴۷



بخش اول

فولادسازی در کوره‌های

قوس الکتریکی

(متالورژی اولیه)

(Primary metallurgy)